



**PALLAS**

# Veiligheidsrapport



# Wijzigingsverslag

Uitgifte datum nr.	Beschrijving	Versie auteur	Datum
1	Eerste uitgave		

# Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3	
Lijst met figuren	13	
Lijst met tabellen	16	
Lijst met afkortingen	18	
1	Introductie en algemene beschrijving van de reactor	20
1.1	Algemene inleiding	21
1.2	Leeswijzer van het veiligheidsrapport	21
1.3	Achtergronden van het PALLAS-project	24
1.3.1	Motivatie voor de PALLAS-reactor	24
1.3.2	Historische context	25
1.3.3	Toepassingen van de PALLAS-reactor	25
1.4	Veiligheid van de PALLAS-reactor	28
1.4.1	Naleving van de voorschriften	28
1.4.2	Impact van de PALLAS-reactor	29
1.5	Beschrijving van de PALLAS-reactor	29
1.5.1	De PALLAS-locatie	29
1.5.2	PALLAS-gebouwen en constructies	32
1.5.3	PALLAS-reactor	33
1.5.4	PALLAS-Reactorb企业	35
1.6	Vergelijkbare reactoren	36
1.6.1	Diversiteit in multipurpose reactoren	36
1.6.2	Toepassing van bewezen reactorsystemen	36
1.7	Opdrachtgever en uitvoerders	40
1.7.1	Opdrachtgever: Stichting Voorbereiding Pallas-reactor	40
1.7.2	Ontwerp en uitvoering: ICHOS B.V.	41
1.7.3	Inhoudelijke adviseurs	42
2	Veiligheidsdoelstellingen en uitgangspunten bij het ontwerp	43
2.1	Inleiding	44
2.2	Veiligheidsconcepten voor het ontwerp	44
2.2.1	Fundamentele veiligheidsfuncties	44
2.2.2	Concept van gelaagde veiligheid	45
2.2.3	Barrièreconcept	46
2.2.4	Bescherming tegen interne en externe gevaren	47
2.2.5	Graduele aanpak	47
2.2.6	Ontwerpprincipes voor veiligheidsrelevante systemen	48
2.3	Klassering van structuren, systemen en componenten	49
2.3.1	Methode voor veiligheidsklassering	49
2.3.2	Methode voor seismische klassering	50
2.3.3	Methode voor kwaliteitsklassering	51
2.4	Ontwerpeisen	51
2.5	Kwalificatie van componenten	53

3	Kenmerken van de locatie van de PALLAS-reactor	54
3.1	Inleiding	55
3.2	Algemene beschrijving van de locatie	55
3.3	Geologie en Seismologie	57
3.3.1	Geologische en seismologische omstandigheden	57
3.3.2	Ontwerpbasis	59
3.4	Meteorologie	60
3.4.1	Klimatologische omstandigheden	60
3.4.2	Ontwerpbasis	62
3.5	Hydrologie	62
3.5.1	Inleiding	62
3.5.2	Hydrologische beschrijving	62
3.5.3	Overstromingsgevaar	66
3.5.4	Ontwerpbasis	70
3.6	Biologische gevaren	71
3.7	Nabijgelegen industriële, transport- en militaire faciliteiten	71
3.7.1	Niet-nucleaire industriële faciliteiten (buiten de Energy and Health Campus)	72
3.7.2	Nucleaire en niet-nucleaire faciliteiten (Energy and Health Campus)	72
3.7.3	Transportroutes	73
3.7.4	Militaire voorzieningen	73
3.7.5	Andere door de mens veroorzaakte gevaren	74
3.7.6	Combinaties van gebeurtenissen	74
3.8	Natuurlijke omgeving en land- en watergebruik	74
3.8.1	Landgebruik	74
3.8.2	Gebruik van oppervlaktewater en grondwater	75
3.9	Demografie	77
3.10	Radiologisch achtergrondniveau	78
4	Gebouwen en gebouw gebonden structuren en systemen	79
4.1	Inleiding	80
4.2	Samenvattende beschrijving	80
4.2.1	Algemene beschrijving	80
4.2.2	Veiligheidsklassering	81
4.3	Nuclear Island Building	82
4.3.1	Functie en ontwerpuitgangspunten van het ontwerp	83
4.3.2	Gebouwbeschrijving	83
4.3.3	Veiligheidsbeschouwing	84
4.4	Reactor Block, Reactor Pool en Service Pool	87
4.4.1	Functie en ontwerpuitgangspunten van het ontwerp	87
4.4.2	Systeembeschrijving	89
4.4.3	Veiligheidsbeschouwing	90
4.5	Reactor Building Ventilation System	91
4.5.1	Functie en ontwerpuitgangspunten van het ontwerp	91
4.5.2	Systeembeschrijving	92
4.5.3	Veiligheidsbeschouwing	96
4.6	Hefwerktuigen	98
4.6.1	Algemeen	98
4.6.2	Reactorhalkraan	99
4.6.3	Operation Bridge	99
4.6.4	Hot Cell Operation Crane	100
4.6.5	Logistic Building Bridge Crane	100

4.7	Overige gebouwen	101
4.7.1	Logistic Building	101
4.7.2	Support Building	101
4.7.3	Secondary Cooling System Building	101
5	Reactor	103
5.1	Inleiding	104
5.2	Samenvattende beschrijving van de reactor	104
5.2.1	Algemene beschrijving	104
5.2.2	Veiligheidsklassering	107
5.3	Beschrijving van de reactorstructuren	108
5.4	Splijtstofelement	114
5.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	114
5.4.2	Beschrijving van het splijtstofelement	114
5.4.3	Veiligheidsbeschouwing	116
5.5	Reactiviteitscontrolesystemen	117
5.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	117
5.5.2	Systeembeschrijving	117
5.5.3	Veiligheidsbeschouwing	120
5.6	Neutronenfysisch ontwerp van de kern	120
5.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	120
5.6.2	Ontwerpbeschrijving	121
5.6.3	Evaluatie van het ontwerp	121
5.7	Thermohydraulisch ontwerp	122
5.7.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	122
5.7.2	Beschrijving van het ontwerp	122
5.7.3	Evaluatie van het ontwerp	123
5.8	Reactormaterialen	123
6	Koelsystemen	125
6.1	Inleiding	126
6.2	Samenvattende beschrijving van de koelsystemen	126
6.2.1	Algemene beschrijving	126
6.2.2	Veiligheidsklassering	127
6.3	Primary Cooling System (PCS)	128
6.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	128
6.3.2	Systeembeschrijving	129
6.3.3	Operationele modi	133
6.3.4	Veiligheidsbeschouwing	135
6.4	Pools Cooling System (POCS, inclusief LPOCS)	135
6.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	135
6.4.2	Systeembeschrijving	136
6.4.3	Operationele modi	140
6.4.4	Veiligheidsbeschouwing	142
6.5	Heavy Water Cooling and Purification System (HWCPs)	142
6.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	142
6.5.2	Systeembeschrijving	143
6.5.3	Veiligheidsbeschouwing	144
6.6	Secondary Cooling System (SCS)	144
6.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	144
6.6.2	Systeembeschrijving	144

6.6.3	Veiligheidsbeschouwing	146
6.7	Alternative Secondary Cooling System (ASCS)	146
6.7.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	146
6.7.2	Systeembeschrijving	146
6.7.3	Veiligheidsbeschouwing	147
6.8	Long-term Make-up Water System	147
6.8.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	147
6.8.2	Systeembeschrijving	148
6.8.3	Veiligheidsbeschouwing	149
6.9	Water Purification System (WPS)	150
6.9.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	150
6.9.2	Systeembeschrijving	150
6.9.3	Veiligheidsbeschouwing	150
6.10	Hot-Water Layer System	151
6.10.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	151
6.10.2	Systeembeschrijving	151
6.10.3	Veiligheidsbeschouwing	151
7	Veiligheidsvoorzieningen	153
7.1	Inleiding	154
7.2	Afschakelen van de reactor	154
7.2.1	Afschakelsystemen	154
7.2.2	Reactorbeveiligingssystemen	155
7.3	Afvoer van restwarmte	155
7.4	Insluiting van radioactief materiaal	156
7.5	Veiligheid van de bestralingsactiviteiten	158
7.6	Bewaking van de reactorstatus	158
8	Reactorinstrumentatie en regeling	160
8.1	Inleiding	161
8.2	Samenvattende beschrijving	161
8.2.1	Algemene beschrijving	161
8.2.2	I&C-architectuur	162
8.2.3	Algemene kenmerken	163
8.3	First Reactor Protection System	165
8.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	165
8.3.2	Systeembeschrijving	166
8.3.3	Veiligheidsbeschouwing	167
8.4	Second Reactor Protection System	167
8.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	167
8.4.2	Systeembeschrijving	168
8.4.3	Veiligheidsbeschouwing	168
8.5	Irradiation Protection System	168
8.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	168
8.5.2	Systeembeschrijving	169
8.5.3	Veiligheidsbeschouwing	169
8.6	Post-Accident Monitoring System	169
8.6.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	169
8.6.2	Systeembeschrijving	169
8.6.3	Veiligheidsbeschouwing	170
8.7	Ventilation Reconfiguration System	170

8.7.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	170
8.7.2	Systeembeschrijving	171
8.7.3	Veiligheidsbeschouwing	171
8.8	<b>Reactor Control and Monitoring System</b>	171
8.8.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	171
8.8.2	Systeembeschrijving	172
8.8.3	Veiligheidsbeschouwing	172
8.9	<b>Irradiation Control and Monitoring System</b>	172
8.9.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	172
8.9.2	Systeembeschrijving	172
8.9.3	Veiligheidsbeschouwing	173
8.10	<b>Neutronic Instrumentation System</b>	173
8.10.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	173
8.10.2	Systeembeschrijving	173
8.10.3	Veiligheidsbeschouwing	174
8.11	<b>Radiation Monitoring System</b>	174
8.11.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	174
8.11.2	Systeembeschrijving	174
8.11.3	Veiligheidsbeschouwing	174
8.12	<b>Procesinstrumentatie</b>	175
8.12.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	175
8.12.2	Systeembeschrijving	175
8.12.3	Veiligheidsbeschouwing	175
8.13	<b>Main Control Room</b>	175
8.13.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	175
8.13.2	Systeembeschrijving	176
8.13.3	Veiligheidsbeschouwing	176
8.14	<b>Supplementary Control Room</b>	176
8.14.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	176
8.14.2	Systeembeschrijving	177
8.14.3	Veiligheidsbeschouwing	177
9	<b>Elektriciteitsvoorziening</b>	178
9.1	<b>Inleiding</b>	179
9.2	<b>Samenvattende beschrijving</b>	179
9.2.1	Algemene beschrijving	179
9.2.2	Veiligheidsklassering	179
9.3	<b>Normal Power Supply (NPS)</b>	180
9.3.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	180
9.3.2	Systeembeschrijving	180
9.3.3	Veiligheidsbeschouwing	182
9.4	<b>Stand-by Power Supply (SPS)</b>	183
9.4.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	183
9.4.2	Systeembeschrijving	183
9.4.3	Veiligheidsbeschouwing	186
9.5	<b>Uninterruptible Power Supply (UPS)</b>	187
9.5.1	Functie en uitgangspunten van het ontwerp	187
9.5.2	Systeembeschrijving	187
9.5.3	Veiligheidsbeschouwing	189

10	Hulpsystemen	190
10.1	Inleiding	191
10.2	Samenvattende beschrijving	191
10.2.1	Algemene beschrijving	191
10.2.2	Veiligheidsklassering	191
10.3	Opslag en hantering van splijtstof	192
10.3.1	Opslag en hantering van verse splijtstofelementen	192
10.3.2	Opslag en hantering van verbruikte splijtstofelementen	194
10.3.3	Opslag en hantering van onbestraalde Mo-99-targets	196
10.4	Brandbeveiligingssysteem	198
10.5	Communicatiesystemen	199
10.6	Verlichtingssysteem	199
10.7	Conventioneel HVAC-systeem	200
10.8	Compressed Air System	201
10.9	DeminerIALIZED Water System	201
10.10	Industrial Gases System	201
11	Reactorbenutting	202
11.1	Inleiding	203
11.2	Managementsysteem voor reactorbenutting	203
11.2.1	Veiligheidsdemonstratie van bestralingsactiviteiten	203
11.2.2	Beoordeling en goedkeuring van bestralingsactiviteiten	204
11.3	Bestralingsfaciliteiten	204
11.3.1	In-Core Irradiation Facilities	204
11.3.2	Out-of-Core Irradiation Facilities	205
11.3.3	Pneumatic Transport and Cooling System	206
11.4	Hantering en verzending van bestraald materiaal	207
11.4.1	Hot Cells System	208
11.4.2	Overige installaties voor hantering en verzending van bestraald materiaal	214
12	Radioactief afval	217
12.1	Inleiding	218
12.2	Programma voor radioactief afvalbeheer	218
12.2.1	Doelstellingen van het radioactief afvalbeheer	218
12.2.2	Afvalbeheerplan	218
12.2.3	Toepassing van het afvalbeheerplan	220
12.3	Beheer van vast radioactief afval	221
12.4	Beheer van verbruikte harsen	221
12.4.1	Inleiding	221
12.4.2	Systeembeschrijving	222
12.5	Beheer van vloeibaar radioactief afval	222
12.5.1	Inleiding	222
12.5.2	Systeembeschrijving	223
12.6	Beheer van luchtgedragen radioactiviteit	224
12.6.1	Inleiding	224
12.6.2	Systeembeschrijving	225
12.7	Voorziene hoeveelheden radioactief afval	225
13	Stralingsbescherming	227
13.1	Inleiding	228
13.2	Stralingsbeschermingsprogramma	228



13.2.1	Inleiding	228
13.2.2	Stralingsbeschermingsbeleid, -doelstelling en -principes	229
13.2.3	Interne regeling stralingsveiligheid	229
13.2.4	Stralingsbeschermingsorganisatie	229
13.2.5	Stralingsbescherming en het managementsysteem	231
13.2.6	Stralingsmonitoringsprogramma	232
13.3	<b>Stralingsbronnen</b>	232
13.3.1	Reactor Pool	232
13.3.2	Service Pool	233
13.3.3	Primary Cooling System en Pools Cooling System	233
13.3.4	Water Purification System - Ionenwisselharsen	233
13.3.5	Heavy Water Cooling and Purification System	234
13.3.6	Ingekapselde bronnen	234
13.3.7	Radioactief afval	234
13.3.8	Stralingscontrolesysteem	234
13.3.9	Reactor Building- luchtgedragen bronnen	234
13.3.10	Reactor Building Ventilation System	235
13.3.11	Pneumatic Transport and Cooling System	235
13.4	<b>Stralingsbescherming in het ontwerp</b>	235
13.4.1	Inleiding	235
13.4.2	Toepassing van dosisbeperkingen bij het ontwerp	236
13.4.3	Insluiting van radioactieve stoffen	237
13.4.4	Radiologische zonering en ventilatie	238
13.4.5	Lay-out ter beperking van blootstelling	239
13.4.6	Minimalisatie van activering en besmetting	240
13.4.7	Voorzieningen voor stralingsbescherming	240
13.4.8	Afscherming van bronnen van ioniserende straling	240
13.4.9	Stralingstoezicht en -controle	241
13.5	<b>Evaluatie van de stralingsbescherming</b>	242
13.5.1	Inleiding	242
13.5.2	Stralingsdosis voor het publiek en het milieu	243
13.5.3	Beroepsmatige blootstelling	244
14	<b>Geïntegreerd management systeem</b>	246
14.1	Inleiding	247
14.2	<b>Geïntegreerd managementsysteem</b>	247
14.2.1	Missie, visie en waarden	248
14.2.2	Beleid	249
14.2.3	Doelstellingen	249
14.2.4	Key Performance Indicators en doelstellingen	249
14.2.5	Processen in het IMS	249
14.2.6	Beoordeling en controle	250
14.3	<b>Organisatie van PALLAS</b>	250
14.3.1	Managementstructuur en leiderschap	250
14.3.2	Organisatie voor nucleaire veiligheid	251
14.3.3	Ontwerpautoriteit	251
14.3.4	Organisatiecultuur	251
14.3.5	Ontwikkeling van de organisatie	251
14.3.6	Kwalificaties, ervaring en opleiding van het personeel	252
14.4	<b>Bouwmanagement</b>	253

15	Bedrijfsvoering	254
15.1	Inleiding	255
15.2	Programma's voor de bedrijfsvoering	255
15.2.1	Algemeen	255
15.2.2	Bedrijfsvoering en procedures	256
15.2.3	Terugkoppeling van operationele ervaring	256
15.2.4	Assetmanagement	256
15.2.5	Kernbeheer en splijtstofmanagement	257
15.2.6	Gegevensbeheer en registraties	257
15.3	Managementsysteem voor bedrijfsvoering	258
15.4	Organisatie van bedrijfsvoering	258
15.4.1	Organisatiestructuur	258
15.4.2	Operationele organisatie	259
15.4.3	Kwalificatie en opleiding voor operationele functies	260
16	Veiligheidsanalyses	261
16.1	Inleiding	262
16.2	Acceptatiecriteria	262
16.3	Veronderstelde begingebourtenissen	265
16.3.1	Identificatie van begingebourtenissen	265
16.3.2	Methodiek voor groepering	265
16.3.3	Geselecteerde veronderstelde begingebourtenissen	266
16.4	Deterministische veiligheidsanalyse	276
16.4.1	Inleiding	276
16.4.2	Analysemethodiek en aannames	276
16.4.3	Verlies van koelwater in het Primary Cooling System	278
16.4.4	Verlies van koelwater in het Pools Cooling System	283
16.4.5	Verlies van koeldebiet in het PCS	288
16.4.6	Verlies van koeldebiet in het POCS	292
16.4.7	Verlies van de warmteafvoer	296
16.4.8	Toename van de reactiviteit	298
16.4.9	Foutieve hantering of falen van apparatuur of onderdelen	303
16.4.10	Foutieve reactorbenutting	304
16.4.11	Verlies van zwaar water	308
16.4.12	Verlies van elektriciteitsvoorziening	310
16.4.13	"Anticipated Transient Without Scram" ongevallen	312
16.4.14	Interne gevaren	325
16.4.15	Externe gevaren	328
16.5	Probabilistische veiligheidsanalyse	331
16.5.1	Inleiding	331
16.5.2	Doel en Scope van de PSA	332
16.5.3	Analysemethodiek	332
16.5.4	Model voor probabilistische veiligheidsanalyse	333
16.5.5	Resultaten	334
16.6	Conclusie	336
16.6.1	Deterministische veiligheidsanalyse	336
16.6.2	Probabilistische veiligheidsanalyse	336
17	Inbedrijfstelling	338
17.1	Inleiding	339
17.2	Inbedrijfstellingsprogramma	339

17.2.1	Voorwaarden voor inbedrijfstelling	340
17.2.2	Inbedrijfstellingsfasen	340
17.2.3	Procedures voor inbedrijfstelling	341
17.2.4	Evaluatie en beoordeling	341
17.2.5	Activiteiten na inbedrijfstelling	341
17.3	Managementsysteem voor inbedrijfstelling	341
17.4	Organisatie van de inbedrijfstelling	342
17.4.1	Organisatiestructuur voor inbedrijfstelling	343
17.4.2	Kwalificatie en opleiding voor inbedrijfstelling	344
17.4.3	Organisatie na inbedrijfstelling	344
18	Veiligheidstechnische specificaties	346
18.1	Inleiding	347
18.2	Veiligheidslimieten	347
18.3	Safety System Settings	348
18.4	Begrenzende voorwaarden voor veilige bedrijf	350
18.5	Functionele controles	350
18.6	Administratieve vereisten	351
19	Ergonomie	352
19.1	Inleiding	353
19.2	Evolutie van ergonomie in het ontwerp	354
19.3	Bedrijfservaring in het ergonomisch ontwerp	355
19.4	Ergonomische eisen en ontwerpprincipes	355
19.4.1	Ergonomische ontwerpseisen	356
19.4.2	Ergonomische principes	356
19.5	Ergonomie-programma	357
19.5.1	Algemeen	357
19.5.2	Doelstelling	357
19.5.3	Ergonomie en het managementsysteem	358
19.6	Analyses	358
19.7	Ergonomische voorschriften	359
19.8	Verificatie en validatie	360
20	Noodorganisatie	361
20.1	Inleiding	362
20.2	Noodplan	362
20.2.1	Identificeren en klasseren van noodsituaties	363
20.2.2	Afspraken met instanties buiten het PALLAS terrein	363
20.2.3	Kennisgeving aan personeel op en buiten het terrein	364
20.2.4	Kennisgeving aan de overheid en lokale autoriteiten	364
20.2.5	Betrouwbaarheid van communicatie	364
20.2.6	Beschermende maatregelen	364
20.2.7	Uitrusting	364
20.2.8	Afspraken met zorgverleners	365
20.2.9	Opleiding en training van personeel	365
20.2.10	Middelen voor uitvoering van het noodplan	365
20.3	Noodprocedures	365
20.3.1	Algemeen	365
20.3.2	Dosislimieten hulpverleners	366

21	Milieu-aspecten	367
21.1	Inleiding	368
21.2	Radiologische milieueffecten	368
21.2.1	Algemeen	368
21.2.2	Vergelijking van criteria uit besluiten of richtlijnen	368
21.3	Niet-radiologische milieueffecten	368
21.3.2	Activiteiten	368
21.3.3	Toetsing aan best beschikbare technieken	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
21.3.4	Elektrische installaties	369
21.3.5	Bijzondere bedrijfsomstandigheden	369
21.3.6	Lichthinder	370
21.3.7	Buisleidingen	370
21.3.8	Verkeer en vervoer	370
21.3.9	Geluid & Trillingen	371
21.3.10	Afvalstoffen	371
21.3.11	Water	371
21.3.12	Lucht	372
21.3.13	Energie	372
21.3.14	Milieuzorgsysteem	373
21.3.15	Externe Veiligheid	373
21.3.16	Brandveiligheid	374
21.3.17	Bodem	374
22	Ontmanteling	375
22.1	Inleiding	376
22.2	Ontwerpkenmerken voor ontmanteling	376
22.2.1	Waarborgen van de fundamentele veiligheidsfuncties	376
22.2.2	Minimaliseren van activering en verspreiding van besmetting tijdens bedrijf	377
22.2.3	Beperken van verspreiding van verontreiniging bij ontmanteling	378
22.2.4	Voorzieningen voor ontmantelingswerkzaamheden	378
22.2.5	Beheersen van blootstelling aan straling tijdens ontmanteling	379
22.3	Documentatiebeheer voor ontmanteling	379
22.4	Ontmantelingsplan	380

# Lijst met figuren

Figuur 1-1: Luchtfoto naar het noorden van de Energy & Health Campus en omgeving.....	30
Figuur 1-2: Overzicht van de PALLAS gebouwen ten opzichte van de omliggende gebouwen .....	31
Figuur 1-3: Inrichtingsgrens van de PALLAS-reactor voor de oprichtingsvergunning.....	31
Figuur 1-4: PALLAS-terrein en -gebouwen.....	32
Figuur 1-5: Schematische dwarsdoorsnede van het Nuclear Island Building.....	33
Figuur 3-1: Regionale kaart (ongeveer 25 km rond de site).....	56
Figuur 3-2: Hoogtedoorsnede van de locatie (loodrecht op het strand, hoogte in m ten opzichte van NAP) .....	57
Figuur 3-3: Seismiciteit op regionale schaal .....	58
Figuur 3-4: Representatieve dwarsdoorsnede van het PALLAS-terrein. De contour van het Nuclear Island Building wordt aangegeven door de zwarte stippellijnen.....	59
Figuur 3-5: Duinmeren – locatiekaart.....	64
Figuur 3-6: Bathymetrie van de Noordzee (m) en locaties van de meetstations.....	66
Figuur 3-7: Maximale waterdiepte tijdens een stormvloed met een kans van eens per 10.000 jaar (rechthoek toont de PALLAS-locatie).....	68
Figuur 3-8: Maximale waterstand in m NAP als gevolg van een tsunami.....	70
Figuur 3-9: Risicocontouren van de bestaande faciliteiten op de Energy and Health Campus .....	72
Figuur 3-10: Schietbereik op de plaats van de artillerietest in Petten.....	74
Figuur 3-11: Waterlopen aanliggend polderland .....	76
Figuur 4-1: Plattegrond PALLAS-terrein .....	80
Figuur 4-2: Overzicht van het Nuclear Island Building.....	82
Figuur 4-3: Aircraft Protective Shell .....	84
Figuur 4-4: Centrale locatie van het Reactor Block in het Nuclear Island Building.....	88
Figuur 4-5: Reactor Block onderdelen.....	89
Figuur 4-6: Stalen constructie van de Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal .....	90
Figuur 4-7: Normale werking van het Containment Ventilation Circuit (actieve delen aangegeven in kleur) .....	93
Figuur 4-8: Ventilatie Herconfiguratiemodus door Reactor Control and Monitoring System (actieve delen aangegeven in kleur) .....	94
Figuur 4-9: Ventilatie Herconfiguratiemodus door Ventilation Reconfiguration System (actieve delen aangegeven in kleur) .....	94
Figuur 4-10: Hefwerktuigen in het Nuclear Island Building (bovenaanzicht) .....	98
Figuur 4-11: Gebied waar de reactorhalkraan standaard geen lasten kan verplaatsten (bovenaanzicht).....	99
Figuur 4-12: Operation Bridge (vooraanzicht).....	100
Figuur 4-13: Globale route van de leidingen van het Secondary Cooling System .....	102
Figuur 5-1: Reactor in de Reactor Pool: kern met bijhorende structuren en componenten (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken).....	105
Figuur 5-2: Bovenaanzicht van de PALLAS-reactorkern, kernconfiguratie met 20 splijtstofelementen.....	106
Figuur 5-3: Bovenaanzicht van de PALLAS-reactorkern, kernconfiguratie met 18 splijtstofelementen.....	106
Figuur 5-4: Isometrische weergave van Reflector Vessel-componenten Out-of-Core Irradiation Facilities en Be-reflectoren rond de reactorkern (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken).....	107
Figuur 5-5: Reactorstructuren – Doorsnedeweergave (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken).....	109

Figuur 5-6: Reactorstructuren - Kerndetail - zijdelingse doorsnede (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken) .....	110
Figuur 5-7: Reflector Vessel en onderste plenum - Isometrische weergave (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken) .....	111
Figuur 5-8: Reflector Vessel en onderste plenum - Doorsnede weergave (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken) .....	111
Figuur 5-9: Stijgkanaal - Isometrische weergave (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken).....	112
Figuur 5-10: Weergave van de onderdelen van een splijsttofelement .....	115
Figuur 5-11: Doorsnede van FA met cadmiumdraden .....	116
Figuur 5-12: CRGB en regelstaven (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken).....	119
Figuur 6-1: Overzicht en samenhang van de koelsystemen.....	126
Figuur 6-2: Vereenvoudigd PCS-processtroomdiagram (Reactor in vermogenstoestand).....	129
Figuur 6-3: Geforceerde primaire koelstroom in de Reactor Pool .....	130
Figuur 6-4: Natuurlijke circulatie-modus via de convectieafsluiters en de stijgleiding .....	132
Figuur 6-5: Vereenvoudigd POCS-processtroomdiagram (Reactor bij Vermogenstoestand).....	136
Figuur 6-6: POCS: geforceerde, neerwaartse koelwaterstroom door het Reflector Vessel.....	137
Figuur 6-7: Natuurlijke circulatie-modus POCS.....	138
Figuur 6-8: Vereenvoudigd SCS-processtroomdiagram.....	145
Figuur 6-9: Het ASCS met de belangrijkste componenten.....	147
Figuur 6-10: Vereenvoudigd Long-term Make-up Water System-processtroomdiagram .....	149
Figuur 8-1: Instrumentatie en regeling - Algemeen schema .....	163
Figuur 8-2: First Reactor Protection System (FRPS) – Schematische architectuur .....	167
Figuur 8-3: Post-Accident Monitoring System – Schematische architectuur .....	170
Figuur 9-1: Schematische elektrische stroomverdeling bij normale externe elektriciteitsvoorziening .....	181
Figuur 9-2: Schematische elektrische stroomverdeling bij externe elektriciteitsvoorziening met één niet-beschikbare transformator .....	182
Figuur 9-3: Schematische elektrische stroom met NPS niet beschikbaar - Stand-by-modus .....	184
Figuur 9-4: Schematische elektrische stroom met NPS niet beschikbaar - Stand-by-modus met één diesलगenerator niet beschikbaar .....	185
Figuur 9-5: Schematische weergave met alternatieve voeding (NPS en SPS niet beschikbaar).....	186
Figuur 9-6: Schematische elektrische stroom met ononderbroken bedrijfsvoering (NPS en SPS niet beschikbaar).....	188
Figuur 11-1: Schematisch overzicht van de Out-of-Core Irradiation Facilities in de Reflector Vessel .....	206
Figuur 11-2: Algemene opzet van het Pneumatic Transport and Cooling System .....	207
Figuur 11-3: Voor- en achteraanzicht van de Radioisotope Transfer Hot Cell en de Flexible Transfer Hot Cell (schematische weergave).....	211
Figuur 11-4: Decanning Hot Cells en Pneumatic Transfer Hot Cell (schematische weergave) .....	213
Figuur 11-5: Packing and Dispatch Hot Cell (schematische weergave).....	214
Figuur 11-6: Zwarte vaten (voorbeelden ter illustratie).....	216
Figuur 13-1: Organisatorische positie van de stralingsbeschermingseenheid (SBE = stralingsbeschermingseenheid, OO = operationele organisatie) .....	231
Figuur 14-1 Hiërarchie van het geïntegreerd managementsysteem .....	248
Figuur 15-1: Basisstructuur van de operationele organisatie .....	259
Figuur 15-2: Basisstructuur van de organisatie van de ploegendienst.....	259
Figuur 16-1: Waterniveau in de Reactor Pool – PIE-005 .....	279
Figuur 16-2: Temperatuur van de Reactor Pool in de lange termijn – PIE-005 .....	280
Figuur 16-3: Temperatuur van de bekleding van de splijsttofelementen – PIE-005.....	280
Figuur 16-4: Waterniveau in de Reactor Pool – PIE-077 .....	282

Figuur 16-5: Temperatuur van de Reactor Pool in de lange termijn – PIE-077 .....	282
Figuur 16-6: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE-077 .....	283
Figuur 16-7: Waterniveau in de Reactor Pool, PIE-009.....	285
Figuur 16-8: Temperatuur van de Reactor Pool, PIE-009.....	285
Figuur 16-9: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE-009.....	286
Figuur 16-10: Waterniveau in de Reactor Pool – PIE-078.....	287
Figuur 16-11: Temperatuur van de Reactor Pool– PIE-078.....	287
Figuur 16-12: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE-012.....	289
Figuur 16-13: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE-016 .....	290
Figuur 16-14: Temperatuur van het in vijf stappen 50% geblokkeerde koelkanaal – PIE-030 .....	292
Figuur 16-15: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets – PIE-023.....	293
Figuur 16-16: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets - PIE-019.....	294
Figuur 16-17: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets – PIE 031 .....	296
Figuur 16-18: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE-035.....	297
Figuur 16-19: Temperatuur van de Reactor Pool - PIE-035 .....	298
Figuur 16-20: Reactorvermogen - PIE-039 .....	299
Figuur 16-21: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE-039 .....	300
Figuur 16-22: Reactorvermogen - PIE 041 .....	301
Figuur 16-23: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE 041 .....	301
Figuur 16-24: Reactorvermogen - PIE-PT-001.....	302
Figuur 16-25: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE-PT-001.....	303
Figuur 16-26: Reactorvermogen - PIE 076 .....	306
Figuur 16-27: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE 076 .....	306
Figuur 16-28: Reactorvermogen - PIE 046 .....	307
Figuur 16-29: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE 046 .....	308
Figuur 16-30: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 062.....	311
Figuur 16-31: Waterniveau in de Reactor Pool – PIE 062.....	311
Figuur 16-32: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 061 .....	313
Figuur 16-33: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets – PIE-061 .....	314
Figuur 16-34: Reactorvermogen - PIE-065 .....	315
Figuur 16-35: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 065.....	316
Figuur 16-36: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 068.....	317
Figuur 16-37: Waterniveau in de Reactor Pool – PIE 068.....	318
Figuur 16-38: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets – PIE-071 .....	319
Figuur 16-39: Reactorvermogen - PIE-073 .....	320
Figuur 16-40: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 073.....	321
Figuur 16-41: Reactorvermogen - PIE-074 .....	322
Figuur 16-42: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 074.....	322
Figuur 16-43: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets – PIE-079.....	324
Figuur 16-44: Waterniveau in de Reactor Pool – PIE 079 .....	324
Figuur 16-45: probabilistische veiligheidsanalyse-niveaus.....	333
Figuur 17-1: Proces van testen en afronden van de PALLAS-reactor.....	339
Figuur 17-2: Organisatie van de inbedrijfstelling.....	343
Figuur 17-3: Organisatie van de inbedrijfstellingsteams .....	344
Figuur 18-1: Schema van veiligheidslimieten en instellingen van de veiligheidssystemen (Safety system settings) .....	349

# Lijst met tabellen

Tabel 1-1: Belangrijkste medische radio-isotopen die bij PALLAS-reactor zullen worden geproduceerd.....	27
Tabel 1-2: Belangrijkste kenmerken van de PALLAS-reactor (indicatieve bedrijfscondities).....	34
Tabel 1-3: Vergelijking van PALLAS met diverse multifunctionele reactoren.....	36
Tabel 1-4: Reactoren met afschakelsystemen gebaseerd op legen van de reflectortank (gevuld met zwaar water) door middel van de zwaartekracht.....	38
Tabel 2-1: Bedrijfstoestanden en het concept van gelaagde veiligheid voor de PALLAS-reactor.....	45
Tabel 2-2: Categorisering van veiligheidsfuncties.....	50
Tabel 3-1: Overzicht van geotechnische ontwerpbasiswaarden voor de PALLAS-locatie.....	60
Tabel 3-2: Klimaat parameters (1981-2010), KNMI-station De Kooy (235).....	61
Tabel 3-3: Overzicht van meteorologische ontwerpbasiswaarden voor de PALLAS-locatie.....	62
Tabel 3-4: Hoogwaterstandwaarneming bij IJmuiden.....	65
Tabel 3-5: Stormvloedgolfsценario's versus waterhoogte op de PALLAS-locatie na doorbraak van de primaire waterkering (duinen) bij het Zwanenwater (hoogte PALLAS-terrein is ongeveer +3,3 m NAP).....	69
Tabel 3-6: Samenvatting van de overstromingssценario's.....	71
Tabel 3-7: Inwoneraantallen rond de Energy and Health Campus (2015).....	77
Tabel 3-8: Werknemers van belangrijkste organisaties op de Energy and Health Campus.....	78
Tabel 4-1: Veiligheids- en seismische klassering van de gebouwen en gebouwgebonden structuren en systemen.....	82
Tabel 4-2: Reactor Building Ventilation System ontwerpparameters.....	92
Tabel 5-1: Veiligheidsklassering reactor.....	107
Tabel 5-2: Gegevens van een splijtstofelement.....	114
Tabel 6-1: Nominale warmtebelastingen tijdens werking van de reactor.....	127
Tabel 6-2: Veiligheidsklassering.....	128
Tabel 6-3: Combinaties van bedrijfstoestand en PCS-modus.....	133
Tabel 6-4: Indicatieve gegevens van het primair koelsysteem PCS.....	134
Tabel 6-5: Combinaties van bedrijfstoestand en POCS/LPOCS-modus.....	140
Tabel 6-6: Indicatieve gegevens van de Pool Cooling Systems POCS en LPOCS.....	141
Tabel 6-7: Indicatieve gegevens van het SCS.....	146
Tabel 6-8: Indicatieve parameters van het ASCS.....	147
Tabel 6-9: Indicatieve gegevens van het Long-term Make-up Water System.....	149
Tabel 8-1: Ondersteuning van I&C-systemen bij de niveaus van gelaagde veiligheid.....	164
Tabel 8-2: Veiligheidsklassering van I&C systemen.....	165
Tabel 8-3: Neutronic Instrumentation System - Overzicht van de kanalen.....	174
Tabel 8-4: Bezetting van de controlekamers bij verschillende gebeurtenissen.....	176
Tabel 9-1: Veiligheids- en seismische klassering van het elektrische systemen.....	180
Tabel 10-1: Veiligheidsklassering hulpsystemen.....	192
Tabel 11-1: Belangrijkste functies van de Hot Cells.....	209
Tabel 12-1: Indicatieve gemiddelde hoeveelheden radioactief afval als gevolg van de bedrijfsvoering.....	226
Tabel 13-1: Wettelijke dosislimieten volgens het Bbs, de PALLAS-ontwerpcriteria en de PALLAS-dosisoptimalisatie-doelstelling.....	236
Tabel 13-2: Belangrijke radioactieve bronnen en structuren, systemen en componenten die barrière- en retentiefuncties vervullen.....	237
Tabel 13-3: Criteria voor radiologische zonering conform het Bbs.....	239
Tabel 13-4: Typering van enkele belangrijke afschermingen (hsb staat voor hoge dichtheidsbeton).....	241



Tabel 13-5: Relatieve radionuclidebijdrage aan de jaarlijkse effectieve dosis als gevolg van luchtlozing voor de omwonenden van de PALLAS-site .....	244
Tabel 15-1: Programma's met bijbehorende hoofdstuk in het VR .....	255
Tabel 16-1: Acceptatiecriteria voor de veiligheidsanalyses (veiligheidsniveaus 2, 3a en 3b) .....	263
Tabel 16-2: Acceptatiecriteria voor de veiligheidsanalyses van Mo-99-bestralingsfaciliteiten. ....	263
Tabel 16-3: Stralingsdosislimieten voor het publiek tijdens ongevallen.....	264
Tabel 16-4: Lijst met veronderstelde begingebourtenissen voor de bedrijfstoestand "Vermogensbedrijf" .....	267
Tabel 16-5: Lijst met veronderstelde begingebourtenissen voor de bedrijfstoestand "Testbedrijf" .....	271
Tabel 16-6: Lijst met veronderstelde begingebourtenissen voor de bedrijfstoestand "Afgeschakelde reactor" .....	272
Tabel 16-7: Lijst met veronderstelde begingebourtenissen voor de bedrijfstoestand "Splijststofwisseling" .....	274
Tabel 16-8: Interne en externe gevaren.....	276
Tabel 16-9: Resultaten voor toetsing van het groepsrisico .....	335
Tabel 16-10: Begingebourtenissen met mogelijke radiologische gevolgen - Effectieve dosis .....	336
Tabel 16-11: Begingebourtenissen met mogelijke radiologische gevolgen - Schildklierdosis .....	336
Tabel 18-1: Belangrijkste variabelen voor de Reactorveiligheidslimieten per bedrijfstoestand....	348
Tabel 18-2: Belangrijkste variabelen voor de veiligheidslimieten van de bestralingsfaciliteiten per bedrijfstoestand.....	348
Tabel 21-1: Maximale lichtinstraling.....	370
Tabel 21-2: Overzicht opslaglocaties gevaarlijke stoffen per gebouw. ....	374

## Lijst met afkortingen

Afkorting	Omschrijving
AAC	Alternatieve wisselstroombron
AC	Wisselstroom
ACD	Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van algemeen coördinerend deskundige
ANVS	Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming
ASCS	Alternative Secondary Cooling System
ATWS	Anticipated Transient Without Scram
Bbs	Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming
Bkse	Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen
CD	Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige
COVRA	Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval
CRGB	Control Rod Guide Box
ECC	Emergency Control Centre
EHC	Energy & Health Campus
FRPS	First Reactor Protection System
HEPA	High-efficiency particulate absorbing (filter)
HFR	Hoge Flux Reactor
HVAC	Heating Ventilation and Air Conditioning System
HWCPs	Heavy Water Cooling and Purification System
IAEA	International Atomic Energy Agency
I&C	Instrumentation and Control
ICMS	Irradiation Control and Monitoring System
IMS	Geïntegreerd managementsysteem (Integrated Management System)
IPS	Irradiation Protection System
Kew	Kernenergiewet
KPI	Key Performance Indicators
LCO	Limiting Conditions for Operation
LOCA	Loss Of Coolant Accident
LPOCS	Long-Term Pools Cooling System
MCR	Main Control Room
M&O	Management en Organisatie
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NIS	Neutronic Instrumentation System
NPS	Normal Power Supply
NRG	Nuclear Research and consultancy Group
OPS	Off Plot Scope
ORI	Other Radioisotopes
PAM	Post Accident Monitoring System
PCS	Primary Cooling System

Afkorting	Omschrijving
AAC	Alternatieve wisselstroombron
AC	Wisselstroom
ACD	Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van algemeen coördinerend deskundige
PGA	Peak Ground Acceleration
PIE	Postulated Initiating Event (Begingebuurtenis)
POCS	Pools Cooling System
PSA	Probabilistic Safety Analysis
RCMS	Reactor Control Monitoring System
RMS	Radiation Monitoring System
SBE	Stralingsbeschermingseenheid
SC	Veiligheidsklasse (Safety Class)
SCR	Supplementary Control Room
SCS	Secondary Cooling System
SL	Seismisch niveau
SPS	Standby Power Supply System
SRPS	Second Reactor Protection System
TMS	Toezichthoudend medewerker stralingsbescherming
UPS	Un-interruptible Power Supply
VOBK	Handreiking voor een veilig ontwerp en het veilig bedienen van kernreactoren
VRS	Ventilation Reconfiguration System
VTS	Veiligheidstechnische Specificaties
WPS	Water Purification System

# 1

Introductie  
en algemene  
beschrijving  
van de reactor



## 1.1 Algemene inleiding

1. De PALLAS-reactor is een nieuw te bouwen reactor in Nederland, bedoeld voor de productie van medische en industriële radio-isotopen en voor medisch en nucleair technologisch onderzoek. Als toekomstige vergunninghouder van de PALLAS-reactor zorgt de Stichting Voorbereiding Pallas-reactor (PALLAS) ervoor dat de bescherming van mens en milieu tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling en tegen beroepsmatige of industriële risico's te allen tijde is gegarandeerd. De PALLAS reactor zal op de Energy & Health Campus (EHC) in Petten worden gerealiseerd.
2. Voor het oprichten, in werking brengen en houden van de PALLAS-reactor is een artikel 15 onder b Kernenergiewet (Kew) vergunning nodig. Hiervoor worden twee afzonderlijke Kew-vergunningstrajecten doorlopen. De eerste is gericht op het oprichten van de PALLAS-reactor, de tweede op het in werking brengen (nucleaire inbedrijfsstelling) en houden van de reactor. In dit veiligheidsrapport wordt gesproken over respectievelijk de oprichtingsvergunning dan wel de operationele vergunning.
3. De oprichtingsvergunning wordt aangevraagd op grond van het basisontwerp van de reactor. Hierbij is er voldoende informatie beschikbaar om aan te tonen dat de reactor voldoet aan de laatste stand der techniek, dat het ontwerp de nucleaire veiligheid borgt en dat kan worden voldaan aan de wettelijke eisen.
4. De operationele vergunning zal worden aangevraagd op grond van het detailontwerp van de reactor. In het detailontwerp worden de structuren, systemen en componenten waar nodig verder ontworpen, waarbij wordt voldaan aan de randvoorwaarden uit het basisontwerp.
5. Deze versie van het veiligheidsrapport maakt onderdeel uit van de aanvraag voor de oprichtingsvergunning. Het laat, voorafgaand aan de bouw, zien dat het reactorontwerp veilig is, waarbij voldoende technische onderbouwing wordt geleverd om zeker te stellen dat wordt voldaan aan de wettelijke eisen en PALLAS-veiligheidsdoelstellingen. Hierbij ligt de nadruk op de nucleaire veiligheidsaspecten en de stralingsrisico's bij normaal bedrijf en bij potentiële storingen en ongevallen. De potentiële ongevalsscenario's en de daarmee samenhangende gevolgen zijn geanalyseerd.
6. Paragraaf 1.2 van dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van alle hoofdstukken van het rapport. Hierna volgt in paragraaf 1.3 een overzicht van de achtergronden van het PALLAS-project.
7. Paragraaf 1.4 licht toe hoe de veiligheidsaspecten zijn meegenomen als randvoorwaarde voor het ontwerpproces van de PALLAS-reactor en hoe de veiligheid van het ontwerp is geanalyseerd.
8. Paragraaf 1.5 geeft een algemene technische beschrijving van de PALLAS-reactor, waarna in paragraaf 1.6 het PALLAS-reactorontwerp met soortgelijke reactoren vergeleken wordt en de ontwerpkeuzes worden onderbouwd.
9. Ten slotte biedt paragraaf 1.7 inzicht in de betrokken organisaties: PALLAS als opdrachtgever, ICHOS als ontwerper en bouwer van de PALLAS-reactor, en de organisaties die PALLAS inhoudelijk ondersteunen en adviseren, waaronder Tractebel, Nucadvisor, NRG en Arcadis.

## 1.2 Leeswijzer van het veiligheidsrapport

1. Het veiligheidsrapport is ingedeeld in 22 hoofdstukken, die hieronder elk kort beschreven zijn.  
**Hoofdstuk 1: Inleiding en algemene beschrijving van de reactor**
2. Dit hoofdstuk beschrijft het doel en de inhoud van het veiligheidsrapport en geeft een samenvattend overzicht van het PALLAS-project. Verder bevat het een algemene beschrijving van de PALLAS-reactor en een vergelijking met andere multipurpose-reactoren. Ten slotte wordt een toelichting gegeven van PALLAS als opdrachtgever, ICHOS als uitvoerder en Tractebel, NucAdvisor, NRG en Arcadis als ondersteunende partijen van PALLAS.

3. **Hoofdstuk 2: Veiligheidsdoelstellingen en ontwerpeisen**  
Hoofdstuk 2 beschrijft de basis voor het veilige ontwerp van de reactor, te weten de gehanteerde veiligheidsconcepten, ontwerpeisen, de methode voor veiligheids-, seismische- en kwaliteitsklassering en de kwalificatie van componenten.
4. **Hoofdstuk 3: Kenmerken van de locatie van de PALLAS-reactor**  
Hoofdstuk 3 beschrijft de kenmerken van de locatie van de PALLAS-reactor, waaronder de geografie, demografie, meteorologie, hydrologie, geologie, seismologie en de wisselwerking met nabijgelegen installaties en voorzieningen. Deze kenmerken zijn relevant voor het ontwerp, de veiligheidsbeoordeling, de bouw en het bedrijf van de PALLAS-reactor.
5. **Hoofdstuk 4: Gebouwen en structuren**  
Hoofdstuk 4 beschrijft de gebouwen en structuren van de PALLAS-reactor. Deze gebouwen en structuren bieden in belangrijke mate bescherming tegen de kenmerken beschreven in hoofdstuk 3. De kenmerken van de gebouwen die belangrijk zijn voor de nucleaire veiligheid worden genoemd.
6. **Hoofdstuk 5: Reactor**  
Hoofdstuk 5 beschrijft de functionele, technische en operationele kenmerken van de structuren die samen de reactorkern vormen en van de regel- en afschakelsystemen. Verder geeft het een beschrijving van de veiligheidsfuncties, ontwerpbasis en functionele kenmerken van de belangrijkste componenten van de reactorkern.
7. **Hoofdstuk 6: Reactorkoelsysteem en bijbehorende systemen**  
Hoofdstuk 6 beschrijft de koelwatersystemen voor afvoer van de warmte die bij bedrijf vanuit de reactor en de bestralingsinstallaties ontstaat. Het beschrijft de ontwerpbasis en de functionele, technische en operationele kenmerken van de koelsystemen evenals de ondersteunende systemen voor temperatuurregeling, koelwatersamenstelling en -zuivering.
8. **Hoofdstuk 7: Veiligheidsvoorzieningen**  
Hoofdstuk 7 geeft een overzicht van de systemen en hun onderlinge samenwerking waarmee de gevolgen van ongevalscondities worden voorkomen of gemitigeerd. Dit hoofdstuk verwijst naar de andere hoofdstukken waar die systemen in meer detail staan beschreven.
9. **Hoofdstuk 8: Veiligheidsinstrumentatie en regelsystemen**  
Hoofdstuk 8 beschrijft de functionele, technische en operationele kenmerken van de veiligheidsinstrumentatie en regelsystemen. Dit zijn systemen voor het monitoren van de status van de reactor, voor het verschaffen van deze informatie aan operators en voor het automatisch uitvoeren van veiligheidsacties.
10. **Hoofdstuk 9: Elektriciteitsvoorziening**  
Hoofdstuk 9 beschrijft voor elk van de bedrijfstoestanden de functionele, technische en operationele kenmerken van de systemen die de PALLAS-reactor van elektriciteit voorzien. Die systemen bestaan uit de normale netstroomvoorziening, maar ook uit alternatieven zoals dieselgeneratoren en batterijen.
11. **Hoofdstuk 10: Hulpsystemen**  
Hoofdstuk 10 beschrijft de functionele, technische en operationele kenmerken van de diverse hulpsystemen van de PALLAS-reactor. Deze systemen dragen indirect bij aan de veiligheid van de reactor. Het betreft systemen voor de handelingen met splijtstof en brandbeveiligings-, communicatie-, verlichtings- en ventilatiesystemen, maar ook systemen voor perslucht, gedemineraliseerd water en industriële gassen.
12. **Hoofdstuk 11: Gebruik van de PALLAS-reactor**  
Hoofdstuk 11 beschrijft het toekomstige gebruik van de reactor, de bestralingsfaciliteiten en de zowel technisch als organisatorisch getroffen voorzieningen om de veiligheid hiervan te borgen

- Hoofdstuk 12: Radioactief afval**
13. Hoofdstuk 12 beschrijft de radioactieve afvalstoffen die tijdens het bedrijf van de reactor vrijkomen, het afvalmanagementprogramma en de verwerkingssystemen en -processen voor dit afval.
- Hoofdstuk 13: Stralingsbescherming**
14. Hoofdstuk 13 beschrijft het stralingsbeschermingsbeleid, -management en -organisatie van PALLAS om een radiologisch veilige werkomgeving te garanderen. Ook wordt er een overzicht gegeven van de bronnen in de reactor en de getroffen ontwerpmaatregelen voor stralingsbescherming en staat er een indicatieve berekening van de doses bij normaal bedrijf voor het PALLAS-personeel en omwonenden.
- Hoofdstuk 14: Management en organisatie**
15. Hoofdstuk 14 beschrijft het geïntegreerde managementsysteem van PALLAS dat voor het management van bouw, inbedrijfstelling en bedrijf van de reactor wordt gebruikt.
- Hoofdstuk 15: Bedrijfsvoering**
16. In hoofdstuk 15 wordt ingegaan op de programma's en organisatiestructuur welke van belang zijn bij het veilig bedrijven van de reactor. De volgende programma's zijn toegelicht: bedrijfsvoering, terugkoppeling van operationele ervaring, assetmanagement, kernbeheer en splijstofmanagement en gegevensbeheer.
- Hoofdstuk 16: Veiligheidsanalyses**
17. Hoofdstuk 16 laat zien dat het ontwerp en de bedrijfsprocessen van de PALLAS-reactor de gepostuleerde gebeurtenissen en interne en externe gevaren zodanig aankunnen dat aan de acceptatiecriteria wordt voldaan. Voor elke gepostuleerde gebeurtenis en intern of extern gevaar worden de benodigde reactorstructuren, -systemen en -componenten voor het beperken van de gevolgen besproken. Het hoofdstuk analyseert ook door menselijk falen veroorzaakte gebeurtenissen.
- Hoofdstuk 17: Inbedrijfstelling**
18. Hoofdstuk 17 beschrijft de wijze waarop systemen en componenten, nadat zij zijn gebouwd en geïnstalleerd, één voor één in bedrijf worden genomen en hoe gecontroleerd wordt dat elk ervan, maar ook het geheel aan systemen, voldoet aan de eisen. De inbedrijfstelling van de PALLAS-reactor bestaat uit meerdere opeenvolgende fases, waarin geleidelijk naar de situatie wordt toegewerkt waarin de reactor op vermogen draait en bedrijfsmatig kan worden bedreven.
- Hoofdstuk 18: Veiligheidstechnische specificaties**
19. Hoofdstuk 18 beschrijft de veiligheidstechnische specificaties. Dit zijn de voorwaarden waaraan moet worden voldaan om het veilig bedrijf van de reactor te garanderen en welke bestaan uit veiligheidslimieten, eisen aan functionele beschikbaarheid en prestaties van systemen, het vereiste toezicht daarop en de eisen ten aanzien van de capaciteit en kennis van personeel. In het hoofdstuk wordt de methodiek voor het vaststellen van de veiligheidstechnische specificaties toegelicht.
- Hoofdstuk 19: Ergonomie**
20. Hoofdstuk 19 beschrijft het ergonomieprogramma en de methode die tijdens het ontwerp van de PALLAS-reactor gevolgd wordt om te zorgen dat ergonomie voldoende in het ontwerp wordt meegenomen.
- Hoofdstuk 20: Noodorganisatie**
21. Hoofdstuk 20 bespreekt de eisen die bij het oprichten van de noodorganisatie en het opstellen van de noodplannen en procedures voorafgaand aan de inbedrijfstelling van de PALLAS-reactor zullen worden gehanteerd.

## Hoofdstuk 21: Milieuaspecten

22. Hoofdstuk 21 beschrijft de milieueffecten van de bouw en de bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor en de mitigerende maatregelen die zullen worden getroffen.

## Hoofdstuk 22: Ontmanteling

23. Ten slotte beschrijft hoofdstuk 22 de kenmerken en voorzieningen van het PALLAS-reactorontwerp ten behoeve van de uiteindelijke ontmanteling van de reactor.
24. In het veiligheidsrapport worden de Engelse benamingen van systemen gebruikt om eventuele verwarring met de Engelstalige ontwerpdocumentatie te voorkomen.

## 1.3 Achtergronden van het PALLAS-project

### 1.3.1 Motivatie voor de PALLAS-reactor

#### 1.3.1.1 Radio-isotopenproductie en nucleair onderzoek

1. Elk jaar zijn er wereldwijd ongeveer 48 miljoen mensen voor hun gezondheid afhankelijk van medische radio-isotopen. Dat aantal zal naar verwachting alleen nog maar groter worden, simpelweg omdat de wereldbevolking toeneemt en we steeds ouder worden, en door de snelle ontwikkeling van nieuwe, effectievere therapieën. De vraag uit ziekenhuizen zal wereldwijd toenemen, wat nog sterker geldt voor ontwikkelingslanden, waar de kwaliteit van de zorg steeds beter wordt.
2. In de wereld leveren slechts enkele reactoren radio-isotopen voor gebruik in diagnostische en therapeutisch nucleaire geneesmiddelen, zie Tabel 1-3. Op enkele uitzonderingen na, zoals OPAL (Australië) en FRM-II (Duitsland), zullen veel van die reactoren in de komende 20 jaar worden stilgelegd, omdat zij aan het einde van hun economische levensduur zijn.
3. De gezamenlijke capaciteit van deze reactoren is onvoldoende om in de meeste scenario's aan de vraag naar medische radio-isotopen te kunnen voldoen. Tegen 2030-2035 zal van de nu leverende reactoren, de gezamenlijke molybdeen-99 productiecapaciteit met ongeveer de helft zijn afgenomen. Voor de therapeutische geneesmiddelen is de kloof nog groter. Zo wordt voor lutetium-177 in 2030 een vraagtoename met een factor 10 tot 60 verwacht, terwijl door prioritering en optimalisatie de bestaande reactorcapaciteit nog maximaal een factor 4 kan toenemen.
4. Wereldwijd ondergaan per dag meer dan 30.000 patiënten onderzoek of behandeling met medische radio-isotopen die in de Hoge Flux Reactor (HFR) in Petten geproduceerd zijn. De HFR nadert echter het einde van zijn economische levensduur. Om de voorzieningszekerheid van medische radio-isotopen te waarborgen, is besloten de PALLAS-reactor te bouwen.
5. Als vervanger van de HFR zal de PALLAS-reactor naast voldoende productiecapaciteit voor medische radio-isotopen ook de capaciteit voor productie van industriële radio-isotopen en nucleair technologisch onderzoek vervangen. De PALLAS-reactor wordt zo gebouwd dat daarbij aan alle bouw-, gezondheids-, milieu- en veiligheidseisen wordt voldaan.

#### 1.3.1.2 Locatiekeuze

1. Om een betrouwbare levering van een breed scala aan radio-isotopen op de lange termijn te garanderen, heeft de Nederlandse regering in 2012 besloten de komst van de PALLAS-reactor te steunen. Daarmee kan Nederland zijn positie als 's werelds grootste producent van medische radio-isotopen behouden en mogelijk uitbreiden. Het Rijk en de provincie Noord-Holland hebben voor de Energy & Health Campus (voorheen Onderzoekslocatie Petten) in Petten (gemeente Schagen) gekozen als de locatie van de PALLAS-reactor, omdat op die locatie zowel de kennis als een complete infrastructuur voor de productie en verwerking van medische radio-isotopen



- beschikbaar is. De huidige infrastructuur op de Energy & Health Campus vertegenwoordigt een grote economische waarde en biedt werk aan honderden gespecialiseerde professionals.
2. De nieuw te bouwen reactor sluit naadloos aan bij de bestaande faciliteiten voor de productie van medische en industriële radio-isotopen en het uitvoeren van nucleair technologisch onderzoek op de Energy & Health Campus (Hot Cell Laboratory, Molybdenum Production Facility, het Jaap Goedkoop Laboratory, de Decontamination & Waste Treatment installaties, de Waste Storage Facility en ketenpartner Curium).
  3. In de toekomst worden aan dit rijtje het Nuclear Health Centre en het FIELD-LAB toegevoegd. Het FIELD-LAB focust vooral op onderzoek en ontwikkeling van medische radio-isotopen en heeft de mogelijkheden om kleine batches te produceren. Het Nuclear Health Centre zal vooral een productiefaciliteit zijn, gericht op grootschalige productie van medische radio-isotopen.
  4. Het Plan-milieu-effectrapport, dat in het kader van het bestemmingsplan is opgesteld, laat zien dat de milieu-effecten van het plan overwegend neutraal zijn, zodat deze niet in de weg staan om de PALLAS-reactor positief te bestemmen in het bestemmingsplan.
  5. Aan de oostzijde van de Energy & Health Campus bevinden zich de gebouwen voor de radionuclidenproductie en het uitvoeren van nucleair technologisch onderzoek. Van de beschikbare terreinen biedt alleen de voorgestelde PALLAS-locatie voldoende oppervlakte (ongeveer 1,7 ha) om de reactor te kunnen realiseren.

## 1.3.2 Historische context

### 1.3.2.1 Hoge Flux Reactor (HFR)

1. In 1957 is gestart met de bouw van de Hoge Flux Reactor (HFR) in Petten. Eind 1961 was de reactor bedrijfsklaar. Bij de officiële opening van de HFR werd het eigendom van de reactor toegekend aan de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie (Euratom). De bedrijfsvoering van de HFR werd aan het Reactor Centrum Nederland (RCN) en later de Nuclear Research and consultancy Group (NRG) toevertrouwd.
2. Sinds 1961 is de HFR uitgegroeid tot 's werelds grootste leverancier van medische radio-isotopen, die wereldwijd in ziekenhuizen worden gebruikt voor onderzoek naar en behandeling van met name kanker en hart- en vaatziekten.

### 1.3.2.2 PALLAS-reactor

1. Omdat de HFR het einde van zijn economische levensduur nadert, startte NRG begin 2004 het initiatief om te komen tot de bouw van een nieuwe reactor. Het PALLAS-projectteam startte in 2009 als onderdeel van NRG.
2. Eind 2013 heeft de Nederlandse regering een onafhankelijke entiteit voor dit project opgericht, de Stichting Voorbereiding Pallas-reactor. Voor de voorbereidende fase verstrekke het Rijk (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en de provincie Noord-Holland) een lening, Vanaf 2019 heeft het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport steun toegezegd. Met de leningen van het Rijk heeft de Stichting een veilig, efficiënt en duurzaam ontwerp ontwikkeld, een solide businesscase opgesteld en al het voorbereidende werk gedaan voor het aanvragen van de nucleaire- en conventionele vergunningen die nodig zijn voor de bouw van een nucleaire productiefaciliteit.

## 1.3.3 Toepassingen van de PALLAS-reactor

1. De PALLAS-reactor is bedoeld voor de productie van medische en industriële radio-isotopen en voor medisch en nucleair technologisch onderzoek. Nederland heeft een unieke, internationaal erkende positie als 's werelds grootste leverancier van diagnostische en therapeutische radio-isotopen. Het heeft de gehele leveringsketen binnen zijn grenzen, van producent van targetmateriaal, universitaire reactor voor onderzoek, faciliteiten voor afvalmanagement, diverse verwerkers en farmaceutische bedrijven tot de vele universitaire medische centra. De

Nederlandse nucleaire bedrijven kennen een lange traditie van samenwerking in de leveringsketen en zijn gerenommeerd voor hun bijdragen aan internationale doorbraken op het gebied van nieuwe therapieën en diagnostiek. De komende decennia zal de PALLAS-reactor de spil vormen van de nationale en internationale infrastructuur voor de radio-isotopenproductie.

2. De PALLAS-reactor, het Nuclear Health Centre, het FIELD-LAB en andere faciliteiten op de Energy & Health Campus zijn complementair aan elkaar. Dit heeft als voordeel dat er een geïntegreerde leveringsketen kan worden geboden, waardoor efficiënt wordt omgegaan met materialen, vervalverlies van bestraalde producten, radioactief transport, afval en de nucleaire kennis en ervaring van de verschillende nucleaire bedrijven op de Energy & Health Campus.

### 1.3.3.1 Medische toepassingen

1. De leveringszekerheid van medische radio-isotopen is de belangrijkste drijfveer voor de bouw en het bedrijf van de PALLAS-reactor.
2. Momenteel worden elk jaar ongeveer 48 miljoen nucleair geneeskundige behandelingen uitgevoerd, bij een aantal breed toegepaste medische onderzoeken en behandelingen.
3. De overgrote meerderheid hiervan, ongeveer 40 miljoen per jaar, bestaat uit SPECT-scans bij onderzoeken voor hartaandoeningen en tumoren, voornamelijk in de VS en Europa. De daarvoor benodigde doses technetium-99 worden ter plekke aangemaakt middels generatoren met het in een reactor geproduceerd isotoop molybdeen-99.
4. Een klein deel van de toedieningen, ongeveer een half miljoen per jaar, bestaat uit therapeutische interventies voor de behandeling van kanker of andere levensbedreigende ziekten. Veelal betreft dat al decennia bestaande therapieën, zoals radiojodiumtherapie (behandeling van schildklierziekten met jodium-131), brachytherapie (radioactieve zaadjes op basis van jodium-125 of radioactieve buisjes op basis van iridium-192 die in prostaat- of borsttumoren worden geplaatst) en radio-embolisatie (injectie van yttrium-90 microbolletjes in levertumoren). Recent zijn ook tumorgerichte therapieën geïntroduceerd, bekend als Peptide Receptor Radionuclide Therapy (PRRT). Daarbij worden injecties gebruikt met tumorzoekende moleculen, gelabeld met radio-isotopen als radium-223 of lutetium-177, om tumoren te vernietigen of om pijn te bestrijden. Die geneesmiddelen zijn zeer effectief, kennen weinig bijwerkingen en er kunnen daarmee zelfs tumormetastasen behandeld worden.
5. Naast de behandelingen met radio-isotopen geproduceerd in een reactor vinden er ook PET-scans plaats waarbij gebruik wordt gemaakt van cyclotron-geproduceerde radio-isotopen als fluor-18 of gallium-68. Deze radio-isotopen kunnen niet met een reactor geproduceerd worden.
6. De vraag naar medische radio-isotopen neemt snel toe, in het bijzonder voor therapeutisch gebruik. In 2015 werden wereldwijd 16 miljoen nieuwe kankerpatiënten vastgesteld, in 2035 zal het jaarlijks aantal tot 26 miljoen toegenomen zijn. Tegelijkertijd zullen steeds meer patiënten door een toenemende welvaart toegang krijgen tot nucleaire geneeskunde, vooral in China en andere Aziatische landen.

#### Diagnostische radio-isotopen (technetium-99 voor SPECT-scans)

7. Het aantal diagnostische onderzoeken zal in 2035 tot ongeveer 60-70 miljoen toenemen, nog versterkt door een jaarlijkse groei van het aantal geïnstalleerde SPECT-camera's met 3%. Rekening houdend met efficiëntieverbeteringen en lagere benodigde patiëntdoses, wordt een vraaggroei naar molybdeen-99 met ca. 3-5% per jaar verwacht.

#### Therapeutische radio-isotopen

8. De vraag naar therapeutische behandelingen zal naar verwachting sneller groeien, tot 2 of zelfs 6 miljoen behandelingen per jaar, afhankelijk van het beschikbaar komen van zeer effectieve nieuwe PRRT-geneesmiddelen voor prostaat-, alvleesklier-, nier- en andere soorten kanker. Momenteel lopen er (pre)klinische studies naar in totaal minstens zestig geneesmiddelen, waarvan er de komende vijf jaar zo'n vijftien op de markt verwacht worden. De meeste daarvan

zijn gebaseerd op lutetium-177, dat het belangrijkste werkpaard in het therapeutische segment zal worden.

9. Als vervanger van de HFR zal de PALLAS-reactor dat aandeel in de wereldwijde productie overnemen. Om aan de groeiende vraag te kunnen voldoen zal de PALLAS-reactor een hoge beschikbaarheid (ten minste 300 dagen op vol vermogen per jaar) en hoge productiecapaciteit hebben. De belangrijkste radio-isotopen die bij de PALLAS-reactor geproduceerd zullen worden, staan in Tabel 1-1.

**Tabel 1-1: Belangrijkste medische radio-isotopen die bij PALLAS-reactor zullen worden geproduceerd**

Naam	Toepassing
Molybdeen-99	Diagnose (SPECT-scans)
Lutetium-177	Therapie (verschillende soorten kanker)
Yttrium-90	Therapie (radio-embolisatie)
Jodium-131	Diagnose / therapie (schildklier, andere)
Holmium-166	Diagnose / therapie (radio-embolisatie)
Iridium-192	Brachytherapie
Overig – aan te passen aan de toekomstige vraag	Diverse soorten kanker en andere ziekten

### 1.3.3.2 Industriële toepassingen

1. De PALLAS-reactor produceert naast medische radio-isotopen ook radio-isotopen voor een scala aan industriële toepassingen:
  - De belangrijkste toepassing is de productie van radioactieve bronnen (zoals Iridium-192) voor industriële radiografie en tomografie, onder meer voor inspectie van lassen en analyse van processtromen.
  - Andere mogelijke toepassingen voor de reactor zijn de productie van diverse radio-isotopen voor meet- en regelapparatuur, bestraling om materiaalveranderingen te verkrijgen en landbouw- en milieutoepassingen, wat nu een nichemarkt is. Mocht daar in de toekomst behoefte aan zijn, dan maakt de flexibele kernconfiguratie de PALLAS-reactor zeer geschikt om daaraan tegemoet te komen.

### 1.3.3.3 Nucleair technologische toepassingen

1. Kernenergie levert wereldwijd meer dan 30% van de totale hoeveelheid koolstofarme energie. De PALLAS-reactor biedt een platform voor bestralingstests om de veiligheid van technologieën op het gebied van kernenergie en nucleaire geneeskunde te verbeteren en te ontwikkelen. De bestralingstests zijn te onderscheiden in twee hoofdtypen:
  - tests voor kwalificatie van splijtstoffen met verbeterde veiligheid en prestaties voor de huidige generatie kerncentrales;
  - bestraling van splijtstoffen en materialen ten behoeve van de ontwikkeling van de nieuwe generatie reactoren, waaronder kleine modulaire reactoren.
2. Voor de medische sector zal de PALLAS-reactor gebruikt worden voor bestralingstests ter ontwikkeling van rendabele productieroutes voor nieuwe medische radio-isotopen.
3. Verder zal de PALLAS-reactor gebruikt worden voor verbetering van de huidige productieroutes van radio-isotopen. Deze kunnen robuuster en efficiënter worden gemaakt, bijvoorbeeld door bestraling van vloeibaar targetmateriaal in een gesloten loop waaraan continu generatormateriaal onttrokken wordt.

## 1.4 Veiligheid van de PALLAS-reactor

### 1.4.1 Naleving van de voorschriften

1. Als toekomstige vergunninghouder in het kader van de Kernenergiewet is PALLAS primair verantwoordelijk voor de veiligheid van de reactor, waartoe naleving van de vigerende regelgeving de grondslag vormt.
2. Naast de vigerende regelgeving heeft PALLAS, op basis van bedrijfservaring en best practices, eisen op technisch en managementvlak ontwikkeld om een veilig ontwerp en de verwezenlijking van de PALLAS-veiligheidsdoelstelling 'beschermen van het publiek, de medewerkers en de omgeving tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling als gevolg van de bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor' te waarborgen.
3. De technische ontwerpisen en hun motieven zijn de volgende:
  - nucleaire veiligheid, nodig voor het belangrijkste doel, zekerstellen dat mens en milieu altijd tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling beschermd zijn;
  - productie, met nadruk op betrouwbaarheid en continuïteit van reactorbedrijf en productiestromen;
  - beproefd ontwerp met gebruik van systemen en componenten die al in andere installaties aantoonbaar succesvol in gebruik zijn. Dit heeft als voordeel dat er kennis is over de technologie waardoor vergunnings- en bedrijfsrisico's minimaal zijn;
  - flexibel ontwerp, dat verwijst naar het multifunctionele gebruik van de PALLAS-reactor waarbij de capaciteit gedurende de gehele levensduur kan worden aangepast aan de marktbehoefte;
  - aanpasbaar ontwerp, waarmee de PALLAS-reactor gedurende de gehele levensduur kan inspelen op een veranderende eisen vanuit de omgeving;
  - simpel ontwerp, wat zich vertaalt in een beperkt aantal reactorcomponenten en -systemen, in de lay-out van de installatie, in het systeemontwerp en in de bediening, om bedrijfsrisico's te minimaliseren.

#### 1.4.1.1 Vigerende wet- en regelgeving

1. Het ontwerp van de PALLAS-reactor is in eerste instantie gebaseerd op de Europese en Nederlandse wet- en regelgeving. Het wettelijk kader in Nederland met betrekking tot de PALLAS-reactor kent de volgende hiërarchische structuur:
  - wetten;
  - regeringsbesluiten;
  - ministeriële regelingen;
  - wettelijk vereiste vergunningen.
2. Verder is het ontwerp van de PALLAS-reactor gebaseerd op de ANVS Handreiking VOBK (Handreiking voor een Veilig Ontwerp en het veilig Bedrijven van Kernreactoren).

#### 1.4.1.2 Vergunningen

1. Voor de oprichting en de inbedrijfstelling van de PALLAS-reactor zijn vergunningen nodig volgens diverse wetten, bijvoorbeeld de Kernenergiewet, maar ook de Wet algemene bepalingen Omgevingsrecht, Waterwet en Wet natuurbescherming.

#### 1.4.1.3 Waarborging

1. Het PALLAS geïntegreerde managementsysteem (IMS, zie hoofdstuk 14) kent twee processen om de naleving van voorschriften te waarborgen.
2. Het Compliance Management Proces borgt dat de van toepassing zijnde wet- en regelgeving en normen worden geïdentificeerd, vastgelegd en bijgehouden. Daarnaast wordt de naleving van de voorschriften bijgehouden.

3. Het configuratie-managementproces borgt dat de actuele status van de structuren, systemen en componenten van de reactor te allen tijde consistent blijft met de statusdata in het configuratie-managementsysteem. Hiervoor worden eerst de eisen en ontwerpbasis vastgelegd, waarna tijdens en na de bouw hier de fysieke status aan wordt toegevoegd. Tijdens de bedrijfsvoering zorgt dit proces ervoor dat de actuele fysieke status van de structuren, systemen en componenten in lijn blijft met de eisen en de ontwerpbasis.

#### 1.4.2 Impact van de PALLAS-reactor

1. De impact van de PALLAS-reactor op de medewerkers, omwonenden en het milieu zijn uitgebreid geanalyseerd voor de voorziene scenario's in zowel normaal bedrijf als ongevalscondities.
2. Hoofdstuk 13 van dit veiligheidsrapport geeft een dosisschatting voor de medewerkers en omwonenden van de reactor tijdens normaal bedrijf. Daaruit blijkt dat de doses binnen de jaarlijkse dosislimieten blijven, zoals vastgelegd in de Kernenergiewet en bijbehorende besluiten.
3. Hoofdstuk 16 van dit veiligheidsrapport beschrijft de analyses van de ongevallen van de PALLAS-reactor die uit gepostuleerde gebeurtenissen kunnen voortkomen. Hierbij is gefocust op de manier waarop de veiligheidssystemen ingrijpen en de gevolgen voorkomen dan wel beperken. Speciale aandacht is er voor die gebeurtenissen die tot beschadiging van splijtstof in de kern of bestralingstargets zouden kunnen leiden. Uit de analyses blijkt dat het risico van het vrijkomen van radioactief materiaal uit splijtstof of bestralingstargets vanuit radiologisch oogpunt zeer laag is en beneden de gestelde grenzen van de Nederlandse regelgeving ligt.
4. Ook zijn de gevolgen voor omwonenden van de potentiële ongevalscondities van de PALLAS-reactor geanalyseerd. Hoofdstuk 16 van dit veiligheidsrapport geeft dosisschattingen voor een ontwerp ongeval en risicoschattingen voor het afgeleide brontermspectrum. Zowel het ontwerp ongeval als het complete brontermspectrum voldoen ruimschoots aan de daarvoor geldende wettelijke limieten.
5. Ook is de verwachte impact van het PALLAS-bedrijf op het milieu onderzocht. Waar nodig zijn voorzieningen aangebracht en maatregelen getroffen om ervoor te zorgen dat aan de voorschriften voor bescherming van het milieu wordt voldaan.

### 1.5 Beschrijving van de PALLAS-reactor

1. Deze paragraaf geeft een algemene beschrijving van de PALLAS-reactor en locatie waar deze zal zijn gelegen. Van de reactor worden de belangrijkste kenmerken gegeven en de belangrijkste systemen voor de veiligheid benoemd. Nadere details zijn in de volgende hoofdstukken van dit veiligheidsrapport te vinden.

#### 1.5.1 De PALLAS-locatie

1. Het PALLAS-terrein ligt op de Energy & Health Campus, aan de Westerduinweg nr. 3 in de gemeente Schagen, in de provincie Noord-Holland in het noordwesten van Nederland.

Figuur 1-1: Luchtfoto naar het noorden van de Energy & Health Campus en omgeving



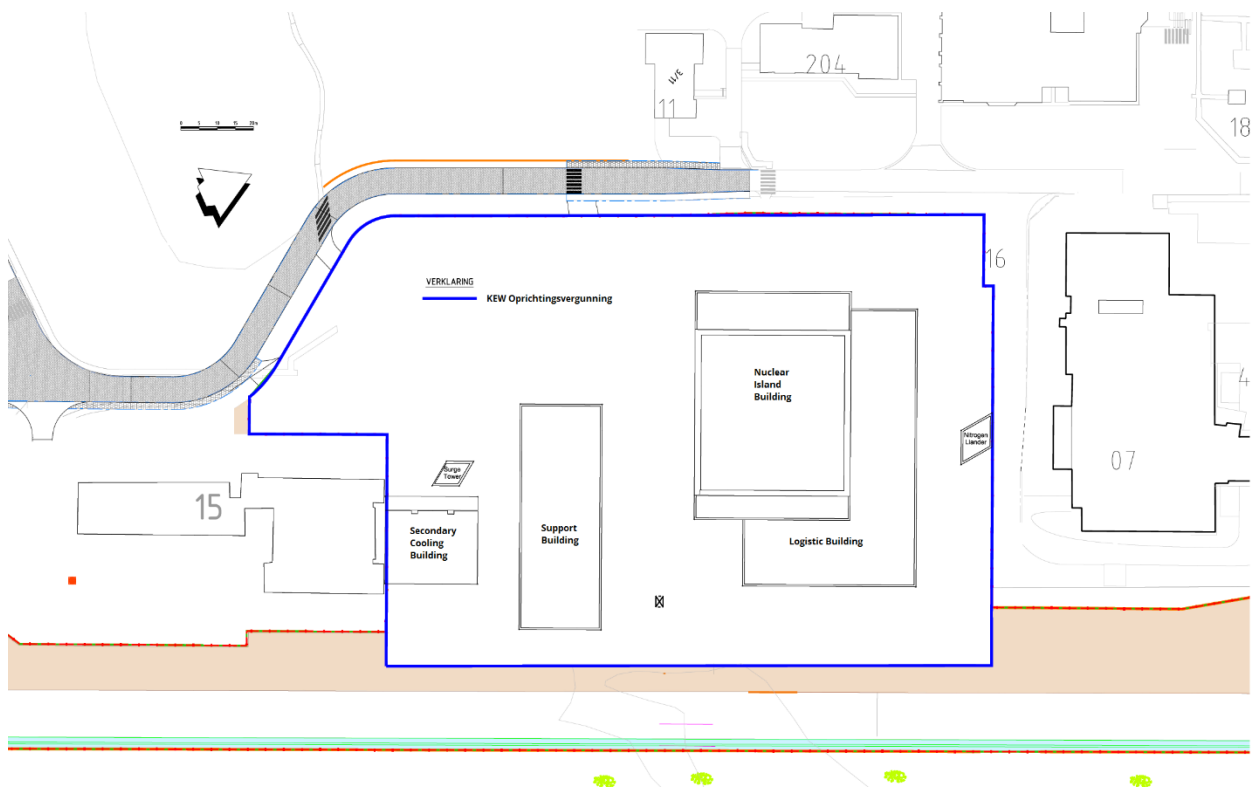
2. Het terrein ligt tussen de dorpen Petten (1.900 inwoners, 2,2 km ZZW) en Callantsoog (1.950 inwoners, 6 km NNO); de gemeente Schagen waartoe beide dorpen behoren, telt in totaal ca. 46.500 inwoners. Nabije grotere steden zijn Alkmaar (110.000 inwoners, 18 km ZZO), Heerhugowaard (57.500 inwoners, 18 km ZO) en Den Helder (56.300 inwoners, 20 km NNO). Amsterdam ligt op zo'n 50 km in rechte lijn in ZZO richting.
3. De Energy & Health Campus strekt zich uit over een strook langs de Noordzeekust, daarvan gescheiden door een brede duinenrij. Op de campus hebben de volgende organisaties een aantal laboratoria en faciliteiten:
  - Stichting NRG, de Nederlandse nucleaire dienstverlener en exploitant van de HFR;
  - ECN part of TNO, een R&D-instituut van TNO;
  - Curium, een producent van radio-isotopen en radiofarmaca;
  - JRC-IET, een R&D-instituut van het EU JRC;
  - In 2022 zullen hier ook het FIELD-LAB en het Nuclear Health Centre zijn gevestigd.
4. De PALLAS-reactor zal op minder dan een kilometer ten oosten van de kustlijn van de Noordzee worden gebouwd. De reactor komt achter de met helmgras begroeide Zijperzeedijk (oorspronkelijk dijklichaam dat in de loop der eeuwen het karakter heeft verworven van een duin) te liggen op ongeveer 1,8 km ten westen van het Noordhollandsch Kanaal. Het omliggende gebied wordt gekenmerkt door agrarische landbouw. Het Noordhollandsch Kanaal verbindt Amsterdam met Den Helder.
5. Figuur 1-1 geeft een impressie van de locatie van het PALLAS-terrein op de Energy & Health Campus. Figuur 1-2 toont de locatie van PALLAS-reactor, ongeveer 240 m ten zuidoosten van de HFR-reactor, direct ten zuiden van het Hot Cell Laboratories van NRG en tegenover de productiefaciliteit van Curium.
6. Figuur 1-3 geeft de inrichtingsgrens van de PALLAS-reactor voor de oprichtingsvergunning weer.

Figuur 1-2: Overzicht van de PALLAS gebouwen ten opzichte van de omliggende gebouwen



7. De zone vertoont geen vulkanische activiteit en kent een lage seismiteit. Bodem-mechanisch onderzoek heeft aangetoond dat de bodem ongevoelig is voor inzakking en liquefactie (toestand van de grond, waarbij deze zich als zijnde een vloeistof gaat gedragen) en beperkt gevoelig voor verzakking. Ondanks bescherming door de primaire kustwering en bestaande duinenrijen is overstroming van het gebied (bijvoorbeeld door een stormvloed) niet geheel uit te sluiten. En daarom is hier rekening mee gehouden bij het ontwerp van de reactor.
8. De nabijgelegen autoweg N9 is de belangrijkste verbinding tussen de Energy & Health Campus en Alkmaar.
9. Meer informatie over de kenmerken van de PALLAS-terrein en het omliggende gebied is te vinden in hoofdstuk 3.

Figuur 1-3: Inrichtingsgrens van de PALLAS-reactor voor de oprichtingsvergunning

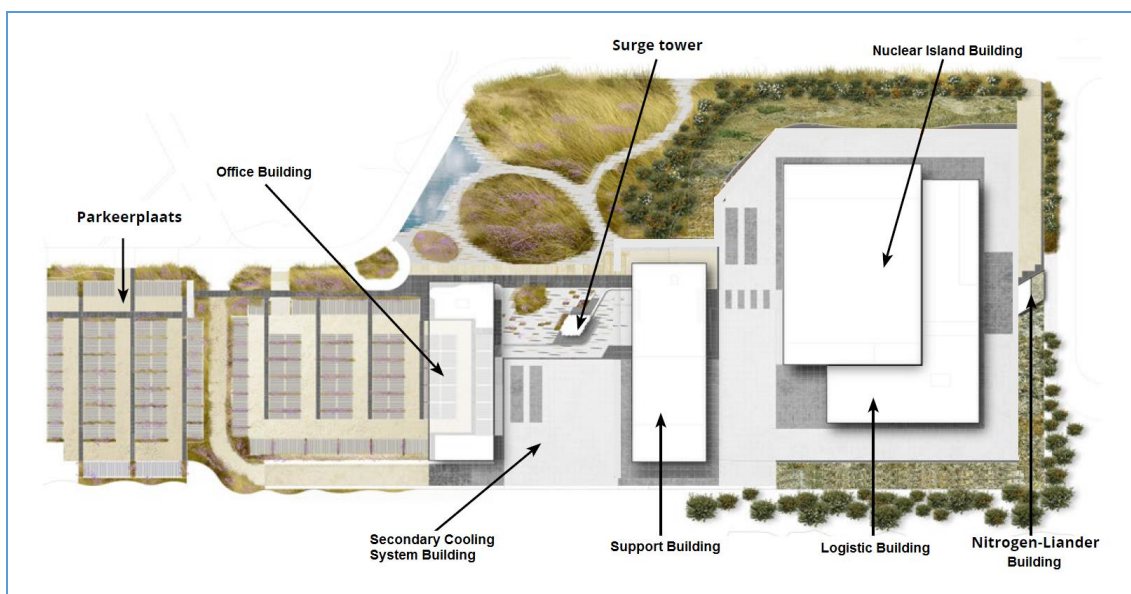


## 1.5.2 PALLAS-gebouwen en constructies

1. Op het PALLAS-terrein staan de volgende gebouwen (zie Figuur 1-4):

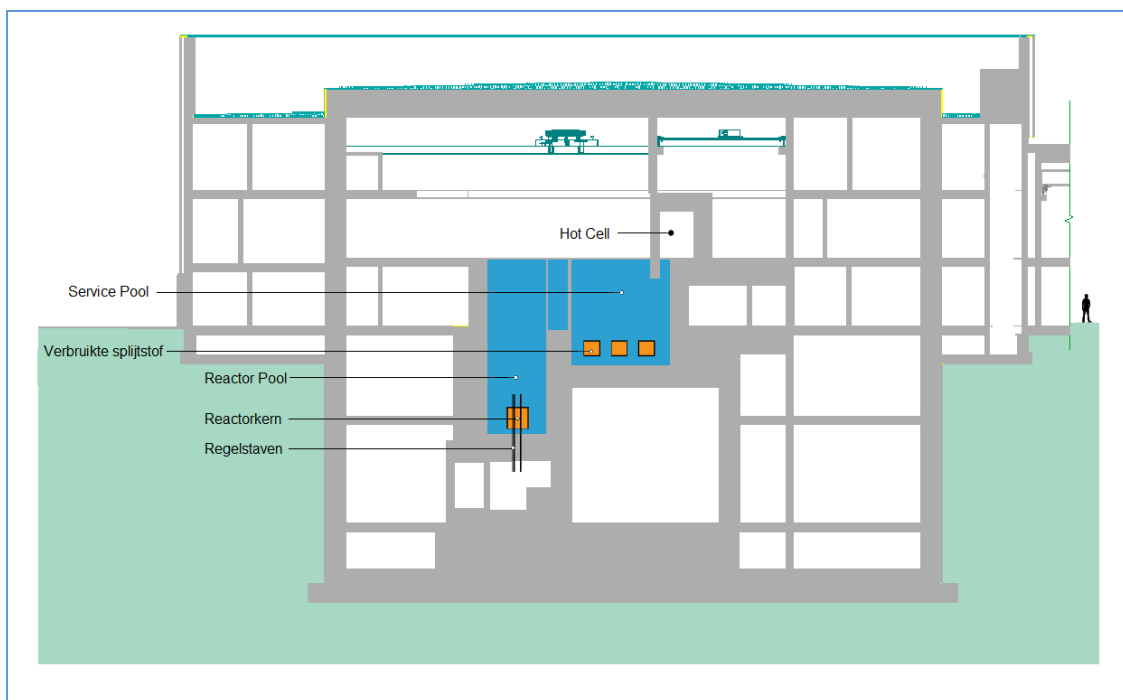
- Nuclear Island Building;
- Logistic Building;
- Support Building;
- Office Building;
- Secondary Cooling System Building
- Surge tower;
- Nitrogen Liander Building.

Figuur 1-4: PALLAS-terrein en -gebouwen





Figuur 1-5: Schematische dwarsdoorsnede van het Nuclear Island Building



2. Alle nucleaire systemen bevinden zich in de Reactor Building van het Nuclear Island Building. Dit is opgetrokken uit gewapend beton, ontworpen om bestand te zijn tegen een vliegtuigongeval. Het gebouw is gefundeerd op diep in de grond geheide palen. Het dak van het Nuclear Island Building bevindt zich op 25,5 m boven NAP.
3. De ingang van de Reactor Building bevindt zich ruim boven het ontwerp-overstromingsniveau.
4. Waar nodig zijn systemen en componenten omgeven door dikke betonnen constructies om de PALLAS-medewerkers tegen straling te beschermen. Zo herbergt het reactorblok, uitgevoerd in zwaar beton, de Reactor Pool met de reactorkern, de Service Pool en de vervaltanks.
5. De Reactor Building beschermt de reactor niet alleen tegen gebeurtenissen die zich buiten de PALLAS-reactor voordoen, maar vormt ook het structurele deel van het Reactor Containment, dat de buitenomgeving beschermd tegen de reactor door deze te isoleren.
6. De regelingen voor toegang tot het PALLAS-terrein en het verkeer binnen de PALLAS-gebouwen zijn in overeenstemming met de Nederlandse nucleaire veiligheids- en beveiligingseisen.
7. De gebouwen en veiligheidsconstructies zijn bestand tegen ontwerpbasisbelastingen, zoals extreme meteorologische gebeurtenissen, extreme hydrologische omstandigheden en extreme aardbeving.
8. Meer informatie over de PALLAS-gebouwen en -constructies is te vinden in hoofdstuk 4.

### 1.5.3 PALLAS-reactor

1. Het ontwerpproces van de reactor is steeds gestuurd door zowel de Nederlandse regelgeving als de PALLAS-veiligheidsdoelstelling, dat mens en milieu te allen tijde tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling, beroepsmatige en industriële risico's, beschermd moeten zijn.
2. Het nominale vermogen van de PALLAS-reactor bedraagt 25 MW<sub>th</sub>, waarmee een hoge neutronenflux voor bestralingen en onderzoek wordt gegenereerd. Het is een open-poolreactor, waarbij de kern zich in een open bassin gevuld met gedemineraliseerd licht water bevindt, dat zowel voor koeling als afscherming tegen straling uit de kern dient.
3. De reactorkern bestaat uit splijtstofelementen die in een raster zijn geplaatst. Splijtingswarmte wordt afgevoerd via koelwater dat in kanalen tussen de splijtstofelementen circuleert. De reactiviteit wordt met twee sets van drie regelstaven geregeld.
4. De compacte kern van de PALLAS-reactor zorgt voor een maximaal beschikbare neutronenflux voor de productie van radio-isotopen en voor uitvoering van bestralingen en onderzoek. Rond de

- reactorkern wordt zwaar water en beryllium gebruikt als neutronenreflector, zowel ter verbetering van de neutroneneconomie als om een zo groot mogelijk volume voor bestralingsposities met een hoge thermische neutronenflux te bieden.
5. De reactorkern bevindt zich onder in de Reactor Pool. Naast de Reactor Pool bevindt zich de Service Pool, die veel ruimte biedt aan productiewerkzaamheden, maar ook voor de opslagrekken waarin de verbruikte splijtstofelementen van ten minste 5 jaar reactorbedrijf kunnen worden opgeslagen. De Reactor Pool en Service Pool zijn via een afsluitbaar kanaal met elkaar verbonden.
  6. Afschakelen van de PALLAS-reactor kan met twee Shutdown systemen:
    - Het First Shutdown System kan de reactor snel afschakelen door alle zes regelstaven tegelijkertijd in de kern te brengen.
    - Het Second Shutdown System laat het zwaar water in het Reflector Vessel afvloeien naar een zich daaronder bevindende opslagtank. Daling van het zwaar waterniveau in het Reflector Vessel verhoogt het neutronenverlies, waardoor de reactor sub-kritisch wordt en wordt afgeschakeld.
  7. De belangrijkste veiligheidsfunctie van de Reactor Pool bestaat uit de benodigde voorraad water om:
    - de reactorkern en de bestralingsfaciliteiten in alle bedrijfstoestanden te koelen;
    - de hiervan afkomstige straling af te schermen;
    - de bij reactorbedrijf vrijkomende radioactieve stoffen vast te houden.
  8. Door de stroming van water door de kern voert het Primary Cooling System de warmte van de reactorkern af, waarna die via warmtewisselaars aan het Secondary Cooling System wordt overgedragen. Het Secondary Cooling System onttrekt via een pijpleiding water aan het nabijgelegen Noordhollandsch Kanaal en loost dat water, nadat het is opgewarmd via de warmtewisselaars, via een andere pijpleiding op de Noordzee.
  9. De waterinhoud van de Reactor Pool en Service Pool is beschikbaar voor langdurige afvoer van de vervalwarmte van de reactorkern, verbruikte splijtstofelementen en bestralingsfaciliteiten.
  10. Het Reactor Containment System zorgt voor isolatie ten opzichte van de buitenomgeving en voorkomt dat bij normaal bedrijf of ongevallen radioactieve stoffen vrijkomen, waarmee voldaan wordt aan de doelstellingen voor stralingsveiligheid.
  11. De reactor wordt gemonitord, bewaakt en beveiligd door de instrumentatie- en regelsystemen (I&C, zie hoofdstuk 8).
  12. Vanuit de Main Control Room kunnen de reactoroperators de installatie veilig en efficiënt bedienen en zo nodig de reactor veilig afschakelen. Mocht de Main Control Room ontoegankelijk of onbruikbaar zijn, dan kan de Supplementary Control Room hiervoor worden gebruikt. Tijdens een noodsituatie kan vanuit de Strategic Room technische ondersteuning worden geboden aan de operators in de Main Control Room.

**Tabel 1-2: Belangrijkste kenmerken van de PALLAS-reactor (indicatieve bedrijfscondities)**

Algemene gegevens	
Type reactor	Open pool
Nominaal kernvermogen	25 MW <sub>th</sub>
Reactor beschikbaarheid (doelwaarde)	300 Full Power Days
Aantal Hot Cells	6
Kern	
Kernconfiguratie	4 x 5 posities
Aantal splijtstofelementen in de evenwichtskern	18, 19 of 20
Aantal regelstaven	6

Reflector	Zwaar water en beryllium (metaal)
Type splijtstof	U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> - Al dispersie
<sup>235</sup> U Verrijking	< 20%
Gemiddelde neutronenflux (n/s/cm <sup>2</sup> )	1,1 X 10 <sup>14</sup>
Beladingschema bestralingsfaciliteiten	Redundante droge beladingsroute (via Hot Cells) en natte beladingsroute (via Service Pool) als diverse methode
Productie	Mo-99, andere isotopen voor industriële en medische doeleinden
Onderzoek	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondersteuning van onderzoek van medische isotopen</li> <li>• Bestraling van splijtstof monsters in capsules</li> <li>• Bestraling van materiaal monsters</li> </ul>
Reservering voor aanpassing	<p>Extra ruimte en infrastructuur voor:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• introductie van één complexe splijtstof bestralingsoplossing in de toekomst (bijvoorbeeld bestraling van splijtstof in steady state, ongevals- of ramp-up condities);</li> <li>• of uitbreiding van productie van medische (zoals Mo-99 etc. ) of industriële isotopen.</li> </ul>
<b>Thermohydraulisch</b>	
Principe van de reactor koeling	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Passieve koeling in geval van uitval van externe stroomvoorziening</li> <li>• Koel-categorie 2 conform ANVS Handreiking VOBK (een Veilig Ontwerp en het veilig Bedrijven van Kernreactoren)</li> </ul>
Richting van de koelwaterstroom door de kern	Naar boven gericht
Inlaattemperatuur	32°C (nominale waarde)
Waterstroom door de kern	2250 m <sup>3</sup> /u

#### 1.5.4 PALLAS-Reactorbedrijf

- In een stabiele toestand bij normaal bedrijf bevindt de PALLAS-reactor zich in één van de vier volgende toestanden:
  - vermogensbedrijf;
  - testbedrijf;
  - afgeschakeld;
  - splijtstofwisseling.
- Vanwege het beoogde, sterk op de productie van radio-isotopen gerichte gebruik, is het de bedoeling dat de reactor meestal in vermogensbedrijf zal verkeren.
- Testbedrijf is nodig voor het uitvoeren van specifieke metingen aan de kern. Die toestand hoort niet tot het normale reactorbedrijf, maar is bedoeld voor de inbedrijfstelling van de reactor en bij grote aanpassingen van de kern.
- De PALLAS-reactor wordt bedreven met een referentiecycclus van 43 dagen op vol vermogen. Na een bedrijfscyclus wordt de reactor voor een splijtstofwissel voor ongeveer 48 uur afgeschakeld. Tijdens een splijtstofwissel wordt een aantal verbruikte splijtstofelementen uit de reactorkern verwijderd en, aan de hand van een goedgekeurde strategie voor kernbeheer, door onbestraalde splijtstofelementen vervangen.

- De PALLAS-reactor wordt vanuit de Main Control Room door reactoroperators bediend en is volgens planning minimaal 300 dagen per jaar in bedrijf op vol vermogen.

## 1.6 Vergelijkbare reactoren

### 1.6.1 Diversiteit in multipurpose reactoren

- Al decennialang zijn wereldwijd in vele landen reactoren in gebruik voor onderzoek en productie van radio-isotopen, de zogenaamde multipurpose reactoren. De eerste multipurpose reactor werd al in 1942 in bedrijf genomen. Sindsdien zijn er meer dan 800 van dergelijke reactoren gebouwd, waarvan er momenteel ruim 200 in bedrijf zijn.
- Totaal hebben deze multipurpose reactoren meer dan 11.000 bedrijfsjaren gedraaid. Hoewel er incidenten zijn gemeld, hebben maar zeer weinig daarvan significante gevolgen gehad.
- Multipurpose reactoren leveren hogere neutronenfluxen voor diverse toepassingen, zoals de productie van radio-isotopen en wetenschappelijk onderzoek. Zij vormen een krachtig instrument voor het bestuderen van materie op kern-, atoom- en molecuul-niveau. De neutronen worden gebruikt door kernfysici, vaste-stoffysici, chemici, biologen en materiaal- en aardwetenschappers. Met geïnstalleerde bundelkanalen kunnen buiten het biologische schild van een multipurpose reactor neutronexperimenten worden uitgevoerd. Daarnaast kunnen monsters in of bij de reactorkernen worden geplaatst voor neutronenbestraling voor de productie van radio-isotopen voor medisch, industrieel of onderzoek, of voor isotopenanalyse van monsters.
- De PALLAS-reactor betreft een open poolreactor, gekoeld en gemodereerd door licht water, multifunctioneel, eenvoudig in gebruik en goed toegankelijk. De reactor is voorzien van een zwaar waterreflector, die de neutronenflux versterkt en een berylliumreflectorzone, die geschikt is voor materiaalonderzoek. Het ontwerp is bewezen en conservatief<sup>1</sup>, met ontwerpparameters binnen het internationaal aanvaarde waardenbereik en binnen de bandbreedte van al in bedrijf zijnde reactoren van een vergelijkbaar type. De PALLAS-reactor introduceert geen innovatieve systemen of unieke, afwijkende kenmerken.

### 1.6.2 Toepassing van bewezen reactorsystemen

- Tabel 1-3 vergelijkt de algemene technische data van de PALLAS-reactor met die van diverse andere multifunctionele reactoren. Tabel 1-4 geeft een overzicht van multipurpose reactoren met een afschakelsysteem overeenkomstig het Secondary Shutdown System van PALLAS, te weten door het legen van de zwaar water gevulde reflectortank.

**Tabel 1-3: Vergelijking van PALLAS met diverse multifunctionele reactoren**

Beschrijving	PALLAS	OPAL	ETRR-2	OSIRIS	HFR	ORPHEE
Algemene gegevens						
Reactorvermogen (MW)	25	20	22	70	45	14
Eigenaar	PALLAS	ANSTO	AEA	CEA	Europese Commissie	CEA
Locatie	Petten, Nederland	Lucas Heights, Australië	Cairo, Egypte	Saclay, Frankrijk	Petten, Nederland	Saclay, Frankrijk

<sup>1</sup> Conservatief wil hierbij zeggen dat van een ongunstige situatie wordt uitgegaan. Dit leidt tot ruime veiligheidsmarges.

Eerste kriticititeit	Gepland 2028	2006	1998	1966	1961	1980
Status (2021)	Ontwerp	In bedrijf	In bedrijf	Uit bedrijf in 2015	In bedrijf	Uit bedrijf in 2019
Reactortype	Open pool	Open pool	Open pool	Open pool	Gesloten drukvat	Gesloten drukvat
Koelmiddel/moderator	H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/D <sub>2</sub> O
Reflector	Zwaar water en Beryllium	Zwaar water	Beryllium	Beryllium	Beryllium	Zwaar water en Beryllium
Algemene reactorgegevens						
Kernconfiguratie	4 x 5	4 x 4	6 x 5	7 x 8	9 x 9	3 x 3
Aantal splijtstofelementen	18, 19 of 20	16	29	31	33	8
Aantal regelstaven	6	5	6	6	6	4
Splijtstofverrijking (% <sup>235</sup> U)	19,75	19,75	19,7	19,5	19,75	93,0
Splijtstoflading (kg <sup>235</sup> U)	9,70	7,76	11,7	11,7	12,0	5,9
Thermische reactorgegevens						
Inlaattemperatuur (°C)	32	37	40	45	45	35
Temperatuurstijging (°C)	9	9	10	15	10	14
Vermogensdichtheid (kW/L)	260	250	140	400	230	250
Vermogen/koelmiddeldebit (MJ/m <sup>3</sup> )	39	38	39,6	61,4	39,5	60,4
Gegevens van de Reactor Pool						
Hoogte van de Reactor Pool (m)	14,0	14,1	12	11	8,7	2
Volume van de Reactor Pool (m <sup>3</sup> )	223	224	190,8	536	151	6,3
Vermogen / Volume Reactor Pool (kW/m <sup>3</sup> )	112	89	115	130	297	2222
Gegevens over bestralingsfaciliteiten						
Bestralingsposities in de kern	Variabel: 0, 1 of 2	Geen	1	5	9	1
Bulkproductie bestralingsposities	29	15	26	33	10	Geen
Bestralingsposities voor grote volumes	1	7	2		Geen	
Hor. bundelkanalen	Geen	5	3		12	9

Tabel 1-4: Reactoren met afschakelsystemen gebaseerd op legen van de reflectortank (gevuld met zwaar water) door middel van de zwaartekracht

Reactor	Vermogen	Type	Locatie
RA-8 (licht water)	1W	Kritieke opstelling	Argentinië
ZEEP	-	Kritieke opstelling	Canada
DIMPLE	-	Kritieke opstelling	UK
CIRUS	40 MW	Multipurpose reactor	India
DIORIT	20 MW	Multipurpose reactor	Zwitserland
OPAL	20 MW	Multipurpose reactor	Australië
RA-10	30 MW	Multipurpose reactor	Argentinië
RMB	30 MW	Multipurpose reactor	Brazilië
NPD	83 MWth	Kerncentrale	Canada
Pickering	8 x 550 MWe	Kerncentrale	Canada
Douglas Pont	693 MWth	Kerncentrale	Canada

2. Bij het ontwerp van de PALLAS-reactor is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bewezen constructies en systemen van andere, vergelijkbare multipurpose reactoren:
  - De basiselementen van het PALLAS-reactorontwerp zijn sinds 2006 in OPAL werkzaam.
  - De koelconfiguratie van de reactorkern is vergelijkbaar met de configuratie die sinds 1966 met succes in de OSIRIS-reactor is gebruikt en sinds 2005 in de OPAL-reactor.
  - De indeling van het First Shutdown System van de reactor is vergelijkbaar met die van de HFR Petten, OSIRIS, OPAL en ETRR-2 reactoren.
  - Er is wereldwijd ruime ervaring met plaatvormige in aluminium gedispergeerde splijtstof, dat met gedemineraliseerd water gekoeld en gemodereerd wordt.
  - De kenmerken van de reactorkern (splijtstofparameters, verrijking, materiaal, warmteflux, vermogensdichtheid, temperatuur, koelvloeistofsnelheid) liggen binnen de bandbreedte van de voor dit type reactor gevalideerde gegevens.
  - Bij het ontwerp van het First Shutdown System, het Second Shutdown System, het Ventilation Reconfiguration System, het Reactor Protection System en het Reactor Control and Monitoring System is gebruik gemaakt van beproefde technologie.
  - De vermogensdichtheid van de PALLAS-reactorkern en de koelcondities bevinden zich binnen de bandbreedte van soortgelijke faciliteiten.
3. Omdat OPAL als referentiefaciliteit voor de PALLAS-reactor is gebruikt, is vooral de vergelijking met die reactor relevant. Omdat de systemen van de PALLAS- en OPAL-reactoren sterk op elkaar lijken, zijn de oplossingen en componenten van het PALLAS-reactorontwerp gebaseerd op een zeer hoog Technical Readiness Level.
4. OPAL is door INVAP voor het Australische ANSTO ontworpen, gebouwd en in 2006 in bedrijf gesteld. Na de bouw heeft ARPANSA, de Australische nucleaire toezichthouder, OPAL een vergunning verleend conform de IAEA Guidelines en Guides voor multipurpose reactoren. ANSTO, eigenaar van OPAL, gebruikt de reactor inmiddels al meer dan 12 jaar voor commerciële productie van medische radio-isotopen, commerciële diensten voor Silicon NTD (bedient 50% van de wereldmarkt), analyses van minerale ertsen en het uitvoeren van materiaalonderzoek middels

neutronenverstrooiing. De OPAL-reactor wordt routinematig rond 300 dagen op vol vermogen per kalenderjaar bedreven.

5. Voor PALLAS heeft INVAP een speciaal samenwerkingsverband met ANSTO gevormd, waarmee de relevante bedrijfservaring van ANSTO met de OPAL-reactor voor het project beschikbaar was. ANSTO nam deel aan PALLAS design review meetings en het PALLAS design team bezocht de OPAL-reactor voor gesprekken met het bedrijfsteam.

#### 1.6.2.1 Reactor Protection System

1. Het Reactor Protection System bestaat uit twee onafhankelijke systemen met verschillende technologieën, waarmee de kans op gezamenlijk falen minimaal is. Het systeem is een upgrade van dat van de OPAL-reactor en heeft een uitstekend trackrecord sinds die reactor in 2006 in bedrijf is gesteld.

#### 1.6.2.2 First Shutdown System

1. De technologie van het First Shutdown System van de PALLAS-reactor heeft dezelfde ontwerpkenmerken als die van andere multipurpose reactoren (OPAL, ETRR-2, HFR, OSIRIS). De ANSTO-feedback over werking en betrouwbaarheid van het vergelijkbare First Shutdown System van OPAL is zeer goed: er zijn sinds de inbedrijfstelling geen afwijkingen of storingen geweest.

#### 1.6.2.3 Second Shutdown System

1. Het Second Shutdown System is gebaseerd op bewezen ontwerp en prestaties. Het Second Shutdown System is gebaseerd op vergelijkbare systemen van de in de Tabel 1-4 vermelde reactoren, waarin de reflectortank (gevuld met zwaar water) geleegd wordt door middel van de zwaartekracht. De ANSTO-feedback over werking en betrouwbaarheid van het vergelijkbare Second Shutdown System van OPAL is zeer goed.

#### 1.6.2.4 De toepassing van zwaar water

1. Wereldwijd is er ruime ervaring met het gebruik van zwaar water als reactorkernreflector en koelmiddel in kernreactoren. In kerncentrales is zwaar water toegepast in alle 36 door AECL (Canada) gebouwde reactoren van CANDU-ontwerp die wereldwijd in bedrijf zijn. Ook is het toegepast in de door Siemens (Duitsland) ontworpen MZFR, Atucha-1 en -2. Zwaar water is ook toegepast in diverse multipurpose reactoren, zoals OPAL (Australië), FRM-2 (Duitsland), ILL (Frankrijk), NRU (Canada), Orphee (Frankrijk) en Dhruva (India).
2. Door neutronvangst in de deuteriumatomen van het zwaar water ontstaat tritium. Lekken uit tritium-houdende zwaar watersystemen vormen de belangrijkste bron van tritium in de lucht in het Reactor Building. De voorzieningen van PALLAS om de blootstelling aan tritium te minimaliseren zijn gebaseerd op de ervaringen bij andere reactoren die zwaar water toepassen:
  - De zwaar watersystemen zijn ontworpen om lekkage tot een minimum te beperken.
  - De zwaar waterruimte is een luchtdichte insluiting rond de zwaar watersystemen.
  - Het ventilatiesysteem van de zwaar waterruimte verwijdert tritium-houdende damp uit de ventilatielucht.
  - De werknemers worden voorzien van geschikte persoonlijke beschermingsmiddelen als zij de zwaar waterruimte moeten binnengaan.

#### 1.6.2.5 Splijtstoftechnologie

1. De PALLAS-reactor maakt gebruik van laag verrijkt uranium in de vorm van uraniumsilicide ( $U_3Si_2$ ), gedispergeerd in zuiver aluminiumpoeder. In de jaren tachtig zijn platen van dit splijtstofmateriaal van diverse internationale fabrikanten uitgebreid getest in het kader van het Reduced Enrichment for Research and Test Reactors (RERTR) programma. Op basis van die experimenten en veiligheidsevaluaties verklaarde de USNRC in 1988 dat deze splijtstofvorm gekwalificeerd is voor gebruik in krachtige multipurpose reactoren.

2. Deze splijtstof heeft goede allround eigenschappen, waaronder een uitstekend gedrag bij bestraling. Ook is het relatief eenvoudig om van dit materiaal platen te fabriceren omdat de uraniumbelading onder de normale commerciële fabricagemethoden voor conventionele walstechnieken blijft. Ondertussen zijn wereldwijd duizenden van dit soort splijtstofplaten en -elementen gefabriceerd en bestraald, waarbij geen grote problemen zijn gemeld.
3. De  $U_3Si_2$ -Al dispersiesplijtstof wordt momenteel in diverse multipurpose reactoren gebruikt, onder andere in de OPAL-reactor in Australië en in de HFR in Nederland. Diverse fabrikanten kunnen gekwalificeerde splijtstofelementen van deze splijtstof leveren.
4. De fundamentele specificaties voor de splijtstofelementen van de PALLAS-reactor zijn identiek aan die van de OPAL-reactor en de splijtstof-bedrijfscondities van de PALLAS-reactor liggen binnen het voor OPAL gekwalificeerde bereik. Gebruik van splijtstofelementen met dezelfde specificaties als die van een bestaande reactor is een groot pluspunt vanuit het oogpunt van veiligheid; het is beproefde technologie wat vertrouwen in betrouwbaarheid en bruikbaarheid biedt.

#### 1.6.2.6 Seismisch ontwerp

1. Met betrekking tot het seismisch ontwerp is de maximale bodemversnelling (Peak ground Acceleration - PGA) op de PALLAS-locatie, waarop de PALLAS-reactor is ontworpen, minder veeleisend dan de PGA's die voor het ontwerp van de OPAL-reactor (Australië) en de ETRR-2 (Egypte) zijn gebruikt. Daarom kan de opgedane ervaring met de voor die projecten ontwikkelde seismische analyse- en kwalificatietechnologie ook bij de PALLAS-reactor worden toegepast.

## 1.7 Opdrachtgever en uitvoerders

### 1.7.1 Opdrachtgever: Stichting Voorbereiding Pallas-reactor

1. Op 16 december 2013 richtten de minister van Economische Zaken en de provincie Noord-Holland de 'Stichting Voorbereiding Pallas-reactor' (PALLAS) op.
2. PALLAS heeft tot doel een veilige en ultramoderne onderzoeks- en productiefaciliteit voor nucleaire geneesmiddelen te bouwen. Die faciliteit wordt 's werelds grootste producent van medische radio-isotopen. Naast ontwerp en bouw van een kernreactor voor productie van radio-isotopen voor medische behandelingen bouwt de Stichting ook een Nuclear Health Centre. Het Nuclear Health Centre opent naar verwachting in 2023 zijn deuren. De productiefaciliteit gaat in opdracht van ziekenhuizen en de farmaceutische sector op grote schaal bestraalde grondstoffen uit een reactor tot medicijnen verwerken. Met deze producten kunnen miljoenen patiënten in ziekenhuizen worden behandeld.
3. De reactor zal de huidige Hoge Flux Reactor op de Energy & Health Campus vervangen, die na nu bijna zestig jaar bedrijf het einde van zijn economische levensduur nadert. De PALLAS-reactor wordt zo ontworpen, gebouwd en bedreven dat die voldoet aan de gezondheids-, milieu- en veiligheidsnormen.
4. De doelstellingen van PALLAS zijn:
  - het (laten) ontwerpen en realiseren van een hoge flux-reactor bestemd voor de productie van medische en industriële radio-isotopen en nucleair technologisch onderzoek in de gemeente Schagen (de PALLAS-reactor);
  - het (laten) exploiteren van de PALLAS-reactor en alles wat daar direct of indirect mee verbonden is.
5. PALLAS' missie is unieke oplossingen te bieden voor nucleaire medicijnen en onderzoek. Deze zal 's werelds grootste producent van medische radio-isotopen voor radiofarmaceutische producten zijn en een spil in medisch nucleair onderzoek.
6. Naast de statutaire doelstellingen en voornemens moet PALLAS er primair voor zorgen dat de bouw en het bedrijf van de PALLAS-reactor geen nadelige gevolgen zullen hebben voor de veiligheid van de medewerkers, de omwonenden en het milieu.



7. Het is niet haalbaar en ook niet realistisch dat PALLAS deze capaciteit volledig binnen de eigen organisatie ontwikkelt. PALLAS besteedt ontwerp- en veiligheidsactiviteiten uit aan gevestigde organisaties met aantoonbare vaardigheden en ervaring. PALLAS moet en zal echter te allen tijden voldoende kennis in huis hebben om te begrijpen welke diensten van een contractant nodig zijn, om hiervoor de eisen te specificeren, om toezicht te kunnen houden op de werkzaamheden en de kwaliteit van de resultaten te kunnen beoordelen.
8. Om de interactie met de internationale nucleaire gemeenschap te waarborgen neemt PALLAS regelmatig deel aan internationale conferenties, workshops en vergaderingen met andere organisaties die een multipurpose reactor bedrijven.
9. PALLAS en NRG zijn voornemens te fuseren. Het doel van de geplande fusie is om één organisatie te creëren die is toegerust om de gedeelde missie en strategie te realiseren. Dat wil zeggen een organisatie die klantgericht en gefocust is en voldoet aan de hoogste veiligheidsnormen. Hiermee kunnen in een complexe omgeving de gecombineerde uitdaging van operationele verbeteringen en het nieuwbouwprogramma worden gerealiseerd.
10. Vanaf mei 2020 hebben PALLAS en NRG een personele unie gevormd. Bij een personele unie zijn twee organisaties op bestuurlijk niveau met elkaar verbonden, doordat bestuurders van de ene organisatie ook zitting hebben in de andere organisatie. NRG en PALLAS zijn na de vorming van de personele unie nog steeds twee organisaties, maar wel met dezelfde directies en raden voor toezicht. De leden van de raden van toezicht worden door de Nederlandse overheid benoemd.

## 1.7.2 Ontwerp en uitvoering: ICHOS B.V.

1. Voor de selectie van de ontwerper van de PALLAS-reactor is een Europese aanbestedingsprocedure gevolgd, waarop alle bedrijven met ervaring in het ontwerpen van een multipurpose reactor konden inschrijven. PALLAS heeft het Argentijns-Nederlandse bedrijf ICHOS geselecteerd. Op 24 januari 2018 werd het contract getekend, waarmee ICHOS B.V. de opdracht kreeg om voor PALLAS een state-of-the-art kernreactor te ontwerpen en te bouwen.
2. ICHOS is de hoofdaannemer en verantwoordelijk voor het ontwerp, delen van de uitvoering en de in bedrijf name van de PALLAS-reactor. Een "Keep Well Agreement" biedt PALLAS daarbij zekerheid van volledige ondersteuning en middelen van de ICHOS vennoten.
3. ICHOS gebruikt INVAP als belangrijkste onderaannemer voor het ontwerp.

### 1.7.2.1 INVAP

1. INVAP is een Argentijns bedrijf, gespecialiseerd in het ontwerpen en bouwen van complexe technische systemen, waarbij nucleaire multipurpose reactoren centraal staan. INVAP is verder ook betrokken bij de ontwerp en bouw van aardobservatie- en telecommunicatiesatellieten, industriële installaties, radarsystemen en radiotherapiecentra.
2. INVAP produceert in eigen laboratoria en werkplaatsen alle kritische componenten voor kernreactoren, zoals nucleaire en conventionele instrumenten, stralingsdetectoren, regelstaaf-aandrijvingen, radiologische controleapparatuur, nucleair-gekwalificeerde mechanische onderdelen en apparatuur.
3. INVAP heeft wereldwijd gedurende meer dan veertig jaar ervaring en unieke expertise opgebouwd in het ontwerpen, bouwen, upgraden en vergunnen van multipurpose reactoren waaronder: RA-6 (Argentinië, 1982), RP-10 (Peru, 1988), NUR (Algerije, 1989), ETRR2 (Egypte, 1998), RA-8 (Argentinië, 1998), OPAL (Australië, 2006), RA-10 (Argentinië, bouwfase), LPPR (Saudi-Arabië, bouwfase), RMB (Brazilië, ontwerpfase).
4. Voor de uitvoering van al deze projecten ontwikkelde INVAP een sterk technisch team, met veel ervaring in het ontwerpen of aanpassen van een multipurpose reactor conform de diverse klanteneisen.

### 1.7.3 Inhoudelijke adviseurs

#### 1.7.3.1 Tractebel Engineering en NucAdvisor

1. PALLAS laat zich als strategische partner voor de lange termijn ter zijde te staan door Tractebel Engineering en NucAdvisor. Zij waren betrokken bij de selectie van ICHOS en ondersteunen nu vanuit een geïntegreerd fulltime projectteam en via backoffice ondersteuning bij de uitvoering en beheer van dit contract. Ondersteuning wordt onder andere geleverd wanneer voor korte duur specialistische technische en projectmanagement kennis benodigd is, voor de uitvoering van specifieke studies en bij de beoordeling van documenten en berekeningen.

#### 1.7.3.2 Nuclear Research and consultancy Group

1. De Nuclear Research and consultancy Group (NRG) ondersteunt PALLAS onder andere:
  - bij het opstellen van dit veiligheidsrapport en de aanvraag voor de oprichtingsvergunning voor de Kernenergiewet;
  - met input voor en beoordeling van het ontwerp onder andere door cruciale operator-inzichten en ervaringen ten aanzien van het bedrijf en het onderhoud van de reactor;
  - specifieke ondersteuning bij de veiligheidsanalyses, door onafhankelijke beoordeling van de neutronica, de thermohydraulica en de probabilistische veiligheidsevaluatie.

#### 1.7.3.3 Arcadis

1. De Nederlandse adviesorganisatie ARCADIS ondersteunt bij het voorbereiden en schrijven van de niet nucleaire vergunningsaanvragen en daaraan gerelateerde documenten.

# 2

---

Veiligheids-  
doelstellingen en  
uitgangspunten  
bij het ontwerp



## 2.1 Inleiding

1. PALLAS stelt zich tot doel het publiek, de medewerkers en de omgeving tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling als gevolg van de bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor te beschermen, ook wel de fundamentele veiligheidsdoelstelling genoemd. Dit hoofdstuk beschrijft op welke wijze deze doelstelling wordt gewaarborgd met het ontwerp van de PALLAS-reactor.
2. De fundamentele veiligheidsdoelstelling is verder uitgewerkt in de volgende concrete doelstellingen die aan de basis liggen van het ontwerp van de reactor:
  - Tijdens normaal bedrijf wordt de kans op blootstelling aan ioniserende straling, het aantal blootgestelde personen en de omvang van hun individuele blootstelling zo laag als redelijkerwijs mogelijk gehouden, rekening houdend met economische en sociale factoren. Dit wordt ook wel optimalisatie genoemd. Voor het ontwerp zijn optimalisatie-doelstellingen vastgesteld.
  - De kans op storingen en ongevalscondities die tot een blootstelling van mens en natuur aan ioniserende straling zouden kunnen leiden dan wel het vrijkomen van radioactieve stoffen in het milieu wordt zo laag als redelijkerwijs mogelijk gehouden. Wanneer deze gebeurtenissen zich toch voordoen, zijn er maatregelen beschikbaar om de gevolgen te beperken.
  - Tijdens alle bedrijfstoestanden, dus inclusief storingen en ongevalscondities, moet de stralingsbelasting van het personeel van de reactor en van het publiek onder de door de overheid vastgestelde limieten blijven. Daar bovenop heeft PALLAS zichzelf strengere limieten opgelegd, die lager liggen dan de wettelijke limieten.
3. Om deze doelen te bereiken zijn gebruikelijke veiligheidsconcepten toegepast in het ontwerp van de reactor, zoals beschreven in paragraaf 2.2. Tevens zijn ontwerpeisen gedefinieerd, die van toepassing zijn op de structuren, systemen en componenten die belangrijk zijn voor de veiligheid. Paragraaf 2.4 geeft de algemene eisen die op het hele ontwerp van toepassing zijn. De toegepaste veiligheidsconcepten en ontwerpeisen komen voort uit de ANVS handreiking voor een Veilig Ontwerp en het Veilig Bedrijven van Kernreactoren gepubliceerd (VOBK). Deze handreiking is anno 2015 door de Nederlands overheid gepubliceerd en beschrijft de actuele stand der techniek op het gebied van nucleaire veiligheid voor kernreactoren en sluit daarbij aan bij internationaal geldende normen op het gebied van nucleaire veiligheid. Op basis van de VOBK voldoet de PALLAS-reactor aan de stand der techniek en wetenschap van de nucleaire veiligheid zoals bedoeld in de wetgeving in het tweede lid van artikel 15b van de Kernenergiewet.
4. De structuren, systemen en componenten zijn geklasseerd overeenkomstig hun belang voor de veiligheid van de reactor. De methodiek voor het indelen in de veiligheidsklassen is beschreven in paragraaf 2.3. De veiligheidsklassen zijn bepalend voor onder andere de zwaarte van eisen voor het ontwerp, inkoop, inspectie en onderhoud, zoals zijn vastgelegd in de eerdergenoemde (inter)nationale normen. De kwalificatie van structuren, systemen en componenten is afhankelijk van hun veiligheidsklassering zoals beschreven in paragraaf 2.4.

## 2.2 Veiligheidsconcepten voor het ontwerp

### 2.2.1 Fundamentele veiligheidsfuncties

1. Om de veiligheid van een nucleaire reactor te waarborgen zijn de volgende drie fundamentele veiligheidsfuncties vastgesteld:
  - Beheersing van reactiviteit: de reactor kan veilig worden afgeschakeld en onderkritischeit kan worden gewaarborgd voor al het splijtbaar materiaal binnen de installatie.
  - Afvoer van warmte: de koeling van splijtstof, de verbruikte splijtstofelementen en de Mo-99-targets is gewaarborgd.
  - Insluiting van radioactief materiaal: het vrijkomen van radioactief materiaal wordt voorkomen door fysieke barrières en retentiefuncties.

2. Op basis van deze fundamentele veiligheidsfuncties worden de volgende twee toestanden van de reactor gedefinieerd:
  - Beheerste toestand: Toestand van de installatie, na een storing of ongeval, waarin de vervulling van de fundamentele veiligheidsfuncties kan worden gegarandeerd en kan worden gehandhaafd gedurende een periode die lang genoeg is om voorzieningen te treffen om een veilige toestand te bereiken.
  - Veilige toestand: Toestand van de installatie, na een storing of ongeval, waarin de reactor subkritisch is en de fundamentele veiligheidsfuncties gedurende lange tijd kunnen worden gewaarborgd en stabiel kunnen worden gehouden.

### 2.2.2 Concept van gelaagde veiligheid

1. De nucleaire veiligheid van kernreactoren is gebaseerd op het concept van gelaagde veiligheid (in het Engels 'Defence-in-Depth'). Dit veiligheidsconcept is bedoeld om ongevallen te voorkomen dan wel de gevolgen daarvan te beperken door de veiligheid van de reactor onder abnormale omstandigheden en ongevalscondities te waarborgen. Dit concept is gebaseerd op een vijftal afzonderlijke veiligheidsniveaus (zie Tabel 2-1). Elk niveau kent een eigen samenspel van bouwkundige, technische en organisatorische voorzieningen met als doel menselijk falen en het falen van apparatuur te voorkomen, dan wel de gevolgen van dat falen zoveel mogelijk te beperken.

**Tabel 2-1: Bedrijfstoestanden en het concept van gelaagde veiligheid voor de PALLAS-reactor**

Bedrijfstoestanden					
OPERATIONELE CONDITIES		ONGEVALSCONDITIES			
Normaal bedrijf	Storingen	Gepostuleerde gebeurtenissen met enkelvoudig falen	Gepostuleerde gebeurtenissen met meervoudig falen	Gepostuleerde kernsmelt ongevallen	Vrijkomen van significante hoeveelheden radioactieve stoffen
Veiligheidsniveau 1	Veiligheidsniveau 2	Veiligheidsniveau 3a	Veiligheidsniveau 3b	Veiligheidsniveau 4	Veiligheidsniveau 5

2. Veiligheidsniveau 1: Bij normaal bedrijf bevindt de installatie zich op veiligheidsniveau 1. Het doel van dit niveau is om storingen in de dagelijkse bedrijfsvoering en het falen van systemen die belangrijk zijn voor de veiligheid te voorkomen. Dit wordt geborgd door een conservatief en veilig ontwerp en door zorgvuldige en hoge kwaliteit bij de bouw, het onderhoud en het bedrijf van de reactor.
3. Veiligheidsniveau 2: Ondanks de genomen voorzorgsmaatregelen zijn er storingen die zich tijdens de levensduur van de reactor kunnen voordoen. Het doel van het tweede niveau is om afwijkingen van normaal bedrijf te detecteren en te beheersen om te voorkomen dat storingen tot ongevallen kunnen escaleren. Daarnaast is het doel van niveau 2 het voorkomen of minimaliseren van de schade als gevolg van deze storingen. De reactor beschikt over specifieke beheers- en limiterende systemen en voorzieningen voor monitoring voor dit niveau. De radiologische gevolgen voor zowel niveau 1 als 2 blijven beneden de voor deze niveaus gestelde limieten.
4. Veiligheidsniveau 3: Hoewel zeer onwaarschijnlijk wordt aangenomen dat een gepostuleerde gebeurtenis of een storing niet met de maatregelen uit de vorige niveaus beheerst kan worden. De reactor is ontworpen om tegen deze ongevallen bestand te zijn en is in staat om de gevolgen te beheersen en een beheerste en veilige toestand te bereiken. Hierbij wordt escalatie naar

omstandigheden die tot kernsmelt kunnen leiden voorkomen. Veiligheidsniveau 3 bestaat uit twee niveaus:

- Veiligheidsniveau 3a: gepostuleerde gebeurtenissen die het gevolg zijn van een enkelvoudig falen in de installatie;
  - Veiligheidsniveau 3b: gepostuleerde gebeurtenissen die het gevolg zijn van meervoudig falen in de installatie.
5. Omdat de reactor bestand is tegen meervoudig falen, is een zeer robuust ontwerp verkregen. Het doel voor zowel niveau 3a als 3b is om geen of slechts kleine radiologische gevolgen buiten de terreingrenzen te hebben. De reactor beschikt over veiligheidssystemen ten behoeve van niveau 3a en additionele systemen voor niveau 3b. Daarnaast worden ongevalsprocedures opgesteld voor de ongevallen voor niveau 3. De effectiviteit van de implementatie van dit concept is aangetoond in hoofdstuk 16.
6. Veiligheidsniveau 4: het falen van het derde niveau zou kunnen leiden tot kernsmelt. Het doel van dit niveau is het beperken van de gevolgen van een ongeval met kernsmelt waarbij de belangrijkste doelstelling is te zorgen dat de radioactieve stoffen binnen het Reactor Containment blijven en radioactieve lozingen zo laag als redelijkerwijs mogelijk gehouden worden. Indien een kernsmeltongeval optreedt, hoeven er alleen beschermingsmaatregelen te worden getroffen die beperkt zijn in tijd en in omvang, waarbij er voldoende tijd is om deze te implementeren. De reactor beschikt over complementaire systemen voor dit niveau. Daarnaast worden ongevalsprocedures opgesteld.
7. Veiligheidsniveau 5: Mocht er ondanks de beschermende maatregelen op de verschillende niveaus toch sprake zijn van een significante lozing van radioactieve stoffen naar het milieu, dan worden er maatregelen genomen die gericht zijn op het beperken van de gevolgen voor mensen, dieren, planten en goederen.

### 2.2.3 Barrièreconcept

1. Het barrière concept heeft als doelstelling om voldoende fysieke barrières en retentiefuncties op te werpen om straling en radioactieve stoffen te isoleren van mens en milieu. Om te zorgen dat deze barrières niet falen, zijn er meerdere lagen van veiligheidsniveaus gedefinieerd. Het concept van gelaagde veiligheid stelt daarmee zeker dat de barrières in stand gehouden kunnen blijven. Door de aanwezigheid van meerdere achtereenvolgende fysieke barrières en retentiefuncties zal bij functieverlies van een barrière de volgende barrière alsnog voor de insluiting zorgen. Retentiefuncties zijn maatregelen of voorzieningen, anders dan fysieke barrières, die radioactieve stoffen vast kunnen houden, zoals bijvoorbeeld filtreren, bedekken met water, gerichte (lucht)stroom door onderdruk etc.
2. Voor de veiligheid is het van belang dat de barrières onafhankelijk van elkaar functioneren. Dit betekent dat, in geval van een gevaar of een ongeval, een barrière niet mag falen vanwege het enkele feit dat een andere barrière faalt. Mochten er alsnog één of meer barrières falen waardoor radioactieve stoffen vrijkomen, dan zorgen de retentiefuncties voor het (eventueel tijdelijk) vasthouden van die stoffen.
3. De belangrijkste barrières en retentiefuncties van de PALLAS-reactor zijn:
  - Barrières:
    - De bekleding van de splijtstofplaten die de in de reactor gevormde splijttingsproducten binnen de platen houdt.
    - De warmtewisselaars die voorkomen dat lekkages via het Secondary Cooling System (SCS) naar de omgeving kunnen optreden.
  - Retentiefuncties:
    - De splijtstofmatrix houdt een deel van de in de splijtstof gevormde splijttingsproducten vast, ook wanneer de bekleding van de platen mocht lekken.
    - Het water in de Reactor Pool en Service Pool en in het Primary Cooling System (PCS) en Pools Cooling System (POCS) houdt eventueel vrijkomende radioactieve stoffen vast.

- Het Reactor Containment, oftewel het af te sluiten deel van het Reactor Building en het bijbehorende ventilatiesysteem, behoudt een cascade van onderdruk binnen het Reactor Building, waardoor lekkage naar andere ruimtes of naar buiten wordt voorkomen.

## 2.2.4 Bescherming tegen interne en externe gevaren

1. Een intern of extern gevaar is een gebeurtenis die binnen dan wel buiten de inrichting kan voorkomen en die negatieve gevolgen kan hebben voor de veiligheid van de reactor. Een voorbeeld van een intern gevaar is een brand binnen de inrichting. Externe gevaren zijn van natuurlijke oorsprong of worden door mensen veroorzaakt, zoals bijvoorbeeld bliksem of een aardbeving dan wel explosies of brand op een nabijgelegen industrieterrein. Het doelbewust in gevaar brengen van de reactor en haar processen valt buiten de scope van dit veiligheidsrapport.
2. Het ontwerp van de reactor voorkomt dat interne en externe gevaren of mogelijke combinaties daarvan, ontoelaatbare negatieve gevolgen kunnen hebben op de drie eerdergenoemde fundamentele veiligheidsfuncties van de reactor.
3. De doelstellingen van het ontwerp tegen gevaren zijn:
  - het voorkomen van het gevaar;
  - het minimaliseren van de waarschijnlijkheid van optreden van het gevaar;
  - het beperken van de gevolgen van het gevaar indien dit optreedt.
4. Potentiële gevaren zijn geïdentificeerd, waarbij de ernst, frequentie van voorkomen en mogelijke gevolgen bepaald zijn. Voor elk intern en extern gevaar zijn preventieve, beschermende en mitigerende maatregelen geselecteerd en geïmplementeerd en zijn de structuren, systemen en componenten geïdentificeerd die belangrijk zijn om de veiligheid te garanderen. De ontwerpbasis van de structuren, systemen en componenten bevat specifieke eisen voor bescherming tegen deze gevaren.
5. De bescherming tegen gevaren is gerealiseerd door de implementatie van een combinatie van preventieve en beschermende maatregelen, zoals:
  - de detectie van interne en externe gevaren;
  - het ontwerp van structuren, systemen en componenten tegen de belastingen die als gevolg van de gevaren kunnen optreden;
  - het ontwerp van beschermende barrières, die voorkomen dat de structuren, systemen en componenten schade lijden als gevolg van het gevaar;
  - procedures om interne gevaren te voorkomen of de gevolgen ervan te minimaliseren.
6. De bescherming tegen externe gevaren is een belangrijk onderdeel van de ontwerpbasis van het Reactor Building, dat in hoofdstuk 4 beschreven is.
7. De identificatie van externe gevaren wordt behandeld in hoofdstuk 3. De identificatie en veiligheidsanalyse van zowel interne als externe gevaren wordt behandeld in hoofdstuk 16.

## 2.2.5 Graduele aanpak

1. Historisch is de focus van nucleaire industrie veelal op kernenergiecentrales gericht, waardoor een aanzienlijk deel van de (inter)nationale eisen en richtlijnen voor deze installaties werd ontwikkeld. Multi-purpose reactoren, zoals PALLAS-reactor, kennen echter grote verschillen ten opzichte van een kernenergiecentrale waaronder:
  - minder belastende bedrijfsomstandigheden zoals een lager vermogen, lagere drukken en temperaturen in de systemen;
  - de operationele omstandigheden waarbij operators meer handelingen uitvoeren tijdens het bedrijf;
  - lagere risico's voor de omgeving als gevolg van een ongeval.
2. Deze verschillen vragen om een graduele aanpak voor het bereiken en beheren van de veiligheid waarbij (inter)nationale eisen en richtlijnen voor kernenergiecentrales zijn toegepast overeenkomstig het potentiële risico van de PALLAS-reactor voor de omgeving. Een graduele

aanpak betekent dat eisen en de acceptatiecriteria specifiek worden toegesneden op de waarschijnlijkheid en mogelijke gevolgen van een verlies van controle van de reactor, zonder dat afbreuk wordt gedaan aan de drie fundamentele veiligheidsfuncties.

## 2.2.6 Ontwerpprincipes voor veiligheidsrelevante systemen

1. Voor de veiligheidsrelevante systemen kunnen de hieronder behandelde ontwerpprincipes van toepassing zijn.

### 2.2.6.2 Veiligheidsmarges

1. In overeenstemming met het veiligheidsbelang van structuren, systemen en componenten, wordt een veiligheidsmarge gehanteerd. Dit betreft het verschil tussen de operationele limieten, binnen welke normaal bedrijf kan worden gevoerd en de veiligheidslimieten, waarbuiten de veiligheid kan worden aangetast. De veiligheidsmarge houdt rekening met de nauwkeurigheid van de ontwerpmethodes, metingen tijdens bedrijf en eventuele verouderingseffecten.

### 2.2.6.3 Inherente veiligheidsvoorzieningen

1. Inherente veiligheidsvoorzieningen zijn voorzieningen die altijd een positief effect op de veiligheid hebben omdat ze op basis van principes van de natuurwetten zijn ontworpen. Een voorbeeld hiervan is de splijtstof die is ontworpen met een negatieve reactiviteitscoëfficiënt. Bij een ongewenste toename van het reactorvermogen zal de splijtstoftemperatuur toenemen. Deze hogere temperatuur zal door de negatieve reactiviteitscoëfficiënt direct leiden tot een verlaging van het reactorvermogen zonder dat daar enige actie voor nodig is. Hierdoor wordt op een inherente wijze de vermogenstoename beperkt, wat positief is voor de veiligheid.

### 2.2.6.4 Passieve veiligheidsvoorzieningen

1. De volgende hiërarchie is toegepast op het PALLAS-reactorontwerp om de betrouwbaarheid van de veiligheidsfuncties met betrekking tot inherente en passieve veiligheidsvoorzieningen te verbeteren:
  - Voorkeur van inherente veiligheidsvoorzieningen boven passieve systemen
  - Voorkeur van passieve systemen boven actieve systemen.

### 2.2.6.5 Redundantie en enkelvoudig falen

1. Redundantie betekent meervoudige uitvoering, wat inhoudt dat voor belangrijke structuren, systemen en componenten er meer zijn geïnstalleerd, dan voor het uitvoeren van een bepaalde veiligheidsfunctie minimaal nodig is. Indien één component meer beschikbaar is dan nodig voor het uitvoeren van de veiligheidsfunctie wordt gesproken van redundantie (n+1).
2. Hiermee wordt bestendigheid tegen enkelvoudig falen verkregen. Dit betekent dat het systeem zijn beoogde veiligheidsfunctie kan uitvoeren, ondanks het falen van één willekeurige component of één systeemredundantie en elke daaruit voortvloeiende storing.

### 2.2.6.6 Diversiteit

1. Het falen van systemen of componenten door een gemeenschappelijke oorzaak, zoals ontwerp- of fabricagefouten, wordt vermeden door het diversiteitsprincipe toe te passen, zoals verschillende ontwerpen, fabrikanten of wijze van onderhoud.

### 2.2.6.7 Onafhankelijkheid

1. Onafhankelijkheid is nodig om te voorkomen dat het falen van voor de veiligheid belangrijke onderdelen van een systeem van een lagere veiligheidsklasse of een lager veiligheidsniveau een negatieve invloed heeft op de werking van een systeem van een hogere veiligheidsklasse of een hoger veiligheidsniveau. Daartoe wordt onafhankelijkheid tussen de veiligheidsniveaus zoveel mogelijk geïmplementeerd.



2. Onafhankelijkheid verhindert de onderlinge overdracht van storingen van of foutieve handelingen met structuren, systemen en componenten. Hierdoor wordt hun betrouwbaarheid verbeterd en wordt de mogelijkheid van afhankelijke storingen verkleind.
3. Onafhankelijkheid wordt gewaarborgd door:
  - fysieke scheiding door middel van afstand, barrières, lay-out, of een combinatie daarvan;
  - functionele isolatie door gebruik van isolatie-voorzieningen;
  - het niet delen van meetinstrumenten voor het meten van procesvariabelen door redundante subsystemen.

#### 2.2.6.8 Principe van veilig falen

1. Bij veiligheidssystemen die zijn ontworpen volgens het principe van veilig falen leiden storingen in deze voorzieningen of in hun stroomvoorziening tot acties die geen negatieve invloed op de veiligheid van de reactor hebben. Een voorbeeld hiervan is dat bij het uitvallen van de stroomvoorziening de regelstaven door de zwaartekracht in de reactorkern vallen. Hierdoor schakelen zij de reactor automatisch af.

## 2.3 Klassering van structuren, systemen en componenten

1. Alle structuren, systemen en componenten worden geklasseerd voor een drietal aspecten:
  - veiligheidsklassering, waarbij structuren, systemen en componenten op basis van zijn veiligheidsrelevantie in een klasse wordt ingedeeld;
  - seismische klassering, waarmee wordt bepaald welke belasting structuren, systemen en componenten als gevolg van een aardbeving moet kunnen weerstaan;
  - kwaliteitsklassering, waarbij kwaliteitseisen worden toegewezen aan structuren, systemen en componenten door bijvoorbeeld de selectie van specifieke codes, normen en handleidingen, afhankelijk van zijn veiligheidsrelevantie.
2. De hierbij toegepaste methoden zijn gebaseerd op internationale richtlijnen en ervaringen uit eerdere projecten en worden in de paragrafen 2.3.1 t/m 2.3.3 beschreven.

### 2.3.1 Methode voor veiligheidsklassering

1. Het doel van veiligheidsklassering is het klasseren van structuren, systemen en componenten op basis van hun belang voor de veiligheid. Op basis van deze klassering worden ze ontworpen, gefabriceerd, gebouwd, geïnstalleerd, inbedrijf gesteld, bediend, getest, geïnspecteerd en onderhouden in overeenstemming met (inter)nationaal erkende codes, normen, richtlijnen en vastgestelde processen. De methode voor veiligheidsklassering is een iteratief proces met de volgende stappen:
  - identificatie en categorisatie van veiligheidsfuncties
  - identificatie van structuren, systemen en componenten die bijdragen aan de vervulling van elk van deze veiligheidsfuncties en toewijzing van de veiligheidsfunctie;
  - verificatie van de klassering door middel van de veiligheidsanalyses.
2. In de volgende paragrafen worden de verschillende stappen uitgelegd.

#### 2.3.1.1 Identificatie en categorisering van veiligheidsfuncties

1. Veiligheidsfuncties zijn afgeleid van de drie fundamentele veiligheidsfuncties (beheersing van reactiviteit, afvoer van warmte en insluiting van radioactief materiaal, zie paragraaf 2.2.1) die moeten worden vervuld of ondersteund. De identificatie van veiligheidsfuncties gebeurt op basis van het beschouwde veiligheidsniveau (1 tot en met 4 (zie paragraaf 2.2.2)) en het ontwerp van de PALLAS-reactor.
2. De veiligheidsklassering van structuren, systemen en componenten die bijdragen tot de veiligheidsfuncties die voortvloeien uit de drie fundamentele veiligheidsfuncties begint met de categorisering van de veiligheidsfuncties als volgt:

1. De veiligheidsfuncties worden geïdentificeerd en geordend overeenkomstig hun corresponderende veiligheidsniveau.
2. Zij worden gecategoriseerd op basis van drie factoren:
  - a. De ernst van de gevolgen van het niet-functioneren van de functie;
  - b. De waarschijnlijkheid van het optreden van de veronderstelde gebeurtenis waarvoor de functie nodig is;
  - c. Het belang van de bijdrage van de functie bij het bereiken van hetzij een beheerste toestand, hetzij een veilige toestand.
3. Dit resulteert in een veiligheidsategorisering van de veiligheidsfuncties in veiligheidscategorie 1, 2 en 3 (zie onderstaande tabel).

**Tabel 2-2: Categorisering van veiligheidsfuncties**

Verandering veiligheidsniveau als gevolg van falen van de veiligheidsfunctie (factoren a. en b. gecombineerd)	Categorie Veiligheidsfunctie	
	Beheerste toestand (factor c.)	Veilige toestand (factor c.)
Voorbij Veiligheidsniveau 3a	1	2
Voorbij Veiligheidsniveau 2, 3b of 4	2	3
Voorbij Veiligheidsniveau 1 of geen verandering	3	Geen

### 2.3.1.2 Toewijzing van de veiligheidsfuncties en verificatie van de veiligheidsklassering

1. Na de identificatie en categorisering van de veiligheidsfuncties, worden deze aan de structuren, systemen en componenten toegewezen. De veiligheidsklasse van structuren, systemen en componenten die actief een veiligheidsfunctie vervult voor de reactor en die voortvloeit uit één van de drie fundamentele veiligheidsfuncties wordt bepaald door de categorie van de veiligheidsfunctie die het vervult, waarbij:
  - een structuur, systeem of component die tenminste één veiligheidsfunctie van categorie 1 uitvoert, is voorlopig geklasseerd in veiligheidsklasse 1;
  - een structuur, systeem of component die alleen de veiligheidsfunctie van categorie 2 of 3 uitvoert, is voorlopig geklasseerd in veiligheidsklasse 2.
2. De voorlopige veiligheidsklassering, die voortvloeit uit de categorisatie van de veiligheidsfuncties, kan nog worden aangepast op basis van de methodiek zoals beschreven in de richtlijn IAEA SSG-30. De uiteindelijke veiligheidsklassering wordt vastgesteld in een iteratief proces en wordt geverifieerd met de deterministische en probabilistische veiligheidsanalyses (zie hoofdstuk 16).

### 2.3.2 Methode voor seismische klassering

1. De methode om de seismische klassering van structuren, systemen en componenten te definiëren bestaat allereerst uit de definitie van de seismische niveaus (SL) die bij het ontwerp in aanmerking zijn genomen. Vervolgens is de seismische klassering toegewezen onder meer op basis van de veiligheidsklasse.
2. In het ontwerp is rekening gehouden met de volgende twee seismische niveaus (SL):
  - SL-1 dat overeenkomt met een seismisch niveau met een kans van optreden van  $10^{-2}$  per jaar.
  - SL-2 dat overeenkomt met een seismisch niveau met een kans van optreden van  $10^{-4}$  per jaar.
3. De seismische ontwerplimieten die van toepassing zijn op de structuren, systemen en componenten worden bepaald door de codes, normen en richtlijnen die van toepassing zijn voor de PALLAS-reactor.
4. De seismische kenmerken van het terrein van de PALLAS-reactor zijn in hoofdstuk 3 beschreven.

5. De volgende seismische klassen worden gedefinieerd:
  - seismische klasse 1: structuren, systemen en componenten binnen deze klasse zijn ontworpen om hun veiligheidsfunctie uit te voeren tijdens en na een SL-2 aardbeving.
  - seismische klasse 2: structuren, systemen en componenten binnen deze klasse zijn ontworpen om hun functie uit te voeren tijdens en na een SL-1 aardbeving.
  - seismische klasse 3: structuren, systemen en componenten binnen deze klasse zijn ontworpen om hun functie uit te voeren tijdens en na de groundbeweging die wordt vereist bij conventionele (niet-nucleaire) bouwwerken.
6. Seismische Klasse 1 is van toepassing voor:
  - structuren, systemen en componenten van Veiligheidsklasse 1;
  - structuren, systemen en componenten waarvan falen ertoe kan leiden dat één van de fundamentele veiligheidsfuncties op Veiligheidsniveau 3a, 3b of 4 niet kan worden vervuld;
  - structuren, systemen en componenten die zijn vereist om parameters te bewaken die benodigd zijn voor de nucleaire veiligheid.
7. Seismische Klasse 2 is van toepassing voor structuren, systemen en componenten van veiligheidsklasse 2 en eventueel ook van veiligheidsklasse 3 vanwege economische factoren. Na het optreden van een SL-1 aardbeving moeten deze in Seismische Klasse 2 worden geïnspecteerd, voordat de bedrijfsvoering mag worden hervat.
8. Seismische Klasse 3 is van toepassing voor de overige structuren, systemen en componenten en leidt niet tot eisen aan de structurele en functionele staat ervan na een SL-1 of SL-2 aardbeving.

### 2.3.3 Methode voor kwaliteitsklassering

1. De structuren, systemen en componenten van de PALLAS-reactor zijn ingedeeld in kwaliteitsniveaus A, B, C en D, op basis van hun veiligheidsklasse, vereiste betrouwbaarheid en de combinatie van complexiteit, volwassenheid van het ontwerp en ervaring met potentiële kwaliteit gerelateerde problemen.
2. Het "A" kwaliteitsniveau komt overeen met de meest veeleisende kwaliteitsgraad.
3. Structuren, systemen en componenten met veiligheidsklasse 1 zijn altijd ingedeeld in kwaliteitsklasse A en structuren, systemen en componenten met veiligheidsklasse 2 minimaal in kwaliteitsklasse B.

## 2.4 Ontwerpeisen

1. Uit de veiligheidsconcepten zijn op systeemniveau ontwerpeisen vastgesteld voor de systemen van de reactor. De veiligheidsconcepten zijn van toepassing op een systeem of component afhankelijk van de bijdrage aan de veiligheidsbeoordeling van de reactor. Eisen worden opgelegd met een graduele aanpak volgens het belang voor de veiligheid van het betreffende systeem, dat wordt bepaald door de veiligheidsklassering (zie paragraaf 2.3).
2. Op basis hiervan zijn de volgende ontwerpeisen vastgesteld:
  - a. Veiligheidsbeoordelingen hebben betrekking op de veiligheidsmaatregelen die nodig zijn om begingebourtenissen of relevante interne en externe gevaren te beheersen. De betrokken systemen of componenten dienen hun veiligheidsfuncties te vervullen onder de omstandigheden bij deze begingebourtenissen en gevaren. Dit vereist een algemeen begrip van het functionele ontwerp van de reactor, wat op zijn beurt inhoudt dat de systemen of componenten worden ingedeeld naar de rol die zij spelen bij de veiligheidsbeoordeling.
  - b. Het Concept van gelaagde veiligheid vereist dat systemen of componenten functioneel onafhankelijk zijn ten opzichte van de veiligheidsniveaus waarin zij optreden.
  - c. Het Barrière Concept zoals vermeld in de Nederlandse Veiligheidseisen legt een benadering op van retentiefuncties en fysieke barrières voor radioactief materiaal binnen de installatie. Er gelden daarbij criteria om te bepalen of een extra barrière vereist is.

- d. De veiligheidsrelevantie van de systemen of componenten wordt gedefinieerd op basis van de veiligheidsklassering.
  - e. Systemen of componenten van verschillende veiligheidsklassen of veiligheidsniveaus moeten onafhankelijk zijn en een storing in voor de veiligheid belangrijke onderdelen van een systeem van een lagere veiligheidsklasse of een lager veiligheidsniveau mag niet doorwerken in een systeem van een hogere veiligheidsklasse of een hoger veiligheidsniveau.
  - f. De eisen ten aanzien van kwaliteit en betrouwbaarheid die van toepassing zijn in de betreffende veiligheidsklassen, worden gedefinieerd en omvatten eisen aan onder andere ontwerp, omgevingscondities, noodstroomvoorziening en veroudering.
  - g. Het criterium voor enkelvoudig falen is, als algemeen concept, een op een systeem toegepaste eis die inhoudt dat het systeem in staat moet zijn haar functie(s) te vervullen in het geval van één enkele storing. Dit is een manier om de betrouwbaarheid van een veiligheidsfunctie te verzekeren, in overeenstemming met het belang ervan voor de veiligheid (ook in verband met de toelaatbare tijd dat een systeem niet beschikbaar is wegens onderhoud en de gevolgen daarvan voor de veiligheid van de installatie). Het criterium voor enkelvoudig falen is een overkoepelend veiligheidsconcept dat specifieke aspecten omvat zoals de bestendigheid tegen storingen met een gemeenschappelijke oorzaak, functionele onafhankelijkheid, redundantie, diversiteit, fysieke scheiding en het principe van veilig falen.
  - h. Het criterium voor enkelvoudig falen is een eis die voornamelijk wordt gesteld aan systemen of componenten die een veiligheidsfunctie op veiligheidsniveau 3a vervullen (met veiligheidsklasse 1).
  - i. De toepassing van het criterium voor enkelvoudig falen door redundanties binnen een systeem vereist dat redundante strangen volledig onafhankelijk zijn.
  - j. Bij het ontwerp van systemen of componenten moeten veiligheidsmarges worden gehanteerd die in verhouding staan tot hun veiligheidsbelang. Een veiligheidsmarge betreft het verschil tussen de operationele limieten, binnen welke normaal bedrijf kan worden gevoerd en de veiligheidslimieten, waarbuiten de veiligheid kan worden aangetast.
  - k. Passieve veiligheidssystemen verdienen de voorkeur boven actieve veiligheidssystemen. Een passieve veiligheidsvoorziening berust op een passief proces om de beoogde veiligheidsfunctie te vervullen. Een passief systeem mag gebruik maken van actieve componenten voor het in gang zetten van het passieve proces mits deze componenten niet door verwerkte signalen moeten worden aangestuurd en geen externe energiebron of handmatige bediening nodig hebben. In gevallen waarin energie nodig is om het proces in gang te zetten, dient deze te worden geleverd uit opgeslagen bronnen, zoals een elektrische accu of een vat met perslucht.
3. Eisen op het niveau van de gehele installatie omvatten daarnaast:
- a. Radiologische limieten en criteria, overeenkomstig de wettelijke radiologische criteria.
  - b. De veiligheidssystemen voor de afvoer van restwarmte zijn zo ontworpen dat aan het zelfvoorzieningscriterium van 72 uur wordt voldaan en er betrouwbare noodstroomvoorzieningen beschikbaar zijn die de elektrische stroomvoorziening van voor de veiligheid belangrijke onderdelen verzekeren. In de installatie moeten voldoende voorraden aanwezig zijn om deze noodstroomvoorzieningen gedurende tenminste 72 uur te kunnen voeden.
  - c. Autarkieperiode; de installatie is in staat zichzelf zonder menselijk handelen in een beheerste toestand te brengen en deze toestand gedurende tenminste 10 uur te handhaven.
  - d. Automatisering; installaties die handmatig in bedrijf moeten worden gesteld, worden in principe pas te functioneren na 30 minuten na het begin van een ongeval.
  - e. De reactor is ingedeeld in koelcategorie 2 en risicocategorie 3, conform de VOBK.

## 2.5 Kwalificatie van componenten

1. Componenten moeten bestand zijn tegen de mogelijke condities in de omgeving waar zij zich bevinden. Om dit te borgen is een kwalificatieprogramma voor veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten (veiligheidsklasse 1, 2 en 3) geïmplementeerd. In dit programma wordt geverifieerd of de componenten in staat zijn om hun beoogde functies uit te voeren onder de belastingen en omgevingscondities die tijdens alle bedrijfstoestanden kunnen optreden (d.w.z. operationele toestanden en ongevalsomstandigheden) en als gevolg van interne en externe gevaren. Hieraan moet worden voldaan gedurende de hele ontwerplevensduur, waarbij ook rekening wordt gehouden met de omstandigheden tijdens onderhoud. De volgende omgevingscondities zijn van belang:
  - omgevingstemperatuur;
  - luchtdruk;
  - relatieve luchtvochtigheid;
  - condensatie;
  - onderdompeling;
  - chemische blootstelling;
  - stralingsomgeving;
  - elektromagnetische interferentie;
  - trillingen (seismisch en niet-seismisch);
  - bedrijfscycli;
  - mechanische belasting;
  - elektrische belasting.
2. Het kwalificatieprogramma heeft als doelstellingen:
  - de kans op storingen met een gemeenschappelijke oorzaak als gevolg van specifieke omgevingscondities te beperken;
  - aan te tonen dat veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten in staat zijn om hun veiligheidsfuncties onder de te veronderstellen omgevingscondities gedurende hun ontwerplevensduur uit te voeren.
3. Het kwalificatieprogramma omvat de kwalificatie van apparatuur voorafgaand aan de initiële installatie, waarbij het volgende is vastgesteld:
  - voor welke specifieke structuren, systemen en componenten de kwalificatie is vereist;
  - welk functioneren en robuustheid moeten worden geverifieerd in relatie tot de veiligheidsfuncties en wat de bijbehorende acceptatiecriteria zijn;
  - onder welke belastingen en omgevingscondities de structuren, systemen en componenten moet functioneren.
4. Het kwalificatieprogramma omvat ook de effecten van veroudering door milieufactoren gedurende de verwachte ontwerplevensduur en van mogelijke veranderingen tijdens normaal bedrijf en onder veronderstelde ongevalsomstandigheden. Voorts wordt rekening gehouden met mogelijke synergetische effecten (bv. gelijktijdig verhoogde temperatuur, vochtigheid, stralingsniveau en dosistempo) die zouden kunnen leiden tot aanzienlijke verouderingseffecten en degradatiemechanismen of ongunstig functioneren van de apparatuur.
5. Het kwalificatieprogramma definieert de kwalificatiemethoden (test, analyse en/of operationele ervaring) en de wijze waarop deze worden geselecteerd.
6. Het kwalificatieprogramma omvat ook een kwalificatieproces voor COTS-items (*Commercial-Off-The Shelf*), dat hen toepasbaar maakt voor nucleaire toepassing. Hiervoor wordt een technische evaluatie en een acceptatieproces uitgevoerd. Dit acceptatieproces waarborgt dat het betreffende artikel voldoet aan de gespecificeerde vereisten en in staat is om de beoogde veiligheidsfunctie uit te voeren in de omgevingscondities tijdens alle bedrijfstoestanden en bij interne en externe gevaren.

# 3

Kenmerken  
van de locatie  
van de  
PALLAS-reactor



## 3.1 Inleiding

1. Dit hoofdstuk geeft informatie over de kenmerken van de locatie en de omgeving van de PALLAS-reactor met als doel om de geschiktheid ervan te kunnen beoordelen. Hiertoe worden de volgende aspecten behandeld:
  - de effecten van natuurlijke en door de mens veroorzaakte externe gebeurtenissen, die zich in de regio kunnen voordoen en op de locatie van invloed kunnen zijn;
  - de kenmerken van de locatie en de omgeving, die van invloed kunnen zijn op de overdracht van radioactief materiaal dat vrijkomt uit de nucleaire installatie naar mens en milieu;
  - de bevolkingsdichtheid en de spreiding van de bevolking, voor zover deze van invloed kunnen zijn op doeltreffende noodmaatregelen en de evaluatie van bevolkingsrisico's.
2. In de volgende paragrafen zijn de karakteristieken en potentiële gevaren besproken van de volgende kenmerken van de locatie en omgeving:
  - geologie en seismologie (paragraaf 3.3);
  - meteorologie (paragraaf 3.4);
  - hydrologie en oceanografie (paragraaf 3.5);
  - Biologische gevaren (paragraaf 3.6) – de biologische kenmerken zijn niet in het VR uitgewerkt;
  - nabijgelegen industriële, transport- en militaire faciliteiten (paragraaf 3.7);
  - de combinaties van gebeurtenissen uit paragraaf 3.3 tot en met 3.7 (paragraaf 3.7.6).
3. Naast de identificatie en karakterisering van externe gevaren worden ook onderwerpen behandeld die nodig zijn om de gevolgen van lozingen van radioactief materiaal voor de bevolking en het milieu te beoordelen. Dit betreft o.a.:
  - natuurlijke omgeving en land- en water gebruik (paragraaf 3.8);
  - demografie (paragraaf 3.9);
  - radiologisch achtergrondniveau (paragraaf 3.10).

## 3.2 Algemene beschrijving van de locatie

1. De locatie van de PALLAS-reactor is gelegen op een klein industrieterrein genaamd de Energy and Health Campus aan de Westerduinweg nr. 3 te Petten in de provincie Noord-Holland. De Energy and Health Campus ligt in het noordwesten van Nederland, tussen de dorpen Petten en Callantsoog, ongeveer 18 km ten noorden van Alkmaar, 20 km ten zuiden van Den Helder en ongeveer 48 km in rechte lijn vanaf Amsterdam in noordnoordwestelijke richting. De locatie van de reactor ligt ongeveer 675 m uit de kustlijn van de Noordzee aan de binnenzijde (luwte) van de Zijperzeedijk (oorspronkelijk dijklichaam dat in de loop der eeuwen het karakter heeft verworven van een duin) en heeft de geografische coördinaten: N 52°47'09.3", E 4°40'43.7". In onderstaande figuur is de locatie op een regionale kaart weergegeven.

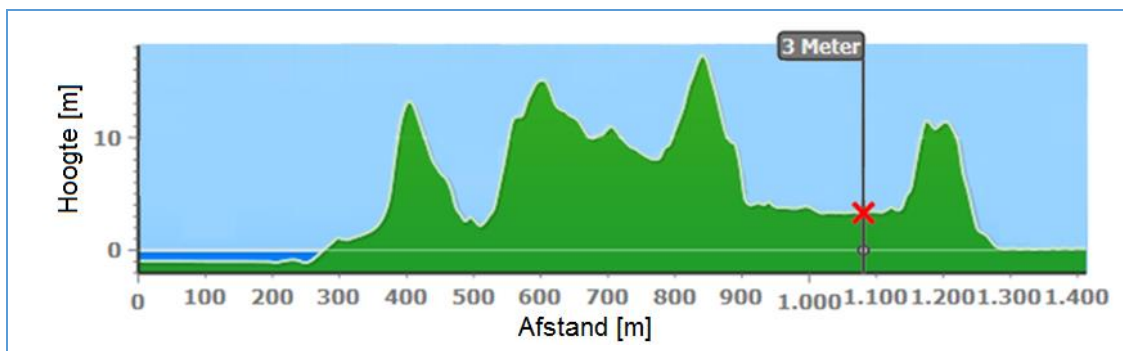
Figuur 3-1: Regionale kaart (ongeveer 25 km rond de site)



2. Het PALLAS-terrein is gelegen binnen de Pettemerduinen op een hoogte van ongeveer +3,3 m NAP. Dit duingebied is ontstaan in de jaren 1600. De duinen en de zeewering in de Noordzee beschermen de polder tegen overstromingen. De duinen hebben een typische hoogte van +10 tot +15 m NAP voor de eerste rij (zeezijde), gevolgd door een verlaging tot een hoogte van +2 tot +3 m NAP en een tweede rij duinen meer landinwaarts met een hoogte van +10 tot +23 m NAP. Als laatste de Zijperzeedijk grenzend aan de polders en gelegen op 200 m ten oosten van het PALLAS-terrein, heeft een hoogte van +10 tot +15 m NAP. De vlakke polder ligt net boven het gemiddelde zeeniveau (Figuur 3-2).



Figuur 3-2: Hoogtedoorsnede van de locatie (loodrecht op het strand, hoogte in m ten opzichte van NAP)



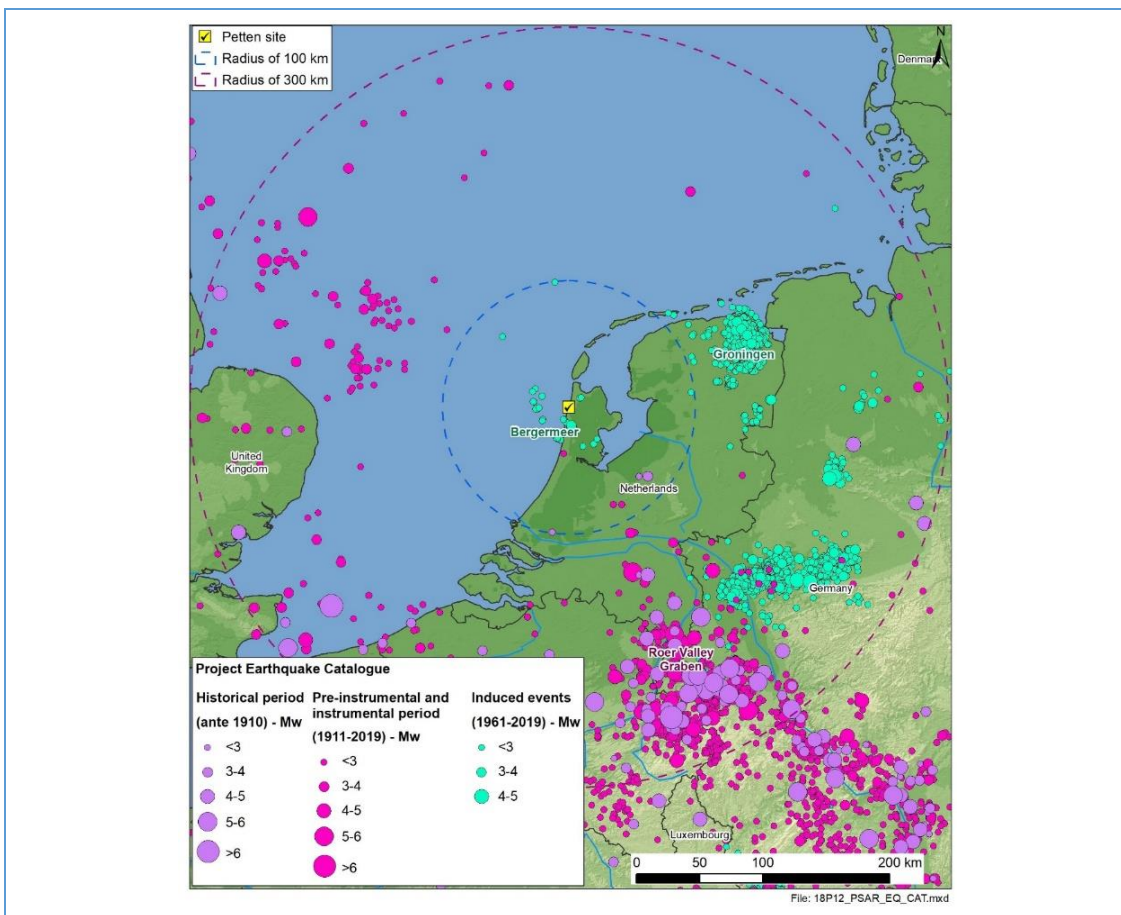
## 3.3 Geologie en Seismologie

### 3.3.1 Geologische en seismologische omstandigheden

De locatie Petten ligt aan de Nederlandse kust, in het 'Midden-Nederlandse Bekken' ('Central Netherlands Basin'), dat deel uitmaakt van het 'Midden-Europees Bekken' ('Central European Basin'). Deze regio wordt beschouwd als een stabiel continentale regio en wordt gekenmerkt door een zeer lage seismische activiteit. Er is geen geregistreerde aardbeving van grotere omvang dan Mw 3,5 (volgens de momentmagnitudeschaal (MMS) die de kracht van een aardbeving uitdrukt) binnen een straal van 100 km rond de locatie Petten (

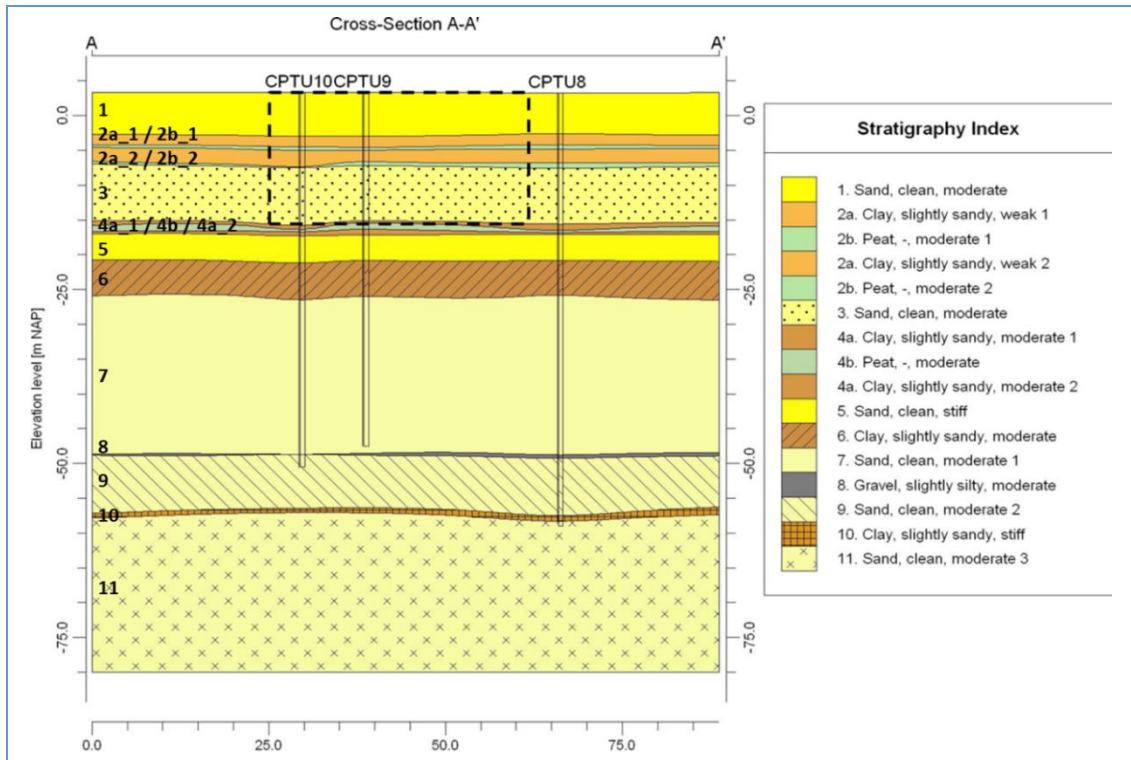
1. Figuur 3-3).
2. Het dichtstbijzijnde tektonisch actieve gebied is de 'Roerdalslenk' ('Roer Valley graben'). Dit is een tektonische vallei gelegen op ongeveer 200 km ten zuiden van Petten. De Roerdalslenk komt overeen met de noordwestelijke tak van het actieve Rijnslenksysteem. De seismische activiteit in dit systeem is vooral geconcentreerd langs breuklijnen in NW-ZO richting. De grootste aardbeving van de Roerdalslenk betreft de 'Roermond aardbeving' van 13/04/1992 met een magnitude van Mw 5,4.
3. Uit de bestaande literatuur blijkt de aanwezigheid van twee NW-ZO-breuklijnen in de buurt van Petten. Er is geen geregistreerde aardbeving in verband gebracht met deze breuklijnen. Toch zijn aanvullend uitgebreide veldonderzoeken en probabilistische studies uitgevoerd om dit te verifiëren. Daarbij zijn conservatieve waarden bepaald die zijn gebruikt als eisen aan het ontwerp en ten behoeve van seismische analyses van het ontwerp.
4. Bijna alle in het noorden van Nederland geregistreerde seismische activiteit heeft een geïnduceerde oorsprong, als gevolg van de exploitatie van gasvelden. De geregistreerde seismiciteit in de omgeving van Petten wordt in verband gebracht met de productie van de gasvelden Bergermeer en Groet-Oost. Tegenwoordig wordt het gasveld Bergermeer gebruikt voor gasopslag, waardoor de geïnduceerde seismiciteit aanzienlijk is afgenomen.

Figuur 3-3: Seismiciteit op regionale schaal



5. Geologisch en geotechnisch onderzoek toont de aanwezigheid aan van 11 geotechnische bodems in de ondergrond van het terrein. Deze zijn gelijkmatig opgebouwd, zoals te zien is in een doorsnede van het ruimtelijke geomodel dat voor de locatie is gegenereerd (Figuur 3-4). Deze bodeminterpretatie is het uitgangspunt voor de verschillende ontwerpberekeningen, waaronder die voor de paalfundering, bouwput, horizontale veerstijfheid, locatie respons analyse (SRA) en beoordeling van liquefactie (het verlies van draagkracht of overmatige zetting van de bodem als gevolg van een aardbeving).
6. Als gevolg van verschillende processen treedt er enige bodemdaling op. De maximaal verwachte totale bodemdaling op de PALLAS-locatie is onderdeel van de ontwerpbasis in verband met het ontwerp voor externe overstromingsniveaus.

Figuur 3-4: Representatieve dwarsdoorsnede van het PALLAS-terrein. De contour van het Nuclear Island Building wordt aangegeven door de zwarte stippellijnen



### 3.3.2 Ontwerpbasis

1. Naar aanleiding van de geologische en seismologische evaluaties zijn extreme ontwerpbasiswaarden voor het ontwerp van de PALLAS-reactor bepaald. In Tabel 3-1 zijn de extreme waarden weergegeven die zijn toegepast in het ontwerp van de PALLAS-reactor. Voor de ontwerpbasis aardbeving is de aardbeving behorende bij een frequentie van optreden van  $10^{-4}$  per jaar gebruikt. De in de tabel aangegeven waarden voor de maximale bodemversnelling komen overeen met een magnitude van ongeveer 6,5.

Tabel 3-1: Overzicht van geotechnische ontwerpbasiswaarden voor de PALLAS-locatie

Bedreiging	Extreme ontwerpbasiswaarde
Bodemdaling	0,32 m per eeuw
Verzakking van het Nuclear Island Building	0,125 m
Ontwerpbasis aardbeving (SL-2)	Maximale bodemversnelling (Peak ground Acceleration - PGA) Horizontale PGA = 0,13g Verticale PGA = 0,11g (vergelijkbaar met een moment magnitude van ongeveer 6,5)

## 3.4 Meteorologie

### 3.4.1 Klimatologische omstandigheden

1. Om het weer en het klimaat in Nederland te monitoren heeft het KNMI ongeveer 35 volautomatische weerstations in gebruik. Het weerstation van De Kooy, 17 km ten noorden van PALLAS, beschikt over voldoende gegevens voor analyse van meteorologische waarden en wordt representatief geacht voor de beschouwde locatie. Ook wordt gebruik gemaakt van gegevens van het KNMI-neerslagstation in Petten.
2. De volgende parameters worden gemonitord:
  - temperatuur (op grondniveau en op 1,5 m van de grond);
  - regenval;
  - luchtdruk;
  - wind (snelheid en richting) op 10 meter hoogte;
  - vochtigheid.
3. In onderstaande tabel zijn o.a. deze parameters voor de diverse perioden in het jaar weergegeven. De waarden in de tabel zijn gebaseerd op de periode 1981-2010 en zijn gemeten door het KNMI-station De Kooy.

Tabel 3-2: Klimaat parameters (1981-2010), KNMI-station De Kooy (235)

235	Temperatuur(°C)			Relatieve vochtigheid %		Neerslag			Verdamping	Globale Straling	Zonneschijn		Luchtdruk	Pot. wind	Gem. wind	Windvector	Wind					
	gemiddeld	gemiddeld minimum	gemiddeld maximum	gemiddeld	12.00 UT	duur in uren	in % van de tijd	som in mm	som in mm	som in J/cm <sup>2</sup>	in uren	in % langst mogelijke duur	in hPa	snelheid in m/s	snelheid in m/s	snelheid in m/s	richting in graden	≥ 4 Bft	≥ 5 Bft	≥ 6 Bft	≥ 7 Bft	≥ 8 Bft
jan	3.5	1.2	5.5	88	86	69.5	9	66.7	8.4	7134	64.1	25	1015.5	7.2	7.1	3.1	225	27	20	13	6	2
feb	3.3	0.8	5.5	86	83	52.4	8	45.1	16.0	13596	91.2	33	1015.9	6.8	6.6	1.9	228	23	17	10	4	1
mrt	5.6	2.8	8.3	85	80	56.9	8	52.8	35.3	27389	134.8	37	1014.4	6.5	6.3	2.1	237	26	19	9	3	0
apr	8.4	5.0	11.7	81	73	38.3	5	34.2	62.8	44630	194.2	46	1014.3	5.7	5.5	0.4	291	25	14	5	1	0
mei	12.0	8.7	15.4	80	73	39.6	5	45.5	91.5	58898	235.2	48	1015.5	5.6	5.4	0.5	315	26	14	4	0	0
jun	14.7	11.3	18.0	80	73	36.5	5	54.6	98.4	50638	219.0	43	1016.0	5.3	5.1	1.7	279	24	12	3	0	.
jul	17.1	13.8	20.3	80	74	34.0	5	60.3	103.0	50440	228.2	45	1015.7	5.3	5.1	1.9	265	25	13	3	0	.
aug	17.4	14.0	20.6	80	73	36.0	5	77.3	85.7	49222	208.2	46	1015.1	5.2	5.0	1.8	262	24	12	4	1	.
sep	15.0	11.7	17.9	82	75	51.5	7	84.0	52.3	31569	148.1	39	1015.4	5.5	5.3	1.5	248	23	13	5	1	0
okt	11.4	8.5	14.0	84	78	62.8	8	96.3	27.9	18383	114.2	35	1013.8	6.2	6.0	2.2	217	25	17	8	3	0
nov	7.5	4.9	9.7	86	83	71.3	10	83.8	11.1	8180	63.1	24	1013.2	6.3	6.1	2.3	221	25	18	9	3	0
dec	4.4	2.0	6.4	88	86	68.5	9	70.2	6.4	5181	51.1	21	1014.5	6.5	6.3	2.3	220	26	19	11	4	1
winter	3.8	1.4	5.9	87	85	191.9	9	184.1	30.8	25909	206.3	27	1015.3	6.9	6.7	2.5	225	76	57	34	15	3
lente	8.7	5.5	11.8	82	75	134.9	6	132.6	189.7	130916	564.2	44	1014.7	5.9	5.8	0.9	256	77	47	19	4	0
zomer	16.4	13.0	19.6	80	73	106.5	5	192.2	287.1	168299	655.4	45	1015.6	5.3	5.0	1.8	268	72	38	10	1	.
herfst	11.3	8.3	13.9	84	79	185.6	8	264.1	91.3	58133	325.4	34	1014.1	6.0	5.8	1.9	226	74	48	22	7	1
jaar	10.0	7.1	12.8	83	78	617.3	7	770.9	598.8	383260	1751.4	39	1014.9	6.0	5.8	1.7	240	300	189	84	27	5

## 3.4.2 Ontwerpbasis

1. De ontwerpbasisparameters met betrekking tot extreme meteorologische omstandigheden garanderen een hoge mate van bescherming. Voor elke ontwerpbasisgebeurtenis is een frequentie tot  $10^{-4}$  per jaar gebruikt. In onderstaande tabel zijn de ontwerpbasisparameters en hun waarden weergegeven. Bij deze extreme waarden is rekening gehouden met de gevolgen van klimaatverandering.
2. Van deze ontwerpbasisparameters is de omgevingstemperatuur van belang voor luchtkoeling en ventilatie. De regenval is relevant in verband met de hemelwaterafvoer en mogelijke overstroming (zie paragraaf 3.5.3) en de wind en sneeuwval zijn van belang voor de bestendigheid van gebouwen en installaties.
3. De bescherming tegen bliksem is gebaseerd op de betreffende NEN-norm.

Tabel 3-3: Overzicht van meteorologische ontwerpbasiswaarden voor de PALLAS-locatie

Parameter	Extreme ontwerpbasiswaarde
Droge bol omgevingstemperatuur <sup>2</sup>	Laag: -29°C Hoog: +40°C
Natte bol omgevingstemperatuur	Laag: -30°C Hoog: +37°C
Regenval	400 mm in 24 uur
Wind (extreem uurgemiddelde)	37,7 m/s (136 km/u)
Windvlaag	57 m/s (205 km/u)
Sneeuwlaag	3,12 m

## 3.5 Hydrologie

### 3.5.1 Inleiding

1. De PALLAS-reactor wordt dicht bij de kust gebouwd. Daarom is enige algemene hydrologische informatie beschreven en is het potentiële overstromingsgevaar onderzocht. Hierbij zijn de volgende verschijnselen meegenomen:
  - extreme neerslag;
  - seiches en meteotsunami's in de Noordzee;
  - stormvloedgolf;
  - tsunami.

### 3.5.2 Hydrologische beschrijving

#### 3.5.2.1 Grondwater

1. De ondergrond van de PALLAS-locatie kan, naast de bovenste freatische watervoerende laag in het duinzand en de polders, tot een diepte van 250 m in zes hoofdlagen worden verdeeld. In de bovenste drie lagen (tot ongeveer -28 m NAP) wordt een W-O grondwaterstromingsrichting

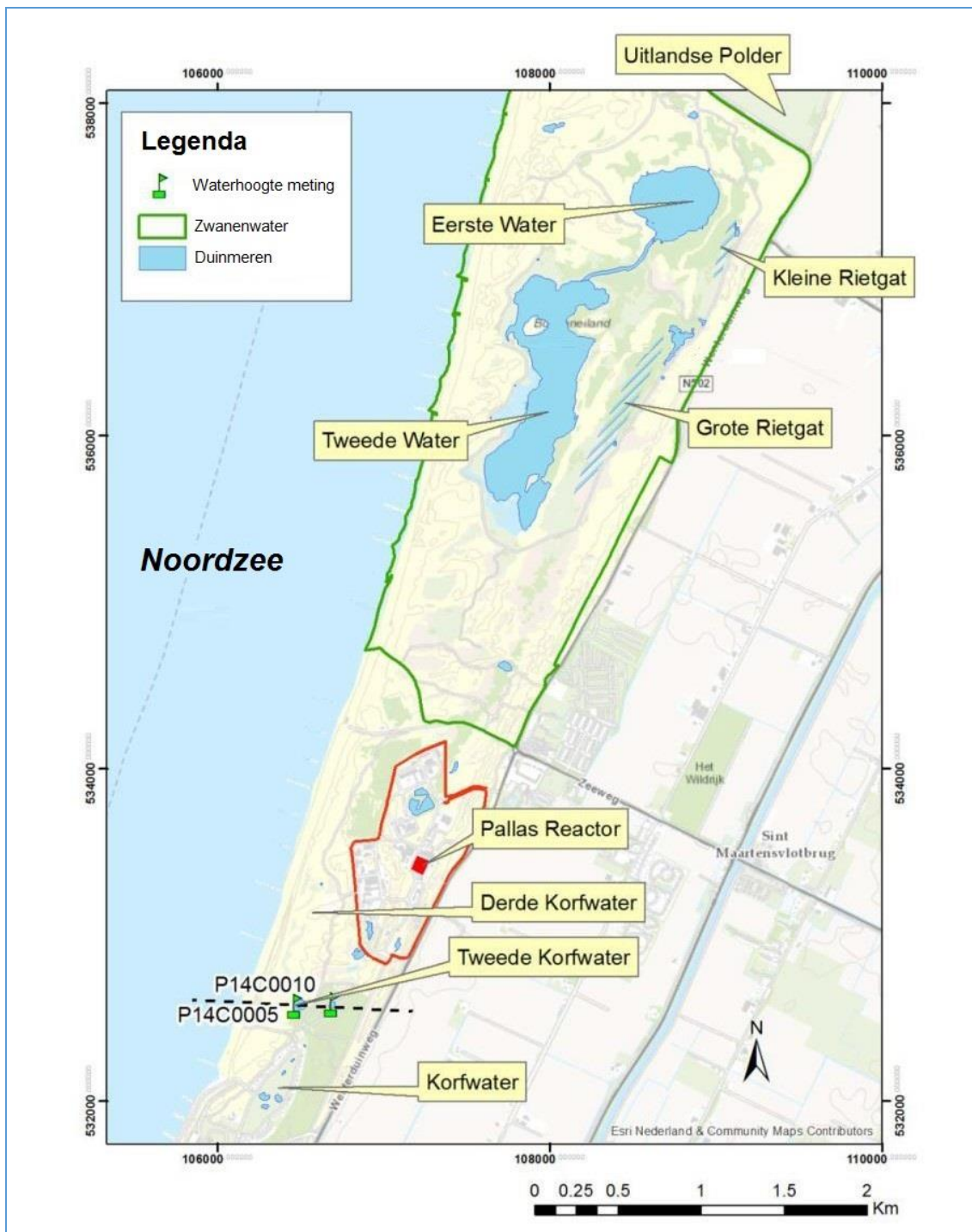
<sup>2</sup> De droge bol temperatuur is de werkelijke luchttemperatuur en de natte bol temperatuur is de laagste temperatuur die bereikt wordt door het adiabatisch verdampen van water in de lucht tot die lucht verzadigd is. Het verschil tussen de droge en natte boltemperatuur is een maat voor de luchtvochtigheid. De natte bol temperatuur is van belang voor het ontwerpen en dimensioneren van koelmachines die gebruik maken van verdamping, zoals een koeltoren.

waargenomen. De doorlaatbaarheidscoëfficiënt varieert van 10 m/dag tot 30 m/dag. Het grondwaterpeil onder het terrein varieert tussen +0,9 en +1,7 m NAP. De chlorideconcentraties van het grondwater zijn in kaart gebracht en er zijn chemische analyses op grondwatermonsters uitgevoerd. In de buurt van de Hoge Flux Reactor, op het NRG-terrein op ongeveer 100 m ten noorden van het PALLAS-terrein, is een bekende grondwaterverontreiniging met tritium aanwezig.

### 3.5.2.2 Duinmeren

1. De aanwezigheid en de kenmerken van de duinmeren worden bepaald door hun topografische ligging in de duinen. Alle meren buiten de Energy and Health Campus (rood gebied in Figuur 3-5) liggen in Natura-2000 natuurgebieden en worden niet gebruikt voor recreatie, visserij, watervoorziening etc.

Figuur 3-5: Duinmeren – locatiekaart



2. Ten oosten van de duinen en de Energy and Health Campus liggen de Zijpe en de Hazepolder. Dit laaggelegen terrein (+0,5m tot -0,5m NAP) wordt ontwaterd door een intensief afwateringssysteem van waterlopen op de Schermerboezem.

### 3.5.2.3 Noordhollandsch Kanaal

1. Het Noordhollandsch Kanaal is de bron voor het koelwater voor de PALLAS-reactor, dat na gebruik wordt afgevoerd naar de Noordzee. Het kanaal is verbonden met het IJ in Amsterdam in het zuiden en met de Waddenzee bij Den Helder in het noorden. In de zomer kan indien nodig zoet water vanuit het Markermeer aan het kanaal worden toegevoerd. De breedte van het kanaal is ca. 35 m. Het waterpeil wordt gehandhaafd op -0,50 tot -0,55 m NAP, met een waterdiepte van



ca. 3,5 tot 3,7 m. De chlorideconcentraties in het kanaalwater liggen meestal tussen de 190 en 460 mg/l, en varieert hiermee tussen zoet en brak water.

2. Het KNMI heeft vier scenario's voor klimaatverandering gepubliceerd, afhankelijk van verschillende aannames over veranderingen in de wereldwijde luchtcirculatie en de opwarming van de aarde. Het scenario dat resulteert in de hoogste temperatuurstijging is voor het bepalen van de watertemperatuur van het koelwater gebruikt. De maximale temperatuur van het koelwater bedraagt 26°C bij de inlaat aan het Noordhollandsch Kanaal. In de tweede helft van deze eeuw kan de maximale watertemperatuur stijgen naar ruim 28°C.
3. Het waterpeil in het kanaal wordt beheerd door het Hoogheemraadschap en Rijkswaterstaat. In de zomer wordt het kanaalsysteem indien nodig bijgevoerd met zoet water uit het Markermeer. Hierdoor is een zeer laag waterpeil in het kanaal een gebeurtenis met een lage waarschijnlijkheid.
4. Blokkering van het Noord Hollands kanaal door ijs heeft zich in het recente verleden een paar keer voorgedaan. Een lage waterstand in combinatie met een hoge watertemperatuur heeft zich één keer voorgedaan.
5. Onvoldoende koelwater als gevolg van een laag waterpeil, ijsvorming of een hoge watertemperatuur is een relatief langzaam proces, dat kan worden voorzien en waarop kan worden geanticipeerd.

#### 3.5.2.4 Noordzee

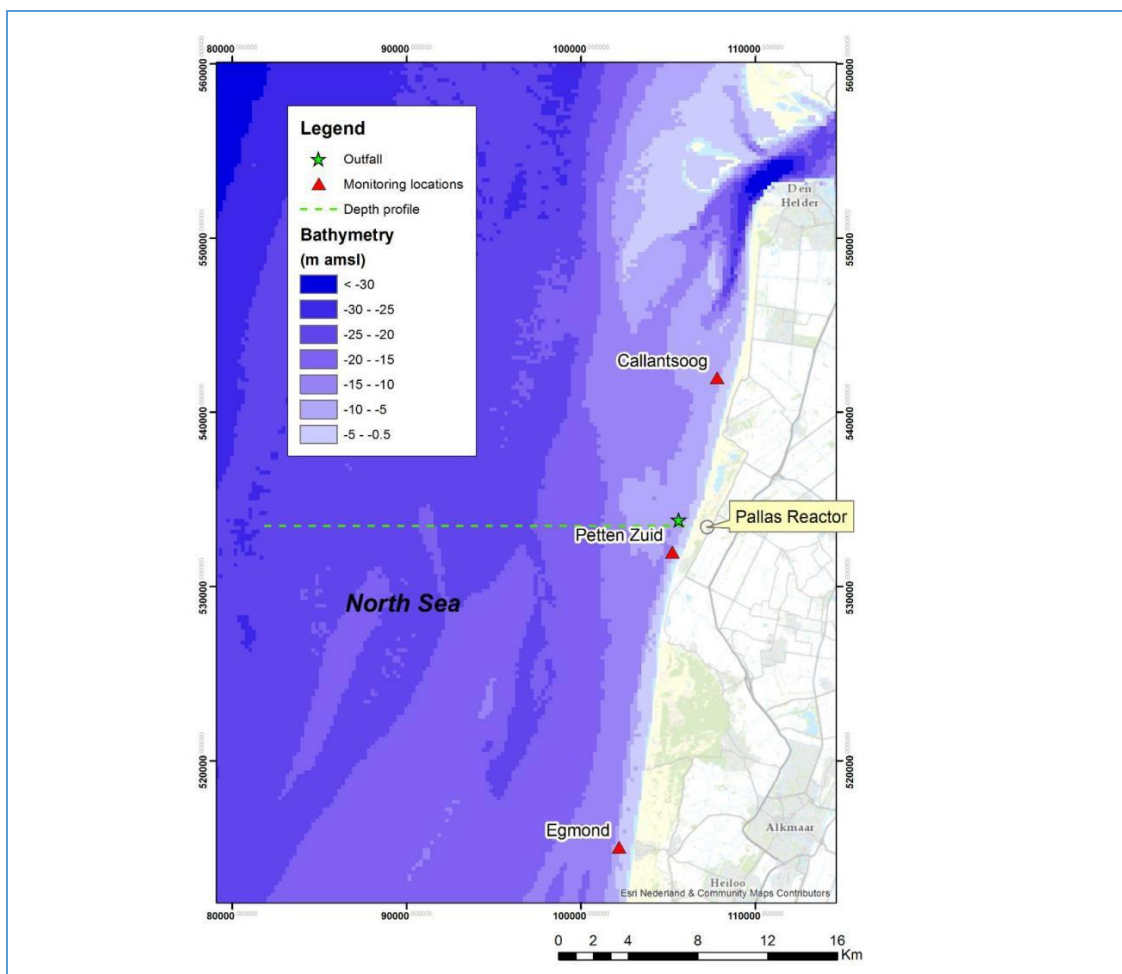
1. Op basis van de zeewatertemperaturen die in de jaren 2000 en 2012 in Den Helder en IJmuiden zijn geregistreerd, zijn de volgende waarden voor Petten berekend:
  - gemiddelde minimumtemperatuur van het zeewater: 1 °C;
  - gemiddelde maximumtemperatuur van het zeewater: 23 °C.De gemiddelde zeewaterstand van de afgelopen 20 jaar in Petten-Zuid (locatie zie
2. Figuur 3-6) was +0,05 m NAP, met het 5e en 95e percentiel op respectievelijk -0,91 m NAP en +0,96 m NAP. De waargenomen hoogwaterstanden in de buurt van IJmuiden zijn weergegeven in Tabel 3-4.

Tabel 3-4: Hoogwaterstandwaarneming bij IJmuiden

Waarnemingen (hoge) waterstand	Waarde
Gemiddeld hoogwater	+0,97 m NAP
Hoog water (overschrijdingsfrequentie 1 keer per jaar)	+2,23 m NAP
Hoog water (overschrijdingsfrequentie 1 keer per 10 jaar)	+2,87 m NAP
Hoogste waarneming (berekend naar 1985)	+4,02 m NAP

3. Figuur 3-6 geeft de bathymetrie (topografische hoogte van de zeebodem) voor de kust van de PALLAS-locatie weer waarin te zien is dat de bathymetrische contouren parallel aan de kustlijn zijn georiënteerd, met enkele incidentele diepere zeebodemplagen. De zeebodem loopt langzaam af naar het westen en bereikt een diepte van ongeveer 25 m op 25 km ten westen van de kustlijn.

Figuur 3-6: Bathymetrie van de Noordzee (m) en locaties van de meetstations



- De samenstelling van het zeewater wordt gedomineerd door opgeloste zouten waarvan bijna 70% NaCl. De zoutconcentratie aan de kust varieert zowel door seizoensgebonden invloeden als door variatie in de afvoer van rivierwater, vermengd met zeewater. In de buurt van de locatie bedraagt het totale gehalte aan opgeloste vaste stoffen ongeveer 30 g/l en de chlorideconcentratie ongeveer 17 g/l.

### 3.5.3 Overstromingsgevaar

- Deze sectie behandelt de bronnen die relevant zijn voor overstromingsgevaar voor de PALLAS-reactor. Net als bij andere natuurbreedingen is het ontwerp voor overstromingen gebaseerd op de gevarenintensiteit die overeenkomt met een kans van 1 op 10.000 jaar.

#### 3.5.3.1 Lokale extreme neerslag

- Extreme neerslaghoeveelheden worden in paragraaf 3.4.2 behandeld, waarbij de voor overstroming relevante neerslaghoeveelheden bij een neerslagduur van 24 uur met een overschrijdingskans van  $10^{-4}$  op de PALLAS-locatie gegeven.

#### 3.5.3.2 Seiches en meteotsunami's

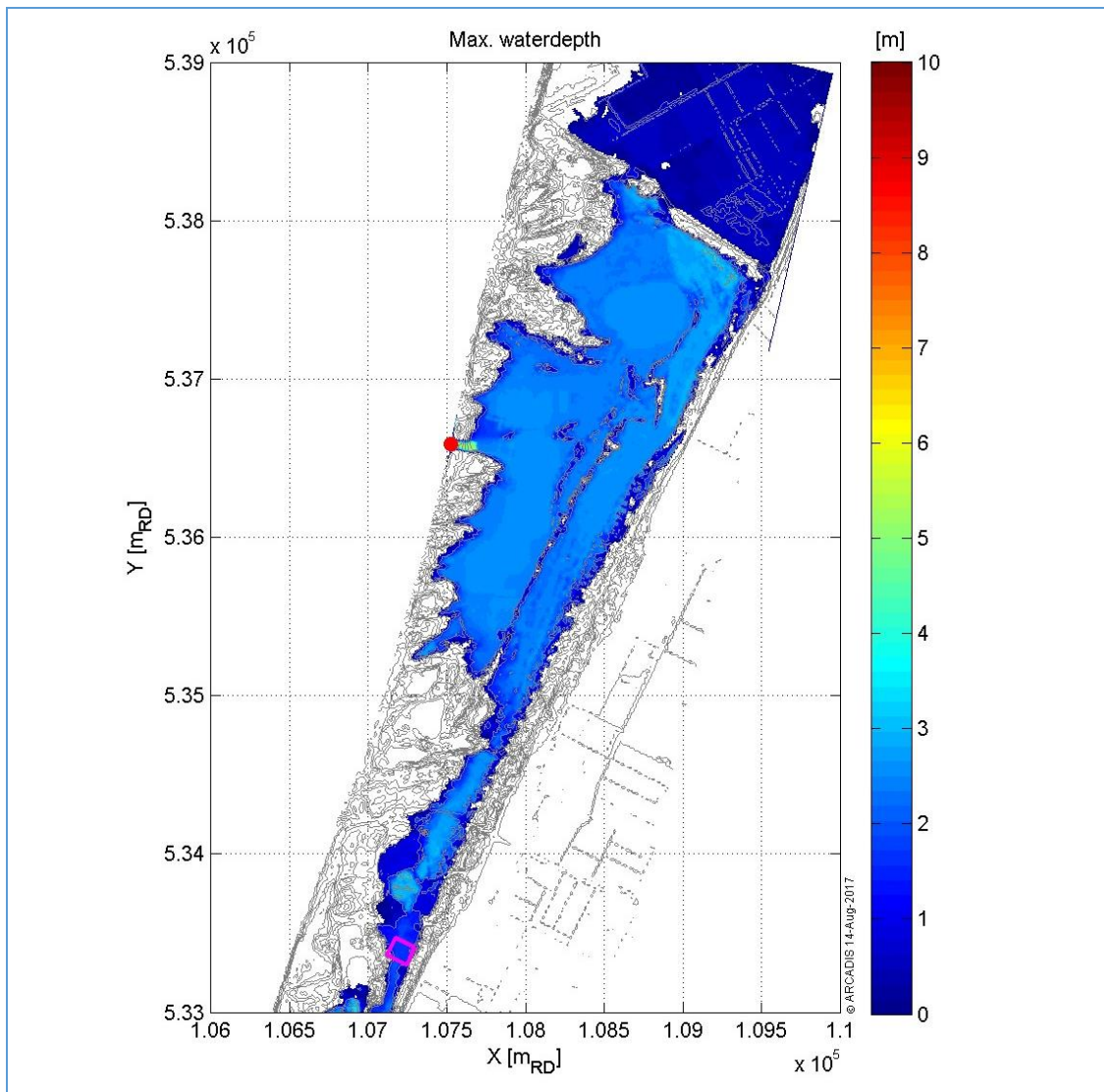
- Een seiche is een staande golf in een ingesloten of gedeeltelijk ingesloten waterlichaam, bv. meren, reservoirs, baaien, havens en zeeën. De belangrijkste voorwaarde voor de vorming van een seiche is dat het waterlichaam tenminste gedeeltelijk begrensd is, zodat de staande golf kan worden gevormd. Een seiche wordt niet beschouwd als een relevant gevaar voor de PALLAS-reactor omdat de Noordzee niet (gedeeltelijk) ingesloten is en het IJsselmeer, het Markermeer en de Waddenzee op grote afstand liggen.

2. Voor de Noordzee en dus voor de PALLAS-locatie, is de ontwikkeling van (versterkte) watergolven door atmosferische verstoring, ook wel meteotsunami's genoemd, relevant. De hoogste meteotsunami die in de periode 1987 - 2018 in Petten is geregistreerd, had een golfamplitude van 0,73 m. Deze amplitude vormt op zichzelf geen risico voor een overstroming. De kans op het gelijktijdig voorkomen van een seiche met een stormvloed is zeer onwaarschijnlijk en daarom is de meteotsunami verder niet meegenomen voor het vaststellen van het Ontwerpbasis overstromingsniveau.

### 3.5.3.3 Stormvloedgolf op de Noordzee

1. Een stormvloed is een abnormale stijging van het zeewaterpeil, door het opstuwen van zeewater door stormwinden gelijktijdig met vloed. De PALLAS-locatie zou kunnen overstroomd worden wanneer de duinen, behorend tot de primaire waterkering, doorbreken als gevolg van een stormvloedgolf.
2. In Figuur 3-7 zijn de maximale waterdiepten weergegeven tijdens een stormvloed met een kans van eens per 10.000 jaar waarbij is aangenomen dat een breuk in de duinen bij het Zwanenwater (rode stip), behorende tot de primaire waterkering, (met duinhoogtes die variëren tussen +10 m NAP en +15 m NAP) is opgetreden én plaatselijke duindoорbraken hebben plaatsgevonden. Alleen in combinatie met deze plaatselijke duindoорbraken, door bijvoorbeeld verlaging of verwijdering van obstakels, kan de PALLAS-locatie overstroomd worden. In Tabel 3-5 zijn voor verschillende stormvloedsenario's de waterhoogten op het PALLAS-terrein berekend.

Figuur 3-7: Maximale waterdiepte tijdens een stormvloed met een kans van eens per 10.000 jaar (rechthoek toont de PALLAS-locatie)



--

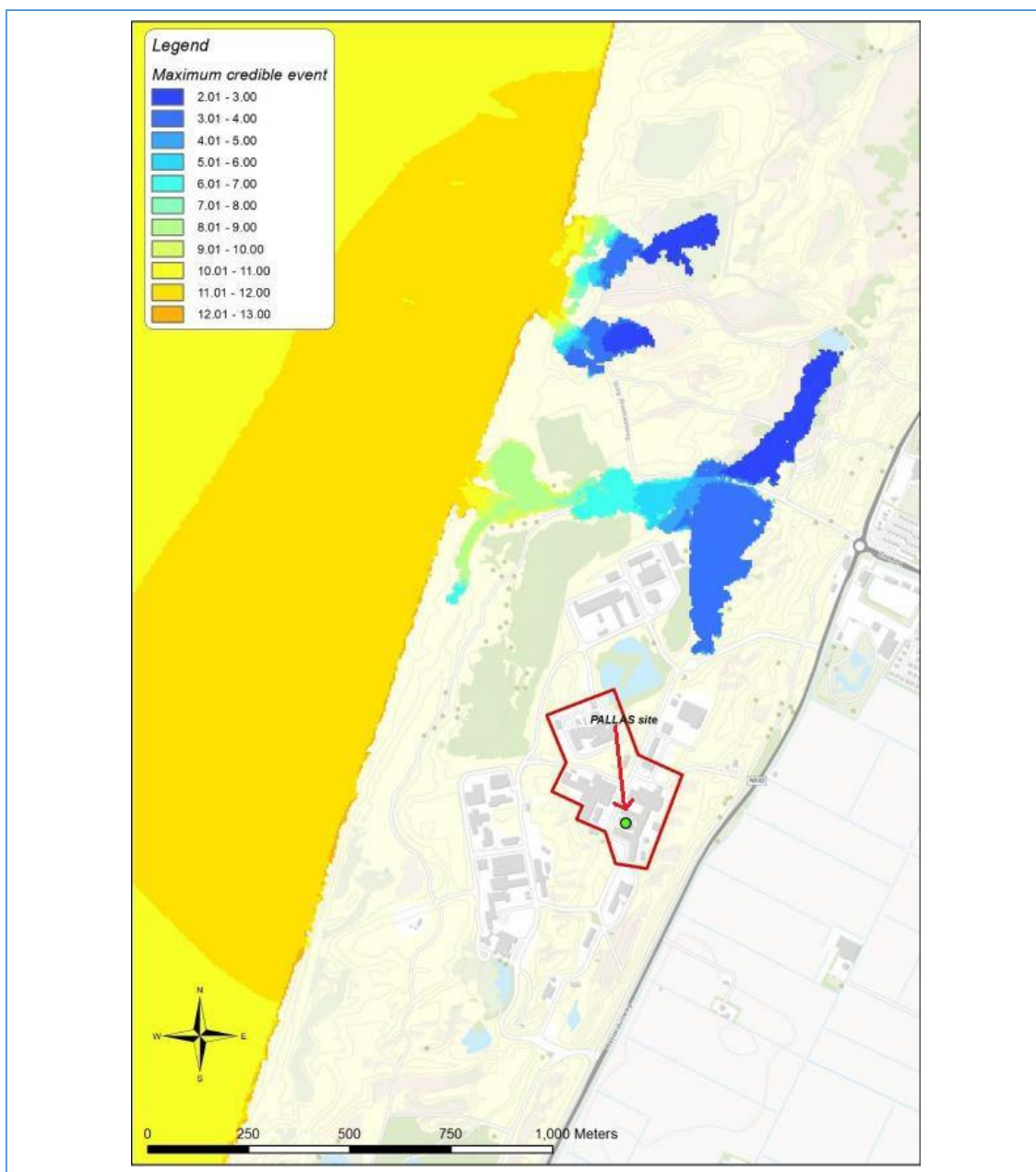
Tabel 3-5: Stormvloedgolfscenario's versus waterhoogte op de PALLAS-locatie na doorbraak van de primaire waterkering (duinen) bij het Zwanenwater (hoogte PALLAS-terrein is ongeveer +3,3 m NAP)

Stormvloedgolf:		Waterhoogte op PALLAS-locatie
Kans [/jaar]	Waterhoogte	[m NAP]
1 / 10.000	+6,1m NAP	5,5
1 / 100.000	+6,8m NAP	6,8
1 / 1.000.000	+7,5m NAP	7,6

#### 3.5.3.4 Tsunami

1. Een tsunami is een reeks golven, die in een waterlichaam wordt opgewekt door een impulsieve verstoring die de waterkolom verticaal verplaatst. In de praktijk kan alles wat in staat is om grote watermassa's te verplaatsen een tsunami veroorzaken zoals aardbevingen, aardverschuivingen, vulkaanuitbarstingen enz.
2. Omdat PALLAS in de buurt van de kust ligt, is een risicobeoordeling voor het optreden van een tsunami uitgevoerd. Als uitgangspunt hierbij is de historische *Storegga* verschuiving genomen, wat neerkomt op een aardverschuiving aan de Zuidkust van Noorwegen met een kans van ongeveer 1 op 100.000 jaar. In Figuur 3-8 is de waterhoogte als gevolg van deze gepostuleerde aardverschuiving met daaropvolgend een tsunami, weergegeven. In de figuur is te zien dat het water het land binnenkomt via openingen in de eerste duinenrij. Het water stopt voor de tweede duinenrij omdat de hoeveelheid binnenkomend water beperkt is. Het water komt niet over deze duinen heen en het PALLAS terrein wordt niet door het water bereikt. Hiermee is aangetoond dat de PALLAS-locatie bij een dergelijke tsunami beschermd is tegen overstroming.

Figuur 3-8: Maximale waterstand in m NAP als gevolg van een tsunami



### 3.5.4 Ontwerpbasis

#### 3.5.4.1 Koelwater uit het Noordhollandsch Kanaal

1.

Het koelwater voor het Secundair Koelsysteem wordt onttrokken uit het Noordhollandsch Kanaal. De volgende kenmerken zijn van toepassing op de PALLAS-reactor:

- het Noordhollandsch Kanaalwater is brak, potentieel kalkvormend en niet corrosief;
- het Noordhollandsch Kanaal kan het benodigde koelmiddeldebiet leveren;
- de waterinlaatlocatie kan voldoende diep geplaatst worden (o.a. ter bescherming tegen bevroering);
- de gekozen ontwerptemperatuur van het koelwater van 26 °C zorgt ervoor dat zelfs bij extreme weersomstandigheden en de gevolgen van de opwarming van de aarde, de koeling van de reactor gegarandeerd is. Indien noodzakelijk is het mogelijk om daartoe maatregelen te treffen zoals tijdelijke verlaging van het reactorvermogen of aanpassing van het koelsysteem.

### 3.5.4.2 Overstroming

1. Zware neerslag en een stormvloedgolf zijn geïdentificeerd als mogelijke initiërende gebeurtenissen voor overstroming van het PALLAS-terrein. Uit de scenarioanalyses blijkt dat het stormvloedgolfsценario het meest bepalend is. De scenario's zijn samengevat in Tabel 3-6.

Tabel 3-6: Samenvatting van de overstromingsscenario's

Overstromingssценario	Overstromingshoogte PALLAS-terrein	Kans [1/jaar]
Zware neerslag	400 mm in 24 h	1/10.000
Stormvloedgolf	NAP +5,5 m	1/10.000
	NAP +6,8 m	1/100.000
	NAP +7,6 m	1/1.000.000

2. Voor het ontwerp van het PALLAS Nuclear Island Building zijn de volgende overstromingsniveaus in aanmerking genomen:
  - Ontwerpbasis overstromingsniveau (kans van voorkomen van 1 op 10.000 jaar): NAP +5,9m op basis van NAP +5,5m;
  - Extreem overstromingsniveau (kans van voorkomen van 1 op 1.000.000 jaar): NAP +8,0 m op basis van NAP +7,6m.
3. Hierbij is gecorrigeerd voor bodemdaling en verzakken van het Nuclear Island Building tijdens de levensduur van de reactor.

## 3.6 Biologische gevaren

1. Biologische bronnen kunnen leiden tot gevaarlijke situaties. Drie potentiële gevaren zijn meegenomen in het ontwerp van de PALLAS-reactor:
  - Verstoring van de werking van het Secondary Cooling System (SCS) door blokkering van de toevoerleiding door organismen vanuit het Noordhollandsch Kanaal. De afvoerleiding kan vanuit de Noordzee worden geblokkeerd door zeeorganismen, algen-aangroei, mossel-aangroei, vis of kwallen. Voor verschillende soorten zijn ecologische studies uitgevoerd waaruit blijkt dat de aangroei van organismen wordt voorkomen bij een koelwatersnelheid van rond de 2 m/s.
  - Verstoring van de werking van ventilatie- en luchtbehandelingssystemen door verstopping van de luchtinlaten door organisch materiaal (bijv. insecten, bladeren).
  - Beschadiging van elektrische bedrading of signaalkabels door kleine knaagdieren zoals muizen of ratten.

## 3.7 Nabijgelegen industriële, transport- en militaire faciliteiten

1. In dit hoofdstuk worden alle activiteiten met betrekking tot het vervoer en de opslag van gevaarlijke stoffen in de nabijheid van de PALLAS-locatie in kaart gebracht. Dit betreft:
  - niet-nucleaire industriële faciliteiten (buiten de Energy and Health Campus);
  - nucleaire faciliteiten (op de Energy and Health Campus);
  - transportroutes;
  - militaire installaties.

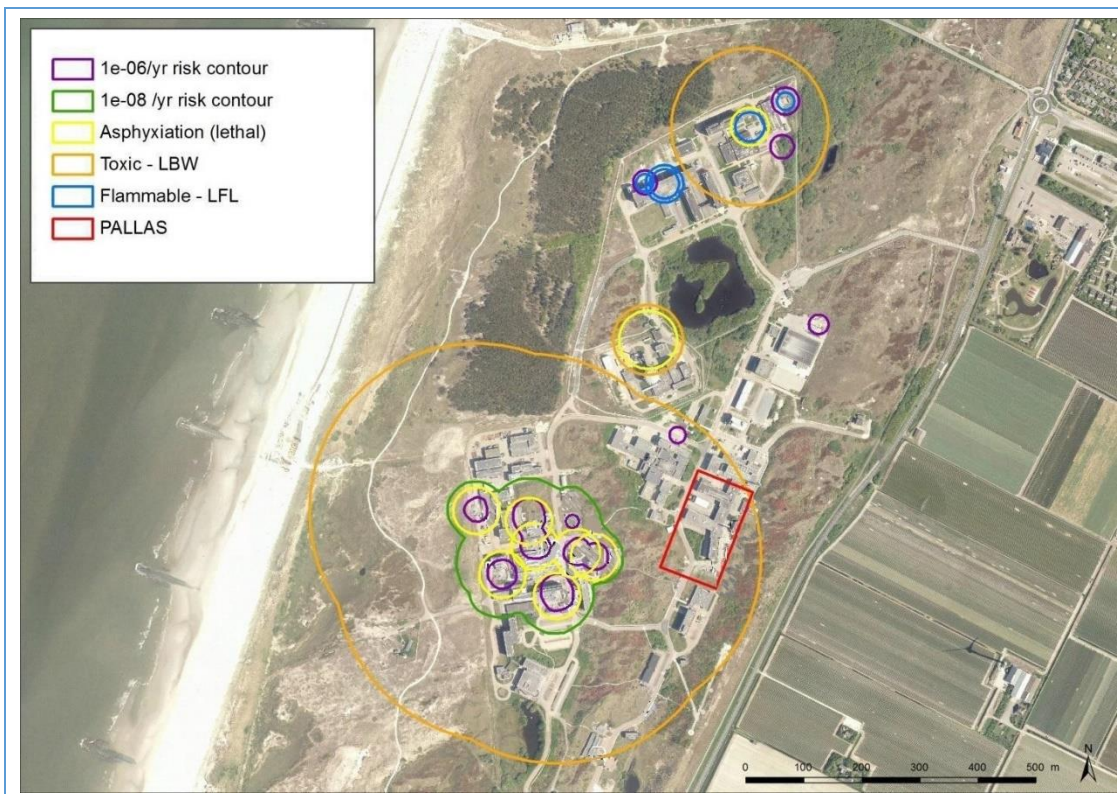
### 3.7.1 Niet-nucleaire industriële faciliteiten (buiten de Energy and Health Campus)

1. De dichtstbijzijnde grote industriële activiteit ligt langs de Zaan en het Noordzeekanaal, beide op 35 km van de PALLAS-locatie. Middelgrote industriële activiteiten bevinden zich in Den Helder en Alkmaar op 18 km. In Den Helder bevindt zich een grote militaire marinebasis van de Koninklijke Marine.
2. Op ongeveer 5-7 km ten zuiden van de PALLAS-locatie, in Groet en Bergen, worden enkele kleine gasvelden geëxploiteerd. Op 10 km naar het noorden ligt een gasleiding tussen Bacton Gas Terminal (UK) en een compressorstation in Anna Paulowna.
3. Brand- en/of explosie als gevolg van nabijgelegen off-site activiteiten kan geen significante drukgolf veroorzaken op het PALLAS-terrein. Significante gevolgen van explosies bij pijpleidingongevallen buiten de Energy and Health Campus zijn uitgesloten op grond van de afstand (de dichtstbijzijnde pijpleiding bevindt zich op 4,1 km van het PALLAS-terrein).
4. Het risico van het vrijkomen van chemische stoffen bij off-site industriële activiteiten is verwaarloosbaar: de  $10^{-6}$  risicocontouren van alle industriële installaties buiten de Energy and Health Campus bereiken het PALLAS-terrein niet.

### 3.7.2 Nucleaire en niet-nucleaire faciliteiten (Energy and Health Campus)

1. De PALLAS-reactor is gevestigd op de Energy and Health Campus waar ook de HFR en onderzoeksfaciliteiten van NRG, de onderzoeks- en kantoorfaciliteiten van ECN part of TNO, het EU Instituut voor Energie en Vervoer (JRC-IET) en Curium zijn ondergebracht.
2. Op het terrein wordt gewerkt met gevaarlijke stoffen. Derhalve worden ook cilinders met gevaarlijke stoffen/gassen opgeslagen. In Figuur 3-9 zijn de  $10^{-6}$  en  $10^{-8}$  risicocontouren (letaliteit) voor de verschillende activiteiten weergegeven. Te zien is dat deze contouren op enige afstand (min. 50m) van de PALLAS-locatie blijven.

Figuur 3-9: Risicocontouren van de bestaande faciliteiten op de Energy and Health Campus



3. Wanneer gevaarlijke stoffen zouden vrijkomen op de Energy and Health Campus veroorzaken deze geen verstikking (gele contouren) op de PALLAS-locatie. Toxiche effecten kunnen echter niet worden uitgesloten (zie bruin/oranje LBW-contour (levensbedreigende waarde) in de risicokaart in



Figuur 3-9). Daarbij dient te worden opgemerkt dat de contour voor toxische effecten het gevolg is van de maximaal mogelijke uitstoot, zonder rekening te houden met de waarschijnlijkheid. Deze waarschijnlijkheid is erg laag zoals blijkt uit de eerder genoemde risico contouren (groen/paars). Verder is het ventilatiesysteem voorzien van detectoren op basis waarvan de luchtinlaten gesloten kunnen worden.

### 3.7.3 Transportroutes

#### 3.7.3.1 Vervoer over de weg

1. Voor transportincidenten bij vervoer over de weg zijn voor de PALLAS-locatie de explosierisico's beschouwd voor een oplegger met waterstofcilinders, een tankwagen met 20 m<sup>3</sup> diesel en een tankwagen met LPG. Het grootste risico wordt gevormd door het transport van waterstofcilinders in de directe omgeving van het PALLAS-terrein. Vastgesteld is dat het overdrukeffect als gevolg van een explosie van waterstof tot schade zou kunnen leiden. Als gevolg hiervan moet de transportroute van waterstof op voldoende afstand van kritische objecten van de PALLAS-installatie verwijderd zijn.

#### 3.7.3.2 Vervoer over het water

1. Voor scheepvaartincidenten op de Noordzee of het Noordhollandsch Kanaal wordt vanwege de afstand een significante impact op de PALLAS-locatie ten aanzien van brand, explosie en het vrijkomen van chemische stoffen, uitgesloten. Wel is schade of verstopping (bijvoorbeeld door olie) aan/van de koelwateruitlaat -of inlaat mogelijk. Omdat de koelwaterinlaat is voorzien van twee inlaatopeningen op meerdere meters afstand van elkaar, waarvan er één nodig is, is de kans op het niet functioneren van de koelwaterinlaat beperkt.

#### 3.7.3.3 Luchtvervoer

1. Er is geen burgerluchtvaartroute over de PALLAS-locatie. Het dichtstbijzijnde actieve vliegveld bij Petten is De Kooy, gelegen bij Den Helder op ongeveer 18 km van de PALLAS-locatie. Het wordt gebruikt voor militaire en kleine (privé) vliegtuigen.

### 3.7.4 Militaire voorzieningen

1. Direct naast de Energy and Health Campus in de kustzandduinen, op ongeveer 600 m ten westen van het PALLAS-terrein, wordt door de marine een militaire artillerie testopstelling gebruikt voor maximaal 20 dagen per jaar.
2. De schietrichting is zeewaarts en weggericht van de PALLAS-locatie. De toegestane schiethoek is weergegeven in Figuur 3-10. Er worden geen geleide projectielen gebruikt die kunnen afwijken van hun beoogde traject. De granaten worden naar de testlocatie getransporteerd via de wegen op de Energy and Health Campus, ongeveer 150 m van de PALLAS-locatie.
3. Een directe treffer op de PALLAS-installatie door een granaat kan worden verwaarloosd op basis van de indeling van het gebied tussen de artillerieopstelling en PALLAS, de afstand en de manier waarop de tests worden uitgevoerd.
4. Het effect van druk(schok)golven als gevolg van ongeplande vroege explosies van een granaat op de testlocatie kan worden verwaarloosd. Een granaatscherf zou de PALLAS-locatie kunnen raken, maar gezien de afstand is de impact verwaarloosbaar.

Figuur 3-10: Schietbereik op de plaats van de artillerietest in Petten



### 3.7.5 Andere door de mens veroorzaakte gevaren

1. De aanwezigheid van niet-ontplofte munitie uit de Tweede Wereldoorlog op de PALLAS-locatie is onderzocht en niet aannemelijk geacht.

### 3.7.6 Combinaties van gebeurtenissen

1. In het ontwerp zijn ook combinaties van de afzonderlijke externe gebeurtenissen en de daaruit voortvloeiende belastingen meegenomen, voor zover zij een onderlinge afhankelijkheid hebben.
2. De belangrijkste combinaties met een onderlinge afhankelijkheid zijn:
  - Harde wind, regen en sneeuw in combinatie met externe overstroming;
  - Harde wind in combinatie met het verlies van koelwater;
  - Aardbeving in combinatie met het verlies van koelwater;
  - Neerstortend vliegtuig in combinatie met het verlies van koelwater.

## 3.8 Natuurlijke omgeving en land- en watergebruik

### 3.8.1 Landgebruik

1. Op de Energy and Health Campus bevinden zich de HFR, onderzoeks- en kantoorfaciliteiten van de NRG, ECN part of TNO, JRC-IET en Curium.
2. De Energy and Health Campus is omgeven door het natuurgebied Zwanenwater en Pettemerduinen. Ten zuiden en ten oosten van de Energy and Health Campus ligt een landbouwgebied waarop voornamelijk teelt van bloembollen en veldgewassen en melkveehouderij plaatsvindt. Achter het landbouwgebied, meer naar het oosten, ligt de Rijksweg N9, parallel aan het Noordhollandsch Kanaal.
3. Binnen of in de nabijheid van de duinen bij de kustlijn bevinden zich diverse recreatiegebieden, zoals campings en bungalowparken. De kustduinen ten westen en noordwesten van het PALLAS-

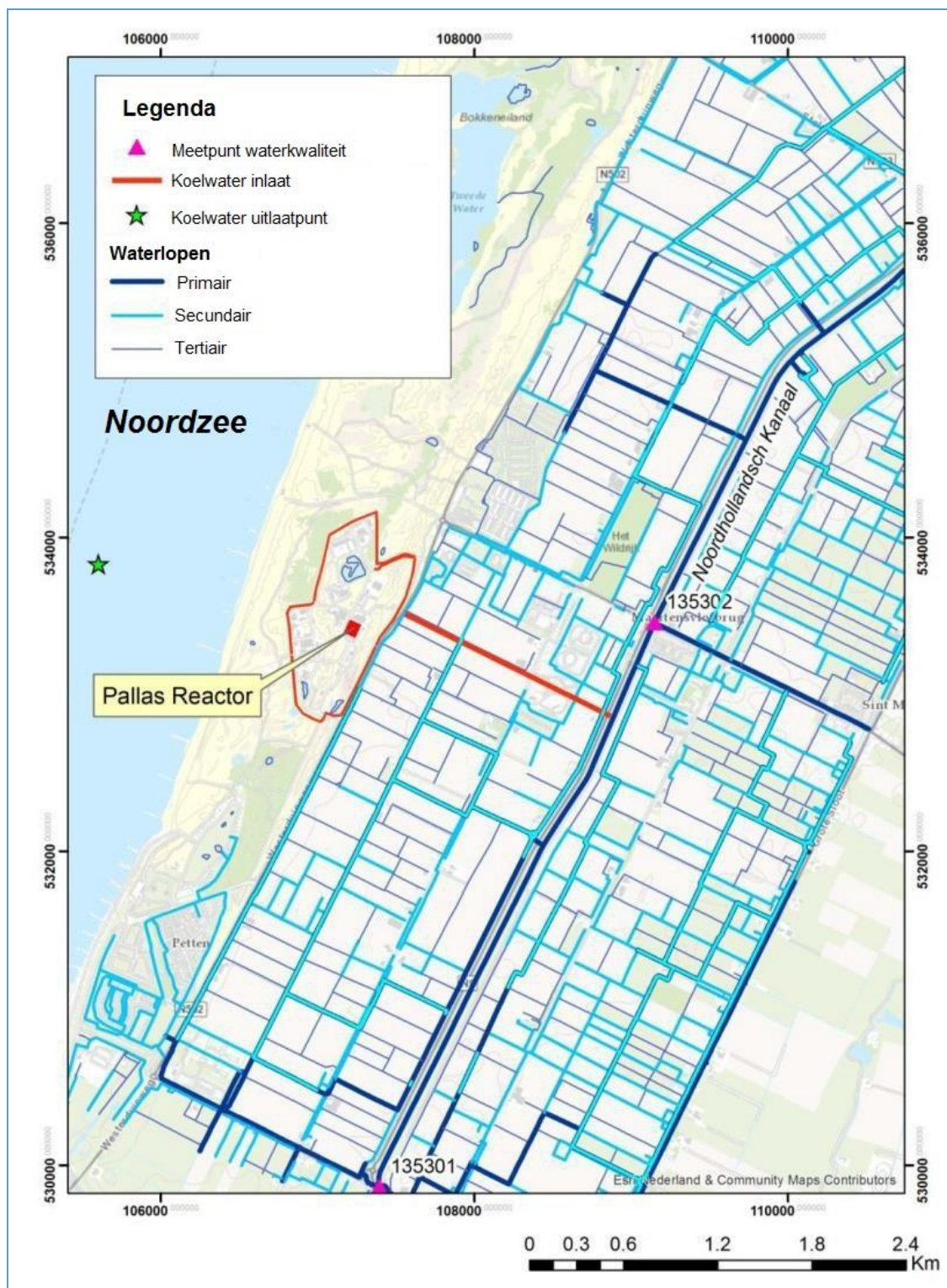
terrein zijn bedekt met bos en struikgewas. Ook zijn de duinen door de provincie Noord-Holland aangewezen als aardkundig monument, vanwege de historische oorsprong van het gebied.

4. De duinen en de zeewering langs de Noordzee beschermen de polder tegen overstromingen. De duinen rond de Energy and Health Campus zijn opengesteld voor publiek en worden gebruikt voor recreatieve doeleinden; er zijn wandel- en fietsroutes aanwezig.
5. Het Zwanenwater en de Pettemerduinen zijn aangewezen als Natura-2000 gebied, evenals de kustzone bij de Noordzee. Het noordelijke deel van het Zwanenwater en Pettemerduinen staat bekend als een rustig gebied en is beschermd ten aanzien van geluid. Activiteiten die een negatieve invloed hebben op het lokale geluidsniveau zijn niet toegestaan.

### 3.8.2 Gebruik van oppervlaktewater en grondwater

1. Het belangrijkste oppervlaktewater in de buurt van de PALLAS-reactor is de Noordzee, voornamelijk gebruikt voor recreatieve doeleinden. Langs de kust van Petten liggen geen grote scheepvaartroutes. De koelwaterafvoer van de HFR in de Noordzee ligt op ongeveer 1 km van de kustlijn.
2. Het polderland wordt binnenwaarts van het terrein ontwaterd door een intensief afvoersysteem dat is aangesloten op verzamelsloten (secundaire waterlopen) en primaire waterlopen (zie Figuur 3-11). Primaire waterlopen, zoals het Noordhollandsch Kanaal, hebben een regionaal belang voor het watertransport.
3. Het Noordhollandsch Kanaal mondt uit in het IJ in Amsterdam in het zuiden en in de Waddenzee bij Den Helder in het noorden. Het gebruik betreft beroepsvaart, recreatie en waterbeheer.

Figuur 3-11: Waterlopen aanliggend polderland



4. Het afvoerwater van de polder en het Noordhollandsch Kanaal wordt gebruikt voor irrigatie van omliggende landbouwvelden.
5. De koelwaterinlaat van de HFR bevindt zich in het Noordhollandsch Kanaal. De maximale hoeveelheid water die voor het koelwater tijdens bedrijf van de HFR wordt onttrokken is 3.300 m<sup>3</sup>/uur en 75.000 m<sup>3</sup>/dag.

- In de nabijheid van het PALLAS-terrein, op het EHC terrein, zijn drie grondwateronttrekkings- en injectiesystemen aanwezig. Deze hebben geen functie voor drinkwater. De dichtstbijzijnde grondwateronttrekking voor drinkwater ligt ongeveer 10 km zuidwaarts.

## 3.9 Demografie

- De omgeving van de Energy and Health Campus is overwegend landelijk en dunbevolkt. Een groot deel ervan is landbouwgrond met een mengeling van geïsoleerde boerderijen en kleine woonplaatsen.
- Er zijn geen grote woonplaatsen in de buurt van het PALLAS-terrein. Het dichtstbijzijnde dorp Sint Maartensvlotburg met ca. 720 inwoners is gelegen op ongeveer 1,6 km van de Energy and Health Campus. Petten is met ca. 1.660 inwoners, op 2 km afstand, het grootste dorp in de buurt. Ook bevindt er zich geen grote school, ziekenhuis, gevangenis en dergelijke in de directe omgeving van het PALLAS-terrein.
- In Tabel 3-7 en Tabel 3-8 zijn de inwoneraantallen tot 25 km rond de Energy and Health Campus en het aantal werknemers van de belangrijkste organisaties op de Campus, exclusief PALLAS-medewerkers, weergegeven. Het maximaal aantal recreanten in een gebied van 25 km rond de PALLAS-reactor is geschat op 1500 per dag.

**Tabel 3-7: Inwoneraantallen rond de Energy and Health Campus (2015)**

Gemeente	Bevolking per gemeente	Afstand	Richting
Alkmaar	107.106	10-25 km	Zuid
Bergen (NH)	30.005	0-25 km	Zuid
Den Helder	56.483	10-25 km	Noord
Heerhugowaard	53.554	15-25 km	Zuidoost
Heiloo	22.553	20-25 km	Zuid
Hollands Kroon	47.546	10-25 km	Noordoost
Koggenland	22.426	20-25 km	Zuidoost
Langedijk	27.287	10-20 km	Zuidoost
Opmeer	11.301	20-25 km	Oost
Schagen	46.137	0-15 km	Noord, Oost en Zuidoost

Tabel 3-8: Werknemers van belangrijkste organisaties op de Energy and Health Campus

Organisatie	Aantal werknemers
TNO	560
NRG	360
JRC-IET	150
Curium	320
Totaal	1400

### 3.10 Radiologisch achtergrondniveau

1. De gemeten activiteitconcentraties in lucht, bodem, grond- en oppervlaktewater liggen allemaal onder het detectieniveau van de instrumenten, met uitzondering van de natuurlijke radionucliden, de resterende activiteit van Cesium-137 veroorzaakt door het nucleaire ongeval in Tsjernobyl in 1986 en een tritiumbesmetting in het grondwater veroorzaakt door de HFR.
2. In 2010 werd ontdekt dat het grondwater in de buurt van de HFR met tritium verontreinigd is. Deze tritiumbesmetting was veroorzaakt door lekkage van een, inmiddels vervangen, ondergrondse leiding. Bij de sanering is het verontreinigde grondwater met hogere concentraties tritium verwijderd. De lopende saneringswerkzaamheden bestaan uit het monitoren van de resterende tritiumconcentraties. Als gevolg van de saneringswerkzaamheden is de verontreiniging sterk afgenomen. De verontreiniging verplaatst zich langzaam naar het oosten door de beweging van het grondwater. Op basis van de afname en de richting van de verontreiniging is het zeer onwaarschijnlijk dat de tritiumconcentratie in de bodem van het PALLAS-terrein boven de toegestane limiet uitkomt.

# 4

Gebouwen  
en gebouw  
gebonden  
structuren en  
systemen



## 4.1 Inleiding

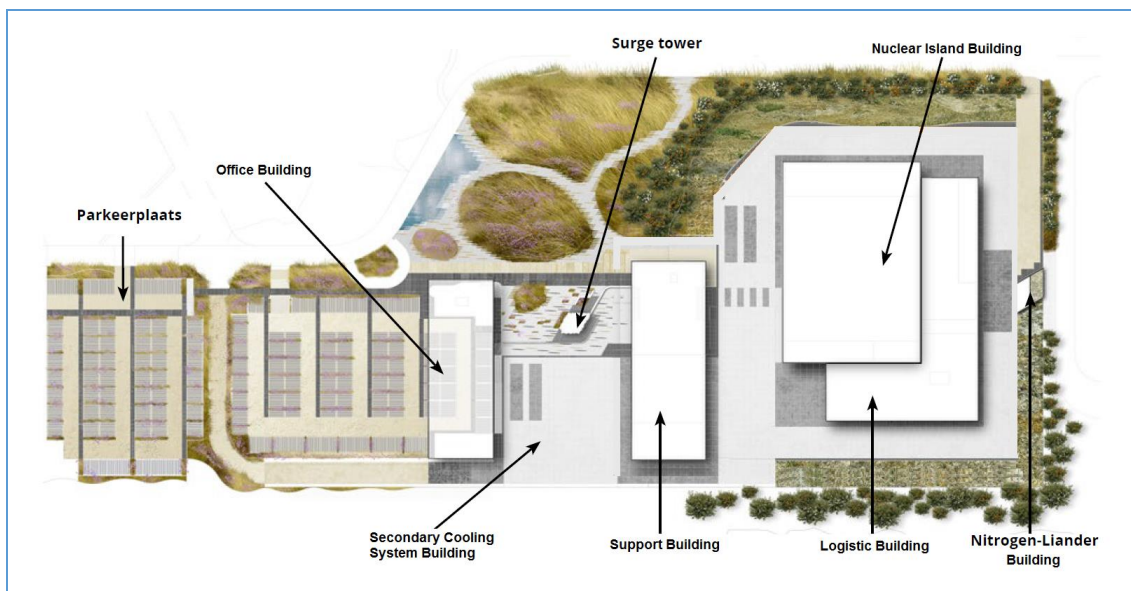
1. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste gebouwen en structuren beschreven en de veiligheidsfuncties die zij vervullen in relatie tot de nucleaire veiligheid.
2. Paragraaf 2 geeft een algemene beschrijving van deze gebouwen en structuren en hoe zij zijn geklasseerd op basis van hun belang voor de veiligheid.
3. Paragraaf 3 beschrijft het Nuclear Island Building, het belangrijkste gebouw voor de nucleaire veiligheid. Binnen het Nuclear Island Building bevinden zich de volgende gebouwgebonden structuren en systemen:
  - Reactor Block, Reactor Pool en Service Pool (zie paragraaf 4.4);
  - Reactor Building Ventilation System (zie paragraaf 4.5);
  - Hefwerktuigen (zie paragraaf 4.6).
4. De overige gebouwen, het Logistic Building, Support Building en Secondary Cooling System Building staan beschreven in paragraaf 4.7.

## 4.2 Samenvattende beschrijving

### 4.2.1 Algemene beschrijving

1. De belangrijkste gebouwen zijn (zie Figuur 4-1):
  - Nuclear Island Building;
  - Logistic Building;
  - Support Building;
  - Secondary Cooling System Building (ondergronds);
  - Surge tower;
  - Nitrogen Liander Building.

Figuur 4-1: Plattegrond PALLAS-terrein



2. Het Nuclear Island Building zorgt voor de insluiting van radioactief materiaal en beschermt de (veiligheids)systemen erbinnen tegen externe gevaren, waaronder een vliegtuigimpact door middel van de Aircraft Protective Shell. In het Nuclear Island Building bevinden zich de volgende gebouw gebonden structuren en systemen:
  - Reactor Block, met Reactor Pool, Service Pool en Hot Cells;



- Reactor Building Ventilation System;
  - Hefwerktuigen.
3. Het Reactor Containment betreft het deel van het Nuclear Island Building dat bij ongevallen kan worden afgesloten en op onderdruk worden gehouden door het Reactor Building Ventilation System. Hierbij wordt de afgevoerde lucht door dit systeem gefilterd om eventuele lozing van radioactieve stoffen zo veel mogelijk te beperken.
  4. Het Reactor Block is een massieve betonstructuur van hoge dichtheidsbeton als onderdeel van het Nuclear Island Building. Het Reactor Block zorgt voor structurele ondersteuning van de Reactor Pool en Service Pool en voor radiologische afscherming.
  5. De functies van het Reactor Building Ventilation System zijn:
    - Zorgen voor de juiste luchtcondities;
    - Zorgen voor de gepaste drukverschillen en filtercapaciteiten om de verspreiding van radioactieve stoffen tussen de ruimtes te beheersen;
    - Beperken van het vrijkomen van de radioactieve stoffen in de omgeving.
  6. De hefwerktuigen omvatten de systemen die het transport, zowel verticaal als horizontaal, binnen de gebouwen mogelijk maken. De hefwerktuigen moeten voldoen aan de veiligheidskenmerken voor de hantering van radioactieve materialen (splijtstof, bestralingstargets) die in zware containers worden vervoerd of die in de Reactor Pool en Service Pool verplaatst worden.
  7. Het Logistic Building grenst aan het Nuclear Island Building en omvat laboratoria en ruimtes voor elektrische installaties, de afhandeling van goederenstromen en opslag.
  8. Het Support Building omvat voornamelijk ruimtes voor personeel en technische ruimtes voor elektrische installaties en het ventilatiesysteem.
  9. Het Secondary Cooling System Building is een ondergronds gebouw waarin de pompen en apparatuur voor het Secondary Cooling System en brandblussysteem zijn ondergebracht.
  10. De Surge tower is een betonnen constructie waarin het secundaire koelwater wordt geleid voordat het richting de Noordzee wordt afgevoerd. Doel van deze constructie is het hydraulisch ontkoppelen van het Secondary Cooling System en de Noordzee, waarmee effecten als hevelwerking, waterslag en cavitatie in het koelsysteem worden beperkt of voorkomen. Het gebouw heeft geen veiligheidsklassering.
  11. Het Nitrogen Liander Building bevat de elektrische aansluiting aan het externe net en het vloeibaar-stikstof toevoersysteem. Het gebouw heeft geen veiligheidsklassering.

#### 4.2.2 Veiligheidsklassering

1. De gebouwen en gebouw gebonden structuren en systemen zijn geklasseerd op basis van hun belang voor de veiligheid, op basis waarvan zij vervolgens ontworpen, gefabriceerd, geïnstalleerd en in bedrijf genomen worden. De methode voor de veiligheids- en seismische klassering van alle structuren, systemen en componenten is in Hoofdstuk 2 beschreven. In Tabel 4-1 is de veiligheids- en seismische klassering van de belangrijkste onderdelen van de gebouwen en belangrijkste gebouw gebonden structuren en systemen weergegeven.

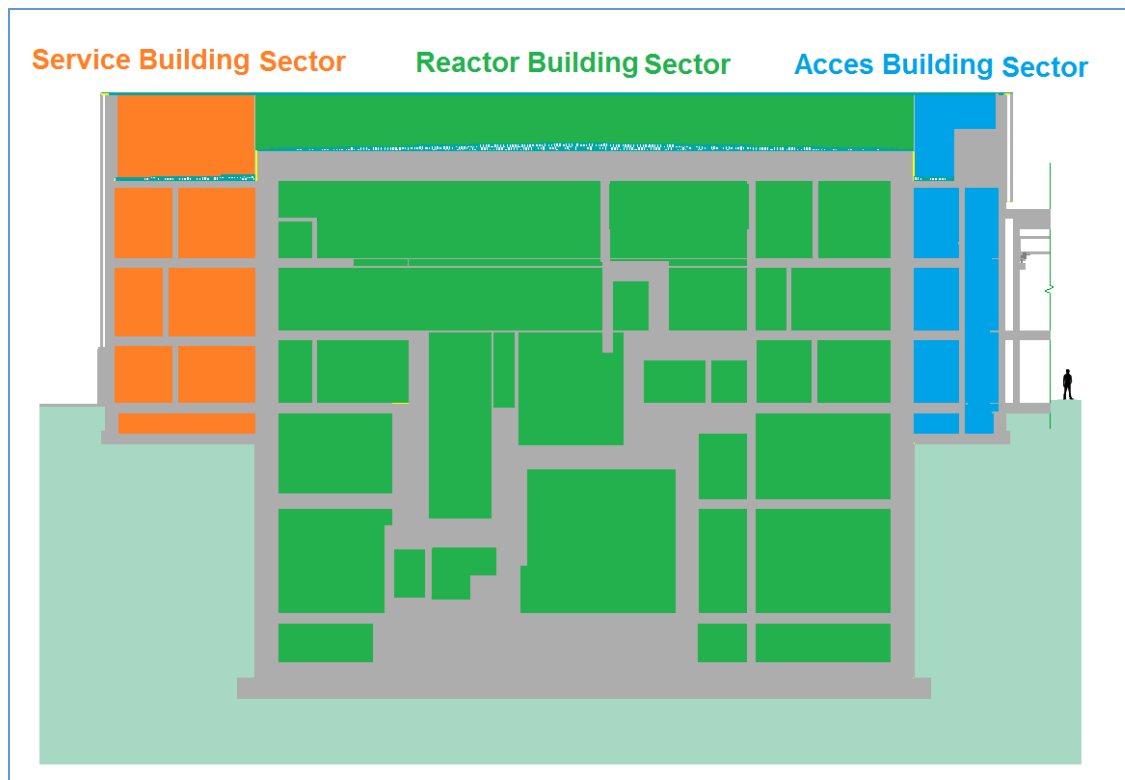
Tabel 4-1: Veiligheids- en seismische klassering van de gebouwen en gebouwgebonden structuren en systemen

Onderdeel	Veiligheidsklasse	Seismische Klasse
Nuclear Island Building: <ul style="list-style-type: none"> <li>Aircraft Protective Shell</li> <li>Reactor Block</li> <li>Reactor Containment</li> <li>Hefwerktuigen</li> </ul>	2	1
Waterdichte barrière voor het bassin koelwater: <ul style="list-style-type: none"> <li>Reactor Pool</li> <li>Service Pool</li> <li>Transfer Canal</li> </ul>	1	1
Reactor Building Ventilation System: <ul style="list-style-type: none"> <li>Delen voor normaal bedrijf</li> <li>Delen voor ongevalscondities</li> </ul>	2 2	2 1
Logistic Building	2	1
Support Building	2	1
Secondary Cooling System Building	3	3

## 4.3 Nuclear Island Building

1. Het Nuclear Island Building bestaat uit de Reactor Building Sector, de Access Building Sector en de Service Building Sector (zie Figuur 4-2).

Figuur 4-2: Overzicht van het Nuclear Island Building



2. De Reactor Building Sector bevat het Containment, waarbinnen het risico bestaat dat radioactief materiaal vrijkomt. In de Reactor Building Sector, maar buiten het Reactor Containment, bevinden zich systemen die van belang zijn voor de nucleaire veiligheid, zoals de control rooms.
3. De Access Building Sector geeft toegang tot het Nuclear Island Building voor personeel en goederen en bevat enkele technische ruimtes voor de ventilatiesystemen.
4. De Service Building Sector omvat voornamelijk technische ruimtes voor elektrische systemen, ventilatiesystemen, brandbestrijdingssystemen, opslag en onderhoud.

#### 4.3.1 Functie en ontwerpuitgangspunten van het ontwerp

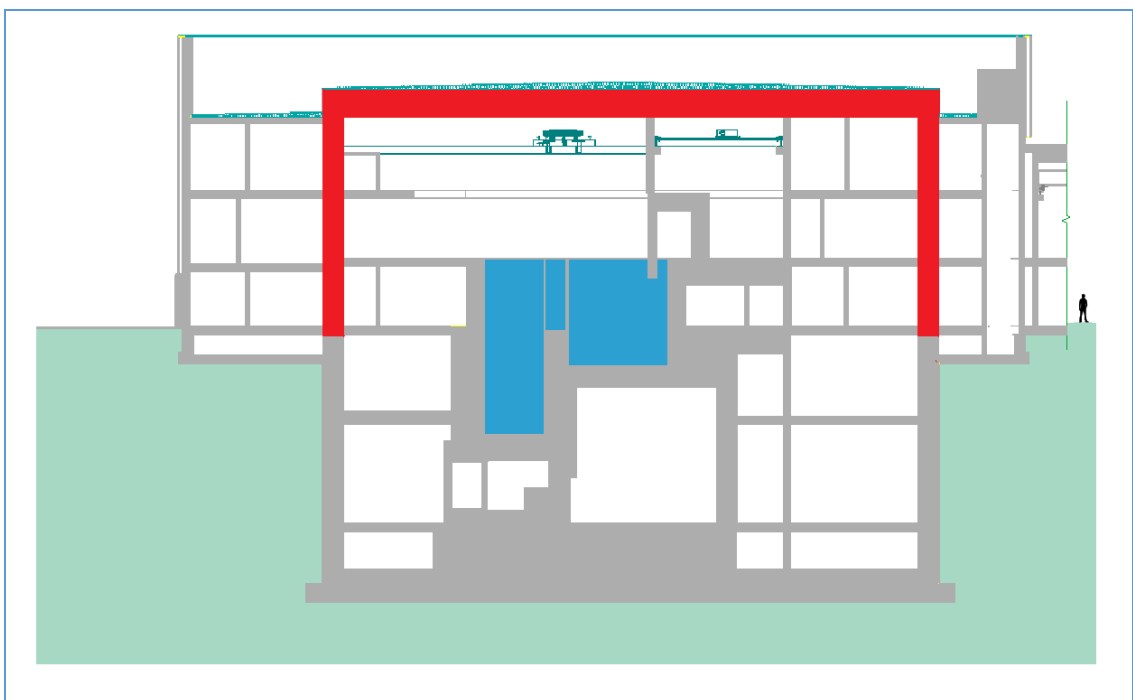
1. Het Nuclear Island Building vervult de fundamentele veiligheidsfunctie 'Insluiting van radioactief materiaal' door middel van compartimentering en technische voorzieningen die zorgen voor insluiting en afscherming.
2. Het Nuclear Island Building draagt indirect bij aan het vervullen van de fundamentele veiligheidsfuncties 'Beheersing van reactiviteit' en 'Afvoer van warmte' doordat het systemen huisvest die deze fundamentele veiligheidsfuncties vervullen.
3. De uitgangspunten voor het ontwerp van het Nuclear Island Building zijn:
  - De constructie is bestand tegen alle operationele belastingen tijdens normaal bedrijf, storingen en ongevallen, tegen interne belastingen (zoals interne brand en explosie, interne overstroming) en tegen externe belastingen waaronder extreme weersomstandigheden, aardbeving, overstroming, explosies en vliegtuigongeval. Onder deze belastingen moeten de fundamentele veiligheidsfuncties blijvend worden vervuld.
  - Het Nuclear Island Building bevat het Reactor Containment waarin alle hoog-stralende onderdelen zijn ondergebracht en zorgt daarmee voor afdoende insluiting en afscherming van radioactieve materialen.
  - De brandveiligheid bestaat uit passieve structurele brandbescherming, compartimentering en vluchtwegen.
  - Veiligheidssystemen, of delen daarvan, zijn fysiek gescheiden.
  - Het robuuste ontwerp voorkomt 'cliff-edge'-effecten in geval van interne en externe gevaren. Er is sprake van een cliff-edge-effect wanneer een kleine verandering van de interne en externe gevaren kan leiden tot ernstig gevolgen voor de veiligheid van de reactor.
4. Het Nuclear Island Building is ontworpen voor een levensduur van 85 jaar, uitgaande van 5 jaar bouw en inbedrijfstelling, 60 jaar bedrijf en 20 jaar ontmanteling.

#### 4.3.2 Gebouwbeschrijving

1. De belangrijkste constructieve onderdelen van het Nuclear Island Building zijn:
  - de dragende wanden en vloeren;
  - de fundering;
  - het Reactor Block (zie paragraaf 4.4);
  - de Aircraft Protective Shell.
2. Via de dragende wanden wordt de belasting overgebracht op de fundering. De fundering zorgt voor het vereiste draagvermogen van de gehele constructie, voor de constructieve integriteit bij aardbevingen en voor de waterafdichting voor het grondwater. De fundering is via palen op een diepliggende grondlaag verankerd.
3. Het Reactor Containment is onderdeel van de Reactor Building Sector, en zorgt voor de fundamentele veiligheidsfunctie 'Insluiting van radioactief materiaal'. Dit wordt als volgt bereikt:
  - Het Reactor Containment en doorvoeringen hebben een hoge mate van lekdichtheid door de toepassing van wanden, materialen en afdichtingen met een lage permeabiliteit. De openingen voor personeel en voor het transport van materiaal door het Reactor Containment hebben ook een lage lekdichtheid door de toepassing van sluisen;
  - Het Reactor Containment heeft een lagere luchtdruk ten opzichte van de omliggende ruimtes en omgeving;

- Het Reactor Building Ventilation System is onderdeel van het Reactor Containment en beperkt de uitstoot van radioactieve stoffen via de uitgaande lucht (zie paragraaf 4.5).
4. Binnen het Reactor Containment bevindt zich het Reactor Block dat zorgt voor structurele ondersteuning van de Reactor Pool en Service Pool, vormt de constructie van de Hot Cells en zorgt voor radiologische afscherming. De structuren, systemen en componenten waar aanzienlijke stralingsafscherming nodig is, zijn ondergebracht in het Reactor Block.
  5. Buiten het Reactor Containment zijn in de Reactor Building Sector de volgende installaties en ruimtes aanwezig: de controlekamers, technische ruimtes voor het ventilatiesysteem, verschillende instrumentatie en controlesystemen waaronder het Reactor Control and Monitoring System, het Reactor Protection System en het Post Accident Monitoring system (zie hoofdstuk 8).
  6. De Aircraft Protective Shell is een betonnen constructie die het hele bovengrondse deel van de Reactor Building Sector omvat (zie Figuur 4-3). De wanden en het dak zijn ontworpen om een vliegtuigimpact te weerstaan.

**Figuur 4-3: Aircraft Protective Shell**



7. De hefwerktuigen (zie paragraaf 7) omvatten de systemen die het transport, zowel verticaal als horizontaal, binnen het gebouw mogelijk maken.

### 4.3.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het ontwerp van het Nuclear Island Building moet voldoen aan alle structurele belastingeisen als gevolg van normaal bedrijf, storingen en gepostuleerde ongevalscondities.
2. De belastingen waaraan de constructie moet voldoen zijn:
  - statische en variabele belastingen;
  - interne en externe overstroming;
  - impact door een transportongeval;
  - interne en externe explosie;
  - extreme meteorologische omstandigheden;
  - brand;
  - vliegtuigongeval;
  - aardbeving;

- biologische gevaren;
  - relevante combinaties van bovengenoemde belastingen.
3. Het voldoen aan deze belastingen is geëvalueerd door de grootte van de belastingen te bepalen en deze te vergelijken met de kenmerken, de berekende sterkte en belastbaarheid van de constructie (zie ook de paragrafen 16.4.14 en 16.4.15).

#### 4.3.3.1 Statische belastingen

1. De constructie moet in staat zijn de standaard statische belastingen te dragen waaronder het eigen gewicht, gewicht van de geïnstalleerde apparatuur, grondwater- en bodemdruk en de te verwachten drukverschillen over het Reactor Containment. Deze verschillende belastingen zijn berekend en het ontwerp is daarop gebaseerd.

#### 4.3.3.2 Variabele belastingen

1. De constructie moet in staat zijn om normale variabele belastingen te dragen waaronder belastingen als gevolg van het normale gebruik en de bedrijfsprocessen en van weersomstandigheden zoals sneeuw-, regenwater- en windbelasting. Deze verschillende belastingen zijn berekend en het ontwerp is daarop gebaseerd.

#### 4.3.3.3 Interne overstroming

1. Het Nuclear Island Building moet bestand zijn tegen de hydrostatische waterdruk binnen het gebouw die kan optreden door interne lekkages en overstroming.
2. Water wordt opvangen in enkele technische ruimtes en de LOCA-pools. Alle ruimten binnen het Reactor Containment waar zich een ongeval met een lekkage van koelwater (LOCA) kan voordoen, zijn voorzien van een afvoer naar de daarvoor bedoelde LOCA-Pools onderin het Reactor Containment. De constructies zijn zo uitgevoerd dat de maximale te bereiken interne waterdruk in deze ruimtes op basis van de hoogte van deze ruimtes, wordt weerstaan.

#### 4.3.3.4 Externe overstromingen

1. De ontwerpoverstroming voor het Nuclear Island Building is de overstroming met een kans van 1 op 10.000 jaar en een waterhoogte van 5,9 m +NAP. De ingang van het Nuclear Island Building bevindt zich op een hoogte van 6,0 m +NAP zodat dit niet leidt tot een interne overstroming.
2. Een "cliff-edge" effect wordt voorkomen door ook rekening te houden met een overstroming met een kans van 1 op 1.000.000 jaar. Dit kan resulteren in een waterhoogte van 8,0 m +NAP, waarbij enkele (technische) ruimtes van het Nuclear Island Building onder water zullen komen te staan. Het Nuclear Island Building is bestand tegen de hierbij optredende belastingen. Aangezien de ingang van het Reactor Containment op 8,0m +NAP ligt, zal het Reactor Containment niet overstromen.

#### 4.3.3.5 Transportongeval

1. Het ontwerp van de constructie moet bestand zijn tegen een belasting veroorzaakt door de volgende transportongevallen:
- Krachten, schokken en valbelastingen ten gevolge van ongevallen met hefmiddele (bv. het vallen van een container uit een kraan);
  - Aanrijdingen door verkeer op het PALLAS-terrein;
  - Aanrijdingen in het Nuclear Island Building door bijvoorbeeld vorkheftrucks.
2. Aanrijdingen door verkeer van de openbare weg wordt niet meegenomen vanwege de afstand tot het Nuclear Island Building en de tussenliggende fysieke barrières.
3. Uit de berekeningen volgt dat de constructie tegen deze transportongevallen bestand is.

#### 4.3.3.6 Interne en externe explosie

1. Het Nuclear Island Building moet bestand zijn tegen de belasting veroorzaakt door interne en externe explosies.

2. De conclusie van de analyse is dat de Aircraft Protective Shell en het Reactor Block bestand zijn tegen de overdrukken die bij een explosie kunnen optreden. Hierbij kunnen in het Reactor Block alleen lokaal beschadigingen optreden maar de constructie als geheel blijft intact. Ook dragende wanden zijn bestand tegen de explosieoverdrukken.
3. De reactor kan in alle gevallen veilig afgeschakeld worden.

#### 4.3.3.7 Extreme meteorologische omstandigheden

1. Als ontwerpgebeurtenis voor extreme regen, wind (inclusief tornado's), sneeuw en temperatuur zijn de omstandigheden genomen die met een kans van 1 op 10.000 jaar voorkomen.
2. De ontwerpgebeurtenis voor extreme regenval is 0,4 m water in 24 uur. De belasting ten gevolge van extreme regenval blijkt geen bepalende belasting voor de dragende constructie. Om cliff-edge effecten te voorkomen is er extra marge op de capaciteit van waterafvoeren en noodoverlopen aangebracht om overtollig stilstaand water te voorkomen.
3. De ontwerpgebeurtenis voor extreme wind op het Nuclear Island Building is een basiswindsnelheid van 37,7 m/s (136 km/u) met windvlagen ter grootte van 57 (205 km/u) m/s voor incidentele belastingen. Om cliff-edge effecten te voorkomen wordt voor het Nuclear Island Building uitgegaan van een maximale windsnelheid van 43,4 m/s (156 km/u) welke hoort bij een kans van 1 op 1.000.000 jaar. De tornado valt ook binnen deze maximale windsnelheid.
4. Het Nuclear Island Building is ontworpen om te voldoen aan een maximale belasting van 4 meter sneeuw. Een cliff-edge effect wordt voorkomen doordat de maximale sneeuwhoogte beperkt wordt door de hoogte van de borstwering op het dak.
5. Voor de extreme temperaturen is rekening gehouden met de maximale en minimale buitentemperaturen  $T_{\max} = 37^{\circ}\text{C}$  en  $T_{\min} = -30^{\circ}\text{C}$ . Om cliff-edge effecten te voorkomen is een marge op de belasting toegepast van minimaal 40%.

#### 4.3.3.8 Brand

1. Het Nuclear Island Building is onderverdeeld in een groot aantal verschillende brandcompartimenten gescheiden door wanden met een brandwerendheid van in het algemeen 60 minuten. Voor de wanden van de opslagruimte voor splijtstofelementen en bestralingstargets is een brandwerendheid van 90 minuten toegepast. De betondelen van de constructie hebben een brandwerendheid van minimaal 120 minuten.
2. Het Nuclear Island Building is uitgevoerd met een branddetectie-, alarmerings- en een brandblussysteem (zie hoofdstuk 10).
3. Er zijn voldoende vluchtwegen aanwezig die aan de eisen voldoen zoals vastgelegd in het Bouwbesluit.

#### 4.3.3.9 Vliegtuigongeval

1. De Aircraft Protective Shell moet de impact van een neerstortend vliegtuig en de resulterende brand kunnen weerstaan zonder verlies van structurele integriteit. Daarnaast moet de reactor te allen tijde veilig afgeschakeld kunnen worden.
2. De berekeningen tonen aan dat de Aircraft Protective Shell tegen de impact van de vliegtuigromp en de motoren bestand is, waarbij de constructie weliswaar beschadigd raakt, maar intact blijft. Het puin ten gevolge van de crash zal het Reactor Containment niet kunnen binnendringen.
3. Na het vliegtuigongeval zal een deel van de vliegtuigbrandstof hoogstwaarschijnlijk ontsteken. Aangezien de warmtelast van korte duur is, wordt de structurele integriteit van de Aircraft Protective Shell en het Reactor Block niet aangetast.

#### 4.3.3.10 Aardbeving

1. Het ontwerp is bestand tegen de volgende aardbevingen:
  - SL-1: De Operating Basis Earthquake die overeenkomt met een aardbeving met een kans van 1 op 100 jaar. De reactor moet bij een SL-1 aardbeving veilig worden afgeschakeld en daarna weer operationeel kunnen zijn.

- SL-2: De Design Base Earthquake die overeenkomt met een ernstige aardbeving met een kans van 1 op 10.000 jaar. Hierbij moet de reactor veilig kunnen worden afgeschakeld;
  - Design Extension Earthquake, waarbij geen cliff-edge effect mag optreden.
2. De aardbeving gerelateerde effecten die mogelijk tot cliff-edge effecten zouden kunnen leiden, zijn:
    - verticale oppervlaktereverplaatsing als gevolg van een breuklijn;
    - verlies van draagkracht of overmatige zettingen als gevolg van liquefactie;
    - brosse breukmechanismen in gebouwgebonden structuren en systemen.
  3. Analyse toont aan dat de verticale oppervlaktereverplaatsing door de Design Extension Earthquake verwaarloosbaar is, een cliff-edge effect is daarom niet aan de orde.
  4. Uit de analyse blijkt ook dat liquefactie voor de Design Base Earthquake niet significant is. Voor de Design Extension Earthquake vindt liquefactie alleen plaats in de bovenste bodemlagen, niet in de onderste bodemlagen. Omdat de heipalen van het Nuclear Island Building in de onderste bodemlagen zijn verankerd, is een cliff-edge effect ten gevolge van liquefactie niet aan de orde.
  5. In het ontwerp is rekening gehouden met een 50% marge tegen brosse breuk in de constructie. Voor de Design Base Earthquake is dat voldoende om een cliff-edge effect te voorkomen.
  6. De conclusie van de evaluatie is dat de constructie van het gebouw de structurele capaciteit heeft om de seismische belastingen te weerstaan, zowel voor de SL-2 als om het cliff-edge effect voor Design Extension Earthquake te vermijden.
  7. De reactor zal automatisch afgeschakeld worden wanneer het geïnstalleerde versnellersopnemerssysteem (trillingsschakelaar) versnellingen detecteert die de gedefinieerde veiligheidswaarden overschrijden tijdens een aardbeving, vliegtuigongeval of explosie.

#### 4.3.3.11 Biologische gevaren

1. Als biologisch gevaar wordt het binnenkomen van knaagdieren in het Nuclear Island Building gezien. Dit wordt voorkomen door toepassing van roosters voor openingen en door materiaal te gebruiken waardoor knaagdieren niet omhoog kunnen klimmen.

#### 4.3.3.12 Combinatie van belastingen

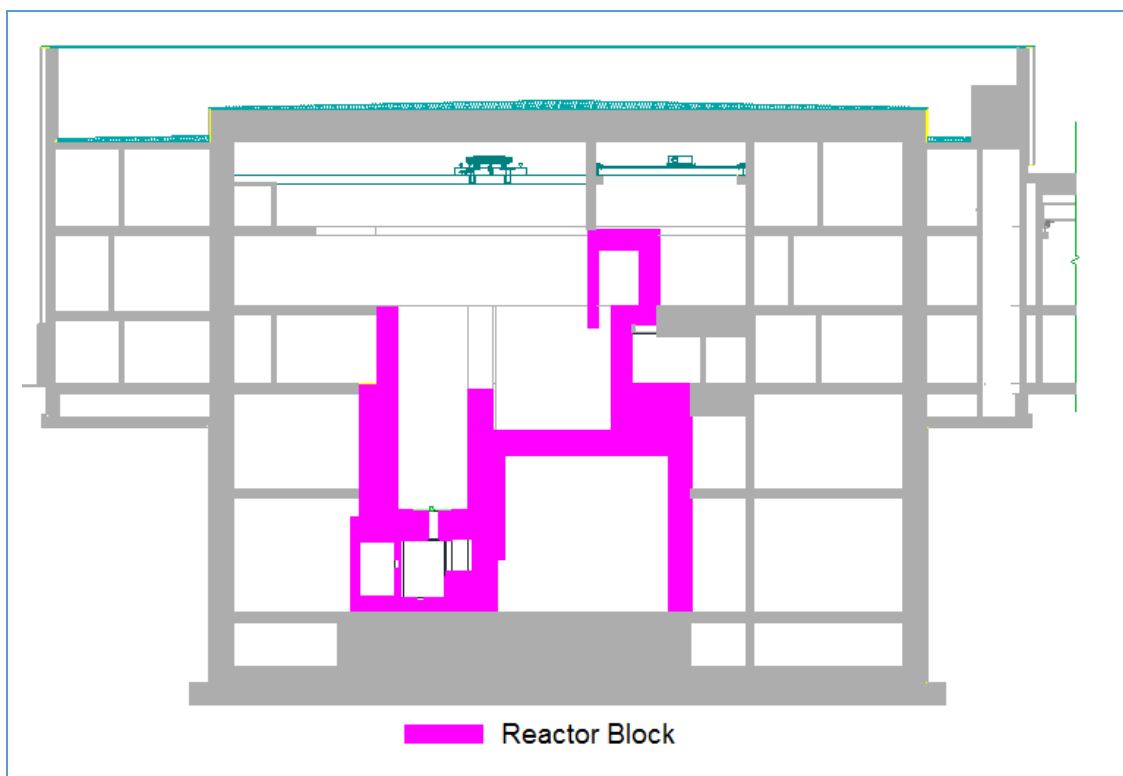
1. Bepaalde combinaties van belastingen zijn relevant zijn voor het ontwerp. Zo heeft de combinatie van extreem weer met externe overstroming een onderlinge afhankelijkheid. Voor dergelijke combinaties zijn de berekende, gecombineerde krachten op de constructie als uitgangspunt voor het ontwerp genomen.

## 4.4 Reactor Block, Reactor Pool en Service Pool

### 4.4.1 Functie en ontwerpuitgangspunten van het ontwerp

1. Het Reactor Block is een massieve betonstructuur van hoge dichtheidsbeton als onderdeel van het Nuclear Island Building (zie Figuur 4-4). Het Reactor Block zorgt voor structurele ondersteuning van de Reactor Pool en Service Pool en voor radiologische afscherming.

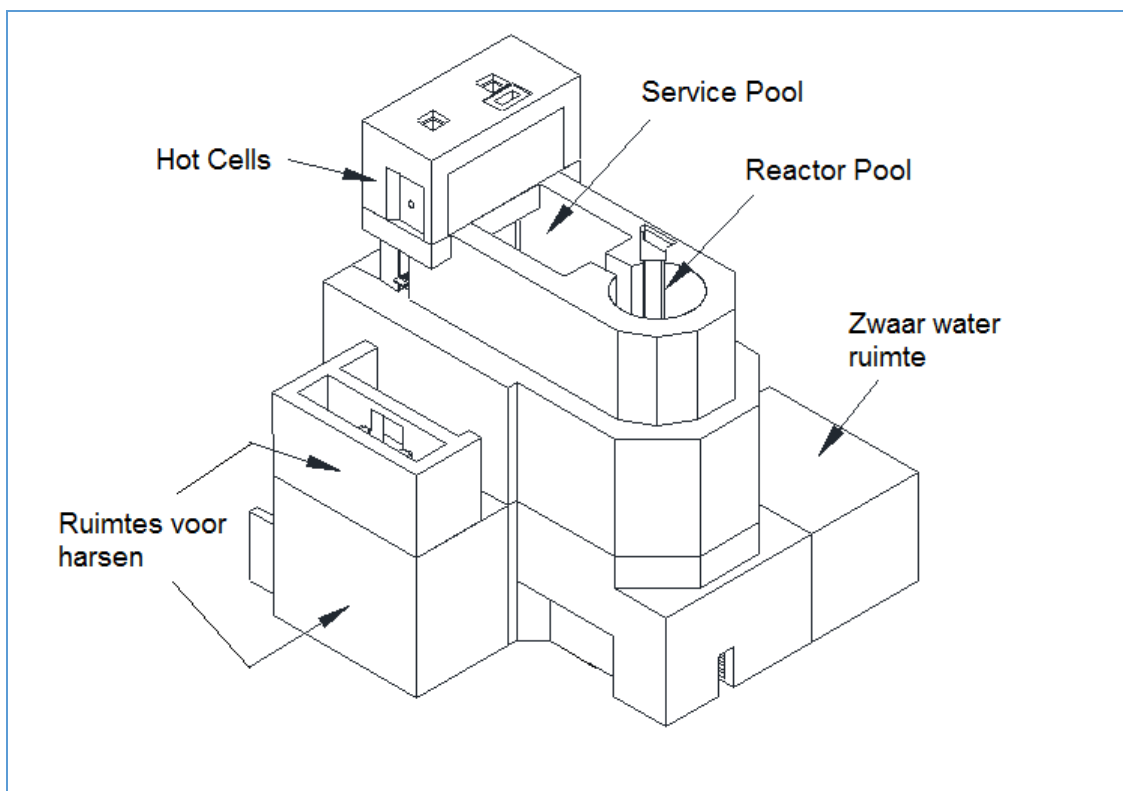
Figuur 4-4: Centrale locatie van het Reactor Block in het Nuclear Island Building



2. In het Reactor Block zijn alle structuren, systemen en componenten ondergebracht die aanzienlijke stralingsafscherming nodig hebben. Dit voornamelijk:
- de Reactor Pool, de Service Pool en het Transfer Canal;
  - de Hot Cells;
  - de verval tanks;
  - de ruimtes voor harsen;
  - de zwaar water pompen en warmtewisselaar.
- Hiervoor is het Reactor Block verdeeld in verschillende onderdelen (zie Figuur 4-5).



Figuur 4-5: Reactor Block onderdelen

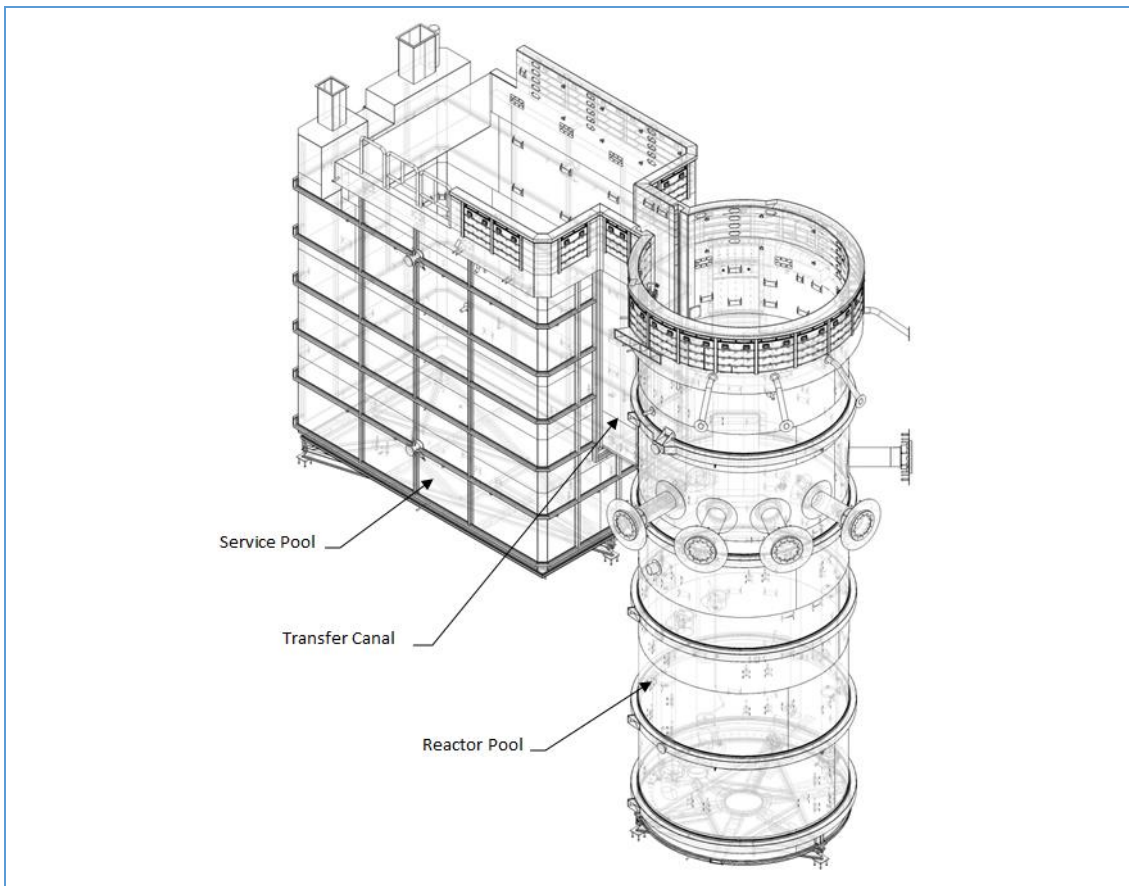


3. De Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal dragen rechtstreeks bij aan de vervulling van de fundamentele veiligheidsfunctie 'Afvoer van warmte' door het water beschikbaar te houden waarmee de verschillende koelsystemen de kern, opgeslagen verbruikte splijtstof en ander bestraald materiaal koelen.
4. De Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal dragen ook rechtstreeks bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie 'Insluiting van radioactief materiaal'. Het waterpeil boven de kern biedt radiologische afscherming waardoor de operators toegang hebben tot de installaties.
5. De ontwerpbasis voor de Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal is dat de lekdichtheid gegarandeerd moet zijn onder alle gedefinieerde belastingen zodat de bovengenoemde veiligheidsfuncties blijvend kunnen worden uitgeoefend. De betreffende belastingen zijn druk, thermische, mechanische en seismische belastingen.

#### 4.4.2 Systeembeschrijving

1. De Reactor Pool is een open cilindrisch roestvrijstalen bassin, 14 m diep en met een diameter van 4,5 m (zie Figuur 4-6). De Reactor Pool bevat de onderdelen met betrekking tot de reactorkern en componenten zoals opslagrekken voor verbruikte en verse splijtstofstofelementen, voor regelstaven en bestralingsfaciliteiten.

Figuur 4-6: Stalen constructie van de Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal



2. De Service Pool is een rechthoekige roestvrijstalen bassin dat 9 m diep is (zie Figuur 4-6). De Service Pool wordt voornamelijk gebruikt voor het hanteren en opslaan van bestraalde materialen. De interne componenten zijn o.a. opslagrekken voor verbruikte splijtstofelementen en voor bestralingsfaciliteiten en een container voor de tijdelijke opslag van vast radioactief afval. Daarnaast bevinden zich in de Service Pool liften en verbindingsledingen naar de Hot Cells.
3. Het Transfer Canal vormt de verbinding tussen de Reactor Pool en Service Pool.
4. In de Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal zijn voorzieningen beschikbaar voor het opsporen van lekkages en het bewaken van de lekdichtheid.

#### 4.4.3 Veiligheidsbeschouwing

1. De structurele integriteit van het Reactor Block, de Reactor Pool en Service Pool is beoordeeld voor de relevante belastingen en belastingcombinaties (zie paragraaf 4.3.3.1).
2. De waterinventaris in de Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal wordt gewaarborgd door de structurele integriteit van de Pools. Structurele berekeningen bevestigen deze integriteit.
3. De waterinventaris in de Reactor Pool is gebaseerd op een waterpeil van minimaal 7,00 m voor alle bedrijfstoestanden en ontwerpbasisongevallen (zie hoofdstuk 16).
4. Het minimum waterpeil in de Service Pool ligt boven het bodemniveau van het Transfer Canal. Dit wordt gewaarborgd door:
  - structurele integriteit van de Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal;
  - bescherming in de vorm van hevelbrekers die voorkomen dat teveel koelwater kan wegvloeien als gevolg van leidinglekkage;
  - doorvoeringen in de Reactor Pool-wand bevinden zich indien mogelijk boven het niveau +7,00 m en in de Service Pool boven het onderste niveau van het Transfer Canal;

- doorvoeringen die lager zijn gelokaliseerd, zijn zo uitgevoerd dat (de kans op) lekkage van koelwater wordt geminimaliseerd. Zo is er een dubbele barrière voor de doorvoering van de regelstaafaandrijving aan de onderzijde van de Reactor Pool. Beide barrières zijn onafhankelijk in staat de hydrostatische druk van het water in de Reactor Pool te weerstaan.
5. De Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal hebben een lekdetectiesysteem tussen de stalen wand en het Reactor Block.
  6. De betonnen structuur van het Reactor Block waarin de roestvrijstalen Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal zijn ingebed vormt een extra barrière die, in het geval van lekkage, de omvang van een eventuele lekkage zal beperken.
  7. De Service Pool kan van de Reactor Pool geïsoleerd worden door middel van een isolatieschot in het Transfer Canal.
  8. De levensduur van de Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal wordt gewaarborgd door het gebruik van materialen die tegen corrosie bestand zijn, rekening houdend met de voorwaarden die aan de waterkwaliteit worden gesteld. De schade door bestraling is verwaarloosbaar.

## 4.5 Reactor Building Ventilation System

1. In het Nuclear Island Building zijn twee ventilatiesystemen aanwezig:
  - Het Reactor Building Ventilation System voor alle ruimtes binnen het Reactor Containment en de ruimtes daarbuiten waar er een mogelijkheid bestaat op het vrijkomen van radioactieve stoffen in de lucht of die relevant zijn voor de veiligheid en beveiliging van de reactor;
  - Conventional Heat, Ventilation and Air Conditioning System (zie hoofdstuk 10) voor de ruimtes waar geen radioactieve luchtbesmetting voorkomt. Dit systeem heeft geen veiligheidsfunctie.

### 4.5.1 Functie en ontwerppuntpunten van het ontwerp

1. De functies van het Reactor Building Ventilation System zijn:
  - Het zorgen voor de juiste luchtcondities;
  - Het zorgen voor de gepaste drukverschillen en filtercapaciteiten om de verspreiding van radioactieve stoffen tussen de ruimtes te beheersen;
  - Het vrijkomen van de radioactieve stoffen in de omgeving te beperken.
2. Het Reactor Building Ventilation System draagt direct bij aan de vervulling van de fundamentele veiligheidsfunctie 'Insluiting van radioactief materiaal' en indirect aan de fundamentele veiligheidsfunctie 'Afvoer van warmte' door de ventilatiefunctie.
3. De belangrijkste ontwerpparameters van het Reactor Building Ventilation System met betrekking tot veiligheid zijn weergegeven in Tabel 4-2.

**Tabel 4-2: Reactor Building Ventilation System ontwerpparameters**

Parameter	Ontwerpparameters
Reactor Containment Ontwerpdruk	+/- 2500 Pa(g)
Reactorhal bedrijfsdruk tijdens normaal bedrijf	-200 Pa(g)
Hot Cells Bedrijfsdruk	-150 tot -350 Pa(g)
Hot Cells Bedieningsruimte	-80 Pa(g)
Experimenten Service Room, bedrijfsdruk	-350 Pa(g)
Zwaar water ruimte, bedrijfsdruk	-350 Pa(g)
Main en Supplementary Control Room, bedrijfsdruk	ca. +30 Pa(g)
Minimale efficiëntie HEPA-filters (voor radioactieve aerosolen)	99,9%
Minimale efficiëntie koolstoffilters (voor jodium)	98%
Lekdichtheid Reactor Containment	$< 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Pa}/\text{s}$

- Om het ontwerp van de ventilatiesystemen te optimaliseren zijn de ruimtes in zones geclassificeerd naar gelang het risico op verspreiding van radioactieve besmetting in de lucht (zie hoofdstuk 13). Aan deze classificaties zijn richtwaarden verbonden voor de druk en de mate van luchtverversing.

#### 4.5.2 Systeembeschrijving

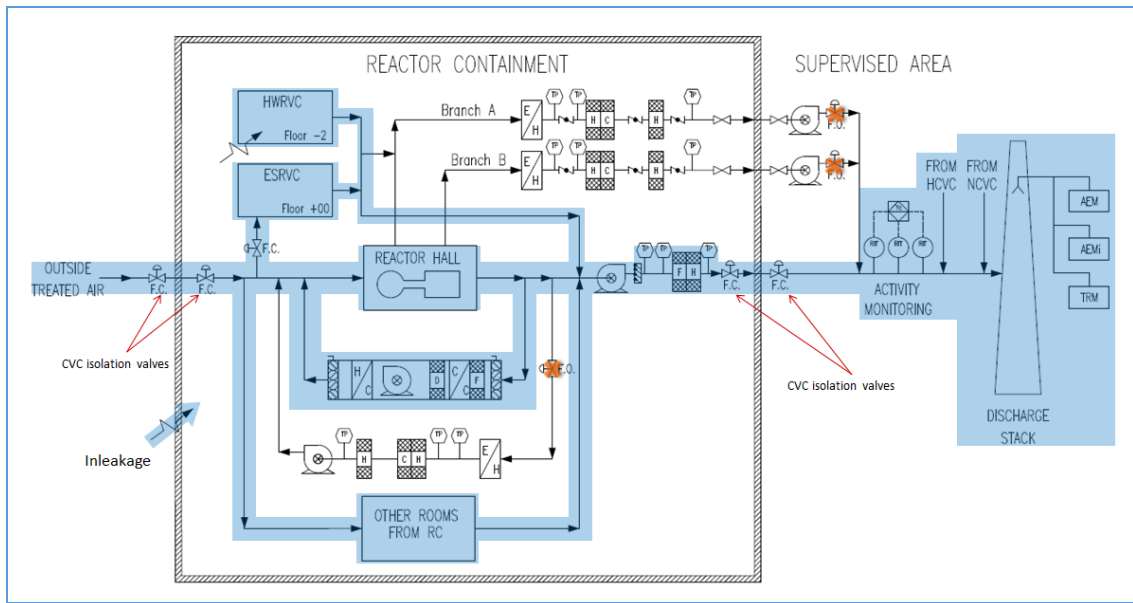
- Het Reactor Building Ventilation System is opgedeeld in verschillende deelsystemen (ventilatiecircuits), die in de volgende verschillende delen van het Nuclear Island Building en het Logistic Building voor ventilatie en luchtbehandeling zorgen:
  - Reactor Containment (zie paragraaf 4.5.2.1);
  - Hot Cells (zie paragraaf 4.5.2.2);
  - Main Control Room (zie paragraaf 4.5.2.3);
  - Supplementary Control Room (zie paragraaf 4.5.2.4);
  - Overige ruimtes met kans op radiologische besmetting (zie paragraaf 4.5.2.5).
- Deze deelsystemen worden hieronder behandeld.

##### 4.5.2.1 Ventilatie van het Reactor Containment

- De fundamentele veiligheidsfunctie van het Reactor Containment is de 'insluiting van radioactief materiaal' door het voorkomen van ongeplande lozingen van radioactieve stoffen en het beperken van de gevolgen van eventuele ongevallen.
- Het Reactor Containment wordt geventileerd door de volgende ventilatiecircuits:
  - Containment Ventilation Circuit;
  - Auxiliary Exhaust Circuit;
  - Recovery Recirculation Circuit;
  - Heavy Water Room Ventilation Circuit;
  - Experiments Service Room Ventilation Circuit.
- Het Containment Ventilation Circuit kent drie bedrijfstoestanden, die onafhankelijk zijn van de reactor toestanden:
  - normaal bedrijf;
  - ventilatie herconfiguratiemodus door Reactor Control and Monitoring System;
  - ventilatie herconfiguratiemodus door het Ventilation Reconfiguration System.

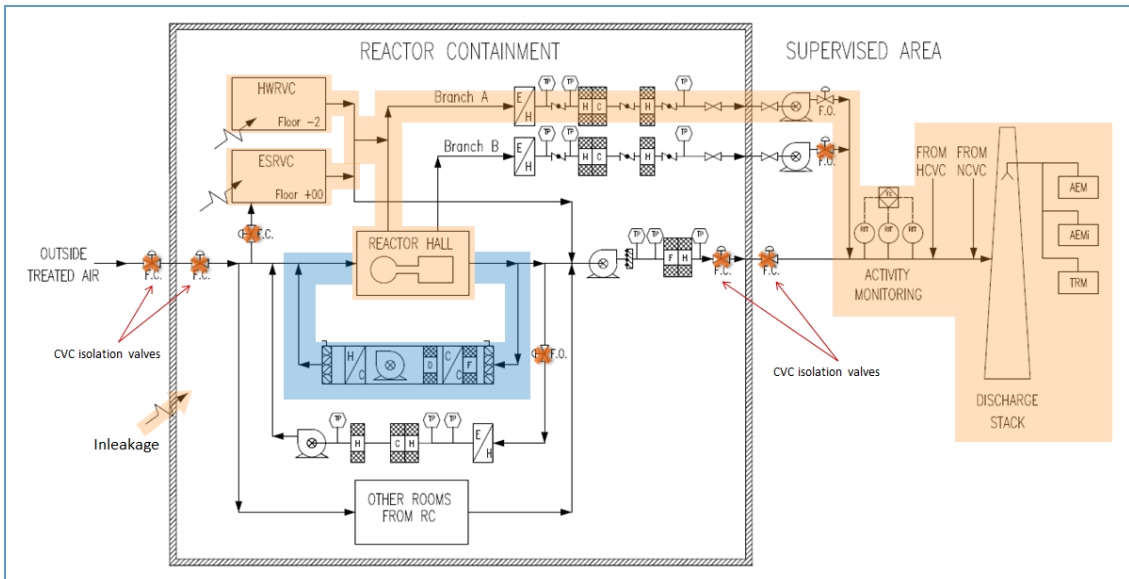
4. In normaal bedrijf levert, behandelt en conditioneert het Containment Ventilation Circuit de toegevoerde lucht (temperatuur, vochtigheid en filtratie) en regelt de onderdruk in het Reactor Containment. Het Containment Ventilation Circuit voert de lucht af naar de ventilatieschacht, na behandeling door de HEPA-filters. Het Auxiliary Exhaust Circuit en Recovery Recirculation Circuit zijn bij normale werking niet operationeel. De lucht die via de ventilatieschacht worden afgevoerd, wordt continu op activiteit gemonitord. Een schematisch overzicht van het het Containment Ventilation Circuit bij normale werking is gegeven in Figuur 4-7).

**Figuur 4-7: Normale werking van het Containment Ventilation Circuit (actieve delen aangegeven in kleur)**



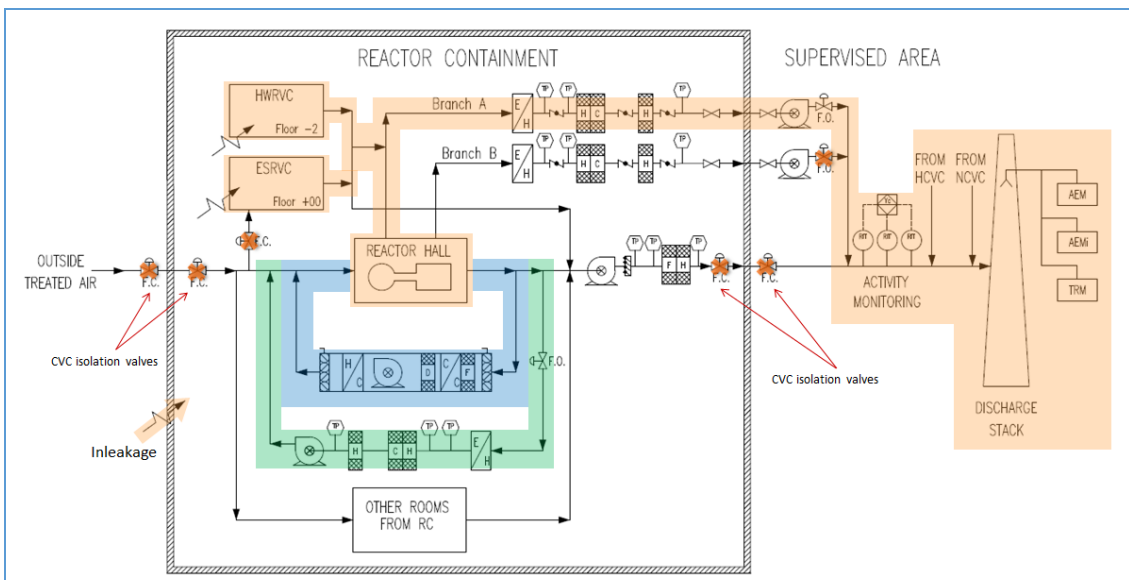
5. Wanneer de normale werking van het Containment Ventilation Circuit onderbroken wordt door storingen, stroomuitval, detectie van vervuiling in de luchttoevoer of door een beslissing van de operator, dan sluit het Reactor Control and Monitoring System de isolatiekleppen van het Containment Ventilation Circuit die zich in luchtinlaat en -uitlaat van het Reactor Containment bevinden. De lucht in de reactorhal wordt door het Containment Ventilation Circuit door middel van recirculatie geconditioneerd (zie Figuur 4-8). Het Reactor Control and Monitoring System start het Auxiliary Exhaust Circuit, die hierbij de onderdruk in het Reactor Containment regelt. Het Auxiliary Exhaust Circuit voert de lucht af via de ventilatieschacht, waarbij deze continu wordt gemonitord. Het Recovery Recirculation Circuit is in deze herconfiguratiemodus niet operationeel.

**Figuur 4-8: Ventilatie Herconfiguratiemodus door Reactor Control and Monitoring System (actieve delen aangegeven in kleur)**



6. Wanneer er een verhoogde activiteit in de afzuigkanalen van het Reactor Containment wordt gedetecteerd, wordt het Ventilation Reconfiguration System geactiveerd (zie Figuur 4-9). Het Ventilation Reconfiguration System neemt automatisch de controle over van het Reactor Control and Monitoring System, start het Recovery Recirculation Circuit en neemt daarnaast dezelfde acties als vermeld in het vorige punt). Het Recovery Recirculation Circuit herstelt de luchtkwaliteit in het Reactor Containment in een ongevalsscenario door filtering met HEPA en actieve kool filters.

**Figuur 4-9: Ventilatie Herconfiguratiemodus door Ventilation Reconfiguration System (actieve delen aangegeven in kleur)**



#### 4.5.2.2 Hot Cells Ventilation Circuit

1. Het Hot Cells Containment System vervult de fundamentele veiligheidsfunctie 'insluiting van radioactief materiaal' en bestaat uit het Hot Cells Containment, de Hot Cells doorvoeringen en het Hot Cells Ventilation Circuit.
2. Het Hot Cells Ventilation Circuit heeft de volgende functies:

- het behouden van de onderdruk in de Hot Cells ten opzichte van de omgeving;
  - de afvoer van warmte uit de Hot Cells;
  - de continue behandeling van de afvoerlucht door HEPA en actieve koolfilters en afvoer via de ventilatieschacht en continue monitoring op activiteit.
3. Het Hot Cells Ventilation Circuit heeft twee sub-circuits, één voor de Hotcells op niveau +1, één voor de Hotcells op niveau 0. De beschikbaarheid van het Hot Cells Ventilation Circuit bij stroomuitval wordt gegarandeerd door de noodstroomvoorziening. Voor de Hot Cells Ventilation Circuit op niveau +1 is daarnaast een Uninterruptible Power Supply geïnstalleerd.

#### 4.5.2.3 Main Control Room Ventilation Circuit

1. De Main Control Room Ventilation Circuit bestaat uit een ventilatierecirculatiesysteem, met luchtverversing door middel van aanzuiging van buitenlucht.
2. De Main Control Room Ventilation Circuit heeft de volgende functies:
  - Het handhaven van het comfort in de Main Control Room en andere bezette ruimtes door de lucht te verversen en warmte af te voeren;
  - Het handhaven van de temperatuur en vochtigheidsgraad voor de apparatuur die in de instrumentatie- en controlekamers is geïnstalleerd;
  - Het handhaven van de lichte overdruk in de Main Control Room.
3. Het Main Control Room Ventilation Circuit heeft detectie van rook en giftige gassen in de toevoerleiding van de buitenlucht. Bij detectie wordt automatisch op recirculatiemodus overgegaan: de isolatieklep in de luchtinlaat wordt gesloten om de verspreiding van de van buiten komende verontreinigingen te voorkomen. De luchtrecirculatie luchtbehandelingskasten blijven in bedrijf.
4. De beschikbare hoeveelheid frisse lucht bij recirculatie is ruim voldoende om de benodigde handelingen te verrichten en te verplaatsen naar de Supplementary Control Room.
5. De Main Control Room Ventilation Circuit heeft een normale stroomvoorziening, met uitzondering van de apparatuur die vereist is voor het op peil houden van de temperatuur en de vochtigheidsgraad van de apparatuur die in de instrumentatie- en controlekamers is geïnstalleerd. Deze ventilatieonderdelen worden gevoed met gekoeld water van het Chilled Water System for Nuclear Ventilation, beiden zijn aangesloten op de stand-by stroomvoorziening.

#### 4.5.2.4 Supplementary Control Room Ventilation Circuit

1. De Supplementary Control Room Ventilation Circuit bestaat uit een ventilatierecirculatiesysteem, met luchtverversing door middel van aanzuiging van buitenlucht aan twee tegenovergestelde zijden van het gebouw.
2. De Supplementary Control Room Ventilation Circuit heeft de volgende functies:
  - Het handhaven van het comfort in de Supplementary Control Room en de Centrale Alarm Centrale door de lucht te verversen en warmte af te voeren;
  - Het handhaven van de lichte overdruk in de Supplementary Control Room en de Centrale Alarm Centrale.
3. Het Supplementary Control Room Ventilation Circuit heeft rook- en gasdetectie in beide luchttoevoerleidingen. Bij detectie in één van de luchttoevoerinlaten, wordt automatisch de isolatieklep in de buitenluchtinlaat gesloten en opent de tegenovergestelde luchttoevoerinlaat.
4. Wanneer in beide luchttoevoerleidingen rook of gas wordt gedetecteerd, wordt automatisch op recirculatiemodus overgegaan: de isolatiekleppen aan beide zijden in de luchtinlaat worden gesloten waarmee verspreiding van de verontreinigingen wordt voorkomen. De recirculatie luchtbehandelingskasten blijven in bedrijf.
5. De Supplementary Control Room Ventilation Circuit heeft een normale stroomvoorziening en een stand-by stroomvoorziening.

#### 4.5.2.5 Non-conventional Ventilation Circuit

1. Het Non-conventional Ventilation Circuit is een luchtafvoercircuit dat als functie heeft de lucht af te zuigen uit ruimtes buiten het Reactor Containment, maar waar de kans op radiologische besmetting van de lucht bestaat.
2. Deze ruimtes bestaan uit radiochemische en radio-isotopenlaboratoria, uit handschoenkasten, chemische afzuigkappen, uit ruimtes voor de bediening en het onderhoud van Hot Cells en uit luchtsluizen tussen de radiologisch gecontroleerde zone van het Nuclear Island Building en de radiologisch bewaakte zone van het Logistic building.
3. De luchttoevoer naar deze ruimtes is afkomstig van het Conventional Heat, Ventilation and Air Conditioning -systeem.
4. Alle lucht die door middel van de Non-conventional Ventilation Circuit wordt afgevoerd, gaat door HEPA-filters en komt uiteindelijk door de ventilatieschacht vrij.
5. In de luchttoevoerkanalen die afkomstig zijn van het Conventional Heat, Ventilation and Air Conditioning zijn isolatiekleppen geïnstalleerd om de luchttoevoer af te sluiten wanneer er een probleem is met de Non-conventional Ventilation Circuit. Op deze manier wordt de mogelijkheid om besmette lucht van een radiologisch gecontroleerde zone naar een niet-radiologische zone over te brengen geëlimineerd.
6. De Non-conventional Ventilation Circuit wordt gevoed door de normale stroomvoorziening.

### 4.5.3 Veiligheidsbeschouwing

#### 4.5.3.1 Ventilatie van het Reactor Containment

##### **Containment Ventilation Circuit**

1. Het Containment Ventilation Circuit beperkt de activiteit van de lucht die in onder normale bedrijfsomstandigheden afgezogen wordt, tot niveaus die onder de vooraf vastgestelde waarden liggen.
2. Het Containment Ventilation Circuit zorgt voor een drukverschil in het Reactor Containment waardoor er een luchtcirculatie optreedt van gebieden met een laag potentieel aan radioactieve besmetting naar gebieden met een hoog potentieel aan radioactieve besmetting.
3. Alle luchtgedragen (gassen en aerosolen) radioactieve emissies worden via de ventilatieschacht afgevoerd en worden continu gemonitord.

##### **Auxiliary Exhaust Circuit**

4. Het Auxiliary Exhaust Circuit beperkt de activiteit van de lucht die in onder ongevalscondities afgezogen wordt, tot niveaus die onder de vooraf vastgestelde waarden liggen.
5. Het Auxiliary Exhaust Circuit handhaaft een negatief drukverschil tussen het Reactor Containment en de omliggende gebieden zodat een ongecontroleerde luchtstroming uit het Reactor Containment wordt voorkomen.
6. In het geval van een totale stroomuitval blijven beide afzuigkanalen van het Auxiliary Exhaust Circuit open staan. Hierdoor voorkomt het Auxiliary Exhaust Circuit een drukverhoging in het Reactor Containment en wordt alle lucht die vrijkomt passief door de ventilatieschacht gevoerd en gefilterd.

##### **Recovery Recirculation Circuit**

7. Het Recovery Recirculation Circuit herstelt de kwaliteit van de lucht in de Reactorhal onder ongevalscondities, waarbij de lucht wordt gereinigd door middel van luchtre circulatie door HEPA en actieve koolfilters.

##### **Heavy Water Room Ventilation Circuit**

8. Het Heavy Water Room Ventilation Circuit beperkt de lozingen van radioactieve besmetting in de lucht vanuit de zwaar water ruimtes, voor alle bedrijfstoestanden, tot niveaus die onder de vooraf ingestelde waarden liggen.



9. Het Heavy Water Room Ventilation Circuit handhaaft een negatief drukverschil tussen de zwaar water ruimtes en de omliggende gebieden zodat een ongecontroleerde luchtstroming uit deze ruimtes wordt voorkomen.
10. De afgevoerde lucht in het Heavy Water Room Ventilation Circuit wordt continu op tritium gecontroleerd.

#### Experiments Service Room Ventilation Circuit

11. Het Experiments Service Room Ventilation Circuit beperkt de lozingen van radioactieve besmetting in de lucht vanuit de experimenteerruimte voor alle bedrijfstoestanden tot niveaus die onder de vooraf ingestelde waarden liggen.
12. Het Experiments Service Room Ventilation Circuit handhaaft een onderdrukverschil tussen de experimenteerruimte en de omliggende gebieden zodat een ongecontroleerde luchtstroming uit deze ruimte wordt voorkomen.
13. Het Experiments Service Room Ventilation Circuit bevat een isolatieklep in de luchttoevoer naar de experimenteerruimte, om de isolatie te waarborgen en de radioactieve stoffen in deze ruimte in te sluiten. Deze scheidingsklep wordt gesloten wanneer de Ventilatie Herconfiguratiemodus door middel van Reactor Control and Monitoring System of Ventilation Reconfiguration System geactiveerd wordt.

#### 4.5.3.2 Hot Cell Ventilatie Circuit

1. Het Hot Cells Ventilation Circuit beperkt de lozingen van radioactieve besmetting in de lucht in Veiligheidsniveaus 1, 3b en 4 tot niveaus die onder de vooraf vastgestelde waarden liggen.
2. Het Hot Cells Ventilation Circuit handhaaft een negatief drukverschil tussen de Hot Cells en de omliggende gebieden zodat een ongecontroleerde luchtstroming uit de Hot Cells wordt voorkomen.
3. Het Hot Cells Ventilation Circuit bevat isolatiekleppen in de luchttoevoer van elke Hot Cell om de radioactieve stoffen erin op te sluiten indien de gemeten hoeveelheid radioactiviteit in de afvoer te hoog wordt.

#### 4.5.3.3 Main Control Room Ventilation Circuit

1. Het Main Control Room Ventilation Circuit omvat luchtbehandeling, verwarming en toevoer van verse lucht, om de leefbaarheid van de Main Control Room te garanderen.
2. Het Main Control Room Ventilation Circuit omvat ventilatie die met water van het Chilled Water System for Nuclear Ventilation wordt gekoeld om te voldoen aan de vereiste omgevingscondities in de instrumentatie- en regelsysteem ruimtes: Reactor Protection System, Reactor Control and Monitoring System, Post Accident Monitoring system, Irradiation Protection System en Neutronic Instrumentation System.
3. Het Main Control Room Ventilation Circuit houdt een overdrukverschil tussen de Main Control Room en de omliggende gebieden in stand.
4. Het Main Control Room Ventilation Circuit monitort de aanwezigheid van rook en giftige gassen in de luchttoevoer. Als een verontreiniging gedetecteerd wordt, wordt de luchtinlaat geïsoleerd (recirculatie) om de verspreiding van deze stoffen te voorkomen.

#### 4.5.3.4 Supplementary Control Room Ventilation Circuit

1. Het Supplementary Control Room Ventilation Circuit omvat luchtbehandeling, verwarming en toevoer van verse lucht, om de leefbaarheid van de Supplementary Control Room en Centrale Alarm Centrale te garanderen.
2. Het Supplementary Control Room Ventilation Circuit handhaaft een overdrukverschil tussen de Supplementary Control Room en Centrale Alarm Centrale ten opzichte van de omgeving.
3. Het Supplementary Control Room Ventilation Circuit monitort de aanwezigheid van rook en giftige gassen in beide luchtinlaten. Als een verontreiniging gedetecteerd wordt, wordt de luchtinlaat geïsoleerd (recirculatie) om de verspreiding van deze stoffen te voorkomen.

#### 4.5.3.5 Non-conventional Ventilation Circuit

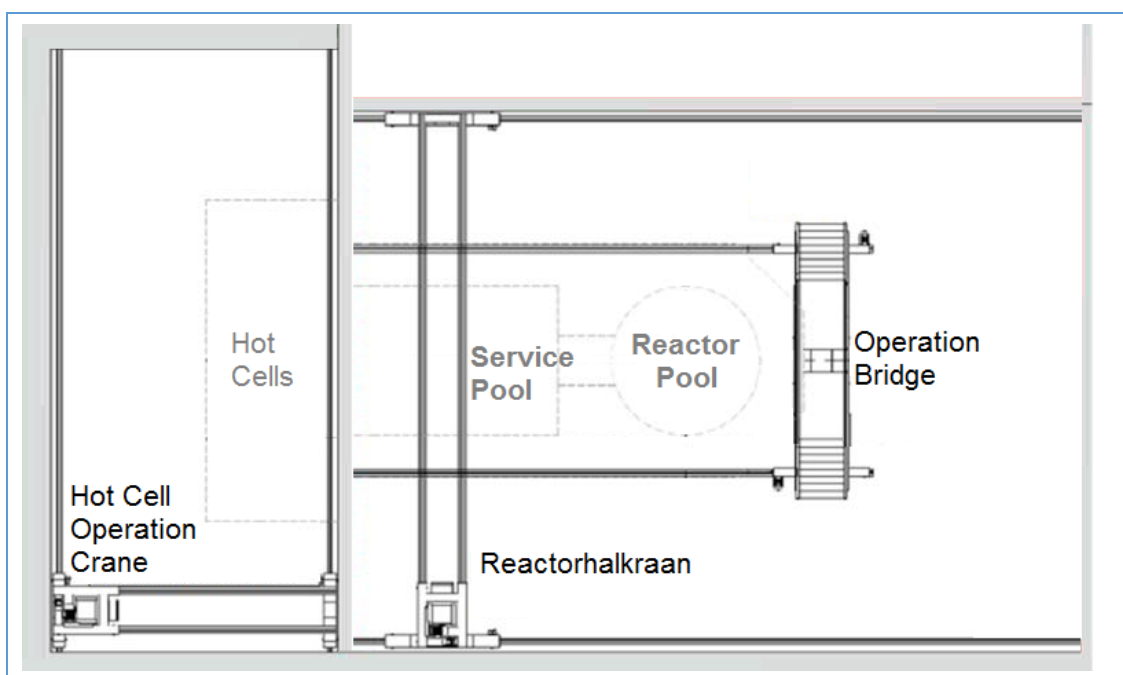
1. Alle lucht die door Non-conventional Ventilation Circuit wordt afgevoerd, verlaat het Nuclear Island Building en de Logistic building via de ventilatieschacht, waar de activiteit van de afgevoerde lucht continu wordt bewaakt.
2. Het Non-conventional Ventilation Circuit handhaaft een negatieve druk tussen de mogelijk besmette ruimtes en de omliggende gebieden van buiten het Reactor Containment.

## 4.6 Hefwerktuigen

### 4.6.1 Algemeen

1. De hefwerktuigen omvatten de systemen die verticale en/of horizontale verplaatsingen van zware lasten of personeel, binnen de gebouwen mogelijk maken. De hefwerktuigen moeten voldoen aan de veiligheidskenmerken voor de hantering van radioactieve materialen (splijtstof, bestralingstargets) die in zware containers worden vervoerd of die in de Reactor Pool en Service Pool verplaatst worden.
2. Het Nuclear Island Building heeft de volgende hefwerktuigen met veiligheidsklasse 2:
  - Reactorhalkraan;
  - Operation Bridge;
  - Hot Cell Operation Crane.

Figuur 4-10: Hefwerktuigen in het Nuclear Island Building (bovenaanzicht)



3. In het Logistic Building bevindt zich de Logistic Building Bridge Crane (veiligheidsklasse 2).
4. In het Nuclear Island Building zijn meerdere liften opgenomen voor personeel en ladingen. Deze voeren geen veiligheidsfunctie uit.
5. Naast deze hefwerktuigen zijn er nog andere toestellen met verschillende capaciteiten en kenmerken. Hun doel is het uitvoeren van montage- en onderhoudswerkzaamheden. Deze toestellen hebben geen veiligheidsfuncties omdat ze niet operationeel hoeven zijn tijdens reactorbedrijf of in ongevalssituaties.

## 4.6.2 Reactorhalkraan

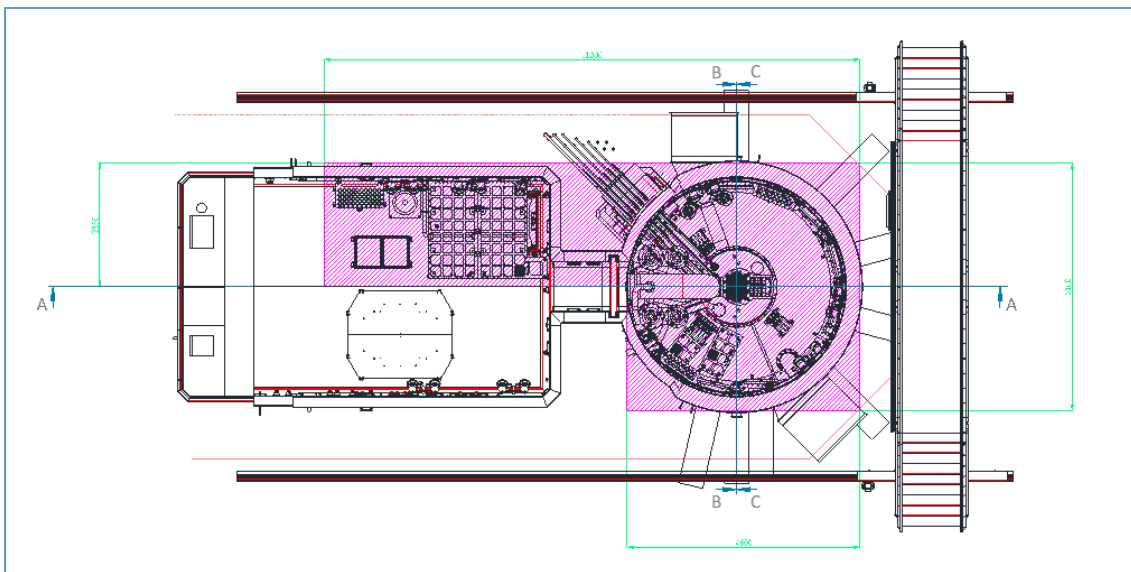
### 4.6.2.1 Functie en ontwerpuitgangspunten

1. De Reactorhalkraan draagt niet bij aan het vervullen van een fundamentele veiligheidsfunctie. De Reactorhalkraan wordt gebruikt voor het hanteren van containers met verbruikte splijtstof of ander radioactief materiaal en voor het hanteren van experimenten en apparatuur.
2. De Reactorhalkraan moet het risico vermijden dat objecten in de Reactor Pool en Service Pool kunnen vallen.
3. Het hijsvermogen van de kraan is 20 ton en dekt als maximale last het gewicht van een geladen container voor verbruikte splijtstof.

### 4.6.2.2 Ontwerpbeschrijving

1. Om de vereiste veiligheid te bieden is de kraan voorzien van:
  - Een uitvoering met redundantie en/of overdimensionering om het vallen van een last als gevolg van enkelvoudig falen te voorkomen;
  - Een noodstopsysteem;
  - Apparatuur om ontsporing bij een seismische gebeurtenis of vliegtuigongeval te voorkomen;
  - Een blokkade die voorkomt dat de kraan zware lasten kan verplaatsen boven de Reactor Pool en boven de opslag van verbruikte splijtstofelementen in de Service Pool (zie Figuur 4-11). Deze bewegingsbeperking kan worden uitgeschakeld als dat voor speciale onderhoudswerkzaamheden nodig is.

**Figuur 4-11: Gebied waar de reactorhalkraan standaard geen lasten kan verplaatsen (bovenaanzicht)**



## 4.6.3 Operation Bridge

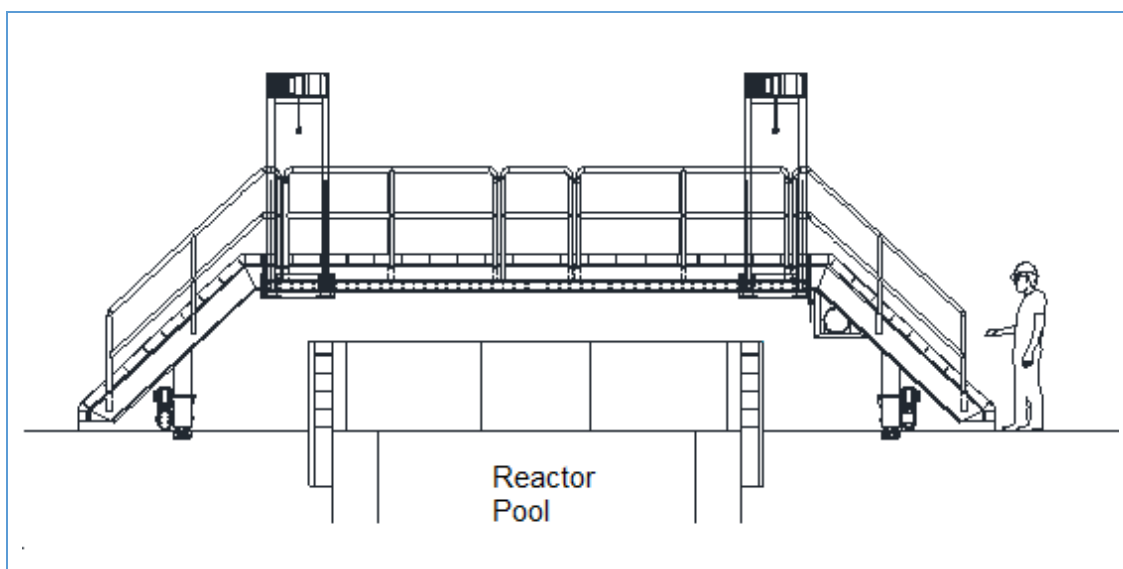
### 4.6.3.1 Functie en ontwerpuitgangspunten

1. De Operation Bridge wordt gebruikt voor de hantering van met name verse en bestraalde splijtstof, bestralingstargets en Beryllium reflectoren. De Operation Bridge draagt indirect bij aan het vervullen van de fundamentele veiligheidsfunctie 'Beheersing van reactiviteit' door de maximale snelheid waarmee reactiviteit tijdens het gebruik van de reactor kan worden toegevoegd te garanderen.

#### 4.6.3.2 Ontwerpbeschrijving

1. De Operation Bridge is een beweegbare brug boven de Reactor Pool en Service Pool (zie Figuur 4-12). De brug verplaatst zich op rails aan beide zijden van de Pools. De rails voldoen aan de seismische belastingen en hebben ontsparingsbeveiligingen. De brug is voorzien van verrijdbare trolleys, met een takel om objecten in/uit de Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal te hijsen. Door de combinatie van de brug- en trolleybewegingen kan elk punt in Reactor Pool, Service Pool en Transfer Canal worden bereikt.
2. De trolley heeft een hijsinrichting die voldoet aan het enkelvoudig falen criterium waarmee voorkomen wordt dat objecten in de Pool vallen. De hijsinrichting is voorzien van een mechanische veiligheidsrem, onafhankelijk van de elektromotor.
3. De Operation Bridge beschikt over de volgende instrumentatie en monitoring:
  - Brugpositiesensoren om te voorkomen dat de last over de kern gaat.
  - Een indicatie van de belasting en hoogtesensoren in de gehesen last. De hoogte-instrumentatie is voorzien van een limiet waarmee altijd voldoende afscherming door het water aanwezig is.

Figuur 4-12: Operation Bridge (vooraanzicht)



#### 4.6.4 Hot Cell Operation Crane

##### 4.6.4.1 Functie en ontwerpuitgangspunten

1. Het doel van de Hot Cell Operation Crane is onder andere het hanteren van Hot Cell afschermingselementen en de belading van containers met o.a. Molybdeen en experimenten.
2. De Hot Cell Operation Crane is niet vereist voor de vervulling van een fundamentele veiligheidsfunctie.

##### 4.6.4.2 Ontwerpbeschrijving

1. De Hot Cell Operation Crane is een brugkraan met een maximale laadcapaciteit van 10 ton. De Hot Cell Operation Crane is ontworpen om rekening te houden met seismische gebeurtenissen.

#### 4.6.5 Logistic Building Bridge Crane

##### 4.6.5.1 Functie en ontwerpuitgangspunten

1. Het doel van de Logistic Building Bridge Crane is het hanteren van containers voor radioactieve stoffen en andere materialen in de Logistic Building.

2. De kraan draagt niet bij aan het vervullen van een fundamentele veiligheidsfunctie.

#### 4.6.5.2 Ontwerpbeschrijving

1. De Logistic Building Bridge Crane is een brugkraan met een laadcapaciteit van 20 ton, wat overeenstemt met het maximale gewicht van een geladen container voor verbruikte splijtstof.
2. De mechanische en veiligheidskenmerken van de kraan zijn vergelijkbaar met die van de reactorhalkraan.

## 4.7 Overige gebouwen

### 4.7.1 Logistic Building

1. Het Logistic Building grenst aan het Nuclear Island Building en biedt plaats aan laboratoria en ruimtes voor elektrische installaties (o.a. stand-by stroomvoorziening), de afhandeling van goederenstromen en de opslag van materialen, apparatuur en conventioneel afval.
2. Het Logistic building vervult geen fundamentele veiligheidsfunctie maar draagt indirect bij aan de vervulling van de fundamentele veiligheidsfuncties:
  - Insluiting van radioactief materiaal; door huisvesting van het Reactor Chemistry Laboratorium en de transportroute voor radioactieve materialen (afval, splijtstoffen, radio-isotopen enz.);
  - Afvoer van warmte; door de huisvesting van het Alternative Secondary Cooling System (zie hoofdstuk 6) en de koelers van het Chilled Water System for Nuclear Ventilation.
3. Doordat het Logistic building deze bijdrage aan de fundamentele veiligheidsfuncties levert is het gebouw aardbevingsbestendig (seismische klasse 1) om tijdens en na ongevalsituaties deze functie te kunnen blijven vervullen.

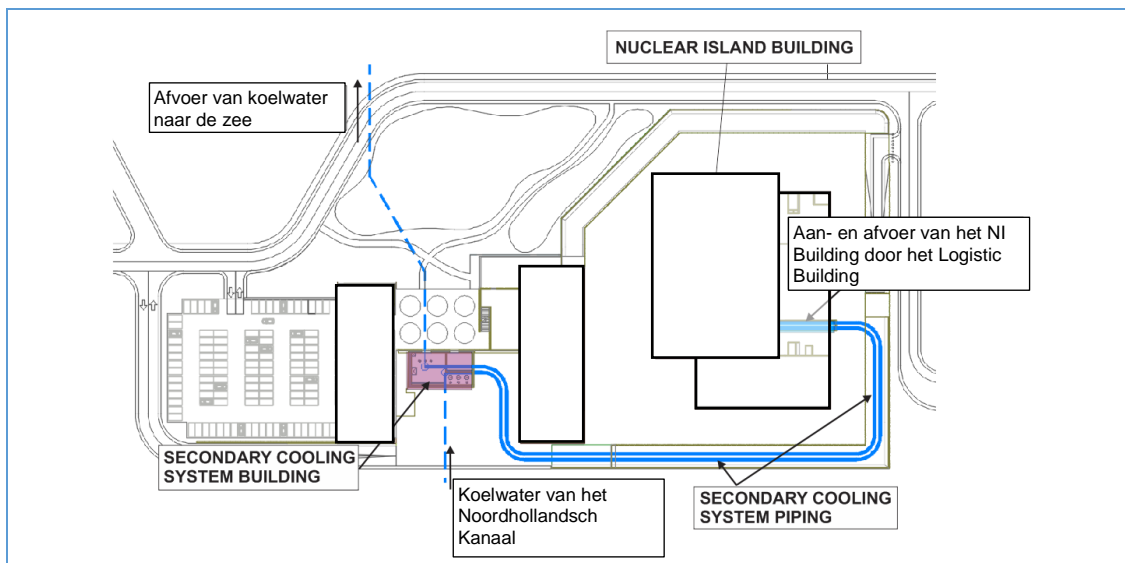
### 4.7.2 Support Building

1. Het Support Building omvat ruimtes voor personeel, de reactorsimulator, technische ruimtes, elektrische installaties en het ventilatiesysteem.
2. Het Support Building vervult geen rol bij de vervulling van de fundamentele veiligheidsfuncties. Indirect draagt het bij door huisvesting van verschillende structuren, systemen en componenten.
3. Het Support Building is aardbevingsbestendig (seismische klasse 1).

### 4.7.3 Secondary Cooling System Building

1. Het Secondary Cooling System Building is een ondergronds gebouw waarin de pompen en bijbehorende hulpapparatuur zijn ondergebracht voor het Secondary Cooling System. Het koelwater komt via een leiding binnen uit het Noordhollandsch Kanaal en wordt van het Secondary Cooling System Building via het Logistic Building naar het Nuclear Island Building gevoerd (zie Figuur 4-13). Na opwarming van het water in het Secondary Cooling System, wordt het water afgevoerd en in zee geloosd.
2. Het Secondary Cooling System Building draagt indirect bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie 'Afvoer van warmte' omdat de pompen van het Secondary Cooling System erin zijn ondergebracht (zie hoofdstuk 6) en is ingedeeld in veiligheidsklasse 3 en aardbevingsklasse 3.

Figuur 4-13: Globale route van de leidingen van het Secondary Cooling System



# 5

---

Reactor



## 5.1 Inleiding

1. Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de kern, de bijbehorende structuren en componenten evenals de belangrijkste fysische kenmerken van de PALLAS-reactor.
2. Een algemene beschrijving van de reactorkern, de algemene neutronenfysische en thermohydraulische eigenschappen en de veiligheidsklassering worden in paragraaf 5.2 gegeven.
3. De belangrijkste structuren van de PALLAS-reactor, dat wil zeggen de kern en de bijbehorende componenten, worden beschreven in paragraaf 5.3.
4. Een beschrijving van het splijtstofelement wordt gegeven in paragraaf 5.4.
5. De systemen voor de controle van de reactiviteit, die zowel betrekking hebben op de reactiviteitscontrole tijdens normaal bedrijf als op het snel afschakelen van de reactor, worden in paragraaf 5.5 beschreven.
6. Het neutronenfysisch en het thermohydraulisch ontwerp van de reactorkern wordt in paragraaf 5.6 respectievelijk in paragraaf 5.7 beschreven.
7. De belangrijkste structurele en functionele materialen van PALLAS-reactor worden beschreven in paragraaf 5.8.

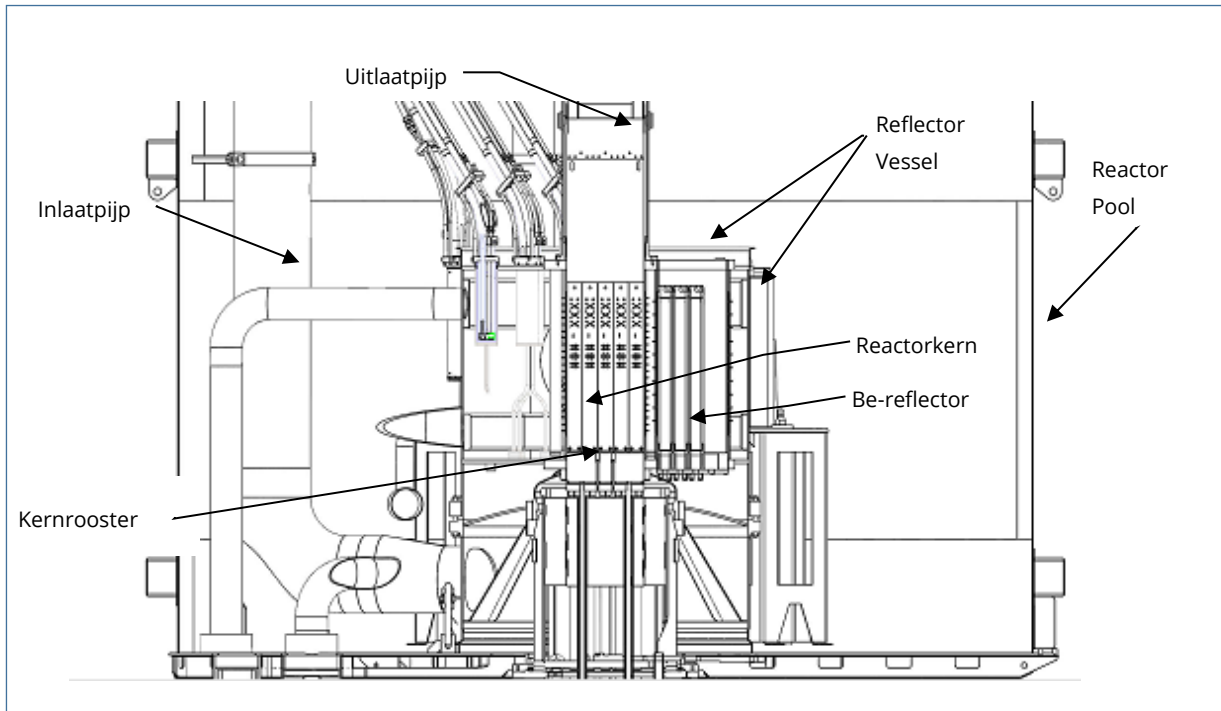
## 5.2 Samenvattende beschrijving van de reactor

### 5.2.1 Algemene beschrijving

1. De PALLAS-reactor is een pool-type reactor met een nominaal vermogen van 25 MW<sub>th</sub> en bevat diverse voorzieningen voor de productie van radio-isotopen.
2. De kern bevindt zich in een koelkanaal omgeven door zwaar water in de Reflector Vessel. Het geheel is onder in de Reactor Pool geplaatst. De Reactor Pool is gevuld met gedemineraliseerd licht water, dat fungeert als koelvloeistof en moderator. De reactorkern is omgeven met zwaar water en beryllium, wat voor reflectie van neutronen vanuit de reactorkern zorgt.
3. Door de open pool is directe toegang tot de kern mogelijk voor het uitvoeren van experimenten en voor handelingen zoals het (ont)laden van bestralingsfaciliteiten. Een overzicht van de reactorkern en de bijbehorende structuren in de Reflector Vessel is weergegeven in Figuur 5-1.

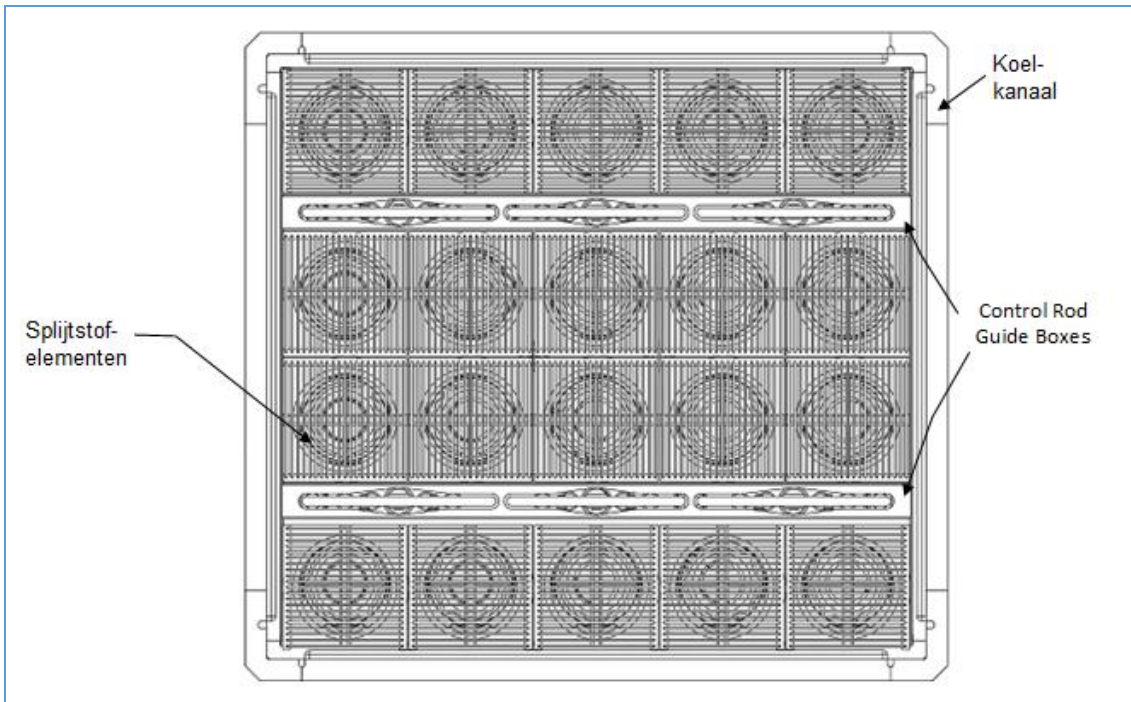


Figuur 5-1: Reactor in de Reactor Pool: kern met bijhorende structuren en componenten (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken)

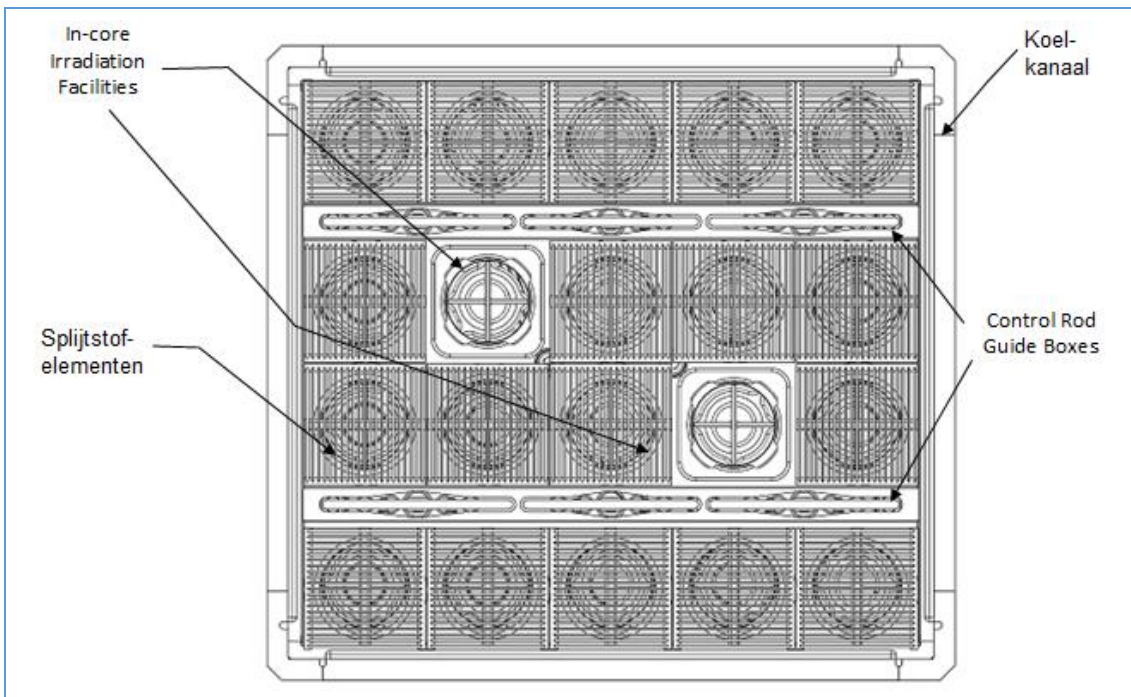


4. De kern wordt ondersteund door het kernrooster in het midden van de Reflector Vessel. De geometrie is een 5x4 opstelling met maximaal 20 splijtstofelementen. De basiskernconfiguratie met 20 splijtstofelementen garandeert de beste opbrand. De kernconfiguratie is echter enigszins flexibel; twee posities voor splijtstofelementen kunnen tevens als In-Core-Irradiation Facilities gebruikt worden. Hiermee is bestraling van monsters met snelle neutronen (in de kern) mogelijk. Gebruik van één of beide posities als In-Core Irradiation Facility, resulteert in kernconfiguraties met respectievelijk 19 of 18 splijtstofelementen.
5. Een bovenaanzicht van de reactorkern voor de kernconfiguraties met 20 en 18 splijtstofelementen is respectievelijk weergegeven in Figuur 5-2 en Figuur 5-3.

Figuur 5-2: Bovenaanzicht van de PALLAS-reactorkern, kernconfiguratie met 20 splijstofelementen

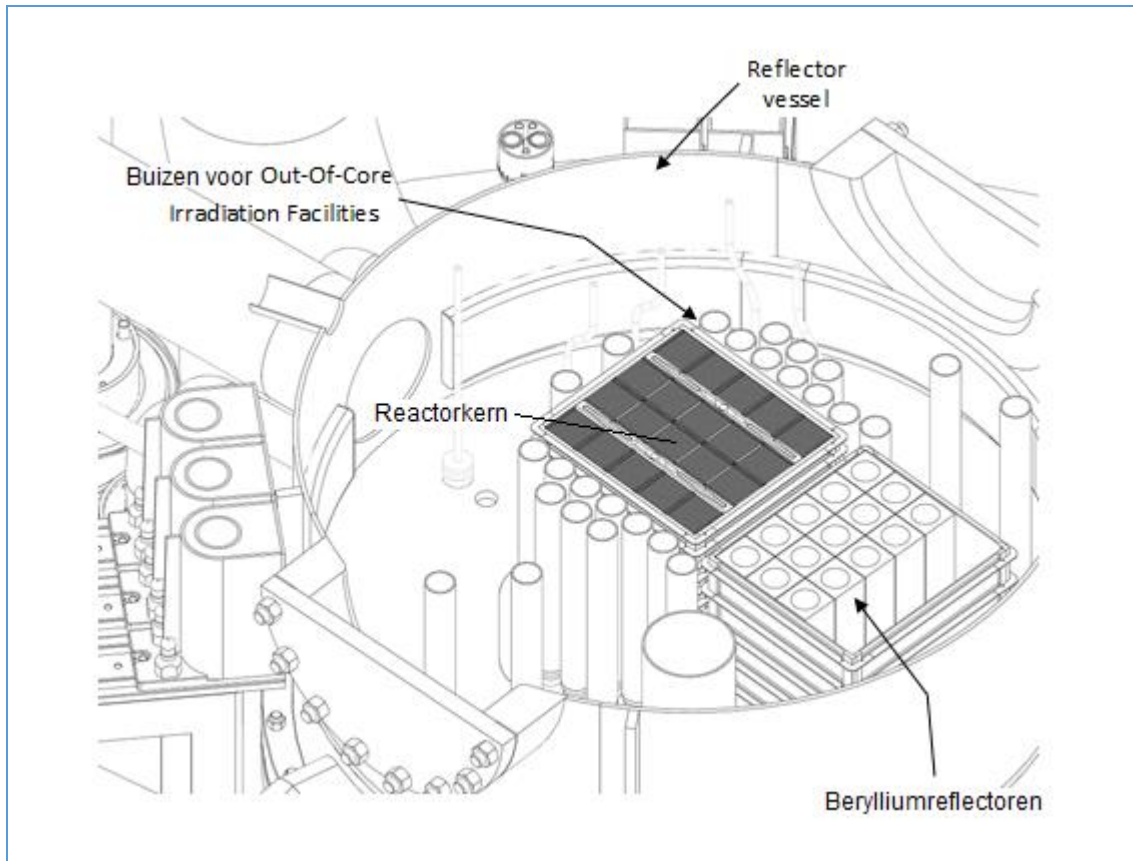


Figuur 5-3: Bovenaanzicht van de PALLAS-reactorkern, kernconfiguratie met 18 splijstofelementen



6. Het Reflector Vessel bevat Out-of-Core Irradiation Facilities voor verschillende bestralingsactiviteiten. Het bevat ook een 5x4 reflectorrooster, dat een variabel aantal berylliumreflectoren en bestralingsfaciliteiten kan herbergen. Sommige berylliumreflectoren bevatten ook soortgelijke Out-of-Core Irradiation Facilities als in het Reflector Vessel, waardoor ze onderling uitwisselbaar zijn.
7. Een dwarsdoorsnede van de reactorkern, het Reflector Vessel, Out-of-Core Irradiation Facilities en de berylliumreflectoren is weergegeven in Figuur 5-4.

**Figuur 5-4: Isometrische weergave van Reflector Vessel-componenten Out-of-Core Irradiation Facilities en Be-reflectoren rond de reactorkern (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken)**



### 5.2.2 Veiligheidsklassering

1. De onderdelen van de reactor zijn geklasseerd op basis van hun belang voor de veiligheid. Op basis hiervan zijn zij ontworpen, gefabriceerd, geïnstalleerd en inbedrijf gesteld.
2. De klassering van de onderdelen van de reactor is aangegeven in Tabel 5-1. De methode voor veiligheids- en seismische klassering van structuren, systemen en componenten wordt in hoofdstuk 2 behandeld.

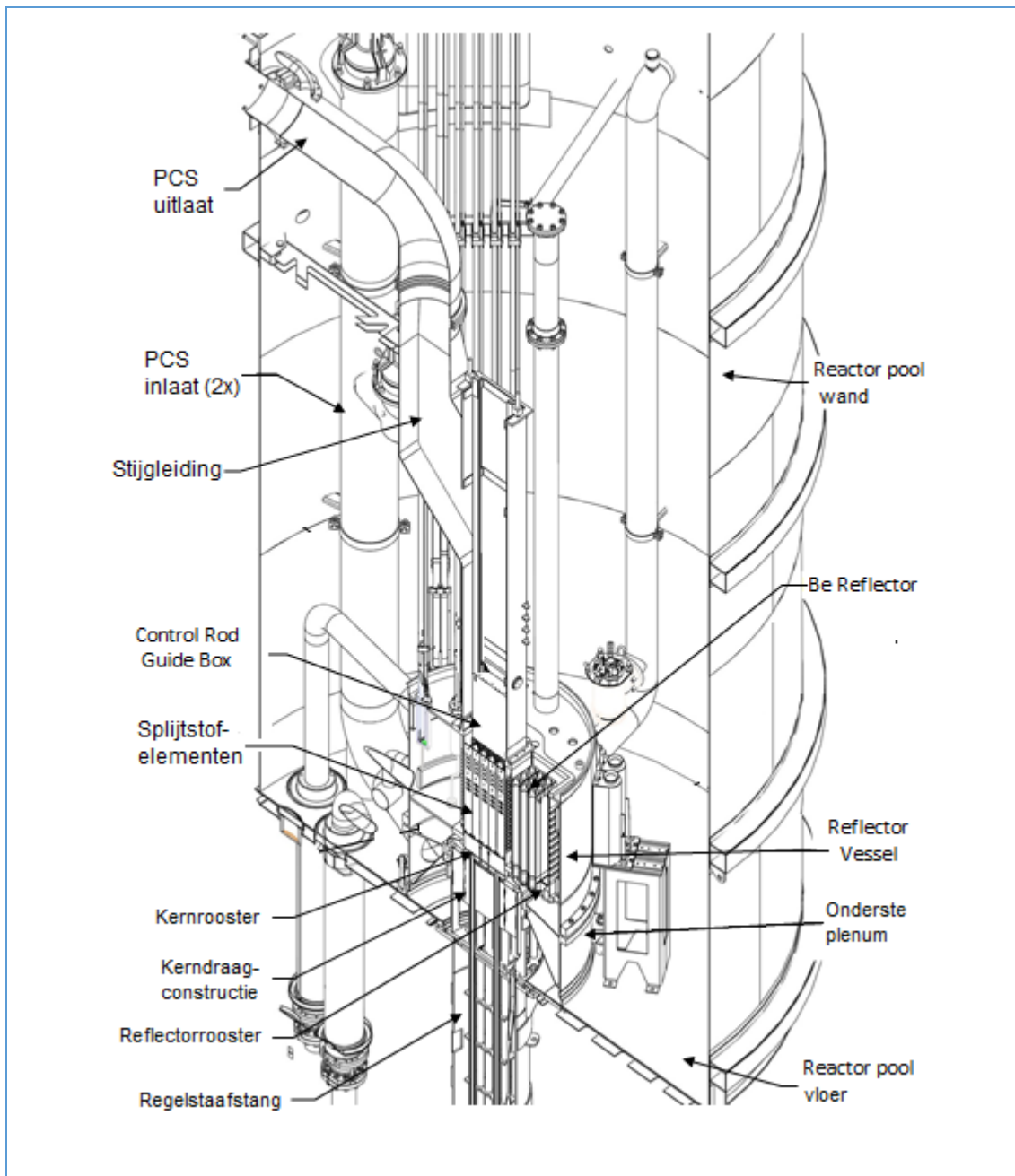
**Tabel 5-1: Veiligheidsklassering reactor**

Installatieonderdeel	Veiligheidsklasse	Seismische Klasse
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactorstructuren</li> <li>• Spleetstofelementen</li> <li>• First Shutdown System</li> </ul>	1	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Second Shutdown System</li> </ul>	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactiviteitsregeling</li> </ul>	2	2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hulpapparatuur</li> </ul>	3	2

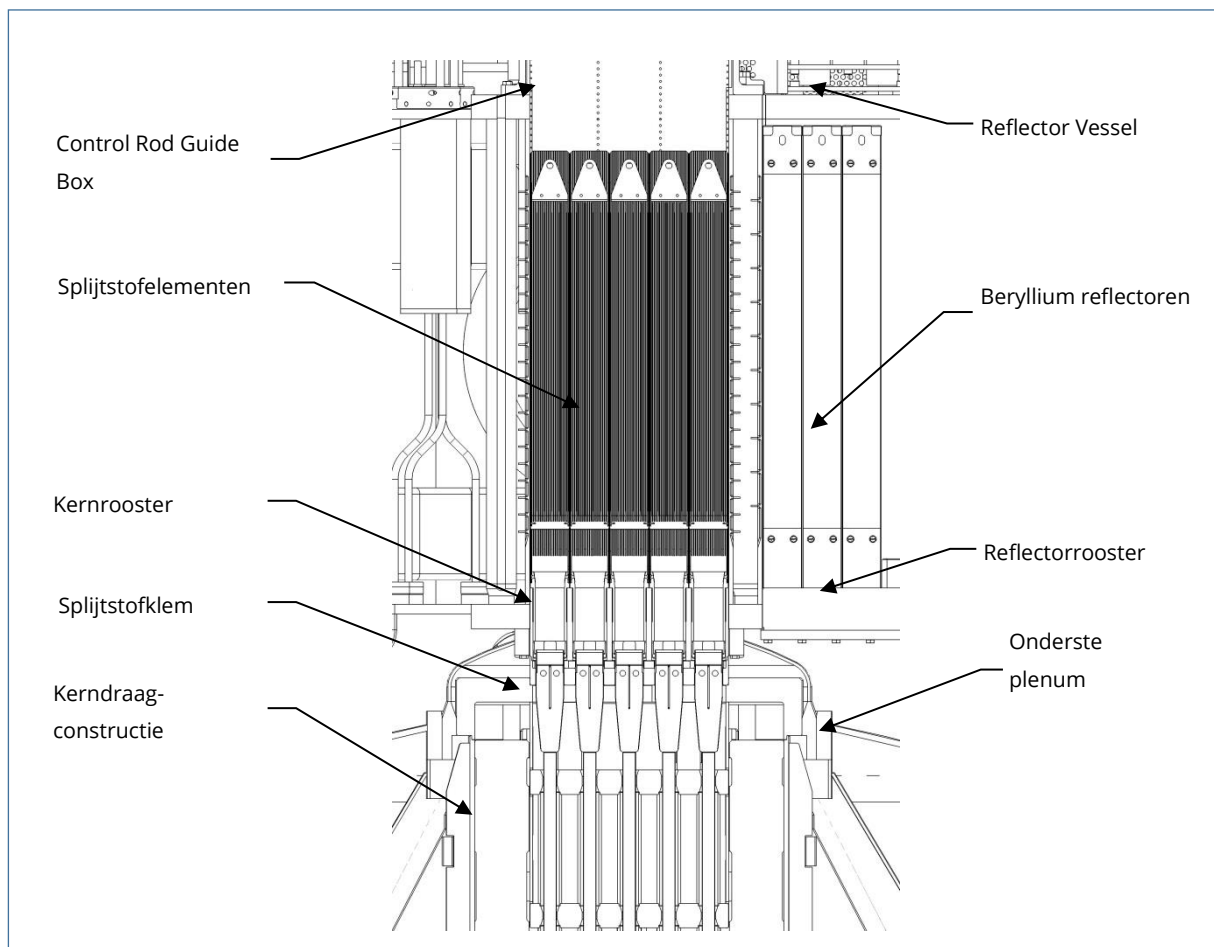
## 5.3 Beschrijving van de reactorstructuren

1. De reactorstructuren zijn een set componenten die zorgen voor mechanische ondersteuning van de reactorkern, die neutronenfysische of thermohydraulische functies vervullen en die integraal deel uitmaken van de koel- en afschakelsystemen.
2. De reactorstructuren zijn:
  - Reflector Vessel;
  - onderste plenum;
  - koelkanaal;
  - kernrooster;
  - kerndraagconstructie;
  - Control Rod Guide Box (CRGB);
  - CRGB-bevestiging;
  - regelstaafstangen;
  - splijtstofklem;
  - regelstaafdoorvoerplug;
  - reflectorrooster;
  - berylliumreflectoren.
3. In Figuur 5-5 en Figuur 5-6 zijn deze reactorstructuren in beeld gebracht.

Figuur 5-5: Reactorstructuren - Doorsnedeweergave (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken)

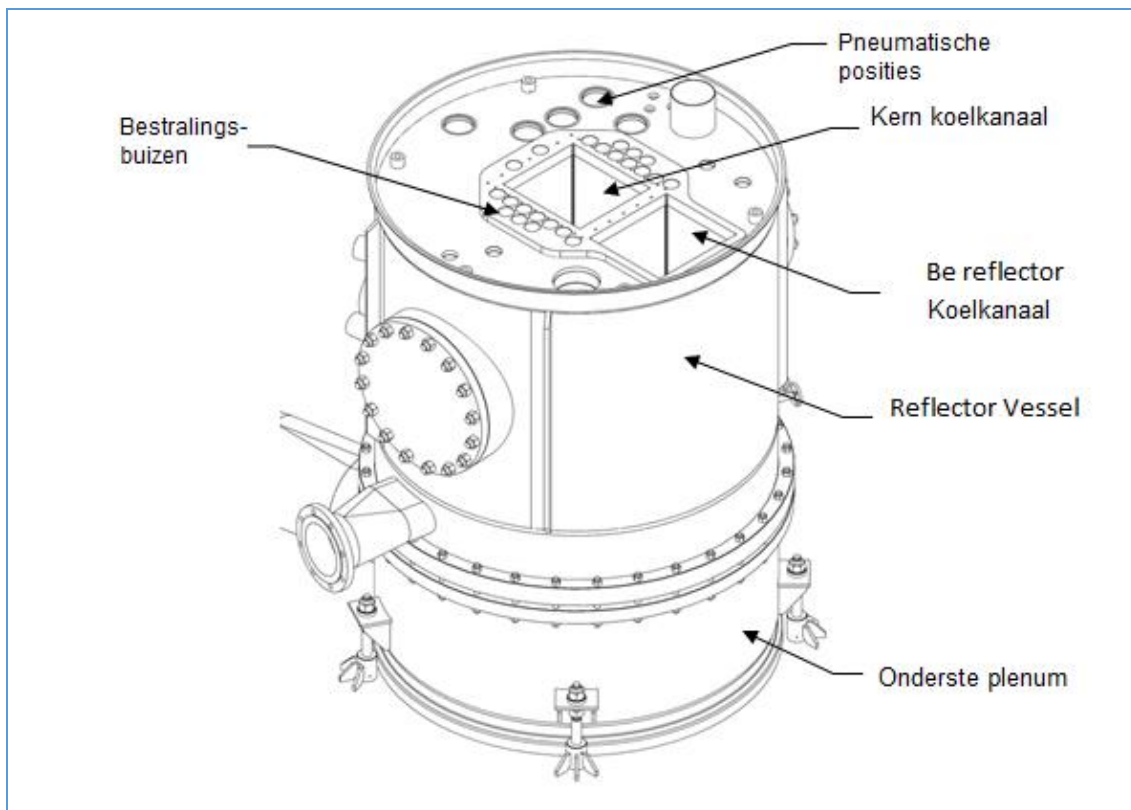


Figuur 5-6: Reactorstructuren - Kerndetail - zijdelingse doorsnede (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken)

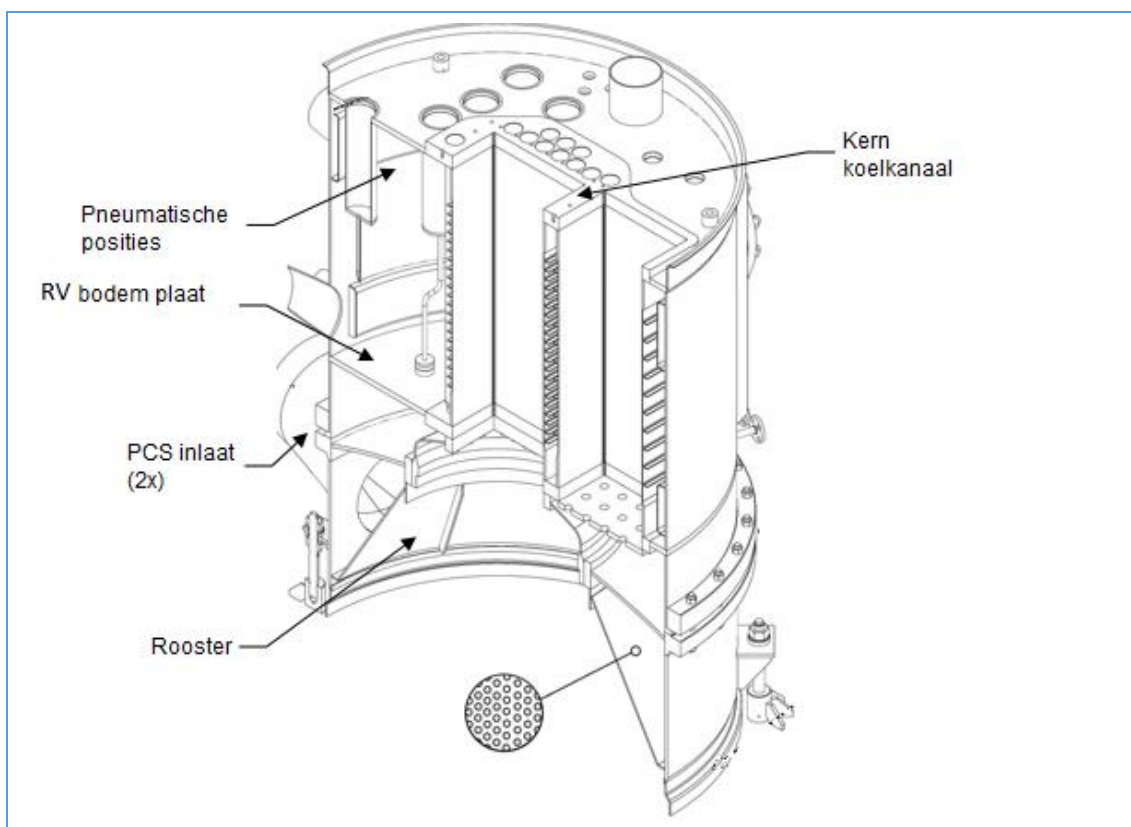


4. Het Reflector Vessel bevindt zich onder in de Reactor Pool en rust op het onderste plenum, dat het gewicht en de mechanische belasting overbrengt naar de bodem van de Reactor Pool. Het Reflector Vessel bevat zwaar water dat als een reflector fungeert. Het bevat ook de aansluitingen voor de afvoer van zwaar water wanneer het Second Shutdown System in bedrijf wordt gesteld.
5. Het koelkanaal is een rechthoekige ruimte die langs de verticale as van het Reflector Vessel loopt. Het koelkanaal leidt het koelwater door de splijstofelementen.
6. Naast het koelkanaal loopt een tweede rechthoekig kanaal dat de beryllium-reflectoren huisvest. Dit beryllium-reflector koelkanaal bevat het reflectorrooster dat de beryllium-reflectoren ondersteunt.
7. Het Reflector Vessel wordt in de axiale richting doorkruist door cilindrische buizen met verschillende diameters die de bestralingsbuizen van de Out Core Irradiation Facilities vormen. De bestralingsbuizen zijn toegankelijk vanaf de bovenkant van de Reflector Vessel.
8. Het onderste plenum rust op de bodem van de Reactor Pool. De wanden van het onderste plenum bevatten de aansluitingen van de twee inlaatpijpen van het Primary Cooling System (PCS) en zorgen voor de toevoer van het primaire koelwater naar de kern. In het onderste plenum is een rooster geplaatst om deze koelwaterstroom te homogeniseren. In het onderste plenum wordt ook het poolkoelwater verzameld dat door de Out-of-Core Irradiation Facilities en Beryllium-reflectoren naar beneden stroomt en door het Pools Cooling System (POCS) via de POCS-zuigleidingen aangezogen wordt.
9. Het Reflector Vessel en het onderste deel van het plenum met hun belangrijkste onderdelen is afgebeeld in Figuur 5-7 en Figuur 5-8.

Figuur 5-7: Reflector Vessel en onderste plenum - Isometrische weergave (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken)

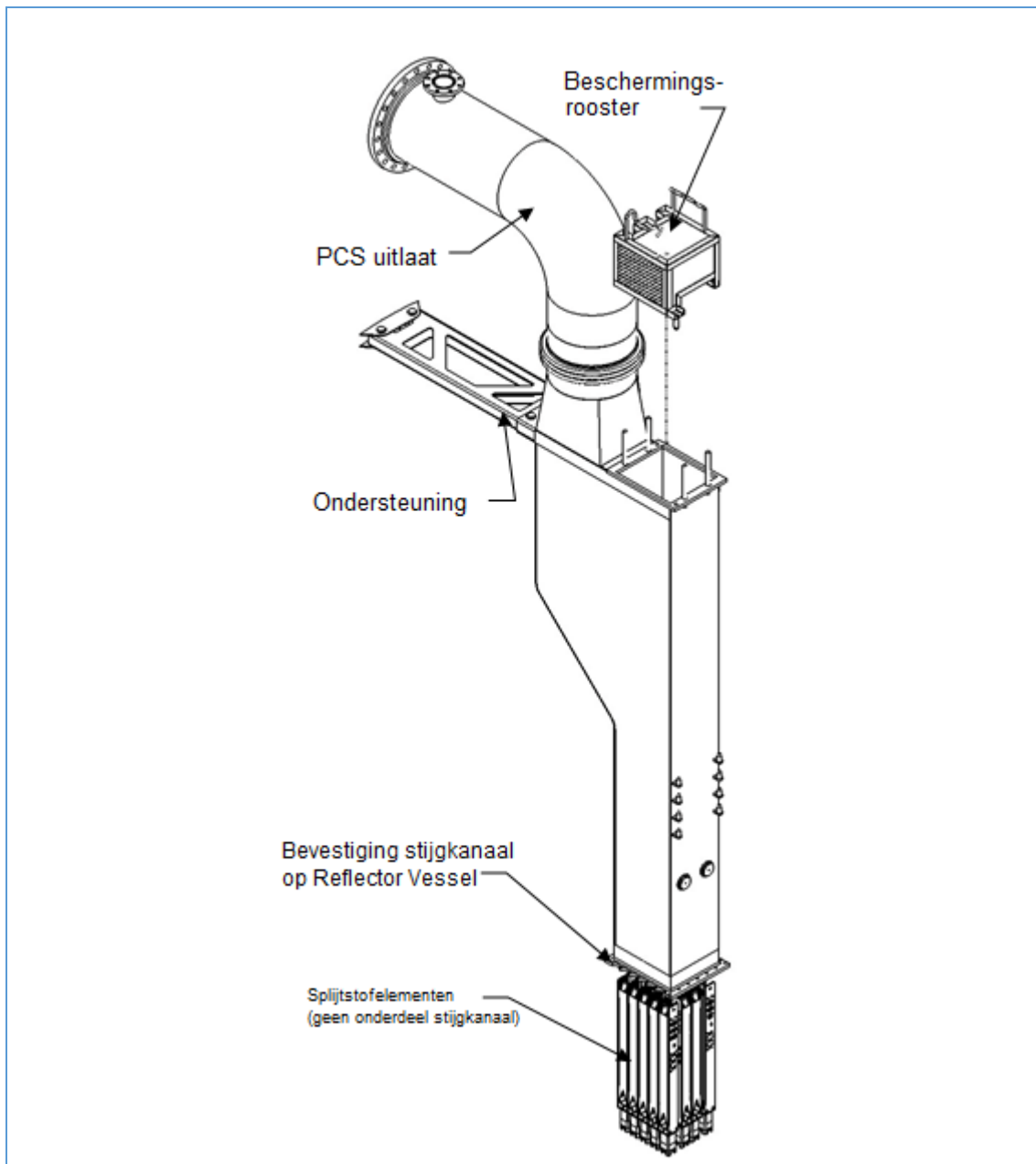


Figuur 5-8: Reflector Vessel en onderste plenum - Doorsnede weergave (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken)



10. Het stijgkanaal, het verlengstuk van het koelkanaal boven de reactorkern, begrenst de primaire koelwaterstroom nadat deze door de kern is gegaan en voordat deze het Reflector Vessel verlaat. Het stijgkanaal leidt het koelmiddel vanuit de kern bij geforceerde circulatie naar het PCS en bij natuurlijke circulatie naar de Reactor Pool (zie hoofdstuk 6). Het PCS onttrekt bij geforceerde circulatie ook een hoeveelheid water aan de Reactor Pool, waardoor een neerwaartse stroom door het stijgkanaal ontstaat. Deze voorkomt dat geactiveerd water dat de kern verlaat het oppervlak van de Reactor Pool bereikt. Op deze wijze wordt de stralingsdosis aan het oppervlak van de pool laag gehouden tijdens reactorbedrijf. Het stijgkanaal biedt directe toegang van bovenaf tot de splijststofelementen in de kern vanaf de Operation Bridge. Hiertoe dient het beschermingsrooster verwijderd te worden. Het stijgkanaal-beschermingsrooster biedt de kern bescherming tegen vallende voorwerpen. Een overzicht van het stijgkanaal is te zien in Figuur 5-9.

**Figuur 5-9: Stijgkanaal - Isometrische weergave (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken)**





11. Het kernrooster is een rechthoekige structuur die zich onderin het koelkanaal bevindt. De afmetingen van het kernrooster maken het mogelijk om de splijtstofelementen in een 4x5-configuratie te rangschikken. Het kernrooster zorgt voor de juiste stromingsverdeling tussen de verschillende kerncomponenten en biedt geleiding voor de regelstaafstangen. De splijtstofelementen worden in het kernrooster gestoken en vastgezet met een splijtstofelementklem.
12. De kerndraagconstructie wordt in het onderste deel van het plenum geplaatst. De constructie is verbonden met de bodem van de Reflector Vessel en, aan de bovenzijde, met het kernrooster. Het zorgt ervoor dat de koelwaterstroom op de juiste manier naar de kern wordt geleid. Het bevat buizen voor de stangen van de regelstaven, de splijtstofelementklemmen en de bevestiging van het kernrooster.
13. De twee Control Rod Guide Boxes (CRGB) dienen voor het geleiden van de regelstaven in de reactorkern (zie paragraaf 5.5). Zij bevinden zich in het koelkanaal van de reactorkern en bevatten elk drie regelstaven. De CRGB maakt de verticale beweging van de regelstaven mogelijk en zorgt voor geleiding en fixatie in het horizontale vlak. Daarnaast draagt de CRGB bij aan de juiste koelwaterverdeling tussen de splijtstofelementen en de CRGB.
14. De regelstaafdoorvoerplug bevindt zich tussen de bodem van de Reflector Vessel en het plafond van de ruimte voor de regelstaafaandrijving welke zich onder de Reactor Pool bevindt. Het bestaat uit een cilindervormig omhulsel met onder en boven een flens en doorvoerbuizen. Door de doorvoerbuizen lopen de stangen van de splijtstofklemmen, het kernrooster en de regelstaven.
15. Het rechthoekige reflectorrooster ondersteunt de beryllium reflectoren en maakt het mogelijk om de beryllium reflectoren op verschillende posities te plaatsen. Het reflectorrooster verdeelt de koelvloeistof onder de reflectoren door openingen in het rooster.
16. De reflector bestaat uit reflectorblokken met bestralingspositie waarin een bestralingsfaciliteit kan worden gehuisvest (vergelijkbaar met de posities in de reactorkern) en reflectorblokken zonder bestralingspositie. Alle beryllium reflectoren hebben een interne opening voor de warmteafvoer van de in de blokken vrijkomende energie.

## 5.4 Spleitstofelement

### 5.4.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Zoals in de vorige paragraaf beschreven bestaat de reactorkern uit spleitstofelementen. In een spleitstofelement kan, wanneer het zich in een geschikte kernconfiguratie bevindt, een kernsplijtingsproces plaatsvinden waarbij warmte en straling vrijkomt en radioactieve splijtingsproducten worden gevormd.
2. Het spleitstofelement faciliteert de afvoer van de vrijkomende warmte via de koelkanalen, waardoor de temperatuur van de spleitstofplaten beneden gedefinieerde criteria blijft. De bekleding van de spleitstofplaten in het spleitstofelement sluit de gevormde radioactieve splijtingsproducten in en vormt de barrière tussen de spleitstof en het koelwater. De samenstelling van de spleitstofelementen is van belang voor het beheersen van de reactiviteit.
3. De ontwerpbasis voor het spleitstofelement:
  - De geometrie van het koelkanaal is voldoende en blijft gegarandeerd, waarmee de integriteit van de platen behouden blijft en warmteafvoer en insluiting van splijtingsproducten mogelijk blijft.
  - De geometrie van het koelkanaal is afgestemd op de warmteafvoer en effecten die de dikte van het koelkanaal kunnen verminderen zoals thermische uitzetting van de spleitstofplaat en een oxidelaag.
  - Het spleitstofelement beperkt overmatige reactiviteit door toepassing van slijtend neutronengif.

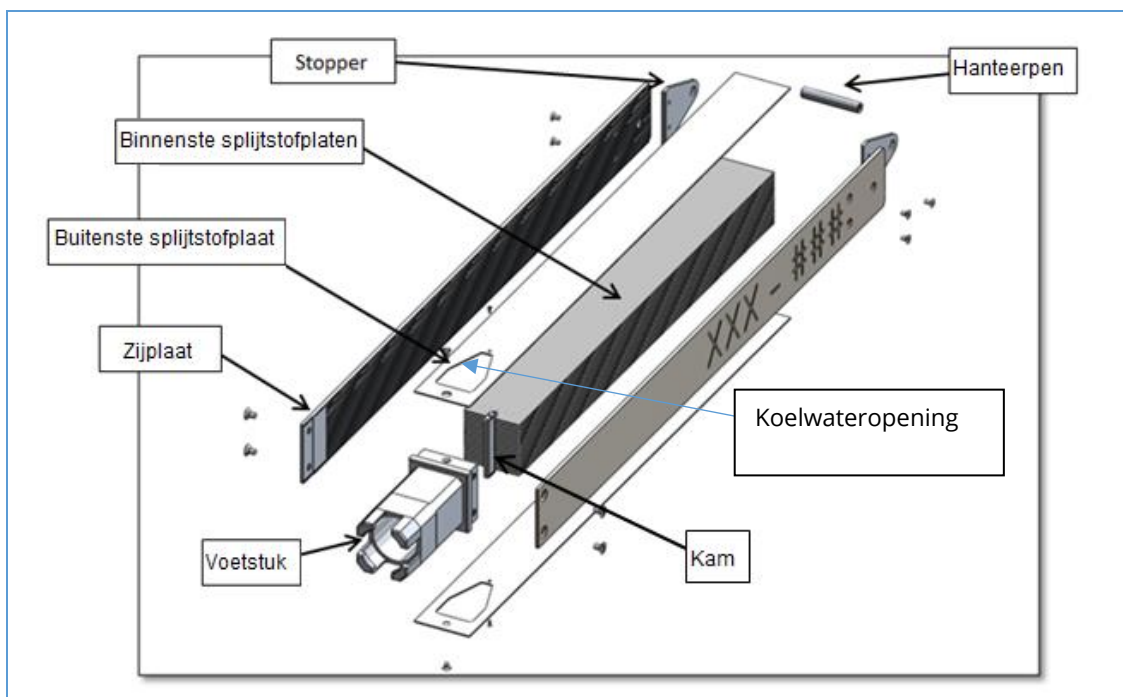
### 5.4.2 Beschrijving van het spleitstofelement

1. Een spleitstofelement bestaat uit de volgende onderdelen (zie Figuur 5-10):
  - spleitstofplaten (binnenste en buitenste);
  - constructie componenten (zijplaten, voetstuk, stoppers, hanteerpen, kam en schroeven);
  - slijtend neutronengif (cadmiumdraden).
2. In Tabel 5-2 zijn een aantal gegevens van een spleitstofelement gegeven.

Tabel 5-2: Gegevens van een spleitstofelement

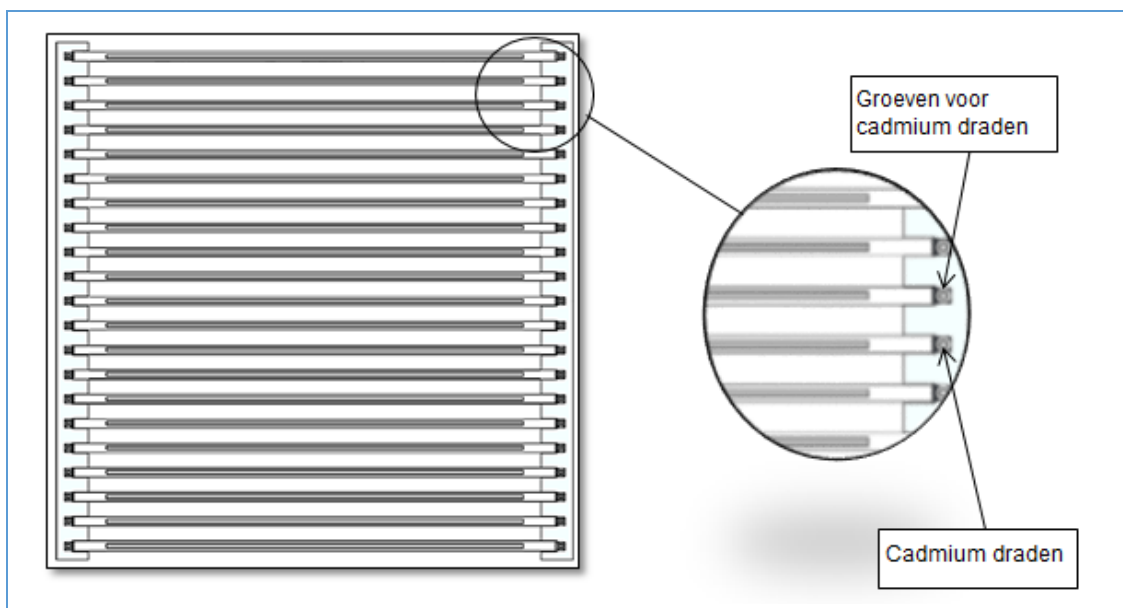
Parameter	Waarde
Afmetingen	80,5 x 80,5 x 1045 mm
Breedte koelkanalen	2,45 mm
Aantal platen per element	21
Materiaal spleitstofmatrix	U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> -Al
Nominale verrijkingsgraad	19,75% (<20%)
Nominale <sup>235</sup> U-massa per element	485 g
Nominale uraniumdichtheid in de spleitstofmatrix	4,8 g/cm <sup>3</sup>
Testtemperatuur integriteit binding spleitstof/bekleding ('blisterstest')	400-500 °C

Figuur 5-10: Weergave van de onderdelen van een splijstofelement



3. Een splijstofelement is opgebouwd uit rechte splijstofplaten (19 binnen en 2 buiten) met verrijkt uranium dat is opgenomen in een matrix en bekleed met een aluminium legering. De splijstofmatrix dient om de splijstof en de splijtingsproducten vast te houden zonder zwellen van de splijstofplaat of blaarvorming aan het splijstofplaatoppervlak. De bekleding dient als barrière om de splijtingsproducten binnen de splijstofplaat te houden en verspreiding naar de omgeving te voorkomen. Aan de onderzijde van de buitenste platen een opening aangebracht om koelwatertoevoer naar de buitenzijde mogelijk te maken en de koeling van de splijstofplaat zeker te stellen.
4. De beide zijplaten zijn recht en bevatten gleuven en groeven. De splijstofplaten zijn in deze gleuven geplaatst. De breedte van de koelspleten tussen de splijstofplaten wordt aan de onderzijde gewaarborgd door een kam. Ter compensatie van het reactiviteitsverlies door versplijting van het  $^{235}\text{U}$  zijn in de zijplaten cadmium draden aangebracht als "slijtend" neutronengif (zie Figuur 5-11). Dit neutronengif absorbeert neutronen gedurende het begin van de inzet van een splijstofelement, waardoor de reactiviteit wordt beperkt. Deze absorptie neemt gedurende het gebruik van het splijstofelement langzaam af (vandaar "slijtend"). Door de toepassing van dit slijtend neutronengif is de benodigde neutronenabsorptie door de afschakelsystemen (First en Second Shutdown System) relatief beperkt.
5. Op beide zijplaten van het splijstofelement zijn grote identificatienummers aangebracht. Aan de bovenzijde zijn op de beide zijplaten stoppers aangebracht die verplaatsing van de splijstofplaten voorkomen. Tevens is aan deze stoppers een pen aangebracht voor de hantering van het splijstofelement. Het voetstuk verbindt de zijplaten en de buitensplijstofplaten met elkaar en zorgt voor een nauwkeurige positionering en fixering van het splijstofelement in het kernrooster. Het vastzetten van de splijstofelementen gebeurt met de eerdergenoemde splijstofelementklemmen (zie paragraaf 5.3).

Figuur 5-11: Doorsnede van FA met cadmiumdraden



6. Een splijtstofelement ondergaat gedurende de fabricage en assemblage diverse inspecties en controles. De belangrijkste aspecten hierbij zijn:
  - geometrie (vorm en maat) en staat van het oppervlak;
  - materiaalspecificaties;
  - inhoud van splijtstof en neutronen absorberend materiaal;
  - homogeniteit van de splijtstofmatrix;
  - ligging van de splijtstof en de cadmium draden;
  - hechting van de bekleding aan de matrix en testen bij hogere temperaturen ("bending test" en "blister test");
  - verbinding van de splijtstofplaten in de zijplaten en de schroefverbindingen.
7. Voordat een splijtstofelement in de kern wordt geladen, vindt een visuele inspectie plaats op beschadigingen tijdens opslag en transport naar de reactorkern.

### 5.4.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Door toepassing van slijtend neutronengif is de reactiviteit gedurende bedrijf relatief constant waardoor de beheersing van criticiteit positief wordt beïnvloed.
2. De integriteit van de splijtstofelementen en daarmee de insluiting van radioactieve stoffen, tijdens normale bedrijfsvoering is gewaarborgd door:
  - inspecties en controles;
  - het voldoen aan de neutronenfysische en thermohydraulische ontwerpcriteria;
  - adequaat splijtstofbeheer, zodat:
    - ieder splijtstofelement op de juiste kernpositie is geplaatst;
    - de maximaal toegestane opbrand niet wordt overschreden;
    - beheersing van de primaire waterkwaliteit ter voorkoming van corrosie;
    - visuele controle op afwezigheid van plaatselijke koelstromingsblokkering door vreemde voorwerpen na plaatsing van alle kerncomponenten en voor aanvang van een bedrijfscyclus;
    - reactorsnelafschakeling of reactorvermogensvermindering bij overschrijding van bewakingsparameters, in het bijzonder in verband met ongewenste vermogenstoenames of een ongewenst tekort aan koelcapaciteit.
3. Analytisch is aangetoond dat het splijtstofelementontwerp bestand is tegen de optredende belastingen tijdens normaal bedrijf en gepostuleerde ongevallen. Hierbij is de minimale

doorstroomopening van de koelkanalen en daarmee de koeling van de splijststofplaten gegarandeerd.

## 5.5 Reactiviteitscontrolesystemen

### 5.5.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

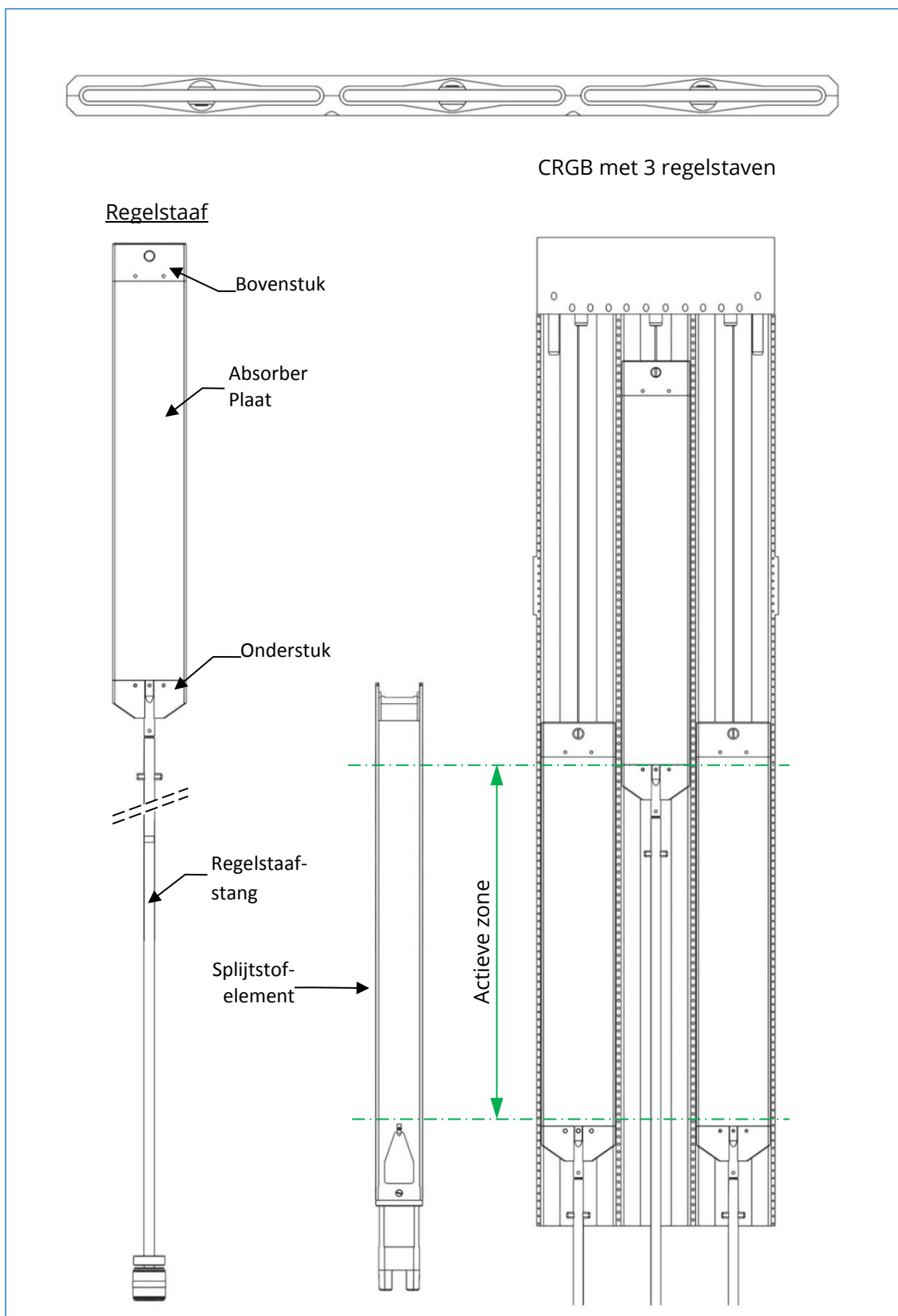
1. Het First Shutdown System and Reactivity Control draagt bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie beheersing van reactiviteit door de twee onafhankelijke functies:
  - snelle reactorafschakeling en de reactor langdurig onderkritisch houden in het geval van storingen of ongevallen;
  - reactiviteitsregeling tijdens normaal bedrijf.
2. Het Second Shutdown System draagt bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie beheersing van reactiviteit door de reactor af te schakelen in geval van ernstige ongevallen en de reactor langdurig onderkritisch te houden.
3. De ontwerpbasis van het First Shutdown System and Reactivity Control voor de beheersing van reactiviteit:
  - De snelheid van uitbewegen van een regelstaaf dient zodanig beperkt te zijn dat de gemiddelde positieve reactiviteitstoename minder is dan 20 pcm/s.
  - Om reactorafschakeling en langdurige onderkritischeit zeker te stellen dient:
    - de negatieve reactiviteitstoename bij inbewegen van iedere combinatie van 5 van de 6 regelstaven groter dan 2.000 pcm in 0,5 seconde te zijn;
    - de afschakelmarge van regelstaven groter dan 3.000 pcm te zijn bij 6 volledig getrokken regelstaven;
    - de afschakelmarge van regelstaven groter dan 1.000 pcm te zijn bij iedere combinatie van 5 van 6 volledig getrokken regelstaven.
  - de afschakelfunctie dient functioneel onafhankelijk te zijn van de reactiviteitsregeling.
4. De ontwerpbasis van het Second Shutdown System voor de beheersing van reactiviteit:
  - Om reactorafschakeling zeker te stellen dient de negatieve reactiviteitstoename groter dan 1.500 pcm in 9 seconden te zijn, rekening houdend met het enkelvoudig faalcriterium.
  - Om langdurige onderkritischeit zeker te stellen, dient de afschakelmarge op de lange termijn groter dan 1.000 pcm te zijn.
5. Het First Shutdown System and Reactivity Control en het Second Shutdown System moeten functioneel en fysiek onafhankelijk van elkaar zijn, moeten voldoen aan het enkelvoudig faalcriterium en volgens het principe van veilig falen zijn uitgevoerd (zie paragraaf 2.2.6).

### 5.5.2 Systembeschrijving

1. Het First Shutdown System and Reactivity Control controleert en regelt de reactiviteit in de kern en schakelt de reactor af. Het houdt de reactiviteit binnen acceptabele grenzen door het in- en uitbewegen van de regelstaven en regelt zo de vermogensverdeling.
2. Er zijn zes regelstaven die binnen twee Control Rod Guide Boxes (CRGB) in en uit de kern bewogen kunnen worden. In iedere CRGB bevinden zich 2 buitenste en 1 binnenste regelstaaf; de binnenste regelstaaf is iets smaller dan de buitenste waardoor de reactiviteitwaarde voor alle drie gelijkwaardig is (zie Figuur 5-12). De regelstaaf bestaat uit 3 delen: een bovenstuk, een hafnium absorberplaat en onderstuk. Het boven- en onderstuk, gemaakt van een zirkonium-legering, zijn in contact met de CRGB, waardoor slijtage van de absorberplaat wordt voorkomen.
3. Een regelstaaf is via een regelstaafstang en elektromagnetisch koppelmechanisme met een eigen Control Rod Drive Mechanism verbonden. Elke regelstaaf beweegt onafhankelijk van de andere regelstaven. Het Control Rod Drive Mechanism en koppelmechanisme bevindt zich in de ruimte onder de Reactor Pool. Als een regelstaaf via het koppelmechanisme verbonden is met het Control Rod Drive Mechanism kan het First Shutdown System and Reactivity Control de positie in

- de kern regelen. Bij een snelafschakeling van de reactor zal de stroom naar het elektromagnetische koppelmechanisme wegvallen, waardoor de koppeling met de Control Rod Drive Mechanism wordt verbroken en de regelstaaf onder invloed van de zwaartekracht in de kern valt (veilig falend). Sensoren detecteren of een regelstaaf zich volledig in de kern bevindt.
4. Het Second Shutdown System schakelt de reactor af door het zwaar water in het Reflector Vessel af te voeren. Dit gebeurt met het openen van zes elektro-pneumatische kleppen. Het zwaar water wordt onder invloed van de zwaartekracht afgevoerd naar de zwaar water opslagtank. Door de verlaging van het zwaar waterniveau in het Reflector Vessel wordt de reflectie van neutronen gereduceerd, waardoor de neutronenlekkage uit de kern toeneemt en de reactor onderkritisch wordt en afschakelt. De elektro-pneumatische kleppen worden normaal met perslucht gesloten gehouden. Wanneer de druk van de perslucht te laag wordt gaan de kleppen vanzelf open (veilig falend).
  5. Door het zwaar water in het Reflector Vessel af te voeren is eveneens de langdurige onderkritischeit van de kern gewaarborgd.
  6. De First Shutdown System and Reactivity Control en de Second Shutdown System kunnen zowel automatisch als handmatig bediend worden.

Figuur 5-12: CRGB en regelstaven (figuur is ter illustratie waarbij details kunnen afwijken)



### 5.5.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Nucleaire en thermohydraulische berekeningen tonen aan dat de regelstaaf bestand is tegen de optredende mechanische en fysische belastingen.
2. Door beperking van de gemiddelde positieve reactiviteittoename per tijdseenheid worden onbedoelde reactiviteitstransiënten door het uitbewegen van de regelstaven voorkomen.
3. Neutronica-analyse toont aan dat uitputting van de regelstaven door blootstelling aan de bedrijfscondities in de kern slechts in geringe mate leidt tot afname van de afschakelmarge en dat de regel- of afschakelfunctie hierdoor niet in gevaar komt. Periodieke meting en controle waarborgt een voldoende afschakelmarge.
4. Het Second Shutdown System biedt een diverse mogelijkheid om een relatief snelle afschakeling van de reactor te realiseren, onafhankelijk van het First Shutdown System. De wijze waarop dit systeem negatieve reactiviteit inbrengt in de kern, namelijk door het reduceren van de neutronenreflectie, is geheel verschillend van het First Shutdown System and Reactivity Control dat dit doet door neutronenabsorptie. Beide systemen zijn volledig onafhankelijk van elkaar.
5. Het invallen van de regelstaven van het First Shutdown System en de afvoer van zwaar water uit het Reflector Vessel van het Second Shutdown System gebeuren beide onder invloed van de zwaartekracht waarmee beide methoden van afschakeling inherent veilig zijn.
6. Beide systemen voldoen aan het enkelvoudig faal criterium en vervullen hun veiligheidsfunctie ook na een aardbeving.
7. De verificatie van voldoende reactiviteitsbeheersing tijdens gepostuleerde ongevallen is onderdeel van de veiligheidsanalyses en is beschreven in hoofdstuk 16.

## 5.6 Neutronenfysisch ontwerp van de kern

### 5.6.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het neutronenfysisch ontwerp van de reactorkern omvat reactorfysische en geometrische aspecten zoals de samenstelling van de kern, de opbrand of versplijtingsgraad (een maat voor de fractie van het splijtbaar materiaal dat is opgebruikt), de neutronenflux en het reflectorontwerp met inbegrip van het zwaar water en de berylliumblokken.
2. Voor het veilig bedienen van de reactor dient de kern te beschikken over inherent veilige reactorfysische eigenschappen. Deze eigenschappen beïnvloeden de reactiviteit als gevolg van veranderingen in parameters zoals de splijstoftemperatuur, de koelwatertemperatuur en het gehalte aan dampbellen in het koelwater. Een toename in deze parameters moet leiden tot een directe verlaging van het vermogen.
3. Het is voor het neutronenfysisch ontwerp belangrijk dat de reactiviteit van de kern gedurende een splijstofcyclus maar beperkt verandert, dat een voldoende snelle afschakeling van de reactor mogelijk is en dat onderkriticiteit op korte en lange termijn altijd kan worden gegarandeerd. Hiervoor moet aan de criteria van het First Shutdown System en het Second Shutdown System worden voldaan (zie paragraaf 5.5.1). De onderkriticiteit van de kern gedurende afschakeling en splijstofwisseling dient groter te zijn dan 3.000 pcm.
4. Het effect van verstoring op de neutronenflux, de vermogensverdeling in het splijstofelement en de reactiviteit als gevolg van in- of uitbewegen van bestralingsfaciliteiten of regelstaaf dient beperkt te zijn. Hiervoor moet aan de volgende criteria worden voldaan:
  - De reactiviteit van beweegbare bestralingsfaciliteiten dient kleiner te zijn dan 340 pcm.
  - Voor beweegbare bestralingsfaciliteiten met een hoge reactiviteit (40-340 pcm) mag de reactiviteitstoename niet groter zijn dan 10 pcm/s.
  - Voor beweegbare bestralingsfaciliteiten met een lage reactiviteit ( $\leq 40$  pcm) geldt geen grens aan de reactiviteitstoename.
  - De gemiddelde positieve reactiviteitstoename door een regelstaaf dient minder te zijn dan 20 pcm/s.



5. De toelaatbare vermogensfluctuatie binnen de kern is begrensd door een maximumwaarde voor de Power Peaking Factor vast te stellen. De Power Peaking Factor is gedefinieerd als de verhouding tussen het maximale en het gemiddelde vermogen in de reactorkern en deze moet kleiner dan of gelijk aan 3 zijn.
6. Om de integriteit van de splijtstof te behouden en om zwellen en blaasvorming te voorkomen dient de maximale splijtingsdichtheid in de kern minder dan  $2,2 \times 10^{21}$  splijtingen/cm<sup>3</sup> te bedragen.

### 5.6.2 Ontwerpbeschrijving

1. In het neutronenfysisch ontwerp is de evenwichtskern gebruikt als referentiekern om deze te toetsen aan de diverse criteria. Deze kern is omhullend voor toekomstige kernontwerpen. Indien een afwijkende kern wordt gebruikt, zoals de eerste kern bij opstart, dan wordt vooraf aangetoond dat deze voldoet aan de criteria.
2. De overreactiviteit aan het begin van de cyclus is zo laag als mogelijk gehouden, rekening houdend met:
  - de cyclusduur;
  - de noodzaak voor <sup>135</sup>Xe compensatie;
  - de koud-warm variatie;
  - compensatie voor reactiviteitsverandering door in- en uitbewegen van bestralingsfaciliteiten en bedrijfsvariaties.
3. De reactor is ontworpen om te werken met drie verschillende kernconfiguraties:
  - 20 splijstfoelementen;
  - 19 splijstfoelementen en 1 In-Core Irradiation Facility;
  - 18 splijstfoelementen en 2 In-Core Irradiation Facilities.
4. Het kernontwerp voor deze drie configuraties waarborgt dat de reactiviteit van de kern voor operationele- en ongevalscondities wordt gecontroleerd, dat de kern snel genoeg kan worden afgeschakeld en op lange termijn onderkritisch na het optreden van gepostuleerde gebeurtenissen.
5. Het splijstfoelement bevat slijtend neutronengif (zie paragraaf 5.4.2), waardoor de maximale reactiviteit die door de regelstaven moet worden gecompenseerd wordt beperkt.
6. De reactor heeft diverse bestralingsposities buiten de kern die invloed kunnen hebben op het neutronenfysisch ontwerp. Om aan te tonen dat aan de diverse criteria kan worden voldaan is rekening gehouden met een conservatieve verdeling van bestralingsfaciliteiten.
7. De splijstfowisselstrategie is zodanig dat verse splijstfoelementen in het midden van de kern worden geplaatst, waarbij verbruikte splijstfoelementen naar de grenzen van de kern worden verplaatst. Hiermee wordt de cycluslengte en de splijstfopbrand geoptimaliseerd.
8. De regelstaafstrategie is gedefinieerd met het oog op gecontroleerde criticiteit, compensatie van <sup>135</sup>Xe opbouw en compensatie van de splijstfopbrand vanaf het begin tot het einde van de cyclus. De strategie voor beweging van de regelstaven tijdens normaal bedrijf minimaliseert de vermogensfluctuaties in de kern, de fluxverstoring in de Out-of-Core Irradiation Facilities en de variatie van de gamma-opwarming in alle componenten, terwijl deze de splijstfopbrand maximaliseert.

### 5.6.3 Evaluatie van het ontwerp

1. Voor het reactorfysisch ontwerp is de referentiekern gebruikt om de ontwerpuitgangspunten te evalueren en aan te tonen dat aan de gestelde criteria wordt voldaan. Hierbij zijn alle belangrijke karakteristieken zoals vermogensverdeling, neutronenflux en reactiviteitsaspecten vastgelegd. Toekomstige kernontwerpen die voldoen aan de referentiekern worden op dezelfde manier doorgerekend en getoetst aan de criteria. Hiermee wordt zeker gesteld dat een toekomstig kernontwerp voldoet aan de neutronenfysische karakteristieken van de referentiekern.

## 5.7 Thermohydraulisch ontwerp

### 5.7.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het thermohydraulisch ontwerp is gericht op voldoende koeling van de splijstofelementen en de kerncomponenten en afvoer van de warmte die vrijkomt tijdens het kernsplijtingsproces.
2. De koeling van de reactorkern wordt verzorgd door het Primary Cooling System (PCS) dat twee operationele modi kent voor warmteafvoer uit de kern:
  - geforceerde circulatie, waarbij de drijvende kracht het drukverschil is dat door de pompen van het PCS wordt geleverd;
  - natuurlijke circulatie, waarbij de drijvende kracht het drukverschil is dat wordt veroorzaakt door het warme water (lagere dichtheid) in de kern en het koudere water (hogere dichtheid) in de inlaatleiding van de PCS dat naar de reactorkern gaat.
3. Het thermohydraulisch ontwerp van de kern garandeert voor beide operationele modi en alle bedrijfstoestanden de warmteafvoer en daarmee de integriteit van de splijstofplaten. Dit geldt ook voor de overgang van geforceerde circulatie naar natuurlijke circulatie.
4. Het thermohydraulisch ontwerp garandeert tevens de warmteafvoer van de out-of-core bestralingsfaciliteiten en de berylliumreflector dat wordt verzorgd door het Pools Cooling System (POCS).

### 5.7.2 Beschrijving van het ontwerp

1. Het thermohydraulisch ontwerp is gebaseerd op een aantal fysische fenomenen die invloed kunnen hebben op de koeling van de splijstof en de bestralingsfaciliteiten. Om voldoende koeling te waarborgen zijn hieraan grenswaardes gekoppeld.
2. Fysische fenomenen die kunnen leiden tot veranderingen in de koelvloeistoffase en omstandigheden die resulteren in een verslechtering van de warmteoverdracht worden als kritisch beschouwd. Onder deze kritische omstandigheden kan de temperatuur van de fysieke barrière voor de splijstof (de bekleding) toenemen, wat kan leiden tot schade aan de splijstofelementen. Dergelijke schade kan leiden tot het vrijkomen van radioactieve splijtingsproducten uit de splijstof.
3. Er zijn twee kritische fenomenen van invloed op het maximaal toelaatbare vermogen dat in een splijstofelement kan worden opgewekt. De eerste vindt plaats wanneer de warmteflux een kritische waarde (Critical Heat Flux) heeft bereikt (zie voor acceptatiecriteria paragraaf 16.2). Wanneer dit gebeurt, wordt een overmaat aan damp ontwikkeld aan de splijstofplaat in het koelkanaal, wat een verslechtering van de warmteoverdracht tot gevolg heeft. De tweede is dynamisch van aard en is het gevolg van een hydrodynamische stromingsinstabiliteit, dat kan leiden tot een vermindering van het koelwaterdebiet (stromingsinstabiliteitsratio, zie voor acceptatiecriteria paragraaf 16.2). Hoewel verschillend van aard, kunnen beide fenomenen leiden tot een stijging van de wandtemperatuur van de splijstofplaten, met verlies van de mechanische eigenschappen, blaasvorming en verlies van integriteit van de splijstofbekleding tot gevolg. Om deze reden zijn er grenzen gesteld aan de toelaatbare temperatuur van de splijstofbekleding tijdens normaal bedrijf en gepostuleerde ongevallen. Marges in het thermohydraulisch ontwerp voorkomen het optreden van deze kritische fenomenen tijdens normaal bedrijf en gepostuleerde ongevallen.
4. Een niet-kritisch fysisch fenomeen is "Onset of Nucleate Boiling" (ONB) dat wordt gebruikt als ontwerpbeperking om te anticiperen op (bovenstaande) kritische fenomenen en om een stabielere werking te garanderen (zie voor acceptatiecriteria paragraaf 16.2). ONB treedt op als de wandtemperatuur van een koelkanaal lokaal hoger is dan de verzadigingstemperatuur waardoor op beperkte schaal dampbellen verschijnen, resulterend in een lokaal slechtere warmteoverdracht en oververhitting. In het ontwerp wordt voor normaal bedrijf een grens gesteld aan de ONB, waardoor de vorming van dampbellen wordt voorkomen.

5. Vloeistofstroming geïnduceerde instabiliteit, waardoor de splijtstofplaten kunnen vervormen en doorbuigen. Hierdoor kunnen de platen het koelkanaal blokkeren en mogelijk bezwijken. Om dit fenomeen te voorkomen wordt een marge gehanteerd op de maximaal toegestane vloeistofsnelheid in een koelkanaal.
6. Tijdens normaal reactorbedrijf vormt zich een oxidelaag op de splijtstofbekleding. Een dikkere oxidelaag vermindert de warmtegeleiding van de bekleding en zorgt voor een afname van de doorstroming in het koelkanaal. De dikte van de oxidelaag en het temperatuurverschil over de oxidelaag dienen onder vastgestelde criteria te blijven om voldoende warmteafvoer te waarborgen.

### 5.7.3 Evaluatie van het ontwerp

1. De thermohydraulische acceptatiecriteria zijn geverifieerd voor het heetste koelkanaal in de kern, dat fungeert als omhullende voor alle te verwachten kernconfiguraties en vermogensverdelingen.
2. De verificatie van voldoende koeling tijdens gepostuleerde ongevallen is onderdeel van de veiligheidsanalyses en is beschreven in hoofdstuk 16.

## 5.8 Reactormaterialen

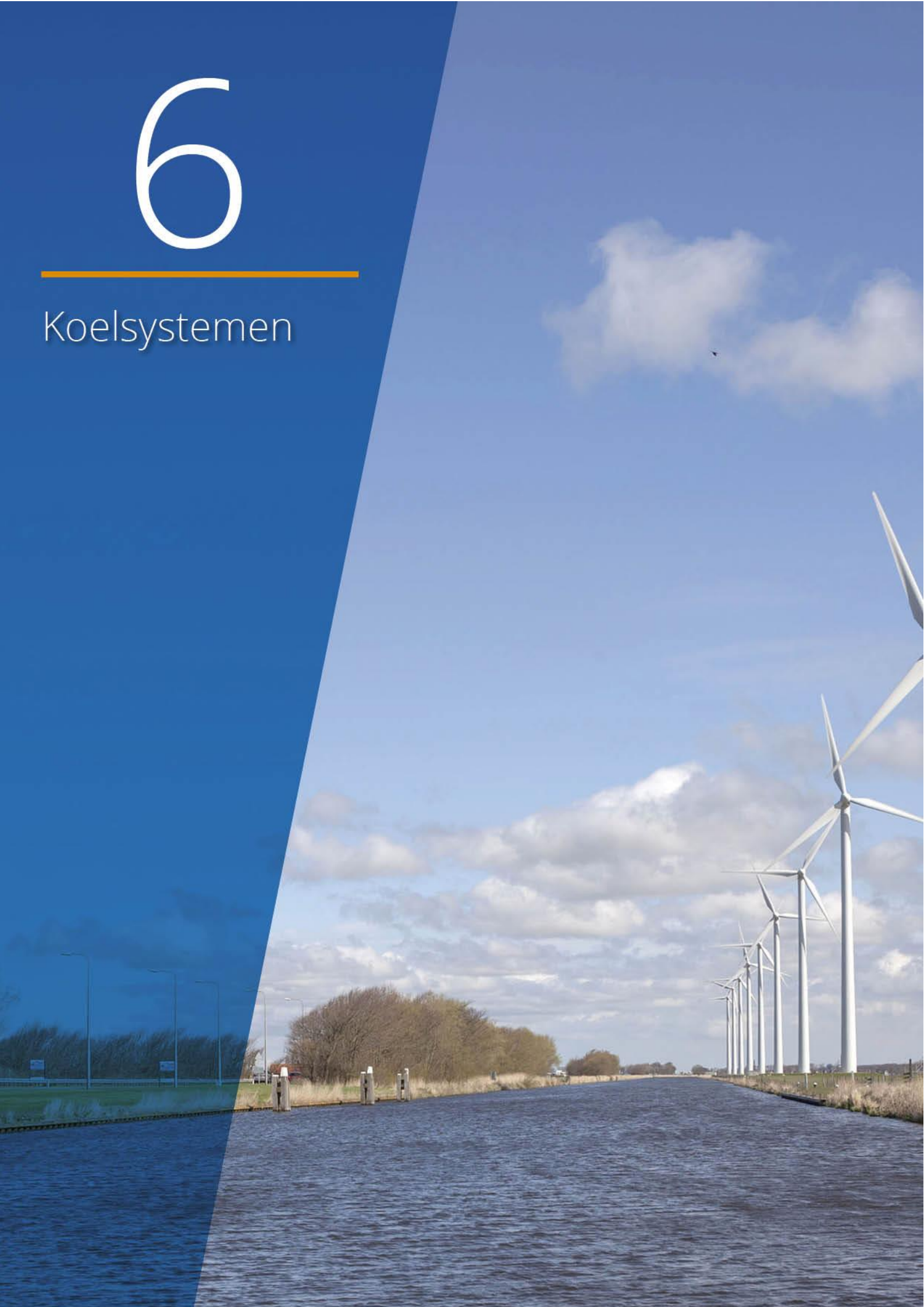
1. De materialen van reactorstructuren en -onderdelen zijn geselecteerd op basis van hun chemische samenstelling, mechanische eigenschappen, lasbaarheid, corrosiebestendigheid en gevoeligheid voor stralingsschade. De basismaterialen die in de reactor worden gebruikt zijn aluminiumlegeringen, austenitisch roestvaststaal en zirkoniumlegeringen van nucleaire kwaliteit. Andere relevante materialen met een reactorfysische functie zijn hafnium en beryllium.
2. Aluminiumlegeringen worden toegepast als constructiemateriaal, omdat het materiaal weinig stralingsschade oploopt, nauwelijks geactiveerd wordt en zeer weinig zwellend vertoont bij een hoge neutronenflux. De weerstand tegen corrosie is goed wanneer de pH-waarde en de waterchemie binnen de gewenste grenzen worden gehouden. De bewerkbaarheid en relatief goede laseigenschappen maken het mogelijk om complexe of onregelmatig gevormde componenten te ontwerpen. Voor de PALLAS-reactor zijn de belangrijkste componenten van een aluminiumlegering het kernrooster en het reflectorrooster.
3. Austenitisch roestvaststaal heeft goede mechanische eigenschappen, bekende variatie van mechanische eigenschappen bij blootstelling aan straling, zeer goede corrosiebestendigheid en uitstekende bewerkbaarheid en lasbaarheid. Austenitisch roestvaststaal wordt als constructiemateriaal in de PALLAS-reactor gebruikt voor de reactorstructuren, de koelwaterbuizen van het PCS en de Reactor- en Service Pools.
4. Zirkoniumlegeringen van nucleaire kwaliteit zijn geschikt voor de constructie van verschillende componenten die zich dicht bij de kern bevinden, vanwege hun lage neutronenabsorptie, hoge weerstand tegen corrosie, zeer goede mechanische eigenschappen en taaiheid. Deze Zirkoniumlegeringen worden in de PALLAS-reactor toegepast in de Reflector Vessel en voor bestralingsfaciliteiten. Commerciële kwaliteit Zr-legeringen hebben een hogere neutronenabsorptie en worden alleen gebruikt op plaatsen waar een lage neutronendichtheid heerst, bij voorbeeld voor flenzen en leidingverbindingen.
5. Hafnium wordt sinds het einde van de jaren '50 in kernreactoren gebruikt voor regelstaven (massieve hafniumstaven). Hafnium heeft een uitstekende combinatie van eigenschappen, waaronder een hoge neutronenabsorptie, uitstekende corrosiebestendigheid, goede mechanische sterkte, goede bewerkbaarheid en laseigenschappen, goede stralingsbestendigheid en dimensionale stabiliteit. Daarom wordt dit materiaal toegepast in de regelstaven van de PALLAS-reactor.
6. Beryllium geeft veel neutronenverstrooiing en heeft de laagste neutronenabsorptie van alle metalen vanwege het lage atoomgewicht en de hoge atoomdichtheid. Deze factoren maken beryllium een uitstekend materiaal als reflector die de neutronen terugkaatst en zo de thermische

neutronenfluxdichtheid in de kern versterkt. In de PALLAS-reactor wordt zeer zuiver beryllium van nucleaire kwaliteit gebruikt als reflector in aanvulling op de zwaar water reflector. Het hoge zuiverheidsgehalte is belangrijk voor de optimalisatie van de mechanische eigenschappen en de corrosiebestendigheid.

# 6

---

## Koelsystemen



## 6.1 Inleiding

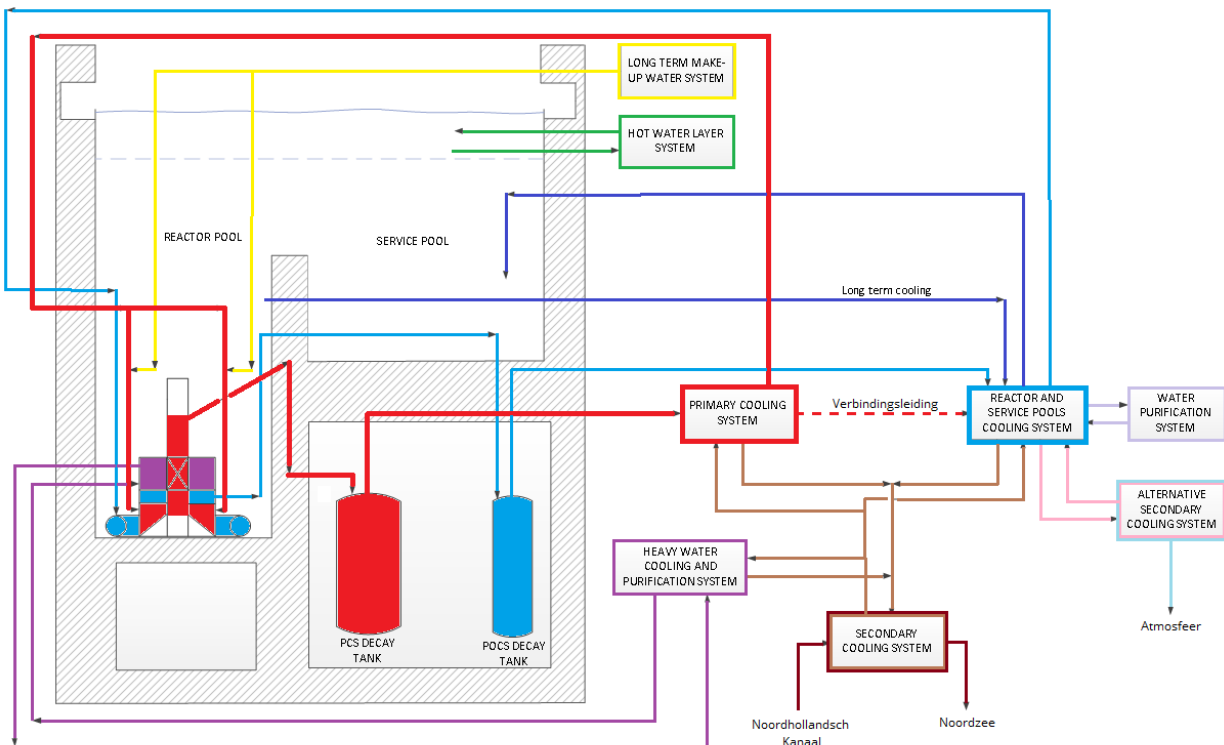
1. Dit hoofdstuk beschrijft de koelsystemen en de bijbehorende systemen die nodig zijn voor het functioneren van de reactor. Paragraaf 6.2 geeft een algemene beschrijving van de systemen en hun veiligheidsklassering. In de overige paragrafen worden de volgende systemen behandeld:
  - Primary Cooling System (PCS) (paragraaf 6.3);
  - Pools Cooling System (POCS) en Long-term Pools Cooling System (LPOCS) (paragraaf 6.4);
  - Heavy Water Cooling and Purification System (HWCP) (paragraaf 6.5);
  - Secondary Cooling System (SCS) (paragraaf 6.6);
  - Alternative Secondary Cooling System (ASCS) (paragraaf 6.7);
  - Long-term Make-up Water System (paragraaf 6.8);
  - Water Purification System (WPS) (paragraaf 6.9);
  - Hot-Water Layer System (paragraaf 6.10).

## 6.2 Samenvattende beschrijving van de koelsystemen

### 6.2.1 Algemene beschrijving

1. De koelsystemen voeren de warmte af die wordt opgewekt in:
  - De reactorkern;
  - De eventueel in de kern geplaatste bestralingsfaciliteiten;
  - De bestralingsfaciliteiten buiten de kern;
  - De opgeslagen verbruikte splijtstofelementen en bestraalde targets.
2. In Figuur 6-1 is een overzicht van de verschillende koelsystemen en hun onderlinge samenhang gegeven.

Figuur 6-1: Overzicht en samenhang van de koelsystemen



3. Het Primary Cooling System (PCS) voert de warmte af uit de reactorkern en de eventueel in de kern geplaatste bestralingsfaciliteiten. Deze warmte wordt overgedragen aan het Secondary Cooling System (SCS), dat het vervolgens afvoert naar de Noordzee.

4. De warmte uit de bestralingsfaciliteiten buiten de kern en van de opgeslagen verbruikte splijstofelementen in de Reactor Pool en de Service Pool wordt afgevoerd met het Pools Cooling System (POCS). Deze warmte wordt eveneens afgevoerd via het SCS naar de Noordzee.
5. De opgewekte warmte in het zwaar water in de Reflector Vessel rondom de kern wordt met het Heavy Water Cooling and Purification System (HWPCS) afgevoerd. De warmte wordt overgedragen aan het SCS, dat het vervolgens afvoert naar de Noordzee.
6. Als de reactor is afgeschakeld kan de kern door het PCS via natuurlijke convectie worden gekoeld, waarna het Long-term Pools Cooling System (LPOCS) de warmte afgeeft aan het Alternative Secondary Cooling System (ASCS). Dit systeem voert de warmte af naar de atmosfeer via luchtkoelers.
7. De pools zijn zodanig ontworpen dat er, na een ongeval met verlies van koelwater (LOCA), toch voldoende water is om de warmte gedurende 72 uur af te voeren. De warmte wordt afgevoerd naar de atmosfeer in het Reactor Containment (zie paragraaf 4.3.2) door verdamping van koelwater. Na deze 72 uur kan, met het Long-term Make-up Water System, water aan de pools worden toegevoegd, waarmee deze periode met 24 uur verlengd wordt.
8. Het koelwater van de reactor en de pools wordt gezuiverd door het Water Purification System (WPS).
9. Het Hot-Water Layer System zorgt voor verwarming van de bovenste laag van het poolwater, zodat er geen menging met de onderliggende koudere waterlagen optreedt. Hierdoor wordt de stralingsbelasting boven de pool beperkt.
10. De koelsystemen zijn ontworpen voor de volgende nominale warmtebelastingen tijdens de werking van de reactor (zie Tabel 6-1).

**Tabel 6-1: Nominale warmtebelastingen tijdens werking van de reactor**

Warmtebron	Systeem	Afgevoerd vermogen
Reactorkern	PCS	23,5 MW
Reflector Vessel	HWPCS	1,5 MW
Bestralingsfaciliteiten en verbruikte splijstofelementen in de Reactor Pool	POCS	3,2 MW
Service Pool, uitgaande van de maximale hoeveelheid verbruikte splijstofelementen en bestraalde targets	POCS	0,1 MW

## 6.2.2 Veiligheidsklassering

1. De koelsystemen zijn geklasseerd op basis van hun belang voor de veiligheid, op basis waarvan zij vervolgens worden ontworpen, gefabriceerd, geïnstalleerd en in bedrijf genomen. De klassering van de systemen is aangegeven in Tabel 6-2. De hoogste veiligheids- en seismische klasse van een systeem worden steeds genoemd (delen van een systeem kunnen vanwege hun veiligheidsfunctie een lagere klasse hebben). De methode voor veiligheids- en seismische klassering van structuren, systemen en componenten is in hoofdstuk 2 behandeld.

Tabel 6-2: Veiligheidsklassering

Installatieonderdeel	Veiligheidsklasse	Seismische klasse
<ul style="list-style-type: none"> <li>Primary Cooling System (binnen de Reactor Pool)</li> <li>Pools Cooling System (binnen de Reactor Pool)</li> </ul>	1	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Primary Cooling System (buiten de Pools)</li> <li>Pools Cooling System (buiten de Pools)</li> <li>Heavy Water Cooling and Purification System (koelcircuit)</li> <li>Alternative Secondary Cooling System</li> <li>Long-term Make-up Water System</li> <li>Water Purification System</li> <li>Hot-Water Layer System</li> </ul>	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Secondary Cooling System (binnen de reactor)</li> </ul>	3	1

## 6.3 Primary Cooling System (PCS)

### 6.3.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

- Het PCS draagt bij aan de volgende fundamentele veiligheidsfuncties:
  - Afvoer van warmte: het PCS verwijdert de warmte die de splijtstofelementen in de kern opwekken en de warmte van de eventueel aanwezige bestralingsfaciliteiten in de kern. Het PCS geeft de warmte af aan het Secondary Cooling System (SCS) of de Reactor Pool.
  - Beheersing van reactiviteit: het koelwater fungeert als neutronen moderator waarbij de watercondities (temperatuur en dichtheid) de reactiviteitsbalans van de reactorkern beïnvloeden.
- De ontwerpbasis voor het PCS is:
  - De warmteafvoer garandeert de in hoofdstuk 5 gedefinieerde thermohydraulische veiligheidsmarges.
  - Afvoer van 23,5 MW, waarvoor er voldoende water door de kern dient te stromen met een waterinlaattemperatuur tussen ca. 20°C en 32°C.
  - Afvoer van 400 kW bij natuurlijke circulatie, waarvoor er voldoende water door de kern dient te stromen.
  - Na uitval van de warmteafvoer uit de kern met geforceerde circulatie dient de overgang naar en de koeling van de kern met natuurlijke circulatie te voldoen aan het enkelvoudig faalcriterium.
  - De vereiste waterinventaris voor de koeling van de kern moet gehandhaafd blijven tijdens normaal bedrijf.
  - De vereiste waterinventaris voor de koeling van de kern tijdens ongevallen moet gehandhaafd blijven, zodat de restwarmte gedurende minimaal 72 uur afgevoerd kan worden.
  - Garanderen van de integriteit van het PCS om de vereiste waterinventaris te handhaven;
  - Garanderen van de integriteit van de splijtstofbekleding door voldoende warmteafvoer door het PCS;
  - Voorkomen van het vrijkomen van radioactieve stoffen in het milieu door de scheiding tussen het PCS en het SCS met warmtewisselaars die als barrière fungeren.

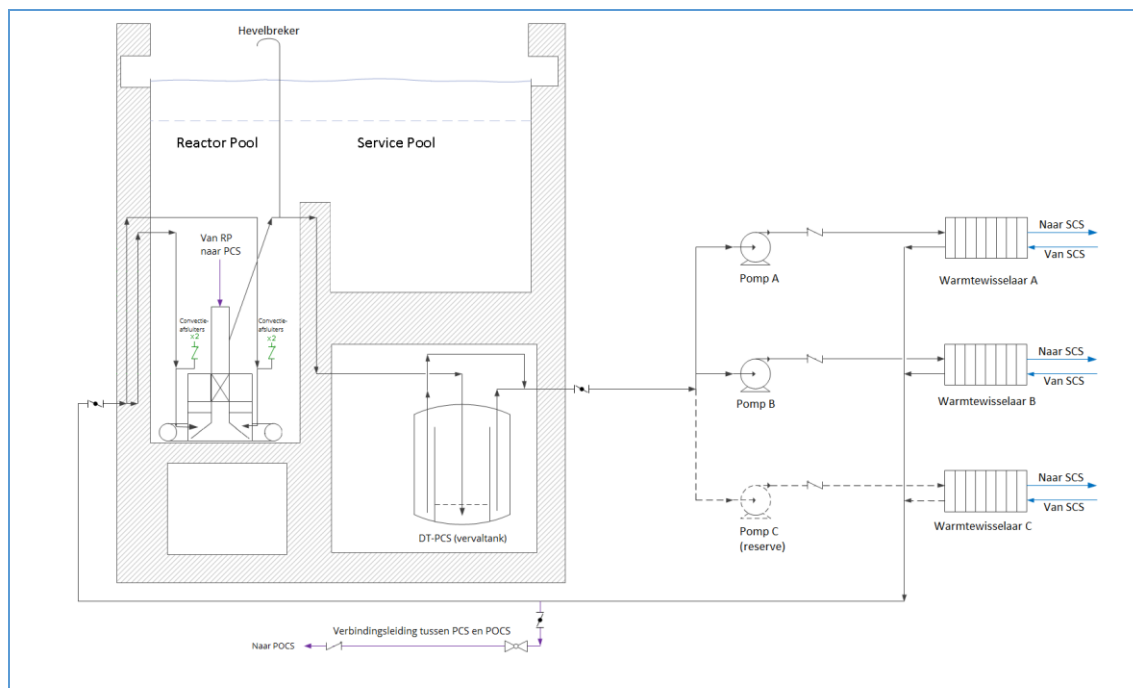


## 6.3.2 Systembeschrijving

### 6.3.2.1 Algemene opbouw van het systeem

1. Het PCS hydraulische circuit bestaat uit de volgende componenten:
  - Reactorkern en bijbehorende structuren.
  - Stijgleiding.
  - Leidingen en appendages.
  - Primary Cooling System Decay Tank (DT-PCS).
  - Primaire warmtewisselaars.
  - Primaire pompen.
  - Convectieafsluiters en hevelbrekers.
2. Een vereenvoudigd processtroomdiagram van het PCS is weergegeven in Figuur 6-2.

**Figuur 6-2: Vereenvoudigd PCS-processtroomdiagram (Reactor in vermogenstoestand)**

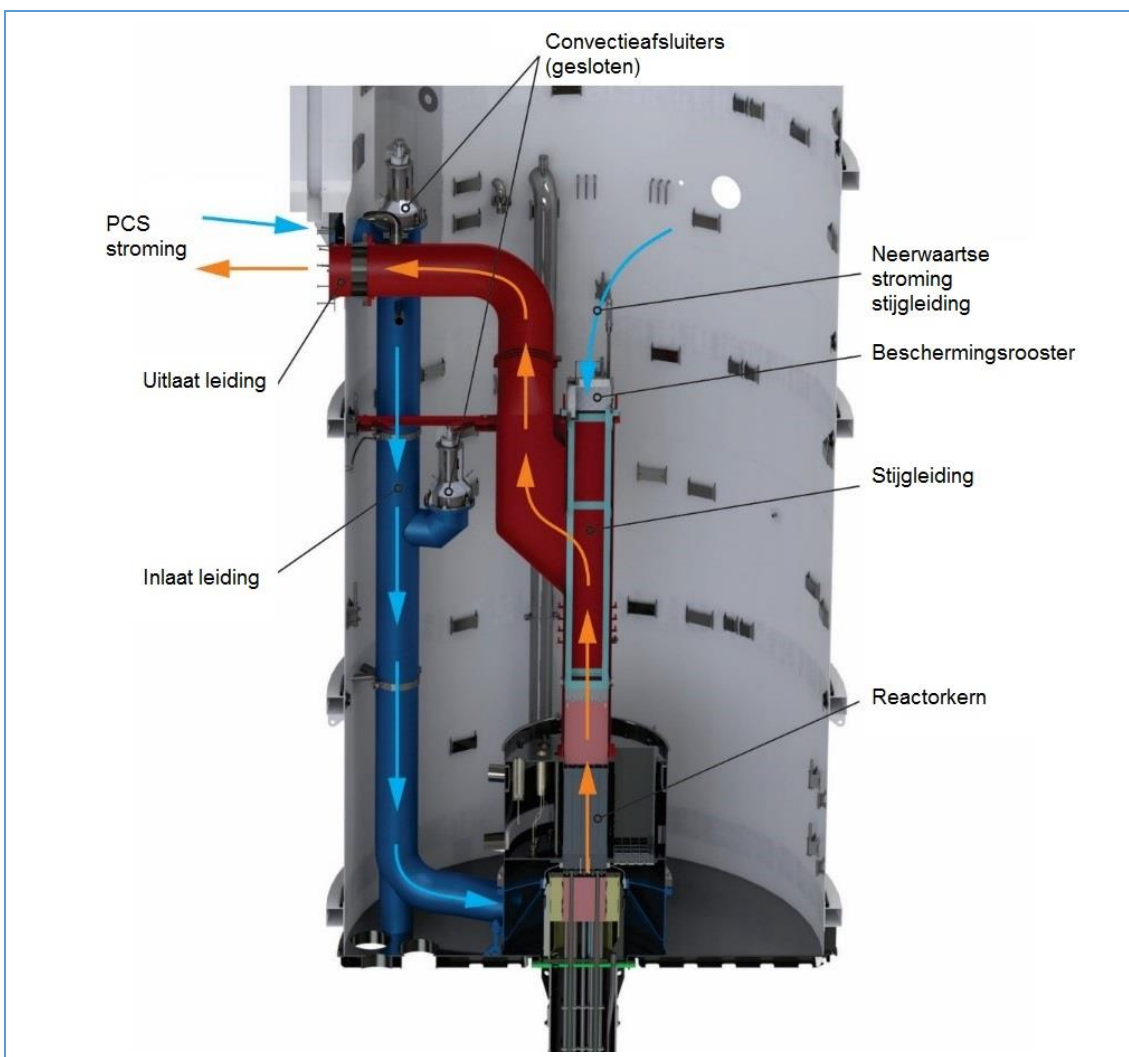


3. Tijdens vermogensbedrijf verwijdert het PCS de geproduceerde warmte uit de kern (inclusief bestralingsfaciliteiten in de kern) door geforceerde opwaartse stroming van gedemineraliseerd water door de kern (zie Figuur 6-3).
4. Het opgewarmde water uit de kern stroomt via de stijpleiding en de primaire uitlaatleiding en verlaat de Reactor Pool op hoger niveau door de betonnen wand richting de DT-PCS. De uitlaatleiding is voorzien van een hevelbreker om hevelen, en dus het verlies van poolwater in geval van een breuk in het PCS, te beperken. Het water dat de DT-PCS instroomt, wordt met de Failed Fuel Elements Monitor op radioactiviteit gecontroleerd, waarmee een eventuele beschadiging aan de splijtstof kan worden gedetecteerd.
5. De stijpleiding is aan de bovenkant voorzien van een rooster dat voorkomt dat er vreemde voorwerpen in kunnen vallen.
6. In Figuur 6-3 is te zien dat de uitlaatleiding uit de wand van de Reactor Pool komt en verbonden is met de DT-PCS van het PCS.
7. De DT-PCS is een vervalvat die zich binnen een betonnen afscherming bevindt. De functie van deze vervalvat is om de radioactiviteit van radioactief stikstof ( $^{16}\text{N}$ ) in het primaire koelwater te verminderen. Hierdoor wordt de stralingsbelasting in de ruimten van de PCS-pompen en

warmtewisselaars verlaagd, waardoor deze ruimten toegankelijk zijn voor inspectie- en onderhoudstaken wanneer de reactor in bedrijf is.

8. Na de DT-PCS voert de uitlaatleiding naar drie parallelle aftakkingen, met ieder een pomp en warmtewisselaar. Elke pomp en warmtewisselaar heeft een capaciteit van 50% van de totaal benodigde capaciteit. Tijdens vermogensbedrijf zorgen twee van de drie beschikbare pompen en warmtewisselaars voor de koeling.
9. De drie pompen/warmtewisselaars zijn ruimtelijk van elkaar gescheiden. Hierdoor kunnen onderhoudstaken in één aftakking worden uitgevoerd, terwijl de andere twee in bedrijf zijn. Bovendien wordt in geval van storing in één aftakking, uitval van de andere aftakkingen voorkomen en kan de koelfunctie gewaarborgd blijven.
10. Elke PCS-pomp is voorzien van een vliegwiel om voldoende koelwaterdebiet door de kern te leveren tijdens de overgang van de geforceerde naar de natuurlijke circulatie-modus.

**Figuur 6-3: Geforceerde primaire koelstroom in de Reactor Pool**



11. De pompen voeren het water af naar de bijbehorende warmtewisselaars, waar de warmte uit de kern wordt overgedragen aan het Secondary Cooling System (SCS). Na de warmtewisselaars wordt het water door een verzamelleiding opgevangen en via de inlaatleiding weer naar de Reactor Pool teruggevoerd.
12. De inlaatleiding loopt door de betonnen wand van het Reactor Block, waar hij splitst in twee inlaatleidingen. Beide inlaatleidingen lopen omhoog in de reactorwand en komen de Reactor Pool

binnen op hoger niveau. Vervolgens lopen de inlaatleidingen omlaag en voeren het koelwater onder en vervolgens door de kern, waar het weer de geproduceerde warmte opneemt.

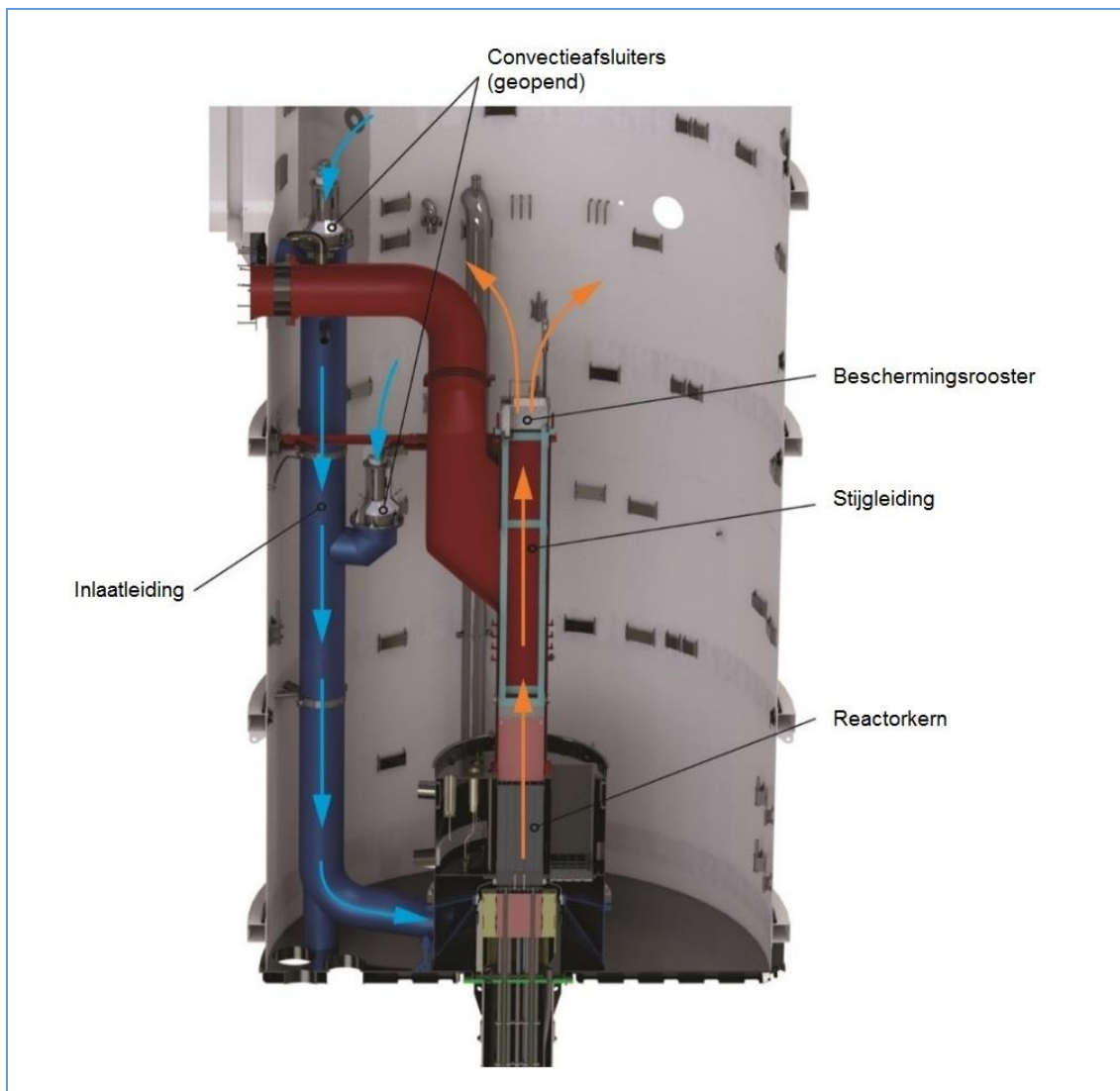
#### 6.3.2.2 Verbindingsleiding tussen PCS en POCS

1. Het PCS onttrekt een hoeveelheid water aan de Reactor Pool via een opening in de stijgleiding, waardoor er een neerwaartse stroming in de stijgleiding ontstaat (zie Figuur 6-3). Deze neerwaartse stroming voorkomt dat tijdens bedrijf geactiveerd water uit de kern het oppervlak van de Reactor Pool bereikt. Hiermee wordt de dosis voor het personeel beperkt. Om dit debiet te compenseren heeft de inlaatleiding van het PCS een verbindingsleiding naar het POCS (zie Figuur 6-2). Hierdoor stroomt een beperkt, parallel debiet via het POCS naar de Reactor Pool, dat dus niet wordt gebruikt voor koeling van de kern.
2. Door de onderlinge verbinding wordt het water van het PCS en POCS gemengd. Een fractie van de POCS-koelstroom wordt omgeleid naar het Water Purification System (WPS), die zorgt dat de waterkwaliteit in deze systemen binnen de specificaties wordt gehouden.

#### 6.3.2.3 Convectieafsluiters en hevelbrekers

1. Beide PCS-retourleidingen zijn in de Reactor Pool uitgerust met tweemaal twee redundante, passieve convectieafsluiters; de bovenste twee convectieafsluiters (één op elke inlaatleiding) bevinden zich nabij het hoogste punt van de inlaatleiding in de Reactor Pool en de onderste twee convectieafsluiters (één op elke inlaatleiding) bevinden zich tussen de opening van de stijgleiding en de bovenkant van het Reflector Vessel (zie Figuur 6-4).

Figuur 6-4: Natuurlijke circulatie-modus via de convectieafsluiters en de stijgleiding



2. Bij geforceerde circulatie stroomt het koelwater via de inlaatleidingen naar de reactorkern. Deze geforceerde stroom houdt de convectieafsluiters gesloten. Als de geforceerde circulatie wegvalt, gaan de convectieafsluiters vanzelf open door de zwaartekracht op de onderdelen van de kleppen. Hierdoor kan water uit de Reactor Pool de inlaatleiding in stromen en ontstaat er natuurlijke circulatie (zie Figuur 6-4).
3. De bovenste convectieafsluiters hebben een extra functie tijdens ongevallen met lekkage van het PCS; ze fungeren als passieve hevelbrekers voor de twee inlaatleidingen in de Reactor Pool. De PCS-uitlaatleiding heeft ook een hevelbreker in de vorm van een terugslagklep. Deze is aangebracht in een verbindingsleiding tussen de bovenkant van de PCS-uitlaatleiding in de betonnen wand en het wateroppervlak van de Reactor Pool.
4. In geval van lekkage van het PCS neemt de sluitkracht van de convectieafsluiters af. Bij een voldoende grote lekkage zullen zij daardoor openen. Het water in de Reactor Pool zal de inlaatleidingen naar de reactorkern instromen, maar ook de andere kant op naar het gedeelte van het PCS buiten de Reactor Pool waarin zich de lekopening bevindt. Het water in de Reactor Pool en Service Pool zal via de convectieafsluiters door de lekopening wegstromen. Het waterniveau in de Pools zal, afhankelijk van de lekopening, dalen totdat de bovenste convectieafsluiter wordt bereikt. Deze kleppen bevinden zich op het hoogste punt van het PCS-leidingsysteem. Zodra het dalende waterniveau in de Reactor Pool de bovenste convectieafsluiters bereikt zal de leiding

belucht worden. Hierdoor wordt hevelwerking via de inlaatleidingen verhinderd en stopt de daling van het waterniveau in de Pools.

5. Als de lekkage zich in de uitlaatleiding buiten de Reactor Pool bevindt is de situatie soortgelijk. Zodra het niveau in de Reactor Pool daalt tot het hoogste punt van de uitlaatleiding in de betonnen wand, zal de hevelbreker (terugslagklep) in de uitlaatleiding openen en de hevelwerking verbreken.
6. Op deze wijze beperken de bovenste convectieafsluiters op de inlaatleidingen en de hevelbreker op de PCS-uitlaatleiding het verlies aan koelwater in de Reactor Pool tot een minimumniveau. Het resterende watervolume van de Reactor Pool tussen de bovenste en onderste convectieafsluiters fungeert als koelbuffer. Om de warmteafvoer daarna op peil te houden, kan er water toegevoerd worden aan de Reactor Pool door het Long-term Make-up Water System.
7. Twee handbediende isolatieafsluiters bevinden zich zo dicht mogelijk bij de reactor, één in de primaire uitlaatleiding en de andere in de primaire inlaatleiding. Deze kleppen kunnen worden gesloten om de Reactor Pool en de DT-PCS te isoleren van de andere primaire componenten buiten de Reactor Pool. Hierdoor is het mogelijk om onderhoudstaken uit te voeren tijdens een reactorstop en om in geval van een lekkage in de primaire inlaatleiding het verlies van de waterinventaris te beperken.

### 6.3.3 Operationele modi

#### 6.3.3.1 Inleiding

1. De PCS kent twee operationele modi voor warmteafvoer uit de kern:
  - a. Actieve koeling, waarbij de PCS-pompen in bedrijf zijn en zorgen voor geforceerde circulatie. Hierbij wordt de warmte uit de kern afgevoerd van het PCS naar het SCS en vervolgens naar de Noordzee.
  - b. Passieve koeling, waarbij de PCS-componenten in de Reactor Pool de afvoer van warmte uit de kern naar het Reactor Pool water mogelijk maken door middel van natuurlijke circulatie. De warmte wordt van hieruit door het Long-term Pools Cooling System (LPOCS) aan het Alternative Secondary Cooling System (ASCS) overgedragen. Als deze niet beschikbaar is, dan fungeert de Reactor Pool als koelbuffer. De PCS-pompen zijn in deze modus uitgeschakeld.
2. De PCS-pompen zijn niet in alle bedrijfstoestanden van de reactor nodig en mogen in sommige toestanden zelfs niet operationeel zijn. In Tabel 6-3 zijn de toegestane combinaties van Reactor bedrijfstoestand en PCS-modus weergegeven. Vergrendelingen voorkomen dat de PCS-pompen gaan draaien wanneer dat niet toegestaan is.

**Tabel 6-3: Combinaties van bedrijfstoestand en PCS-modus**

PCS-modus	Bedrijfstoestand			
	Reactor vermogens bedrijf	Fysisch testen	Reactor afgeschakeld	Splijstof wisselen
Actieve koeling (geforceerde circulatie)	Verplicht	Niet toegestaan	Toegestaan	Niet toegestaan
Passieve koeling (Natuurlijke circulatie)	Niet toegestaan	Verplicht	Toegestaan	Verplicht

#### 6.3.3.2 Actieve koeling

1. Tijdens vermogensbedrijf zorgt het PCS met twee pompen in bedrijf voor voldoende koeling van de kern (inclusief bestralingsfaciliteiten in de kern) om de splijtingswarmte te verwijderen. De temperatuur van het koelwater aan de inlaat van de kern wordt stabiel gehouden door regeling van de warmteafvoer van het secundair koelsysteem. De vier convectieafsluiters worden in de gesloten stand gehouden door de druk van de waterstroom.

2. De belangrijkste parameters in de PCS-bedrijfsmodus bij nominaal reactorvermogen zijn weergegeven in Tabel 6-4. De situatie van het PCS in geforceerde circulatiestroom is weergegeven in Figuur 6-2.

**Tabel 6-4: Indicatieve gegevens van het primair koelsysteem PCS**

Parameter	Waarde
Nominaal reactorvermogen	25 MW
Nominale warmte in de kern die door het PCS moet worden afgevoerd	23,5 MW
Nominale inlaattemperatuur van koelwater naar de kern (geregeld tijdens bedrijf)	32°C
Minimale inlaattemperatuur van koelwater naar de kern	20°C
Gemiddelde stijging van de temperatuur van het koelwater door de kern (nominaal vermogen)	9°C
Koelwaterdebiet door de kern	2250 m <sup>3</sup> /u
Koelwaterdebiet door de verbindinglijn met POCS (equivalent aan neerwaartse koelwaterdebiet door de stijgleiding)	230 m <sup>3</sup> /u
Diameter primaire leidingen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Inlaatleiding</li> <li>Inlaatleidingen in beton (aantal = 2)</li> </ul>	DN600 DN400
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uitlaatleiding</li> <li>Verbindingsleiding PCS-POCS</li> </ul>	DN500 DN150
<ul style="list-style-type: none"> <li>Hevelbrekerleiding op uitlaatleiding</li> </ul>	DN100
Niveaus in de Reactor Pool	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Inlaatleidingen uit beton</li> <li>Bovenste convectieafsluiters</li> <li>Onderste convectieafsluiters</li> </ul>	+7,00 m +7,25 m +4,6 m
Waterniveau in de Reactor Pool na een lekkage in een koelwaterleiding	+6,7 m

### 6.3.3.3 Passieve koeling

1. De warmteafvoer van de kern door middel van natuurlijke circulatie komt tot stand wanneer de PCS-pompen worden uitgeschakeld (of uitvallen).
2. Het water van de Reactor Pool wordt via de bovenste en onderste convectieafsluiters aangevoerd, stroomt naar beneden naar het onderste plenum van het Reflector Vessel (zie Figuur 6-4) en vervolgens door de kern. Hier stijgt de temperatuur van het water, dat de drijvende kracht achter de circulatie vormt. Via de stijgleiding keert het water terug naar de Reactor Pool. De warmte uit de kern wordt dus opgenomen in de Reactor Pool. De warmte in de Reactor Pool wordt afgevoerd door het POCS en vervolgens via het SCS naar de Noordzee. Ook is het mogelijk dat de warmte wordt afgevoerd door het LPOCS en daarna via het ASCS naar de atmosfeer.
3. Het koelwater stroomt zowel in de geforceerde als in de natuurlijke circulatie van onder naar boven door de kern. Hierdoor is er geen omkering van de stroomrichting tijdens de overgang van geforceerde naar natuurlijke circulatie-modus.
4. Als de secundaire systemen (SCS en ASCS) niet beschikbaar zijn door een ongevalsituatie blijft de warmteafvoer uit de kern door natuurlijke circulatie naar de Reactor Pool doorgaan; de Reactor Pool fungeert als koellichaam waarbij de watertemperatuur in de Reactor Pool stijgt. Uiteindelijk gaat het poolwater koken en zal de warmte door verdamping worden afgevoerd naar de atmosfeer van het Reactor Containment.

5. In geval van een lekkage van het PCS zorgen hevelbrekers ervoor dat het waterniveau in de Reactor Pool als gevolg van deze lekkage niet verder daalt dan een bepaald niveau (zie Tabel 6-4). Het niveau zal echter verder dalen door verdamping.

### 6.3.4 Veiligheidsbeschouwing

1. De convectieafsluiters van het PCS zijn benodigd om de natuurlijke circulatie in stand te brengen en te houden voor de beheersing van ongevallen. De convectieafsluiters zijn redundant uitgevoerd om te voldoen aan het enkelvoudig faalcriterium.
2. Het openen en sluiten van de convectieafsluiters wordt bepaald door de primaire koelwaterstroom en de zwaartekracht, waardoor geen externe bediening of energievoorziening nodig is.
3. Voor de beheersing van ongevallen met verlies van primair koelwater buiten de Reactor Pool fungeren de bovenste convectieafsluiters als hevelbreker. In de uitlaatleiding is eveneens een hevelbreker aangebracht. Door deze voorzieningen wordt de daling van het niveau in de Reactor Pool door de lekkage beperkt en blijft er voldoende koelwater over om de vrijkomende warmte gedurende 72 uur af te voeren door middel van verdamping.
4. Het PCS vormt een barrière voor het primaire koelwater van de PALLAS-reactor, dat als gevolg van het proces bepaalde radioactieve stoffen bevat. Het ontwerp en de toegepaste materialen van het systeem minimaliseren de kans op een lekkage en voorkomen dat een kleine lekkage plotseling uit kan groeien tot een grote lekkage.
5. De warmtewisselaars van het systeem vormen een barrière om een mogelijke lozing van radioactief materiaal dat in het primaire koelsysteem aanwezig is, naar het secundaire koelsysteem en vervolgens naar de omgeving te voorkomen.
6. De druk aan de warme kant van de PCS-warmtewisselaars is hoger dan aan de SCS-kant, waardoor verontreiniging van het PCS-water met secundair water wordt voorkomen.
7. In hoofdstuk 16 Veiligheidsanalyses is aangetoond dat het PCS zijn functies tijdens de gepostuleerde ongevallen kan vervullen.

## 6.4 Pools Cooling System (POCS, inclusief LPOCS)

### 6.4.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Pool Cooling System (POCS), met als onderdeel daarvan het Long-term Pools Cooling System (LPOCS), draagt bij aan de volgende fundamentele veiligheidsfunctie:
  - Afvoer van warmte: het POCS en LPOCS voeren de warmte af die wordt opgewekt in de bestralingsfaciliteiten buiten de kern, in de beryllium-reflectorblokken en van opgeslagen verbruikte splijtstofelementen en bestraalde targets en voeren deze af naar het SCS respectievelijk het ASCS.
2. De ontwerpbasis van het POCS en LPOCS is:
  - Het POCS voert in geforceerde circulatiemodus de warmte van de bestralingsfaciliteiten buiten de kern en de beryllium-reflectorblokken af van het Reflector Vessel naar het SCS door het poolwater aan te zuigen via het Reflector Vessel. De warmte van de verbruikte splijtstofelementen en bestraalde targets opgeslagen in de Reactor Pool en Service Pool wordt hiermee ook afgevoerd.
  - Het POCS voert in natuurlijke circulatie-modus de warmte van de bestralingsfaciliteiten buiten de kern en de berylliumreflectorblokken in het Reflector Vessel af naar het water in de Reactor Pool. De warmte van de verbruikte splijtstofelementen en bestraalde targets opgeslagen in de Reactor Pool en Service Pool wordt ook afgegeven aan het water in de Reactor Pool en de Service Pool. Het POCS dient in deze natuurlijke circulatie-modus te voldoen aan het enkelvoudig faalcriterium.

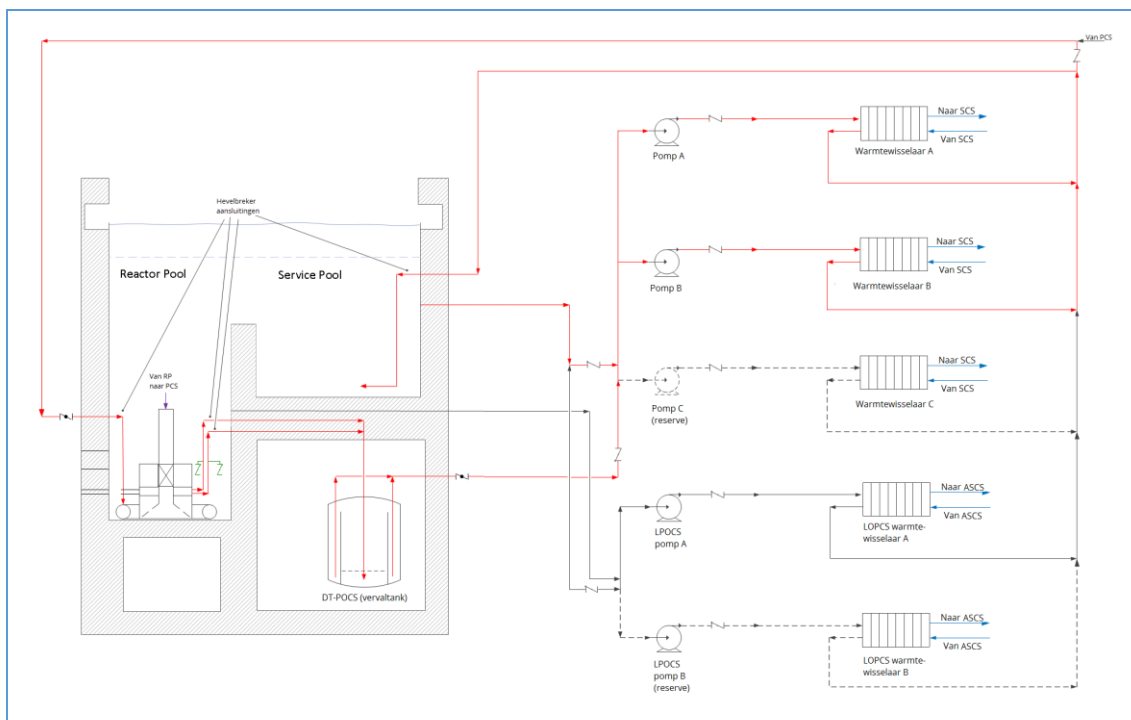
- Het LPOCS voert in geforceerde circulatie-modus de warmte in het water van de Reactor Pool en Service Pool af naar het ASCS. Het POCS is hierbij in natuurlijke circulatie-modus.
- De posities van de hevelbrekers en de aansluitingen aan de Reactor Pool dragen bij aan de handhaving van de vereiste waterinventaris voor de koeling van de kern (inclusief bestralingsfaciliteiten in de kern) tijdens ongevallen, zodat gedurende minimaal 72 uur de restwarmte afgevoerd kan worden.
- De integriteit van het POCS en LPOCS draagt bij aan de totale integriteit van het koelsysteem voor de handhaving van de vereiste waterinventaris in de Reactor Pool en Service Pool.
- Het POCS en het LPOCS dragen bij aan het behoud van de integriteit van de bekleding van splijtstof en targets als barrière.
- Het vrijkomen van radioactieve stoffen in het milieu wordt voorkomen door warmtewisselaars als een barrière, die het POCS van het SCS en het LPOCS van het ASCS scheiden.

## 6.4.2 Systeembeschrijving

### 6.4.2.1 POCS

1. Het POCS bestaat uit het hoofdkoelcircuit van het POCS en uit het LPOCS. Een vereenvoudigd processtroomdiagram van het POCS is weergegeven in Figuur 6-5.

**Figuur 6-5: Vereenvoudigd POCS-processtroomdiagram (Reactor bij Vermogenstoestand)**



### 6.4.2.2 POCS-hoofdkoelcircuit

1. Het POCS-hoofdkoelcircuit bestaat uit de volgende componenten:
  - Reactor Pool en Service Pool;
  - Reflector Vessel;
  - Leidingen en appendages;
  - Pool Cooling System Decay tank (DT-POCS);
  - POCS pompen;
  - POCS-warmtewisselaars;
  - POCS-kleppen en hevelbrekers.



2. Tijdens vermogensbedrijf van de reactor verwijdt het POCS de geproduceerde warmte van de bestralingsfaciliteiten buiten de kern en van de beryllium-reflectorblokken in het Reflector Vessel door een geforceerde, neerwaartse stroming. Het gedemineraliseerde poolwater wordt vervolgens door de koelopeningen het Reflector Vessel ingezogen (zie Figuur 6-6). Het opgewarmde water wordt verzameld onder in het Reflector Vessel en verlaat deze via twee aanzuigleidingen. De aanzuigleidingen leiden het water omhoog door de Reactor Pool en verlaten deze door de poolwand op een hoger niveau.

**Figuur 6-6: POCS: geforceerde, neerwaartse koelwaterstroom door het Reflector Vessel**



3. De beide aanzuigleidingen in de Reactor Pool zijn voorzien van een passieve POCS-klep. Bij geforceerde circulatie zijn de POCS-kleppen gesloten. Als de geforceerde circulatie wegvalt, openen de POCS-kleppen door invloed van de zwaartekracht, waarmee water uit de Reactor Pool de aanzuigleiding in kan stromen en er natuurlijke circulatie door het Reflector Vessel ontstaat.
4. Op de toevoer van het Poolwater naar de POCS-kleppen is een beschermingsrooster aangebracht dat verhindert dat vreemde voorwerpen de toegang tot het leidingsysteem kunnen blokkeren.
5. De POCS-kleppen zijn redundant uitgevoerd (één op elke aanzuigleiding) en bevinden zich laag onder in het verticale deel van de aanzuigleidingen in de Reactor Pool (zie Figuur 6-7).
6. De beide aanzuigleidingen in de Reactor Pool zijn op het hoogste punt voorzien van een passieve hevelbreker om het verlies van water in de Reactor Pool in geval van een breuk in het POCS te beperken.
7. De beide aanzuigleidingen worden in de betonnen wand van de Reactor Pool samengevoegd tot één leiding, waarmee het opgewarmde water naar de Pool Cooling System Decay tank (DT-POCS) wordt gevoerd. Voordat het water de DT-POCS instroomt, wordt het met de Failed Fuel Elements Monitor gecontroleerd op radioactiviteit, waarmee splijtstofbeschadiging kan worden gedetecteerd.

8. De DT-POCS is een verval-tank die zich binnen een betonnen afscherming bevindt. Deze verval-tank vermindert de hoeveelheid radioactief stikstof ( $^{16}\text{N}$ ) in het koelwater, zodanig dat de bijdrage hiervan aan de totale radioactiviteit (na de DT-POCS) niet significant is. Hierdoor wordt de stralingsbelasting in de ruimten van de POCS-pompen en warmtewisselaars verlaagd, waardoor deze ruimten toegankelijk zijn voor inspectie- en onderhoudstaken tijdens bedrijf van reactor.

**Figuur 6-7: Natuurlijke circulatie-modus POCS**



9. Stroomafwaarts van de DT-POCS voert de zuigleiding naar de drie parallelle pompen en warmtewisselaars van het POCS. Elke pomp en warmtewisselaar heeft een capaciteit van 50% van de totaal benodigde capaciteit. Tijdens vermogensbedrijf zorgen twee pompen en warmtewisselaars voor de koeling.
10. De drie pompen/warmtewisselaars zijn ruimtelijk van elkaar gescheiden. Hierdoor is onderhoud aan één aftakking mogelijk, terwijl de andere twee in bedrijf zijn. Ook wordt in geval van storing in één aftakking uitval van de andere twee voorkomen en blijft de koelfunctie gewaarborgd.
11. Elke pomp is voorzien van een vliegwiel om voldoende koelwaterdebiet door het Reflector Vessel te leveren tijdens de overgang van geforceerde naar natuurlijke circulatie-modus.
12. Elke pomp voert het water af naar de bijbehorende warmtewisselaar, waar de opgenomen warmte wordt overgedragen aan het Secondary Cooling System (SCS). Een fractie van de koelstroom wordt omgeleid naar het Water Purification System (WPS) dat ervoor zorgt dat de kwaliteit van het water binnen de specificaties houdt.
13. Na de warmtewisselaars wordt het water door een verzamelleiding opgevangen en via de retourleiding weer teruggevoerd naar de Reactor Pool en naar de Service Pool, waar de verbruikte splijtstof en bestraalde targets opgeslagen zijn. Op de retourleiding naar de Reactor Pool is ook de verbindingsleiding met de PCS aangesloten.

14. De retourleiding gaat door de wand van de Reactor Pool en komt op hoog niveau de Reactor Pool binnen. Onder in de Reactor Pool is de retourleiding verbonden met de torus, die de koelwaterstroom op de Reactor Pool bodem verdeelt. Op het hoogste punt in de Reactor Pool is op de retourleiding een hevelbreker aangebracht.
15. De retourleiding gaat eveneens door de wand van de Service Pool en komt op hoog niveau de Service Pool binnen. In de Service Pool gaat de retourleiding naar de bodem van de Service Pool en komt het gekoelde water weer beschikbaar voor koeling van de opgeslagen verbruikte splijtstofelementen en bestraalde targets. Op het hoogste punt in de Service Pool is op de retourleiding eveneens een hevelbreker aangebracht.
16. In geval van lekkage van het POCS neemt de sluitkracht van de convectieafsluiters af. Bij een voldoende grote lekkage zullen zij daardoor openen. Het water in de Reactor Pool zal de aanzuigleidingen instromen richting het Reflector Vessel, maar ook de andere kant op naar het gedeelte van het koelsysteem buiten de Reactor Pool, waarin zich de lekopening bevindt. Het water in de Reactor Pool en Service Pool zal via de POCS-kleppen en de aanzuigleiding(en) door de lekopening wegstromen. Het waterniveau in de Reactor Pool zal, afhankelijk van de lekopening, dalen totdat het niveau van de hevelbrekers wordt bereikt. Deze beluchten de aanzuigleiding waarmee het leeg hevelen van de Reactor Pool wordt verhinderd; de lekkage stopt. Het waterniveau in de Service Pool daalt tot aan de Transfer Canal tussen Service Pool en Reactor Pool. Er blijft in deze situatie altijd een minimale hoeveelheid water in de Service Pool beschikbaar voor koeling van de opgeslagen verbruikte splijtstofelementen en bestraalde targets.
17. Als de lekkage zich in het retourgedeelte buiten de pools bevindt, is de situatie soortgelijk. Zodra het niveau in de Reactor Pool daalt tot het hoogste punt van de uitlaatleiding in de betonnen wand zal de hevelbreker in de uitlaatleiding openen en de hevelwerking verbreken.
18. Het resterende watervolume tussen de hevelbrekers en POCS-kleppen in de Reactor Pool fungeert als koelbuffer. Om de warmteafvoer daarna op peil te houden, kan er water toegevoerd worden aan het Reactor Pool door het Long-term Make-up Water System.

#### 6.4.2.3 LPOCS

1. Het LPOCS bestaat uit de volgende componenten (zie Figuur 6-5):
  - Leidingen en appendages.
  - LPOCS pompen.
  - LPOCS-warmtewisselaars.
  - Hevelbreker.
2. Het LPOCS is alleen in bedrijf als het POCS zich in natuurlijke circulatie-modus bevindt. Het LPOCS voert de warmte uit de Reactor Pool en Service Pool af naar het Alternative Secondary Cooling System (ASCS).
3. Het LPOCS zuigt poolwater uit de Reactor Pool en de Service Pool (hoog niveau). De beide zuigleidingen lopen door de betonnen wand van beide pools en voeren het water naar twee parallelle pompen en warmtewisselaars van het LPOCS. Elke pomp en warmtewisselaar heeft een capaciteit van 100% van de totaal benodigde capaciteit. Tijdens LPOCS-bedrijf zorgt één pomp en warmtewisselaar voor de koeling, de andere set (pomp en warmtewisselaar) is reserve.
4. Het koelwater keert terug naar de Reactor Pool en Service Pool via de retourleidingen van het POCS.
5. Een fractie van de koelstroom wordt omgeleid naar het Water Purification System (WPS) die zorgt dat de waterkwaliteit binnen de specificaties wordt gehouden.
6. De LPOCS-pompen worden elektrisch gevoed door de Normal Power Supply (NPS), maar wanneer de NPS niet beschikbaar is, worden de pompen gevoed door de Stand-by Power Supply (SPS). Hierdoor is de afvoer van de warmte uit de pools naar het ASCS op lange termijn verzekerd.
7. Het LPOCS wordt door de operator bediend; er is geen automatisering voor het opstarten van het systeem.

- Lekkage in het LPOCS heeft een soortgelijk of geringer effect dan bij lekkage in het hoofdkoelcircuit van het POCS. De LPOCS-aanzuigleiding van de Reactor Pool is hoger geplaatst dan de hevelbrekers in de POCS-leidingen, waardoor het niveau in de Reactor Pool bij lekkage minder zal dalen. Verder maakt het LPOCS gebruik van het POCS leidingwerk.

## 6.4.3 Operationele modi

### 6.4.3.1 Inleiding

- Het POCS verzorgt de warmteafvoer van de bestralingsfaciliteiten buiten de kern, de beryllium-reflectorblokken uit het Reflector Vessel en de verbruikte splijstofelementen en bestraalde targets opgeslagen in de Service Pool.
- Het POCS kent twee operationele modi:
  - Actieve koeling, waarbij de POCS-pompen in bedrijf zijn en zorgen voor geforceerde circulatie waarmee de warmte wordt afgevoerd via het SCS naar de Noordzee. De LPOCS is hierbij niet benodigd en dus uitgeschakeld.
  - Passieve koeling, waarbij de POCS-componenten in de Reactor Pool de afvoer van warmte naar het Reactor Pool water mogelijk maken door middel van natuurlijke circulatie. De warmte wordt van hieruit door het Long-term Pools Cooling System (LPOCS) aan het Alternative Secondary Cooling System (ASCS) overgedragen. Als deze niet beschikbaar zijn, dan fungeert de Reactor Pool als koelbuffer. De POCS-pompen zijn in deze modus uitgeschakeld.
- De POCS- en LPOCS-pompen zijn niet in alle bedrijfstoestanden van de reactor nodig en mogen in sommige toestanden zelfs niet operationeel zijn. In Tabel 6-5 zijn de toegestane combinaties van bedrijfstoestand en POCS/LPOCS-modus weergegeven.

Tabel 6-5: Combinaties van bedrijfstoestand en POCS/LPOCS-modus

Systeem	Modus	Bedrijfstoestand			
		Reactor vermogensbedrijf	Fysisch testen	Reactor afgeschakeld	Splijstof wisselen
POCS	Actieve koeling (geforceerde circulatie)	Verplicht	Niet toegestaan	Toegestaan	Niet toegestaan
	Passieve koeling (Natuurlijke circulatie)	Niet toegestaan	Verplicht	Toegestaan	Verplicht
LPOCS	Ingeschakeld (geforceerde circulatie)	Niet toegestaan	Verplicht	Toegestaan	Verplicht
	Uitgeschakeld (opwarming)	Verplicht	Niet toegestaan	Toegestaan	Niet toegestaan

### 6.4.3.2 POCS: Actieve koeling

- Tijdens vermogensbedrijf zorgt het POCS voor voldoende koeling met twee pompen in bedrijf om de warmte van bestralingsfaciliteiten buiten de kern en beryllium-reflectorblokken uit het Reflector Vessel te verwijderen. Tevens wordt de warmte van de opgeslagen verbruikte splijstofelementen en bestraalde targets in de Service Pool afgevoerd. De twee POCS-kleppen worden in de gesloten stand gehouden door de druk van de waterstroom. Het LPOCS is niet in bedrijf.

2. De belangrijkste parameters van het POCS bij nominaal reactorvermogen zijn weergegeven in Tabel 6-6. De situatie van het POCS in geforceerde circulatiestroom is weergegeven in Figuur 6-6.

**Tabel 6-6: Indicatieve gegevens van de Pool Cooling Systems POCS en LPOCS**

Parameter	Waarde
<b>POCS</b>	
Thermische belasting van Reactor Pool	3,2 MW
Thermische belasting van Service Pool	0,1 MW
Koelwaterdebiet	600 m <sup>3</sup> /u
Debiet naar Service Pool	10 m <sup>3</sup> /u
Waterdebiet van de verbindingsleiding met het PCS	230 m <sup>3</sup> /u
Zuigleidingen in Reactor Pool	DN200
Zuigleiding buiten Reactor Pool	DN400
Retourleiding buiten Reactor Pool	DN400
Retourleiding in Reactor Pool	DN300
<b>LPOCS</b>	
Warmtebelasting van Reactor Pool	0,4 MW
Warmtebelasting van Service Pool	0,1 MW
Koelwaterdebiet	50 m <sup>3</sup> /u
<b>Niveaus in Reactor Pool</b>	
• Waterniveau tijdens vermogensbedrijf	+12,6 m
• Aanzuigleiding POCS in Reactor Pool-wand	+7,0 m
• Retourleiding POCS in Reactor Pool-wand	+7,0 m
• Aanzuigleiding LPOCS in Reactor Pool-wand	+7,0 m
• Hevelbrekers aanzuig- en retourleiding	+7,0 m
• POCS-kleppen	+1,3 m
<b>Niveaus in Service Pool</b>	
• Aanzuigleiding POCS in Service Pool-wand	+8,0 m
• Retourleiding POCS in Service Pool-wand	+8,0 m
• Hevelbreker in retourleiding	+8,0 m
• Niveau bodem Transfer Canal	+7,6 m

### 6.4.3.3 POCS: Passieve koeling

1. De warmteafvoer met natuurlijke circulatie komt tot stand wanneer de POCS-pompen worden uitgeschakeld (of uitvallen). Het water komt dan van de Reactor Pool in de POCS-aanzuigleiding via de POCS-kleppen en stroomt naar het Reflector Vessel (zie Figuur 6-7). Vanuit het onderste plenum stroomt het water omhoog langs de bestralingsfaciliteiten buiten de kern en door de beryllium-reflectorblokken in het Reflector Vessel, waar de temperatuur stijgt en zo de drijvende kracht achter de circulatie vormt. Dan keert het water terug naar de Reactor Pool via de openingen in het deksel van het Reflector Vessel. De warmte wordt dus opgenomen door het water in de Reactor Pool. Door koeling van de Reactor Pool met het LPOCS kan de temperatuur beheerst worden (zie paragraaf 6.4.3.4). Zonder koeling zal de temperatuur in de Reactor Pool oplopen (zie paragraaf 6.4.3.5).

#### 6.4.3.4 LPOCS in bedrijf

1. Als het POCS in natuurlijke circulatie-modus is, wordt de warmte opgenomen door het water in de Reactor Pool. Als het PCS ook in natuurlijke circulatie-modus is, wordt ook de warmte uit de kern door het water in de Reactor Pool opgenomen. De warmte van de opgeslagen splijtstofelementen en bestraalde targets in de Service Pool wordt door het water in de Service Pool opgenomen. Het LPOCS voert de warmte, opgenomen in beide pools, via het ASCS af naar de atmosfeer.

#### 6.4.3.5 LPOCS uit bedrijf

1. Als het POCS (en eventueel ook het PCS) in natuurlijke circulatie-modus is, terwijl het LPOCS uit bedrijf is, zal het poolwater de warmte blijven opnemen, maar zal de watertemperatuur stijgen. Na enige tijd zal het poolwater gaan koken, waardoor de warmte door verdamping wordt afgevoerd naar de atmosfeer in het Reactor Containment. Door de verdamping zal het niveau in de pools dalen.
2. In geval van een lekkage van een POCS-leiding daalt het waterniveau in de Reactor Pool tot de hevelbrekers worden bereikt, waarna verdere daling alleen door verdamping plaatsvindt.

### 6.4.4 Veiligheidsbeschouwing

1. Voor de beheersing van ongevallen is de natuurlijke circulatie van het POCS benodigd en dient dit gedeelte van het systeem te voldoen aan het enkelvoudig faalcriterium. Hiertoe zijn de benodigde POCS-kleppen en hevelbrekers redundant uitgevoerd. Het openen en sluiten van de POCS-kleppen wordt bepaald door de koelwaterstroom en de zwaartekracht, waardoor geen externe bediening of energievoorziening nodig is.
2. Het LPOCS voert de warmte uit de Reactor Pool af het ASCS naar de buitenlucht. Hiermee is voor de afvoer van warmte bij een afgeschakelde reactor een tweede alternatieve koelwijze beschikbaar naast het SCS. Als de ASCS niet beschikbaar is, fungeert de Reactor Pool als koelbuffer.
3. Voor de beheersing van ongevallen met waterverlies buiten de Reactor Pool zijn op het hoogste punt van zowel de aanzuig- als de retourleiding hevelbrekers aangebracht. Hierdoor wordt de daling van het waterniveau in de Reactor Pool beperkt en blijft er voldoende koelwater over om de vrijkomende warmte gedurende 72 uur op te nemen door middel van verdamping van het water in de Reactor Pool.
4. Het POCS vormt een barrière voor het koelwater van de PALLAS-reactor (behalve ter plaatse van de pools die open zijn), dat als gevolg van het proces bepaalde radioactieve stoffen bevat. Het ontwerp en de toegepaste materialen van het systeem minimaliseren de kans op een lekkage en voorkomen dat een kleine lekkage plotseling uit kan groeien tot een grote lekkage.
5. De warmtewisselaars van het POCS en LPOCS vormen een barrière om een mogelijke lozing van radioactief materiaal dat in het primaire koelsysteem aanwezig is naar het secundaire koelsysteem en vervolgens naar de omgeving te voorkomen.
6. De druk aan de warme kant van de POCS-warmtewisselaars is hoger dan aan de SCS-kant, waardoor verontreiniging van het POCS-water met secundair water wordt voorkomen.
7. In hoofdstuk 16 Veiligheidsanalyses is aangetoond dat het POCS zijn functies tijdens de gepostuleerde ongevallen kan vervullen.

## 6.5 Heavy Water Cooling and Purification System (HWCPS)

### 6.5.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Heavy Water Cooling and Purification System (HWCPS) koelt het zwaar water in het Reflector Vessel rondom de reactorkern en beheerst de procescondities van het zwaar water. Het HWCPS is

benodigd voor normaal bedrijf van de reactor en faciliteert in ongevalssituaties het Second Shutdown System.

2. Het HCPCS draagt bij aan de volgende fundamentele veiligheidsfuncties:
  - Afvoer van warmte: het HCPCS draagt bij aan de warmteafvoer van warmte die door de kern wordt overgedragen aan het zwaar water.
  - Insluiting van radioactief materiaal: het HCPCS vormt een barrière om het vrijkomen van radioactief materiaal in het milieu te voorkomen. Dit is voornamelijk tritium, dat wordt geproduceerd door neutronenvangst van zwaar water.
3. De druk in het zwaar water compartiment van het Reflector Vessel is lager dan de druk van het omringende lichte water in de Reactor Pool, waardoor in geval van een lekkage geen zwaar water naar de Reactor Pool kan lekken.
4. Het zwaar water wordt gezuiverd en gefilterd om de blootstelling van het bedrijfs personeel aan straling te beperken.
5. Van belang is dat de deuteriumconcentratie in de dampfase onder de onderste ontvlambaarheidsgrens wordt gehouden.

### 6.5.2 Systeembeschrijving

1. De relevante leidingen en componenten van het HCPCS bevinden zich binnen de zwaar water ruimte; deze zijn tijdens reactorbedrijf niet toegankelijk in verband met de stralingsbelasting.
2. Het zwaar water wordt tijdens normaal bedrijf in het Reflector Vessel opgewarmd, waarbij het van onder naar boven door het Reflector Vessel stroomt. Het zwaar water verlaat het Reflector Vessel aan de bovenzijde door de uitlaatleiding, waarna deze leiding door de bodem van het Reflector Vessel naar een zwaar water-ruimte gaat, waar twee parallel geschakelde pompen (beiden 100%) zorgen voor de circulatie. Eén pomp is voldoende voor normaal bedrijf, de andere pomp is reserve. De zwaar water-pomp ruimte is tijdens normaal bedrijf niet toegankelijk.
3. De pomp leidt het zwaar water door de warmtewisselaar. Een fractie van het debiet wordt omgeleid voor zuivering in ionenwisselende harskolommen (2x100%) waarna het weer terugkeert naar het Reflector Vessel.
4. In de warmtewisselaar wordt de warmte overgedragen aan het tussenkoelcircuit. Vervolgens wordt het zwaar water weer teruggeleid naar het Reflector Vessel.
5. Het tussenkoelcircuit is gevuld met gedemineraliseerd licht water. Een van twee parallel geschakelde pompen (2 x 100%) zorgt voor circulatie van dit water; de andere pomp is reserve. Een van de twee parallel geschakelde warmtewisselaars (2 x 100%) draagt de warmte over aan het Secundair Cooling System (SCS), de andere warmtewisselaar is reserve. Het licht water in het tussenkoelcircuit wordt bemonsterd en gemonitord om eventuele lekkages van zwaar water in de warmtewisselaars op te sporen.
6. Het Reflector Vessel moet volledig gevuld zijn met zwaar water. Dit wordt bereikt door het controleren van het vloeistofniveau in het zwaar water-expansievat.
7. Tijdens vermogensbedrijf wordt het zwaar water in het Reflector Vessel bestraald en vindt een ontledingsreactie plaats die radiolyse wordt genoemd, waarbij onder andere gasvormig deuterium en zuurstof worden geproduceerd. Deze gassen hopen zich in opgeloste vorm op in het zwaar water. Tijdens normaal bedrijf is de overgang van deuterium en zuurstof van de vloeibare naar de gasvormige fase verwaarloosbaar. Echter als het Second Shutdown System wordt geactiveerd, komen het deuterium en de zuurstof vrij. Om te voorkomen dat het mengsel de ontvlambaarheidsgrens bereikt, worden het deuterium en zuurstof gerecombineerd door het vanuit de gasruimte van het expansievat door een recombinator te leiden. Het gerecombineerde gas wordt gekoeld met het tussenkoelcircuit. De deuterium- en zuurstofconcentraties in het gas in het bovenste deel van het expansievat worden voortdurend bewaakt.
8. Overtollig zwaar water in het expansievat wordt afgevoerd naar de zwaar water-opslagtank.
9. De zwaar water-opslagtank is ontworpen om de volledige zwaar water voorraad te kunnen herbergen, zodat het Reflector Vessel en de leidingen en componenten van het HCPCS en het

Second Shutdown System kunnen worden gevuld. Een van twee parallel geschakelde zwaar water-laadpompen (2 x 100%) onttrekt zwaar water aan de bodem van de zwaar water-voorraadtank voor het vullen van het systeem na een Second Shutdown System-trip of om het waterniveau in het expansievat te handhaven tijdens reactorbedrijf.

10. Tijdens normaal bedrijf blijft de zwaar water-inventarisatie binnen het HCWPS constant; er wordt geen zwaar water onttrokken of toegevoegd aan het systeem.

### 6.5.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Tijdens normaal bedrijf voert het HCWPS, met één pomp in bedrijf en de andere in reserve, de geproduceerde warmte in het zwaar water in het Reflector Vessel af naar het SCS en houdt het de zwaar water temperatuur binnen vooraf vastgestelde grenzen. Hierdoor is de bijdrage aan de reactiviteit van de reactorkern constant.
2. De druk in het zwaar water-gedeelte in het Reflector Vessel is lager dan:
  - De (hydrostatische) druk van het omringende licht water in de Reactor Pool;
  - De druk van het licht water dat door de kern stroomt;
  - De druk in het tussenkoelcircuit.
3. Hierdoor komt bij een lek gedemineraliseerd licht water in de zwaar water-koelkring terecht en niet andersom, waardoor het vrijkomen van tritium in geval van lekkage wordt voorkomen.
4. Het tussenkoelcircuit vormt een dubbele barrière tegen het vrijkomen van tritiumhoudend zwaar water naar het milieu.
5. Tijdens normaal bedrijf wordt de deuteriumconcentratie in het gas voldoende laag gehouden om te voorkomen dat de ontvlambaarheidsgrens bereikt kan worden.

## 6.6 Secondary Cooling System (SCS)

### 6.6.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

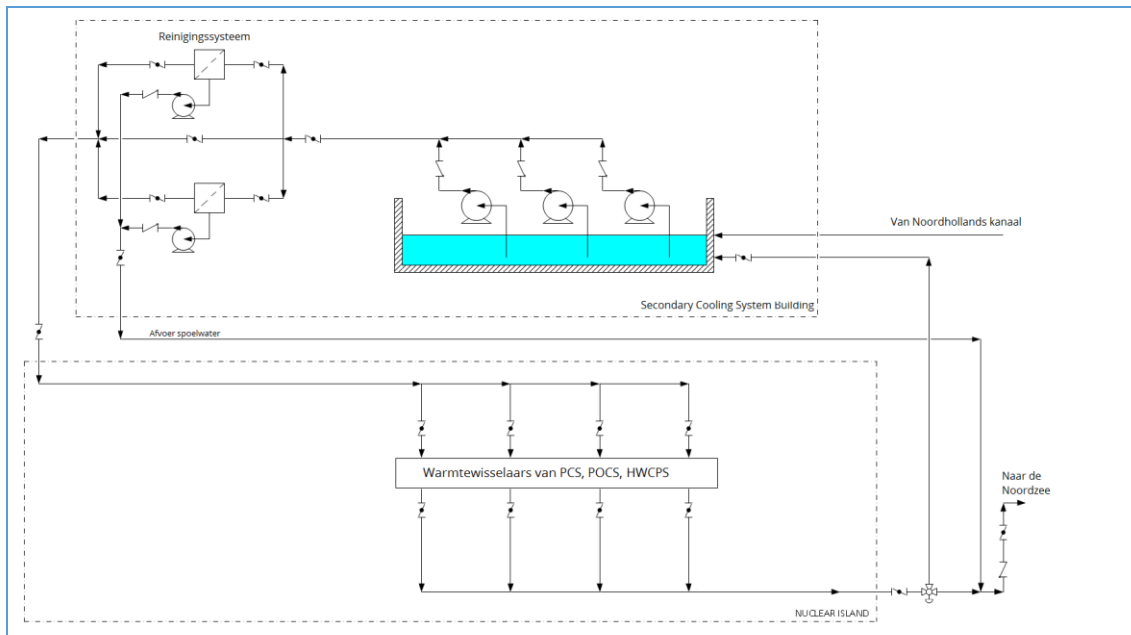
1. Tijdens normaal bedrijf van de reactor voert het SCS de geproduceerde warmte af naar het milieu. Daartoe wordt koelwater onttrokken aan het Noordhollandsch Kanaal, dat door de warmtewisselaars wordt geleid en warmte opneemt. Het warme water wordt vervolgens afgevoerd naar de Noordzee waarbij het wordt gemengd met het zeewater.
2. Het SCS draagt bij aan de volgende fundamentele veiligheidsfunctie:
  - Afvoer van de warmte: het SCS voert de warmte van de reactor af naar de omgeving.
3. Het SCS is ontworpen om deze functie tijdens normaal bedrijf van de reactor te vervullen. Het SCS is niet nodig voor de warmteafvoer tijdens ongevallen.
4. Bij de materiaalkeuze voor de leidingen en de componenten is rekening gehouden met de chemische samenstelling van het Noordhollandsch Kanaalwater en de bedrijfscondities gedurende de levensduur van de reactor. Het SCS is ontworpen om vervuiling in leidingen en componenten te minimaliseren.

### 6.6.2 Systeembeschrijving

1. Het SCS neemt de warmte op van de warmtewisselaar(s) van het Primary Cooling System (PCS), het Pools Cooling System (POCS) en het Heavy Water Cooling and Purification System (HCWPS) en voert deze naar de Noordzee af.
2. Een vereenvoudigd processtroomdiagram van het SCS is weergegeven in Figuur 6-8.



Figuur 6-8: Vereenvoudigd SCS-processtroomdiagram



3. Het SCS-koelwater wordt door middel van zwaartekracht aangevoerd vanuit het Noordhollandsch Kanaal naar de pompput, waarbij voorfiltering en -reiniging plaats vindt om vervuiling van het systeem te verminderen. Van het water dat in de pompput wordt aangevoerd wordt de activiteit gemeten.
4. Tijdens normaal bedrijf pompen twee van de drie parallel geschakelde pompen (3 x 50%) het water uit de pompput en voeren het naar het reinigingssysteem. De derde pomp is reserve. Het debiet van de pompen wordt geregeld om de juiste koeling te leveren. Een minimum debiet wordt aangehouden om vervuiling en bezinking in het leidingwerk te minimaliseren.
5. In het reinigingssysteem wordt het water gefilterd met één van de twee filters (2 x 100%); de andere in reserve. De filters zijn zelfreinigend tijdens filterbedrijf en voorzien van een spoelpomp. Het spoelwater wordt naar de Noordzee afgevoerd.
6. Het gereinigde water wordt het Nuclear Island Building in geleid. De in bedrijf zijnde warmtewisselaars worden gekoeld, waarna het water (na controle op eventuele activiteit) weer het Nuclear Island Building verlaat.
7. De druk aan de warme kant van de PCS- en POCS-warmtewisselaars is hoger dan aan de SCS-kant, waardoor verontreiniging van het PCS/POCS-water met secundair water wordt voorkomen.
8. Via de afvoerleiding verlaat het water het Nuclear Island Building en stroomt naar een driewegafsluiter die het water naar de Noordzee afvoert en/of het water naar de pompput terugvoert als onderdeel van de SCS-temperatuurregeling. Een terugslagklep in de leiding naar de Noordzee voorkomt terugstroming naar de reactor.
9. Twee isolatiekleppen in het SCS-leidingwerk (net voor en na het Nuclear Island Building) beperken de gevolgen in het Nuclear Island Building van een eventuele grote lekkage van de SCS-leidingen.
10. De belangrijkste parameters van SCS worden in onderstaande Tabel 6-7 weergegeven.

Tabel 6-7: Indicatieve gegevens van het SCS

Parameter	Waarde
Warmtebelasting te verwijderen van de warmtewisselaars	29 MW
Afvoerleiding	DN600
Maximaal SCS-waterdebiet naar het NI	3.250 m <sup>3</sup> /u
Minimaal waterdebiet	1.750 m <sup>3</sup> /u
Regeltemperatuur primair inlaatwater tijdens nominaal bedrijf	32 °C
Maximale kanaalwater temperatuur (ontwerp)	26 °C

### 6.6.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Tijdens normaal bedrijf verwijdert het SCS de warmte uit het PCS, POCS en HWPCS en voert deze af naar de Noordzee.
2. De druk aan de warme kant van de PCS- en POCS-warmtewisselaars is hoger dan aan de SCS-kant, waardoor verontreiniging van het PCS/POCS-water met secundair water wordt voorkomen.

## 6.7 Alternative Secondary Cooling System (ASCS)

### 6.7.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het ASCS draagt bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie afvoer van warmte: het ASCS verwijdert warmte uit de LPOCS-warmtewisselaars en voert deze warmte af naar de atmosfeer. Het ASCS functioneert alleen als de reactor niet in bedrijf is, omdat alleen dan het LPOCS in bedrijf kan zijn voor warmteafvoer uit de pools.

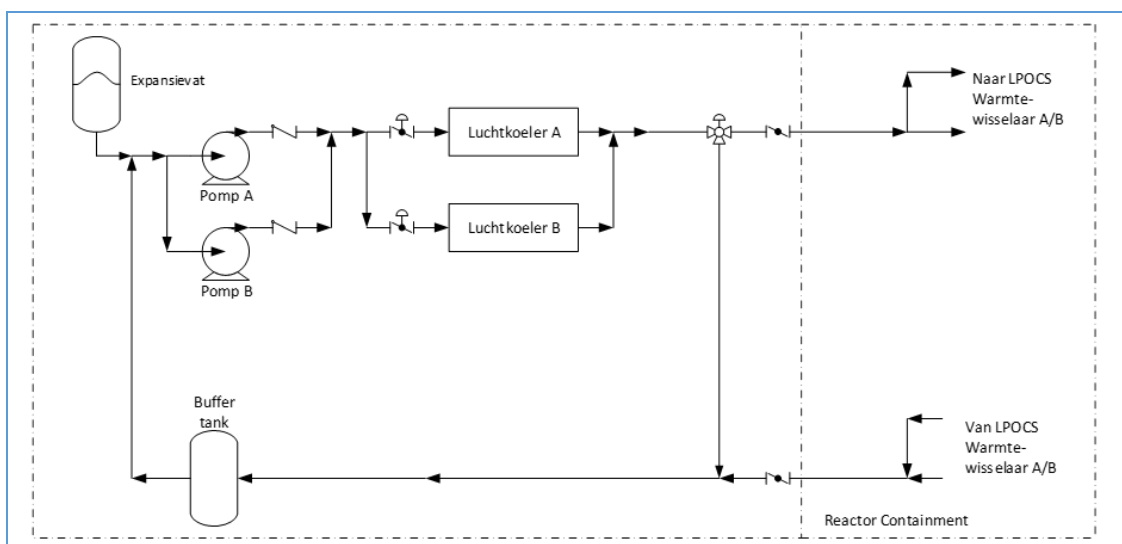
### 6.7.2 Systeembeschrijving

1. Het ASCS bestaat uit een gesloten koelcircuit. Het warmteafvoergedeelte bevindt zich op het dak van één van de gebouwen. Om bevroering te voorkomen is het koelwater voorzien van antivries.
2. De ASCS-pompen en luchtgekoelde koelers worden gevoed door de Normal Power Supply (NPS). Bij uitval van de NPS wordt het ASCS gevoed door de Stand-by Power Supply (SPS).
3. Het ASCS bestaat uit de volgende hoofdcomponenten:
  - pompen;
  - luchtkoelers;
  - buffertank;
  - expansievat;
  - leidingen en appendages.
4. Een vereenvoudigd processtroomdiagram van het ASCS is weergegeven in Figuur 6-9.
5. Warmte wordt uit de LPOCS-warmtewisselaar opgenomen door het koelwater en uit het Containment geleid naar de buffertank. Eén van de twee parallel geschakelde pompen (2 x 100%) zorgt voor circulatie van het koelwater; de andere pomp is reserve. Het opgewarmde water wordt door één van de twee parallel geschakelde luchtkoelers (2 x 100%) op het dak geleid, die de warmte naar de atmosfeer afvoert. De andere luchtkoeler is reserve. Daarna wordt het water weer teruggeleid naar de in bedrijf zijnde LPOCS-warmtewisselaar. Hierbij kan de koelwatertemperatuur geregeld worden.
6. In het circuit is een expansievat opgenomen om volumeverschillen als gevolg van temperatuurschommelingen in het gesloten circuit op te vangen en tegelijkertijd voordruk te leveren voor de pompen.
7. De belangrijkste parameters van ASCS zijn weergegeven in Tabel 6-8.

Tabel 6-8: Indicatieve parameters van het ASCS

Parameter	Waarde
Warmtebelasting vanuit LPOCS-warmtewisselaar	0,5 MW
Nominaal koelwaterdebiet	87 m <sup>3</sup> /u

Figuur 6-9: Het ASCS met de belangrijkste componenten



### 6.7.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het ASCS voert de warmte uit de Reactor Pool via het LPOCS af naar de atmosfeer. Hiermee is voor de afvoer van warmte bij een afgeschakelde reactor een tweede alternatieve koelwijze beschikbaar naast het SCS.
2. De pompen en luchtkoelers zijn aangesloten op de Stand-by Power Supply (SPS). Bij verlies van het externe elektriciteitsnet (NPS) kan het ASCS de warmte afvoeren.

## 6.8 Long-term Make-up Water System

### 6.8.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

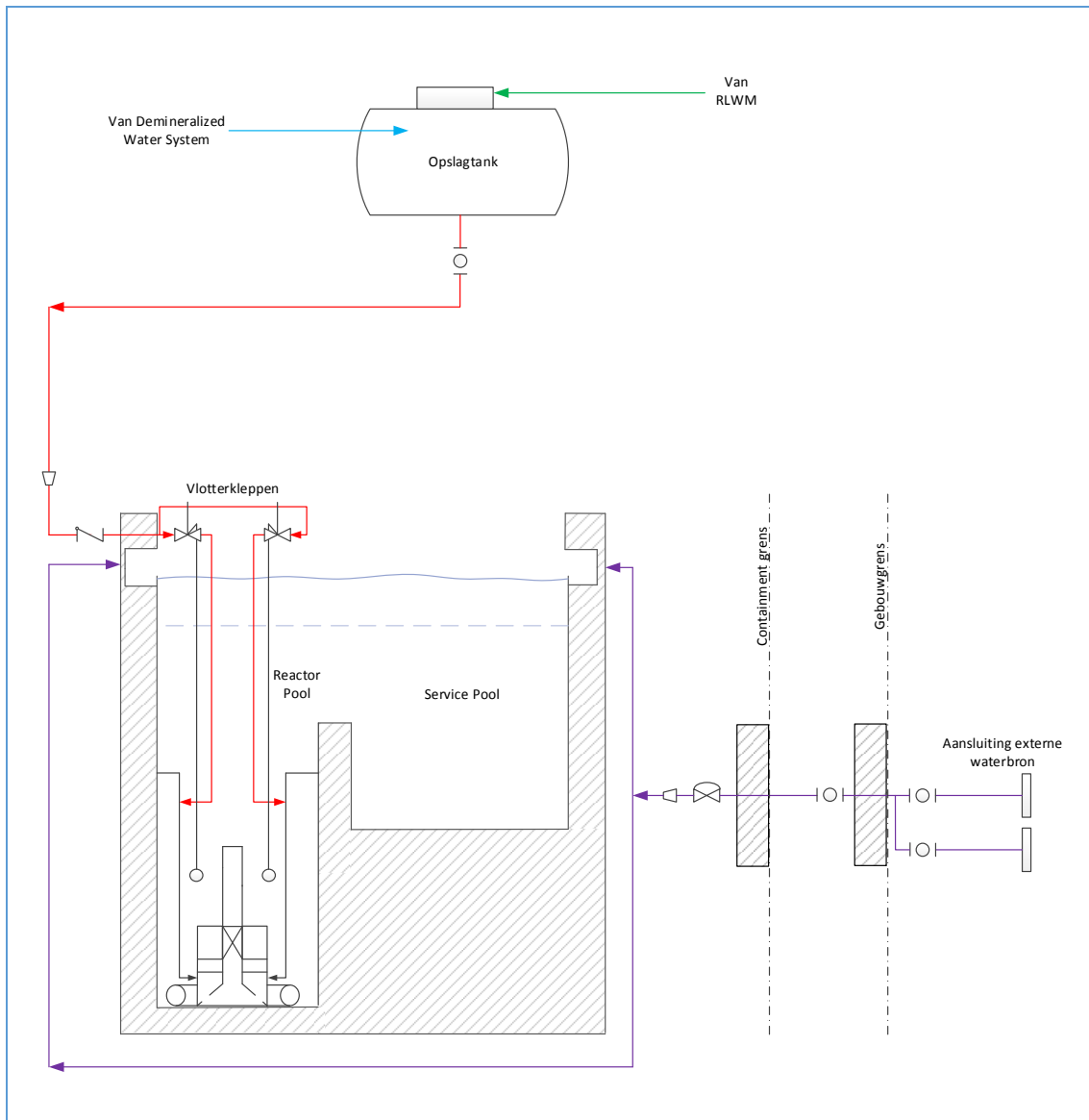
1. Na het optreden van een ongeval waarbij de koelsystemen koelwater verliezen (LOCA-scenario), kan de Reactor Pool waterinventaris de warmte gedurende minimaal 72 uur afvoeren (zie paragraaf 6.3.4). Aanvullend hierop kan het Long-term Make-up Water System extra waterinventaris leveren om de kern 24 uur langer te kunnen koelen.
2. Het Long-term Make-up Water System draagt bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie afvoer van warmte: door de extra waterinventaris te leveren om de kern te kunnen koelen.
3. De ontwerpbasis van het Long-term Make-up Water System voor de warmteafvoer:
  - Het voorzien van water, 72 uur na een LOCA-scenario, naar de PCS-inlaatleidingen om het verdampte water te compenseren en koelwater te leveren voor minstens 24 uur koeling van de kern. Hierbij dient te worden voldaan aan de criteria voor redundantie en enkelvoudig falen.
  - Voorzien in een interne aansluiting op de opslagtank van het Long-term Make-up Water System voor het bijvullen van water om na 24 uur koelwater te kunnen leveren voor koeling van de kern.

- Voorzien in een externe aansluiting buiten het Containment voor directe toevoer naar Reactor Pool en Service Pool om na 24 uur koelwater te kunnen leveren voor koeling van de kern.

## 6.8.2 Systeembeschrijving

1. Het Long-term Make-up Water System bestaat uit de volgende hoofdcomponenten (zie Tabel 6-9 voor indicatieve gegevens):
  - opslagtank;
  - vlotterkleppen;
  - leidingen en appendages.
2. Een vereenvoudigd processtroomdiagram van het Long-term Make-up Water System is weergegeven in de Figuur 6-10.
3. Het Long-term Make-up Water System heeft een opslagtank op hoogte boven de Reactor Pool met een afvoerleiding waarmee het water naar de Reactor Pool wordt geleid. In de Reactor Pool splitst de leiding zich in twee toevoerleidingen; voor iedere PCS-inlaatleiding één. Iedere toevoerleiding is boven in de Reactor Pool voorzien van een vlotterklep, die bij extreem laag waterniveau in de Reactor Pool automatisch de toevoer naar de PCS-inlaat zal openen. In die situatie zal het water uit de opslagtank onder invloed van de zwaartekracht naar de kern stromen en deze gedurende minstens 24 uur kunnen koelen. Er zijn twee vlotterkleppen die ieder voor 100% toevoer kunnen zorgen. Dus, als één vlotterklep faalt zal er voldoende water naar de kern stromen.
4. Als er meer dan 24 uur water moet worden toegevoerd, kan het Demineralized Water System de opslagtank met gedemineraliseerd water bijvullen. Als dit systeem niet beschikbaar is, kan met het Radioactive Liquid Waste System (RLWM) water toegevoerd worden uit de LOCA-pools. Na een LOCA-scenario wordt hierin het weggelekte water opgevangen. Het RLWS wordt gevoed door de Stand-by Power Supply (SPS) en kan in geval van verlies van de Normal Power Supply (NPS) voor bijvullen zorgen.
5. Twee aansluitingen buiten het Containment maken het mogelijk om vanuit een externe waterbron, zoals een brandweervan, water naar de Reactor Pool en Service Pool toe te voeren waarmee de koeling gerealiseerd kan worden. Elke aansluiting is buiten het Containment van een isolatieafsluiter voorzien.

Figuur 6-10: Vereenvoudigd Long-term Make-up Water System-processtroomdiagram



6. De belangrijkste parameters van Long-term Make-up Water System zijn in Tabel 6-9 weergegeven

Tabel 6-9: Indicatieve gegevens van het Long-term Make-up Water System

Parameter	Waarde
Reactor Pool-waterverdampingssnelheid na 72 uur	220 kg/h
Additionele koelperiode	24 uur
Watervoorraad opslagtank	5,5 m <sup>3</sup>
Aantal vlotterkleppen	2
Waterniveau Reactor Pool waarop vlotterklep opent	+5 m
Aantal externe watertoevoeraansluitingen	2

### 6.8.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Met het Long-term Make-up Water System kan de kern 72 uur na een LOCA-scenario nog minstens 24 uur langer gekoeld worden. Het systeem is uitgevoerd met twee redundante

- toevoerleidingen en vlotterkleppen, waardoor voldaan wordt aan de criteria voor redundantie en enkelvoudig falen. De watertoevoer werkt automatisch en op basis van de zwaartekracht.
2. Het Long-term Make-up Water System beschikt over voorzieningen om de opslagtank bij te vullen vanuit interne systemen die koelwater bevatten, om zo de koeling van de kern nog langer te realiseren. Daarnaast kunnen met het systeem de Reactor Pool en Service Pool via externe aansluitingen bijgevuld worden.

## 6.9 Water Purification System (WPS)

### 6.9.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het WPS zuivert tijdens normaal bedrijf het koelwater waarmee onder meer de kern gekoeld wordt en houdt deze binnen de grenzen voor de vereiste zuiverheid.
2. Het WPS draagt bij aan het beschermen tegen erosie en corrosie van de omhulling van de splijtstofelementen, targets en ook de structurele integriteit van het koelwatersysteem. Daarnaast zorgt het voor optische kwaliteit van het water in de Reactor Pool en Service Pool.
3. De ontwerpbasis van het WPS:
  - Het zuiveren van het koelwater door het verwijderen van niet-radioactieve en radioactieve stoffen, zoals stof, organisch materiaal, (geactiveerde) corrosieproducten en splijttingsproducten, waarbij de watergeleiding en de watertroebelheid onder bepaalde grenzen dienen te blijven.
  - Het WPS kan de gehele koelmiddelinventaris binnen 24 uur te zuiveren.

### 6.9.2 Systeembeschrijving

1. Het koelwater afkomstig van de Reactor Pool en de Service Pool wordt gekoeld door het POCS of het LPOCS. Een deel van deze koelwaterstroom wordt naar het WPS gevoerd voor zuivering.
2. Het WPS bestaat uit twee parallel geschakelde aftakkingen (2 x 100%). Beiden bestaan uit een filter, een ionenwisselaar en een harsvanger. Tijdens normaal bedrijf is er één in bedrijf en de andere in reserve.
3. Een filter verwijdert niet-oplosbare deeltjes uit het koelwater. Het gefilterde water wordt vervolgens door een ionenwisselaar geleid. De ionenwisselaarkolom wordt geladen met gemengde harsen, waarbij onzuiverheden in de vorm van anionen en kationen worden vastgehouden. Deze kolom fungeert ook als fijn filter, waardoor zeer kleine vaste deeltjes worden vastgehouden. Een harsvanger in de afvoer van de ionenwisselaar voorkomt de aanwezigheid van hars in het koelwater. Van het gezuiverde water wordt de geleidbaarheid gemeten, waarna het wordt teruggevoerd naar het POCS of LPOCS.
4. De filters en ionenwisselaars bevinden zich binnen een afscherming om blootstelling aan straling voor het personeel te beperken.
5. Als een aftakking niet in bedrijf is, kan uitgeputte hars vervangen worden en afgevoerd worden naar het Radioactive Spent Resins Management.
6. Het WPS heeft een laadfaciliteit om verse hars te laden voor de ionenwisselaars van zowel het WPS als van het Hot-Water Layer Purification Circuit.

### 6.9.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het WPS zuivert het koelwater binnen de vereiste zuiverheidsgrenzen waardoor het optreden van corrosie en erosie aan de koelsystemen en de reactorkern wordt beperkt.

## 6.10 Hot-Water Layer System

### 6.10.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Hot-Water Layer System draagt bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie afvoer van warmte door het beheersen van het koelwaterniveau in de Reactor Pool en Service Pool door regeling van het waterniveau.
2. De ontwerpbasis van het Hot-Water Layer System:
  - Het tijdens normaal bedrijf aanbrengen van een laag verwarmd, gezuiverd water door het afromen van de bovenste laag, deze te zuiveren en te verwarmen en vervolgens terug te voeren naar de bovenzijde van de Reactor Pool en Service Pool. Hierbij dienen het watergeleidingsvermogen en de watertroebelheid onder bepaalde grenzen te blijven.
  - Controle van het koelwaterniveau in de Reactor Pool en Service Pool door regeling van het waterniveau met inachtneming van verdamping en kleine lekkages.

### 6.10.2 Systeembeschrijving

1. Het Hot-Water Layer System verlaagt de stralingsdosis boven de pools in de reactorhal door te voorkomen dat in het poolwater opgeloste radioactieve deeltjes het oppervlak van de pool bereiken. Het systeem vervult zijn functie door middel van een stabiele Hot-Water Layer met verwarmd, gezuiverd water boven het overige water van de pool. Het Hot-Water Layer System is voorzien van een eigen zuiveringssysteem, het Hot-Water Layer Purification Circuit, die het poolwater zuivert en de Hot-Water Layer binnen de geleidbaarheids- en troebelheidseisen houdt.
2. De Hot-Water Layer kan naast op de Reactor Pool ook worden toegepast op de Service Pool. Tijdens normaal bedrijf regelt het Hot-Water Layer System het waterniveau in beide pools.
3. Het Hot-Water Layer System bestaat uit de volgende hoofdcomponenten:
  - pompen;
  - elektrische verwarmingen;
  - afroomtank;
  - afroompomp;
  - leidingen en appendages.
4. Eén van twee parallel geschakelde pompen (2 x 100%) haalt onder het wateroppervlak poolwater uit de Reactor Pool (en eventueel de Service Pool), dat vervolgens wordt gezuiverd in het Hot-Water Layer Purification Circuit. Na zuivering keert het water terug naar het Hot-Water Layer System en wordt het langs twee parallel geschakelde elektrische verwarmingen geleid. Tijdens normaal bedrijf zorgt één verwarming voor het op de juiste temperatuur brengen van het water, terwijl de andere reserve is. Indien gewenst (bijvoorbeeld bij opstarten) kunnen beide verwarmingen tegelijk in bedrijf zijn, waardoor de opwarmingstijd wordt geminimaliseerd. Na het op temperatuur brengen van het water wordt het via een diffusor in de Reactor Pool teruggevoerd.
5. Bij verhoogd poolwaterniveau kan water worden afgeroomd via de afroomtank waardoor drijvende verontreinigingen op het wateroppervlak worden verwijderd.
6. De zuigleiding van de circulatiepompen is op het Demineralized Water System aangesloten, zodat water voor de regeling van poolwaterniveau toegevoerd kan worden. De watertoevoer is voorzien van een debietmeting, zodat eventuele lekkage van de pools of aangesloten systemen kan worden gedetecteerd.

### 6.10.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het Hot-Water Layer System zorgt tijdens normaal reactorbedrijf voor een stabiele, gezuiverde Hot-Water Layer over de Reactor Pool en desgewenst ook over de Service Pool. Hierdoor wordt de aanwezigheid van radioactieve stoffen in deze laag beperkt en biedt dit een biologische

afscherming tegen gammastraling. De radioactieve stoffen die in het koelwater aanwezig kunnen zijn, zijn afkomstig van de reactorkern en de bestralingsinstallaties (zie ook Hoofdstuk 13).

2. Het Hot-Water Layer System zorgt tijdens normaal reactorbedrijf en storingen voor regeling van het koelwaterniveau in de Reactor Pool en Service Pool met inachtneming van verdamping en kleine lekkages.



# 7

## Veiligheids- voorzieningen



## 7.1 Inleiding

1. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de veiligheidsvoorzieningen van de PALLAS-reactor. Veiligheidsvoorzieningen zorgen er voor dat voldaan wordt aan de fundamentele veiligheidsfuncties en bewaken de reactorstatus op Veiligheidsniveaus 3a, 3b en 4 (zie hoofdstuk 2). Deze veiligheidsvoorzieningen zijn bedoeld om gepostuleerde gebeurtenissen met enkelvoudig en meervoudig falen te beheersen en te voorkomen dat deze escaleren naar ernstiger ongevalsscenario's. Mochten deze ernstige ongevallen zich toch voordoen dan dienen de veiligheidsvoorzieningen de gevolgen ervan te beperken met het doel de stralingsblootstelling van de bevolking, de PALLAS-medewerkers en het milieu binnen aanvaardbare grenzen te houden.
2. In de volgende paragrafen worden de veiligheidsvoorzieningen van de PALLAS-reactor behandeld:
  - afschakelen van de reactor (paragraaf 7.2);
  - afvoer van restwarmte (paragraaf 7.3);
  - insluiting van radioactief materiaal (paragraaf 7.4);
  - veiligheid van bestralingsactiviteiten (paragraaf **Error! Reference source not found.**);
  - bewaken van de reactorstatus (paragraaf 7.6).
3. Voor nadere informatie over de genoemde systemen, structuren en componenten verwijst dit hoofdstuk naar de systeem-specifieke hoofdstukken van dit veiligheidsrapport.

## 7.2 Afschakelen van de reactor

1. De veiligheidsvoorzieningen van de PALLAS-reactor met betrekking tot de fundamentele veiligheidsfunctie 'Beheersing van reactiviteit' dienen om de reactor af te schakelen en die langdurig in veilige, afgeschakelde toestand te houden. Deze voorzieningen zijn:
  - First Shutdown System;
  - First Reactor Protection System;
  - Second Shutdown System;
  - Second Reactor Protection System.
2. Voor meer informatie over het First Shutdown System en Second Shutdown System, zie hoofdstuk 5 en over het First Reactor Protection System en Second Reactor Protection System, zie hoofdstuk 8.

### 7.2.1 Afschakelsystemen

1. De PALLAS-reactor heeft twee onafhankelijke en redundante afschakelsystemen met een diverse werking: het First Shutdown System en het Second Shutdown System.

#### 7.2.1.1 First Shutdown System

1. Het First Shutdown System is in staat de reactor automatisch af te schakelen en de reactor langdurig in een veilige, afgeschakelde toestand te houden door alle Control Rods tegelijkertijd snel in de reactorkern te brengen. Het inbrengen van de Control Rods in de kern verhoogt de absorptie van de neutronen in de kern waardoor de kettingreactie stopt waarna in elke te verwachten situatie een veilige, afgeschakelde toestand gewaarborgd is.
2. Tijdens vermogensbedrijf worden de Control Rods in hun bedrijfspositie gehouden door elektromagneten, gevoed door de normale stroomvoorziening. Mocht de stroomvoorziening uitvallen, dan schakelt de reactor af door het First Shutdown System en zonder dat daar enige actie voor nodig is. De Control Rods vallen door de zwaartekracht in de reactorkern (principe van veilig falen, zie paragraaf 2.2.6) en bevindt de reactor zich in afgeschakelde toestand.
3. Het First Shutdown System is ontworpen om ongevallen te beheersen na een gepostuleerde gebeurtenis met enkelvoudig falen op Veiligheidsniveau 3a en draagt bij aan het beheersen van de scenario's op Veiligheidsniveau 3b mits het systeem tijdens deze scenario's beschikbaar is.

### 7.2.1.2 Second Shutdown System

1. Het Second Shutdown System schakelt de reactor af en houdt deze langdurig in een veilige toestand door de kleppen onderin de Reflector Vessel te openen en het zwaar water eruit te laten vloeien. Het zwaar water wordt onder invloed van de zwaartekracht afgevoerd naar een opslagtank. Door de verlaging van het zwaar water niveau in de Reflector Vessel neemt de neutronenreflectie af, waardoor meer neutronen uit de kern lekken. De reactiviteit van de reactorkern vermindert zodat de kettingreactie stopt waarna in elke te verwachten situatie een veilige, afgeschakelde toestand gewaarborgd is.
2. Tijdens normaal bedrijf worden de kleppen onderin de Reflector Vessel in hun bedrijfspositie met perslucht gesloten gehouden. Wanneer de druk van de perslucht te laag wordt, gaan de kleppen vanzelf open (principe van veilig falen).
3. Het Second Shutdown System is bedoeld om ongevallen te beheersen na een gepostuleerde gebeurtenis met meervoudig falen op Veiligheidsniveau 3b.

## 7.2.2 Reactorbeveiligingssystemen

1. Het First Reactor Protection System stuurt het First Shutdown System aan. Het Second Reactor Protection System initieert het Second Shutdown System en aanvullend ook het First Shutdown System.

### 7.2.2.1 First Reactor Protection System

1. Het First Reactor Protection System verzamelt de procesvariabelen om een gepostuleerde gebeurtenis met enkelvoudig falen te detecteren. Wanneer een Safety System Setting wordt bereikt, dan genereert het First Reactor Protection System een afschakelsignaal om het First Shutdown System te activeren. Bij een ongeval met verlies van koelwater (Veiligheidsniveau 3a) schakelt het First Reactor Protection System ook de pompen van de Primary- en Pools Cooling System af om koelwaterverlies uit de Reactor Pool en Service Pool te voorkomen.
2. Het First Reactor Protection System is bedoeld om ongevallen te beheersen na een gepostuleerde gebeurtenis met enkelvoudig falen op Veiligheidsniveau 3a en draagt bij aan het beheersen van de scenario's op Veiligheidsniveau 3b mits het systeem tijdens deze scenario's beschikbaar is.

### 7.2.2.2 Second Reactor Protection System

1. Het Second Reactor Protection System verzamelt de procesvariabelen om een gepostuleerde gebeurtenis met meervoudig falen te detecteren. Wanneer een Safety System Setting wordt bereikt of als falen van de bediening van het First Shutdown System wordt gedetecteerd, dan genereert het Second Reactor Protection System een afschakelsignaal om het Second Shutdown System te activeren. Ook stuurt het Second Reactor Protection System een afschakelsignaal naar het First Shutdown System. De Safety System Settings van het Second Reactor Protection System zijn verschillend van die van het First Shutdown System.
2. Het Second Reactor Protection System is ontworpen om ongevallen te beheersen na een gepostuleerde gebeurtenis met meervoudig falen op Veiligheidsniveau 3b.

## 7.3 Afvoer van restwarmte

1. Wanneer een gepostuleerde gebeurtenis optreedt, wordt de reactor door de in de paragraaf 7.2 beschreven veiligheidsvoorzieningen afgeschakeld, waarna nog altijd de opgewekte vervalwarmte in de reactorkern, de bestralingsfaciliteiten en de verbruikte splijtstof moet worden verwijderd. De veiligheidsvoorzieningen met betrekking tot de fundamentele veiligheidsfunctie 'Afvoer van warmte' zijn:
  - Reactor Pool;
  - Primary Cooling System;
  - Pools Cooling System;

- Long-term Pools Cooling System;
  - Alternative Secondary Cooling System;
  - Long-term Make-up Water System.
2. De Reactor Pool, de Service Pool, het Primary Cooling System en Pools Cooling System zorgen samen voor voldoende watervoorraad om gedurende 72 uur na het optreden van een gepostuleerde gebeurtenis de vervalwarmte uit de reactorkern, bestralingsfaciliteiten en verbruikte splijtstofelementen te kunnen afvoeren. Hiermee zullen de reactorkern, de bestralingsfaciliteiten en de verbruikte splijtstofelementen, zelfs in geval van een ongeval met verlies van koelwater (LOCA), niet droogvallen.
  3. De Reactor Pool is een open roestvrijstalen bassin ingebed in het beton van het reactorblok en gevuld met gedemineraliseerd licht water. De Reactor Pool maakt deel uit van het Primary Cooling System en het Pools Cooling System die gebruik maken van het water in de Reactor Pool om hun koelende functie te vervullen zowel bij geforceerde circulatie als bij natuurlijke circulatie.
  4. Tijdens en na alle gepostuleerde gebeurtenissen voert het Primary Cooling System de vervalwarmte van de reactorkern en de bestralingsfaciliteiten in de kern af door natuurlijke circulatie. Het Primary Cooling System houdt een deel van de radioactieve stoffen in het koelwater vast, wat de totale vrijzetting naar het Reactor Containment vermindert. Het Primary Cooling System levert meetsignalen aan het First Reactor Protection System en Second Reactor Protection System. Deze meetsignalen dienen voor monitoring en om alarmen en automatische acties te initiëren.
  5. Tijdens en na een gepostuleerde gebeurtenis voert het Pools Cooling System de restwarmte van de bestralingsfaciliteiten buiten de kern, de Pneumatic Facilities, de reflectorblokken en van de verbruikte splijtstofelementen af door natuurlijke circulatie. In het geval radioactieve materialen in het koelwater vrijkomen, houdt het koelwater passief een deel van deze materialen vast wat de totale vrijzetting naar het Reactor Containment vermindert. Het Pools Cooling System levert meetsignalen aan het First Reactor Protection System en Second Reactor Protection System om automatische acties te initiëren.
  6. Het Long-term Pools Cooling System en het Alternative Secondary Cooling System voorzien in een alternatieve wijze om de vervalwarmte uit de reactorkern, bestralingsfaciliteiten en verbruikte splijtstofelementen af te kunnen voeren.
  7. Na een ongeval met verlies van koelwater (LOCA) zorgt het Long-term Make-up Water System voor extra water om, na de genoemde 72 uur, het droogvallen van de kern, de bestralingsfaciliteiten, de reflectorblokken en verbruikte splijtstofelementen in de Reactor Pool en Service Pool voor langere tijd te voorkomen. Op basis van de zwaartekracht wordt het water van het Long-term Make-up Water System vanuit een waterreservoir naar de Reactor Pool geleid. Met de LOCA-bijvulpompen kan de koelperiode door het terugvoeren van gelekt koelwater verder worden verlengd.
  8. Voor meer informatie over de Reactor Pool, het Primary Cooling System, het Pools Cooling System, het Long-term Pools Cooling System, het Alternative Secondary Cooling System en het Long-term Make-up Water System, zie hoofdstuk 6.

## 7.4 Insluiting van radioactief materiaal

1. De veiligheidsvoorzieningen van PALLAS-reactor met betrekking tot de fundamentele veiligheidsfunctie "Insluiting van radioactief materiaal" zijn bedoeld om ervoor te zorgen dat na een gepostuleerde gebeurtenis op Veiligheidsniveau 3b en 4, lozingen naar het milieu voorkomen worden of beperkt blijven. De bedoelde insluiting wordt verzorgd door het Reactor Containment system en het Hot Cell Containment system.
2. Het Reactor Containment system bestaat uit de volgende systemen, structuren en componenten:
  - Reactor Containment als onderdeel van het Reactor Building;
  - Reactor Containment doorvoeringen;

- Reactor Building Ventilation System;
  - Ventilation Reconfiguration System.
3. Het Hot Cell Containment system zorgt voor insluiting van de radioactieve materialen in de Hot Cells. Daarbij wordt een onderdruk in de Hot Cells onderhouden en filtert en monitort het Hot Cell Ventilation Circuit de lucht afkomstig uit de Hot Cells alvorens deze af te voeren via de ventilatieschacht.
  4. Het Reactor Containment is een voldoende luchtdicht en effectief van de omgeving geïsoleerd volume binnen het Reactor Building dat de vloeibare en gasvormige radioactieve bronnen die direct gerelateerd zijn aan de werking en het gebruik van de reactor bevat. Het ventilatiesysteem kan het inleken van lucht compenseren en de onderdruk ten opzichte van de buitenomgeving handhaven.
  5. De doorvoeringen van het Reactor Containment zoals deuren, ramen, apparatuurluiken en leidingen, ventilatieschachten en kabelgoten zijn voldoende luchtdicht om de insluiting van radioactief materiaal zeker te stellen.
  6. Tijdens normaal bedrijf filtert en monitort het Reactor Building Ventilation System de lucht afkomstig uit het Reactor Containment alvorens deze af te voeren via de ventilatieschacht. Hiermee wordt gewaarborgd dat geen ontoelaatbare emissies van radioactieve stoffen vrijkomen in het milieu. Het Reactor Building Ventilation System is aangesloten op de dieselgeneratoren van de Stand-by Power Supply.
  7. Na een gepostuleerde gebeurtenis op Veiligheidsniveaus 3b en 4 schakelt het Reactor Building Ventilation System over van normale bedrijfsmodus naar de ventilatie herconfiguratiemodus. In deze modus is de actieve luchttoevoer naar het Reactor Containment gestopt, zijn de isolatiekleppen van het Reactor Building Ventilation System gesloten en wordt er overgegaan op interne circulatie. Recirculatie en filtering van de lucht in het Reactor Containment borgt de leefbaarheid in de reactorhal.
  8. Het Reactor Building Ventilation System handhaaft de lichte onderdruk in het Reactor Containment en voert het equivalente luchtvolume dat het Reactor Containment binnen lekt af. De lucht die door de ventilatieschacht wordt afgevoerd, wordt gefilterd en door het Post-Accident Monitoring system gemeten en geregistreerd voordat die in het milieu vrijkomt. De onderdruk in het Reactor Containment is een effectieve en beproefde methode om ervoor te zorgen dat de luchtstroom van buiten het Reactor Containment naar binnen stroomt, waardoor luchtstromingen van potentieel verontreinigde ruimtes binnen het Reactor Containment naar minder verontreinigde ruimtes daarbuiten of naar het milieu worden vermeden. Ongefilterde lozingen worden hiermee voorkomen.
  9. Omschakeling naar de ventilatie herconfiguratiemodus gebeurt door het Ventilation Reconfiguration System als deze een hoog stralingsniveau in de luchtafvoerkanalen detecteert. Het Ventilation Reconfiguration System stuurt een automatisch signaal naar het Reactor Building Ventilation System om van de normale bedrijfsmodus naar deze modus over te schakelen.
  10. In het uitzonderlijke geval van een totale uitval van stroomvoorziening (Veiligheidsniveaus 3b en 4) zal de ventilatie stoppen en zal de druk binnen het Reactor Containment door opwarming langzaam iets toenemen. De uitgezette lucht zal passief via de filters en de ventilatieschacht worden afgevoerd.
  11. Na alle gepostuleerde gebeurtenissen houdt het Reactor Containment de lozing van radioactieve stoffen in het milieu binnen de geldende criteria door het vrijkomen van luchtgedragen radioactief materiaal te voorkomen of te beperken.
  12. Voor meer informatie over het Reactor Containment system, het Reactor Building Ventilation System en het Hot Cell Ventilation Circuit, zie hoofdstuk 4. Voor meer informatie over het Ventilation Reconfiguration System, zie hoofdstuk 8.

## 7.5 Veiligheid van de bestralingsactiviteiten

1. Het Irradiation Protection System is een veiligheidsvoorziening om gepostuleerde gebeurtenissen gerelateerd aan de bestralingsactiviteiten, die de integriteit van de reactorkern kunnen bedreigen, te beheersen.
2. Voor elke bestralingsactiviteit zijn de van belang zijnde veiligheidsvariabelen en bijbehorende limieten bepaald, die de basis vormen voor de instellingen van het Irradiation Protection System. De veiligheidsvariabelen worden met sensoren direct bij de bestralingsfaciliteiten gemeten. Als de variabelen de instellingen van het Irradiation Protection System overschrijden stuurt deze een signaal aan het First Reactor Protection System om de reactor af te schakelen.
3. Voor meer informatie over het Irradiation Protection System, zie hoofdstuk 8.

## 7.6 Bewaking van de reactorstatus

1. De bewaking van de reactorstatus gebeurt vanuit de Main Control Room. Mocht deze niet beschikbaar zijn, dan gebeurt dit vanuit de Supplementary Control Room. Het ontwerp van beide Control Rooms is zodanig dat ze na een gepostuleerde begingebuurtenis of na het optreden van een intern of extern gevaar niet tegelijkertijd onbruikbaar kunnen zijn.
2. De veiligheidsvoorzieningen die nodig zijn om de reactorstatus op Veiligheidsniveau 3a, 3b en 4 te bewaken zijn:
  - Main Control Room Ventilation Circuit;
  - Supplementary Control Room Ventilation Circuit;
  - Post-Accident Monitoring system;
  - noodstroomvoorziening van het Post-Accident Monitoring system (Uninterruptible Power Supply).
3. De leefbaarheid in de Main Control Room is er op gebaseerd dat deze ontworpen is als een brandcompartiment met branddetectie en blusvoorziening, en bestand is tegen de ontwerpbasis aardbeving. Verder is deze voorzien van bewaking van het interne stralingsniveau en ventilatie.
4. Het Main Control Room Ventilation Circuit zorgt voor de ventilatie van de Main Control Room. Het bestaat uit een ventilatie- en recirculatiesysteem dat verse lucht van buiten betreft, warmte uit de Main Control Room afvoert en deze ten opzichte van de omgeving licht op overdruk houdt. Als radioactieve besmetting, rook of giftige gassen in de luchttoevoerleiding worden gedetecteerd, wordt de luchtinlaat geïsoleerd en gaat de ventilatie over op recirculatie. Na uitval van de normale stroomvoorziening is de leefbaarheid in de Main Control Room voor ruim 10 uur gewaarborgd.
5. Als de leefbaarheid van de Main Control Room in gevaar komt, nemen de reactoroperators de controle van de reactor over in de Supplementary Control Room. De leefbaarheid van de Supplementary Control Room is gewaarborgd voor de volgende interne en externe gebeurtenissen; interne brand, interne overstroming, aardbeving, radiologische gebeurtenissen in de installatie en op het terrein en door mensen veroorzaakte gebeurtenissen.
6. Het Supplementary Control Room Ventilation Circuit zorgt voor de ventilatie van de Supplementary Control Room. Het systeem is vergelijkbaar met het Main Control Room Ventilation Circuit, maar voorzien van twee aparte luchtinlaten aan tegenoverliggende zijden van het Reactor Building. Bij detectie van radioactieve besmetting, rook of giftige gassen in één van de luchtinlaten kan worden omgeschakeld naar de tegenoverliggende luchtinlaat, of worden overgeschakeld op recirculatie. De Supplementary Control Room Ventilation Circuit is aangesloten op Standby Power Supply (dieselgenerator).
7. Het Post-Accident Monitoring system monitort tijdens en na een ongeval de status van de reactor en de borging van de fundamentele veiligheidsfuncties (beheersen van reactiviteit, afvoer van warmte en insluiting van radioactief materiaal). De instrumenten voor monitoring en ondersteuning van het Post-Accident Monitoring system verschaffen de aanwezige medewerkers informatie om de gevolgen van ongevallen te beperken en escalatie daarvan te voorkomen. Het

waarschuwt operators om veiligheidsmaatregelen te nemen, wanneer er een risico dreigt op blootstelling aan straling of wanneer er de noodzaak is de installatie te ontruimen.

8. Aangezien het Post-Accident Monitoring system zijn bewakingsfunctie niet kan uitvoeren zonder stroomtoevoer naar het systeem en de bijbehorende instrumentatie, is deze voorzien van een onafhankelijke Uninterruptible Power Supply.
9. Voor meer informatie over de Main Control Room, de Supplementary Control Room en het Post-Accident Monitoring system zie hoofdstuk 8.

# 8

## Reactor- instrumentatie en regeling





## 8.1 Inleiding

1. Dit hoofdstuk beschrijft het ontwerp en de belangrijkste kenmerken van de veiligheids- en veiligheid gerelateerde instrumentatie- en regelsystemen (I&C-systemen) van de PALLAS-reactor. Dit zijn:
  - First Reactor Protection System (FRPS) (zie paragraaf 8.3);
  - Second Reactor Protection System (SRPS) (zie paragraaf 8.4);
  - Irradiation Protection System (IPS) (zie paragraaf 8.5);
  - Post-Accident Monitoring system (PAM) (zie paragraaf 8.6);
  - Ventilation Reconfiguration System (VRS) (zie paragraaf 8.7);
  - Reactor Control and Monitoring System (RCMS) (zie paragraaf 8.8);
  - Irradiation Control and Monitoring System (ICMS) (zie paragraaf 8.9);
  - Neutronic Instrumentation System (NIS) (zie paragraaf 8.10);
  - Radiation Monitoring System (RMS) (zie paragraaf 8.11);
  - Procesinstrumentatie (zie paragraaf 8.12);
  - Main Control Room (MCR) (zie paragraaf 8.13);
  - Supplementary Control Room (SCR) (zie paragraaf 8.14).
2. Paragraaf 8.2 geeft een algemene beschrijving van de systemen en van de algemene kenmerken, zoals de veiligheidsklassering. In de paragrafen 8.3 tot en met 8.14 worden de afzonderlijke I&C-systemen behandeld.

## 8.2 Samenvattende beschrijving

### 8.2.1 Algemene beschrijving

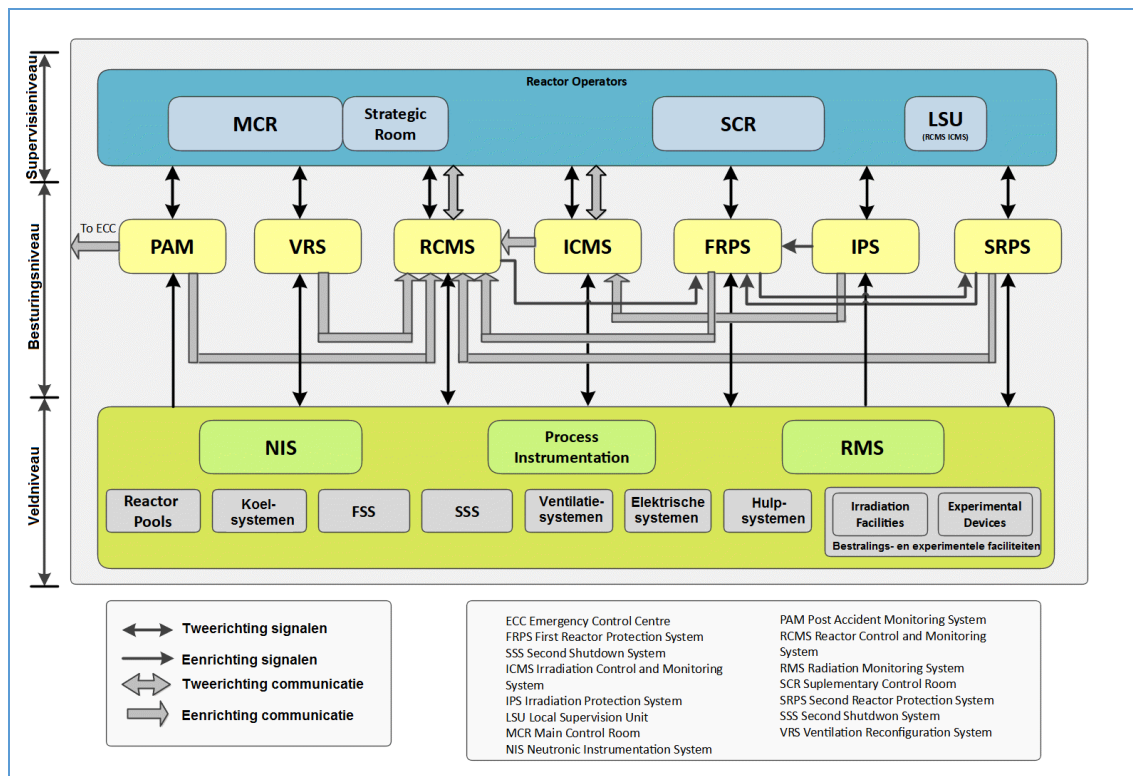
1. De belangrijkste functies van de I&C-systemen zijn:
  - Het meten van parameters die relevant zijn voor de veiligheid van de reactor en het monitoren van de status van de reactor;
  - Het uitvoeren van automatische procescontrole;
  - Het uitvoeren van automatische veiligheidsacties om de fundamentele veiligheidsfuncties te waarborgen;
  - Het verschaffen van informatie aan operators op basis waarvan zij in staat zijn om beslissingen te nemen tijdens storingen en ongevalscondities;
  - Het voorzien in handmatige besturing van de reactor door operators en manieren waarop operators de reactor kunnen afschakelen.
2. PALLAS-reactor heeft de volgende veiligheids (gerelateerde) I&C-systemen, van elk waarvan een zeer korte (beperkte) omschrijving is gegeven:
  - First Reactor Protection System (FRPS): initieert afschakeling van de reactor door middel van de regelstaven (zie verder paragraaf 8.3);
  - Second Reactor Protection System (SRPS): initieert afschakeling van de reactor, op een andere wijze dan het First Reactor Protection System (zie verder paragraaf 8.4);
  - Irradiation Protection System (IPS) schakelt de reactor af bij gebeurtenissen in de bestralingsfaciliteiten (zie verder paragraaf 8.5);
  - Post-Accident Monitoring system (PAM) verschaft informatie aan de operators ten behoeve van de fundamentele veiligheidsfuncties tijdens ongevallen (zie verder paragraaf 8.6);
  - Ventilation Reconfiguration System (VRS) beperkt/voorkomt radioactieve emissies via de ventilatie-afvoer door herconfiguratie van het Reactor Building Ventilation System (zie verder paragraaf 8.7);
  - Reactor Control and Monitoring System (RCMS) geeft de veiligheidsrelevante parameters weer en houdt deze binnen de bedrijfsvoeringsgrenzen (zie verder paragraaf 8.8);

- Irradiation Control and Monitoring System (ICMS) geeft informatie van de bestralingsfaciliteiten (zie verder paragraaf 8.9);
- Neutronic Instrumentation System (NIS) voorziet het RCMS, FRPS, SRPS en PAM van neutronenflux- en vermogensmetingen (zie verder paragraaf 8.10);
- Radiation Monitoring System (RMS) verstrekt stralingsmetingen boven de Reactor Pool aan het First Reactor Protection System om een reactorsnelafschakeling te initiëren via het First Shutdown System en stralingsmetingen in ventilatiesystemen (zie verder paragraaf 8.11);
- Procesinstrumentatie verzorgt metingen van procesparameter zoals druk, debiet, temperatuur, kleppositie, vloeistofniveau en vloeistofgeleiding (zie verder paragraaf 8.12);
- Main Control Room (MCR) de controlekamer van waaruit operationele- en monitoringsactiviteiten van de reactor- en productiesystemen worden uitgevoerd (zie verder paragraaf 8.13);
- Supplementary Control Room (SCR) een alternatieve controlekamer waarin de reactor kan worden afgeschakeld en in een veilige toestand kan worden gebracht en gehouden, in geval de MCR ontoegankelijk of onbruikbaar is (zie verder paragraaf 8.14);

## 8.2.2 I&C-architectuur

1. De functionele I&C-architectuur is opgedeeld in drie verschillende niveaus, zoals weergegeven in Figuur 8-1 en zijn gebaseerd op veldniveau, besturingsniveau en supervisieniveau:
  - Het veldniveau bestaat uit de primaire input/output-signalenverwerking van de Neutronic Instrumentation System (NIS), Radiation Monitoring System (RMS) en de procesinstrumentatie.
  - Het besturingsniveau is samengesteld uit de regel-algoritmen en logica-uitvoering van het First Reactor Protection System (FRPS), Second Reactor Protection System (SRPS), Irradiation Protection System (IPS), Post-Accident Monitoring System (PAM), Ventilation Reconfiguration System (VRS), Reactor Control and Monitoring System (RCMS) en Irradiation Control and Monitoring System (ICMS).
  - Het supervisieniveau bestaat uit alle interacties tussen operators en de I&C-systemen die zich bevinden in de Main Control Room (MCR), Supplementary Control Room (SCR) en Local Supervision Units (LSU's, dit zijn units op verschillende locaties binnen de faciliteit waarop specifieke control en monitoring plaatsvindt).

Figuur 8-1: Instrumentatie en regeling - Algemeen schema



## 8.2.3 Algemene kenmerken

### 8.2.3.1 Concept van gelaagde veiligheid

1. De I&C-systemen dragen bij aan het concept van gelaagde veiligheid met systemen op elk van de veiligheidsniveaus 1 t/m 5 zoals aangegeven in onderstaande Tabel 8-1.

Tabel 8-1: Ondersteuning van I&C-systemen bij de niveaus van gelaagde veiligheid

Gelaagd veiligheidsniveau	Ondersteund door	Omschrijving
Veiligheids-niveau 1	Reactor Control and Monitoring System	Normaal bedrijf en preventie van storingen De automatische regelkringen en de handmatige bediening maken een stabiele werking van de reactor en de bestralingsfaciliteiten mogelijk. Het RCMS levert informatie waarmee de status van de installaties en processen duidelijk wordt weergegeven.
Veiligheids-niveau 2	Reactor Control and Monitoring System	Beheersing van storingen en preventie van escalatie Het RCMS neemt vroegtijdige maatregelen om storingen te beperken. Begrenzingen zijn aangebracht om escalatie naar veiligheidsniveau 3 te voorkomen.
Veiligheids-niveau 3	3 a First Reactor Protection System,	Beheersing van enkelvoudig falen om het vrijkomen van straling te beperken en preventie van escalatie Op dit niveau wordt de reactor afgeschakeld (en bij lekkage ook pompen). Informatie en alarmen van de veiligheidsparameters worden gegeven.
	3 b Second Reactor Protection System, Ventilation Reconfiguration System	Beheersing van meervoudig falen om het vrijkomen van straling te beperken en preventie van escalatie De reactor wordt afgeschakeld en het ventilatiesysteem wordt opnieuw geconfigureerd. Informatie over de veiligheidsparameters wordt gegeven.
Veiligheids-niveau 4	Ventilation Reconfiguration System	Beheersing om het vrijkomen van straling te beperken. Het ventilatiesysteem wordt opnieuw geconfigureerd. Informatie wordt verstrekt om de operators in staat te stellen de invulling van de fundamentele veiligheidsfuncties (FSF) te evalueren tijdens ongevalssituaties.
Veiligheids-niveau 5	Informatie van Post-Accident Monitoring System aan het Emergency Control Centre	Beperken van de gevolgen van significante lozingen van radioactief materiaal. Het Emergency Control Centre (ECC) ontvangt signalen vanuit het PAM.

- Systemen, die functies op verschillende veiligheidsniveaus uitvoeren, worden onafhankelijk van elkaar uitgevoerd door middel van functionele, fysieke en elektrische scheiding. Zo zijn de sensoren ten behoeve van het First- en het Second Reactor Protection System onafhankelijk van elkaar. Verder gebruiken beide systemen verschillende meetprincipes en verschillende (diverse) technologie.

### 8.2.3.2 Veiligheidsklassering

- De I&C-systemen zijn geklasseerd op basis van hun belang voor de veiligheid, zoals weergegeven in Tabel 8-2. De methode voor veiligheids- en seismische klassering van structuren, systemen en componenten wordt in hoofdstuk 2 behandeld.

Tabel 8-2: Veiligheidsklassering van I&C systemen

Installatieonderdeel	Veiligheidsklasse	Seismische klasse
<ul style="list-style-type: none"> <li>• First Reactor Protection System</li> <li>• Second Reactor Protection System</li> <li>• Irradiation Protection System</li> <li>• Neutronic Instrumentation System (deels)</li> <li>• Radiation Monitoring System (deels)</li> </ul>	1	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Post-Accident Monitoring System</li> <li>• Ventilation Reconfiguration System</li> <li>• Neutronic Instrumentation System (deels)</li> <li>• Radiation Monitoring System (deels)</li> <li>• Main Control Room</li> <li>• Supplementary Control Room</li> </ul>	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor Control and Monitoring System</li> <li>• Irradiation Control and Monitoring System</li> </ul>	2	2

### 8.2.3.3 Verificatie en validatie

1. Tijdens de ontwikkeling en implementatie van I&C-systemen is een Verificatie- en Validatieproces (V&V) gevolgd. Verificatie vindt plaats door testen of analyses gedurende de afzonderlijke softwareontwikkelingsfasen. De validatie wordt na elke fase tijdens de ontwikkeling en implementatie uitgevoerd om ervoor te zorgen dat het onderdeel of het systeem de functies uitvoert waarvoor het is ontworpen.

### 8.2.3.4 Technologische veroudering van apparatuur

1. De snelle ontwikkeling in elektronische technologie is een kritische factor in de keuze van de I&C-apparatuur. Voor de selectie van systemen en componenten wordt rekening gehouden met het op voorraad houden van reserveonderdelen en het selecteren van leveranciers met voldoende ondersteuning.
2. De upgrade van I&C-componenten wordt vergemakkelijkt doordat het ontwerp modulair is, schaalbaar, opgedeeld in niveaus en bestaat uit onafhankelijke redundancies.

### 8.2.3.5 Interactie tussen mens en systeem

1. De MCR en de SCR zijn ontworpen vanuit het oogpunt van bedienbaarheid en veiligheid, waarbij het ontwerp van alle systemen vanuit het menselijk oogpunt zijn bekeken (zie hoofdstuk 19). Hierbij zijn de (omgevings)omstandigheden bepaald waarbij de operators hun taken effectief en comfortabel kunnen uitvoeren.
2. Consoles en wandpanelen in de MCR en SCR visualiseren de operatorinterfaces met het First en Second Reactor Protection System en het Irradiation Protection System, waaronder veiligheidsrelevante parameters en commando's die worden uitgevoerd.
3. Het PAM stuurt signalen naar de MCR, de SCR en het Emergency Control center zodat operators de veiligheidsrelevante parameters en condities kunnen monitoren. Alle veiligheidsinformatie die voor de operator relevant is, wordt getoond via wandpanelen en speciale displays in de controlekamers.

## 8.3 First Reactor Protection System

### 8.3.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

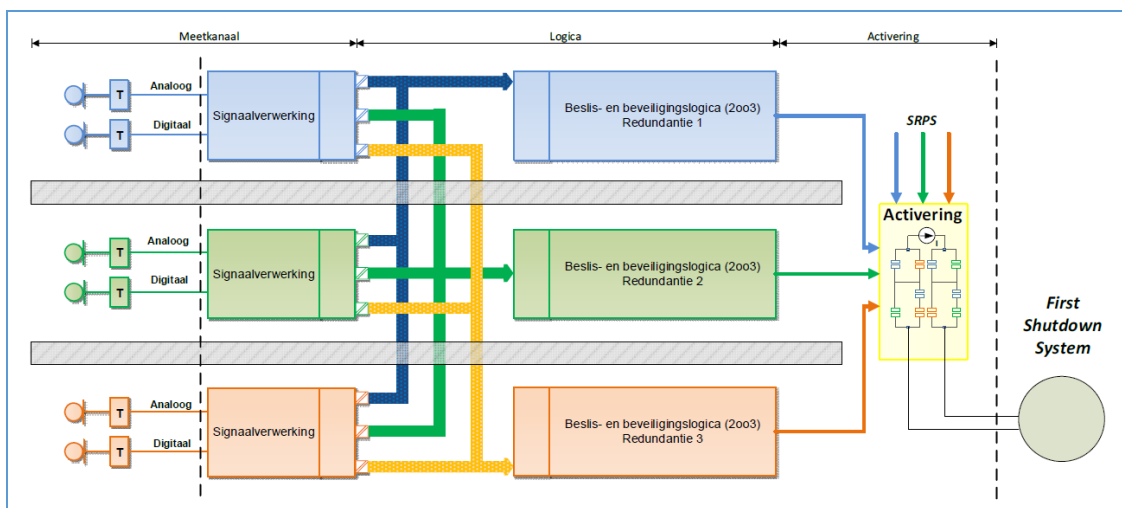
1. Het First Reactor Protection System (FRPS) draagt als volgt bij aan het vervullen van twee fundamentele veiligheidsfuncties:

- beheersing van de reactiviteit: initiëren van veilige afschakeling van de reactor tijdens een gepostuleerde gebeurtenissen met enkelvoudig falen;
  - afvoer van warmte: afschakelen van de pompen van het Primary en Pool Cooling System om koelwaterinventaris van de Pools te behouden.
2. Het FRPS heeft tot doel bescherming te bieden tegen gepostuleerde gebeurtenissen met enkelvoudig falen (veiligheidsniveau 3a). Het is in alle bedrijfstoestanden operationeel.
  3. Het FRPS heeft drie redundanties die fysiek, elektrisch en functioneel onafhankelijk van elkaar zijn. Op elke redundantie zijn meetkanalen aangesloten die veiligheidsparameters bewaken. Het initieert acties wanneer veiligheidsinstellingen in twee van de drie (2oo3) kanalen overschreden worden en is op deze wijze bestendig tegen initiërende gebeurtenissen zoals uitval van apparatuur of componenten, operationele fouten, foutieve commando's of manoeuvreerfouten. Voor de eerste 30 minuten van gepostuleerde gebeurtenissen met enkelvoudig falen (veiligheidsniveau 3a) zijn geen operatorhandelingen nodig om de reactor binnen de vastgestelde veiligheidsgrenzen te houden.

### 8.3.2 Systeembeschrijving

1. Het FRPS voert automatische beveiligingsacties uit wanneer veiligheidsgrenswaarden worden overschreden. Het activeert het First Shutdown System door middel van het in de reactorkern laten vallen van de regelstaven en schakelt, indien nodig, het Primary en Pools Cooling System af. Het is voor de operator niet mogelijk de automatische beveiligingsacties te stoppen. De operator kan de reactorafschakeling pas handmatig resetten nadat de beveiligingsacties zijn voltooid en de waarden weer normaal zijn.
2. Het FRPS is drievoudig redundant uitgevoerd, wat zorgdraagt voor een hoge betrouwbaarheid en beschikbaarheid van het systeem. Elke redundantie is onafhankelijk en bevat analoge en digitale meetkanalen en beslis- en veiligheidslogica (2oo3). Per veiligheidsparameter wordt één meetkanaal per redundantie toegewezen.
3. De digitale meetkanalen maken volledige signaalverwerking mogelijk inclusief zelfdiagnose, elektrische en fysieke signaalconsistentie en online analyse.
4. Een handmatige reactorafschakeling door middel van een drukknop in de Main Control Room, de Supplementary Control room of in de reactorhal leidt rechtstreeks tot afschakeling zonder tussenkomst van software.
5. De schematische architectuur van het FRPS op blokschema-niveau is weergegeven in Figuur 8-2.

Figuur 8-2: First Reactor Protection System (FRPS) – Schematische architectuur



### 8.3.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het FRPS is een drievoudig redundant systeem waarbij de redundanties zo veel mogelijk fysiek, elektrisch en functioneel onafhankelijk zijn. Zo kan een enkele storing, van welk type dan ook, niet verhinderen dat de andere redundanties hun veiligheidsfuncties kunnen uitvoeren. Elke redundantie wordt gevoed door een onafhankelijke UPS met een minimale autonomie van 60 minuten. De instrumentatie, logica en bedieningsapparaten van het FRPS zijn beschikbaar op veiligheidsniveau 1 tot en met veiligheidsniveau 3a.
2. Het principe van veilig falen is in het hele ontwerp van het FRPS meegenomen (zie paragraaf 2.2.6).
3. Diversiteit van het systeem is aangebracht door toepassing van een software gestuurd digitaal systeem en daarnaast analoge circuits die elektronische poorten en relais combineren. De activeringslogica is gebouwd met componenten van verschillende fabrikanten.
4. Om menselijke fouten te voorkomen voert het FRPS automatisch en gedurende 30 minuten zijn veiligheidsfuncties uit nadat een initiërende gebeurtenis is gedetecteerd.

## 8.4 Second Reactor Protection System

### 8.4.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Second Reactor Protection System (SRPS) heeft een belangrijke veiligheidsfunctie door het, indien nodig, initiëren van een automatische afschakeling van de reactor, op een andere wijze dan het First Reactor Protection System. Het SRPS heeft tot doel bescherming te bieden tegen gepostuleerde gebeurtenissen met enkelvoudig falen (veiligheidsniveau 3a) en gepostuleerde gebeurtenissen met meervoudig falen (veiligheidsniveau 3b). Het SRPS is onafhankelijk van het First Reactor Protection System en in alle bedrijfstoestanden (zowel operationele als ongevalscondities) operationeel.
2. Het SRPS draagt bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie "beheersing van de reactiviteit" door het afschakelen van de reactor tijdens een ongeval (veiligheidsniveaus 3a en 3b).
3. Het SRPS heeft drie redundanties die fysiek, elektrisch en functioneel onafhankelijk zijn van elkaar. Op elke redundantie zijn meetkanalen aangesloten die veiligheidsparameters bewaken. Het SRPS initieert acties wanneer veiligheidsinstellingen in twee van de drie (2oo3) kanalen overschreden worden. Voor de eerste 30 minuten na activering zijn geen operatorhandelingen nodig.

## 8.4.2 Systeembeschrijving

1. Het SRPS is in staat om de reactor op een ander manier af te schakelen dan het FRPS. Het SRPS activeert het Second Shutdown System, dat zorgt voor de afvoer van zwaar water uit de reflectortank. Wanneer de reflectortank is gevuld met zwaar water, reflecteert deze neutronen terug in de kern. Wanneer de tank wordt geleegd, ontsnapt een deel van de neutronen en wordt de reactor subkritisch en is daarmee afgeschakeld.
2. Het SRPS activeert naast het Second Shutdown System tevens het FRPS.
3. Activering van het Second Shutdown System vindt ook plaats wanneer een storing in de uitvoering van het First Shutdown System optreedt, wat duidt op een voorziene transiënt zonder afschakeling, wat een gepostuleerde gebeurtenis met meervoudig falen (veiligheidsniveau 3b) is.
4. Het is voor de operator niet mogelijk de automatische beveiligingsacties te stoppen. De operator kan de reactorafschakeling pas handmatig resetten nadat de beveiligingsacties zijn voltooid en de waarden weer normaal zijn.
5. Het SRPS heeft een drievoudige redundante architectuur op basis van bekabelde technologie. Elke redundantie is onafhankelijk en bevat analoge en digitale meetkanalen en beslis- en veiligheidslogica (2oo3). Per veiligheidsparameter wordt één meetkanaal per redundantie toegewezen. De schematische architectuur van het SRPS is overeenkomstig met die van het FRPS zoals weergegeven in Figuur 8-2.
6. De beslislogica initieert reactorafschakeling wanneer tenminste twee kanalen een afschakeling aanvragen. Daarnaast kan een operator op elk moment handmatig een beveiligingsactie uitvoeren (door op een drukknop te drukken) op de MCR- of SCR-console. Een handmatige afschakelactie is onafhankelijk van de beveiligingslogica.

## 8.4.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het SRPS is een drievoudig redundant systeem waarbij de redundanties zo veel mogelijk fysiek, elektrisch en functioneel onafhankelijk zijn. Zo kan een enkele storing, van welk type dan ook, niet verhinderen dat de andere redundanties hun veiligheidsfuncties kunnen uitvoeren. Elke redundantie van het SRPS wordt gevoed door een onafhankelijke UPS met een minimale autonomie van 60 minuten. De SRPS-instrumentatie, -logica en -bedieningsapparaten zijn beschikbaar op veiligheidsniveau 1 tot en met 3b.
2. Het principe van veilig falen is in het hele SRPS-ontwerp in aanmerking genomen (zie paragraaf 2.2.6).
3. De SRPS-technologie is divers en bestaat uit zowel analoge circuits als digitale systemen. De diversiteit ten opzichte van het FRPS is gegarandeerd doordat de SRPS-instrumentatie signalen levert van andere meetparameters, met behulp van andere meetprincipes of met instrumentatie van een andere fabrikant.
4. Om menselijke fouten te voorkomen voert het SRPS automatisch zijn veiligheidsfuncties uit nadat een initiërende gebeurtenis is gedetecteerd.

## 8.5 Irradiation Protection System

### 8.5.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Irradiation Protection System (IPS) draagt zorg voor het afschakelen van de reactor bij ongevallen in de bestralingsfaciliteiten.
2. Het IPS is drievoudig redundant en draagt bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie "insluiting van radioactief materiaal", door het beschermen van de experimenten met het activeren van het FRPS voor het afschakelen van de reactor.



3. De veiligheidsparameters van de bestralingsfaciliteiten worden door middel van speciale sensoren gemeten. Deze parameters en de instellingen van het veiligheidssysteem worden bepaald op basis van de veiligheidsanalyse van elk bestralingsactiviteit.

### 8.5.2 Systeembeschrijving

1. Als de veiligheidsparameters in de bestralingsfaciliteiten de instellingen van het veiligheidssysteem overschrijden genereert het IPS een signaal waardoor het First Shutdown System, via het FRPS, een reactorsnelafschakeling uitvoert. Informatie over veiligheidsparameters en IPS-status worden op speciale IPS-consoles en -panelen in de MCR en op de panelen in de SCR weergegeven. Informatie van het IPS wordt ook verzonden aan het Irradiation Control and Monitoring System (ICMS) voor monitoring en gegevensregistratie.
2. Het is voor de operator niet mogelijk de automatische beveiligingsacties te stoppen. De operator kan de reactorafschakeling pas handmatig resetten nadat de beveiligingsacties zijn voltooid en de waarden weer normaal zijn.
3. Het IPS wordt ingeschakeld als bestralingsfaciliteiten zijn geïnstalleerd en het instrumentarium is aangesloten op het IPS.
4. Het IPS heeft drie redundante meetkanalen met drie redundante beslis- en veiligheidslogica (2oo3). Elke redundantie is onafhankelijk en bestaat uit analoge en digitale metingen. Per parameter wordt één meetkanaal per redundantie toegewezen. De schematische architectuur van het IPS is overeenkomstig met die van het FRPS zoals weergegeven in Figuur 8-2.

### 8.5.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het IPS is drievoudig redundant waarbij de redundanties zo veel mogelijk fysiek, elektrisch en functioneel van elkaar onafhankelijk zijn. Zo kan een enkele storing, van welk type dan ook, niet verhinderen dat de andere redundanties hun veiligheidsfuncties kunnen uitvoeren. Elke redundantie van het IPS wordt gevoed door een onafhankelijke UPS met een minimale autonomie van 60 minuten.
2. Het principe van veilig falen is in het hele IPS-ontwerp in aanmerking genomen (zie paragraaf 2.2.6).
3. Om menselijke fouten te voorkomen voert het IPS automatisch zijn veiligheidsfuncties uit nadat een initiërende gebeurtenis is gedetecteerd.

## 8.6 Post-Accident Monitoring System

### 8.6.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Post-Accident Monitoring System (PAM) monitort de condities van de reactor en verschaft betrouwbare informatie aan de operators van de MCR en SCR om de fundamentele veiligheidsfuncties tijdens ongevalssituaties te kunnen beoordelen en waarmee bepaald kan worden of de veiligheidssystemen hun veiligheidsfuncties goed hebben uitgevoerd.
2. Het PAM voorziet in informatie waarmee de status van de barrière voor radioactieve stoffen kan worden beoordeeld en op basis waarvan herstelacties kunnen worden uitgevoerd of mitigerende maatregelen kunnen worden genomen.
3. Het PAM verschaft ook informatie aan het Emergency Control Centre (zie hoofdstuk 20).
4. In het ontwerp van het PAM zijn de volgende interne- en externe gevaren meegenomen: brand, overstroming, uitval van componenten, elektromagnetische interferentie en aardbevingen.

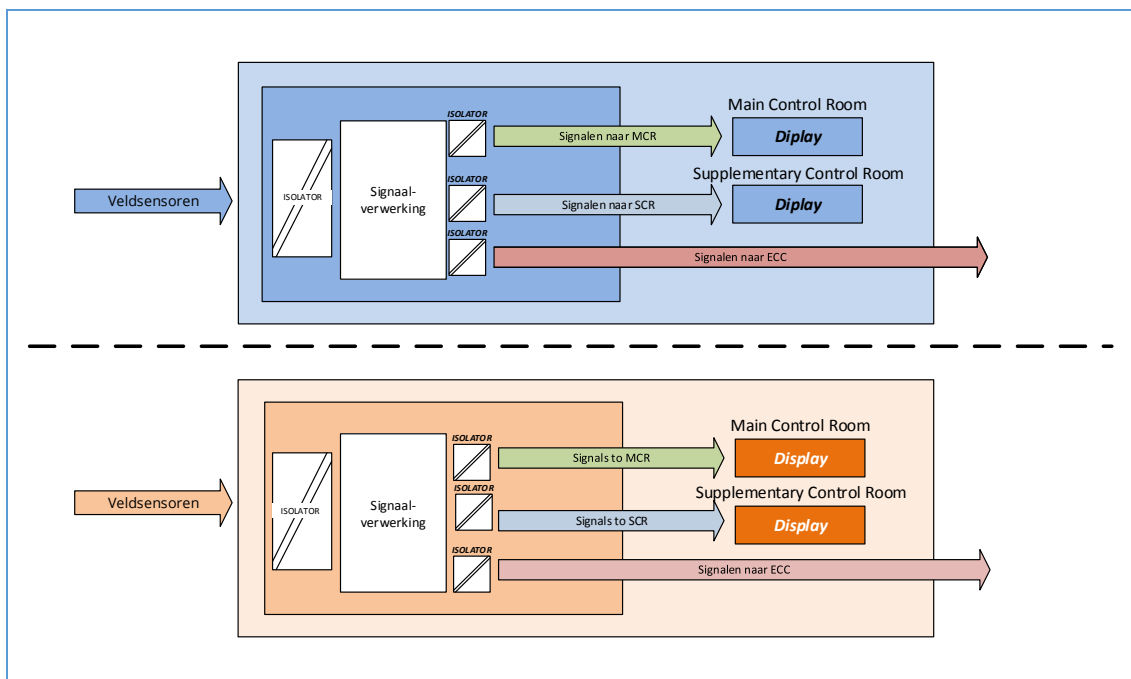
### 8.6.2 Systeembeschrijving

1. Alle veiligheidsinformatie wordt gepresenteerd via speciale redundante veiligheidsdisplays, één per redundantie, in zowel de MCR als de SCR. De veiligheidsparameters worden in sommige

gevallen gemeten in de processen, door middel van speciale veldsensoren. In andere gevallen worden de sensoren met andere systemen van veiligheidsklasse 1 gedeeld. Het PAM beschikt over een specifieke groep parameters die indicatief is voor gepostuleerde gebeurtenissen met enkelvoudig falen (veiligheidsniveau 3a).

2. Het PAM voorziet in specifieke middelen die gebruikt worden in ongevalsituaties en bij herstelacties. Het betreft onder meer:
  - het ontruimingsalarm in de reactorhal en MCR;
  - cameratoezicht;
  - noodcommunicatie.
3. Het PAM is redundant uitgevoerd, waarbij elke redundantie zowel analoge en digitale meetkanalen bevat. Per parameter wordt één meetkanaal per redundantie toegewezen. De schematische architectuur van het PAM is weergegeven in Figuur 8-3.
4. Het PAM activeert het ontruimingsalarm wanneer het waterpeil van de Reactor Pool daalt tot onder het waterniveau van de stijgbuis.
5. Het PAM stuurt signalen naar het Emergency Control Centre.

**Figuur 8-3: Post-Accident Monitoring System – Schematische architectuur**



### 8.6.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het PAM is een redundant systeem waarbij de redundanties zo veel mogelijk fysiek, elektrisch en functioneel onafhankelijk zijn. Nadelige effecten of storingen met betrekking tot interne en externe gevaren, omgevingsfactoren, elektrische transiënten en fysieke ongelukken in de ene redundantie zijn niet van invloed op de andere redundantie. Elke redundantie van het PAM wordt gevoed door een onafhankelijke UPS met een minimale autonomie van 10 uur.

## 8.7 Ventilation Reconfiguration System

### 8.7.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Ventilation Reconfiguration System (VRS) heeft als functie om automatisch het Reactor Building Ventilation System te herconfigureren zodat radioactieve emissies via de ventilatieafvoer

worden beperkt/voorkomen waardoor aan de radiologische eisen van de omgeving wordt voldaan.

2. Het VRS is digitaal en draagt bij aan het vervullen van de fundamentele veiligheidsfunctie "insluiting van radioactief materiaal", door het beperken of voorkomen van het vrijkomen van radioactieve stoffen in het milieu (veiligheidsniveau 3b en 4).

## 8.7.2 Systeembeschrijving

1. Het VRS detecteert en reageert op radioactieve emissies afkomstig van het Reactor Containment en van de Hot Cells bij de Service Pool (Radioisotope Transfer Hot Cell (RTHC) en Flexible Transfer Hot Cell, zie hoofdstuk 11)).

### 8.7.2.1 Reactor Containment

1. Het VRS herconfigureert het ventilatiesysteem in het Reactor Containment wanneer een te hoge stralingsactiviteit in de Containment Ventilation Circuit afvoerkanalen wordt gemeten of na een handmatige activering vanuit de MCR of SCR. Na activering van het VRS:
  - worden alle isolatieafsluiters van het Containment gesloten;
  - wordt de besturing overgenomen van diverse ventilatiecircuits;
  - wordt de luchtinlaatklep van het Experiments Service Room Ventilation Circuit gesloten.

### 8.7.2.2 Hot Cells

1. Het VRS herconfigureert de ventilatie in de Hot Cells wanneer een te hoge activiteit in de afvoerleidingen van het Hot Cells Ventilation Circuit gemeten wordt of na een handmatige activering vanuit de MCR of SCR. Na activering van het VRS:
  - sluit de luchtinlaatklep van beide cellen;
  - opent de drukregelklep van beide cellen;
  - wordt de besturing van de ventilatoren en afvoerkleppen van het systeem overgenomen.

### 8.7.2.3 Systeemarchitectuur

1. Het VRS is drievoudig redundant uitgevoerd voor een hoge beschikbaarheid.
2. Het VRS en PAM delen gemeenschappelijke instrumenten. Beide systemen hebben dezelfde veiligheids- en seismische klassering. De gedeelde instrumentatiesignalen worden door het VRS verworven en vervolgens doorgestuurd naar het PAM.

## 8.7.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het VRS is een drievoudig redundant systeem. Zo kan een enkele storing, van welk type dan ook, niet verhinderen dat de andere redundanties hun veiligheidsfuncties kunnen uitvoeren. Elke redundantie van het VRS wordt gevoed door een onafhankelijke UPS met een minimale autonomie van 60 minuten. De VRS-instrumentatie, -logica en -bedieningsapparaten zijn beschikbaar op veiligheidsniveaus 1 tot en met 4.
2. Het principe van veilig falen is in het hele VRS-ontwerp in aanmerking genomen (zie paragraaf 2.2.6).

## 8.8 Reactor Control and Monitoring System

### 8.8.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Reactor Control and Monitoring System (RCMS) beheert alle parameters van de reactor en geeft deze weer in de MCR, SCR, de Strategic Room en de LSU's. Hierdoor kan de reactor bedreven worden en is algemeen informatiebeheer mogelijk. Het RCMS houdt de reactorparameters binnen de bedrijfsvoeringsgrenzen en voorkomt daarmee dat veiligheidslimieten worden bereikt.

2. Het RCMS draagt als volgt bij aan het vervullen van de fundamentele veiligheidsfuncties op veiligheidsniveaus 1 en 2:
  - “beheersing van de reactiviteit” door:
    - het verstrekken van informatie over de status van de reactor kern, zoals het reactorvermogen, regelstaaf standen en temperaturen tijdens normaal bedrijf (veiligheidsniveau 1) en storingen (veiligheidsniveau 2);
    - het in staat te stellen van de operators om het reactorvermogen handmatig of automatisch te regelen (veiligheidsniveau 1);
    - te voorzien in vergrendelingen van de regelstaven (veiligheidsniveaus 1 en 2);
    - de reactor af te schakelen bij bepaalde storingen (veiligheidsniveau 2).
  - “afvoer van warmte” door:
    - het verstrekken van informatie over de koelsystemen tijdens normaal bedrijf (veiligheidsniveau 1) en storingen (veiligheidsniveau 2);
    - de besturing van koelsystemen (veiligheidsniveau 1);
    - het verminderen van het reactorvermogen bij bepaalde storingen (veiligheidsniveau 2).

### 8.8.2 Systeembeschrijving

1. Het RCMS verwerkt en registreert de informatie die wordt verkregen uit het veld en van de andere systemen. Het systeem omvat alle noodzakelijke automatische en handmatige functies om de reactor onder normale omstandigheden en bij storingen te besturen en monitoren.
2. Het RCMS voert mitigerende acties uit op basis van het gedrag van veiligheidsparameters om escalatie naar activering van het FRPS, SRPS of het bereiken van de veiligheidsinstellingen op veiligheidsniveau 3 te voorkomen.
3. Het RCMS voorziet in alarmeringen wanneer parameters hun grenswaarden bereiken en levert specifieke alarminformatie in de MCR.

### 8.8.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het RCMS is redundant uitgevoerd. Een enkele storing in een actieve component leidt niet tot een verminderde functie.
2. Het RCMS is ontworpen volgens het principe van veilig falen (zie paragraaf 2.2.6).
3. Het RCMS is fysieke gescheiden en functioneert onafhankelijk van andere I&C-systemen. Een onafhankelijke UPS met een minimale autonomie van 15 minuten voorziet indien nodig in de voeding van het RCMS.

## 8.9 Irradiation Control and Monitoring System

### 8.9.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Irradiation Control and Monitoring System (ICMS) verzamelt en verwerkt informatie van de bestralingsfaciliteiten en geeft deze weer op diverse communicatie-interfaces. Hierdoor worden de operators in staat gesteld om bestralingsfaciliteiten en processystemen te besturen en algemeen gegevensbeheer mogelijk te maken.
2. Het ICMS draagt bij niet bij aan een fundamentele veiligheidsfunctie voor de bescherming van de integriteit van de reactorkern.

### 8.9.2 Systeembeschrijving

1. Het ICMS is een computer gebaseerd systeem dat alle componenten bevat die nodig zijn om de bestralingsfaciliteiten en processystemen te kunnen besturen. De componenten betreffen controlecentra, procesinformatie, automatische procesbesturing, sensoren en actuatoren en de interface tussen de operator en deze systemen.

2. Het ICMS ontvangt informatie van de bestralingsfaciliteiten via signalen van veldinstrumenten, het IPS en RCMS en presenteert deze aan de operators in de MCR, SCR en LSU. Via het ICMS kunnen de operators de faciliteiten en systemen op afstand, zowel automatisch als handmatig, bedienen.

### 8.9.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het ICMS is fysiek gescheiden en onafhankelijk van andere I&C-systemen.
2. Het ICMS is redundant uitgevoerd. Een enkele storing in een actieve component van het ICMS resulteert niet in een verminderd functioneren van het systeem.
3. Het ICMS wordt gevoed door een onafhankelijke UPS met een minimale autonomie van 15 minuten.

## 8.10 Neutronic Instrumentation System

### 8.10.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Neutronic Instrumentation System (NIS) omvat alle kanalen die de neutronenflux van de reactorkern meten en één kanaal dat het globale kernvermogen meet. Elk kanaal wordt gevormd door een detector die is aangesloten op een elektronische eenheid.
2. Het Neutronic Instrumentation System draagt aan de fundamentele veiligheidsfunctie "beheersing van de reactiviteit" door:
  - het RCMS te voorzien van neutronenflux- en vermogensmetingen om de reactiviteit handmatig of automatisch te kunnen regelen op veiligheidsniveaus 1 en 2;
  - het FRPS te voorzien van neutronenfluxmetingen om de reactor via het First Shutdown System af te schakelen op veiligheidsniveau 3a;
  - het SRPS te voorzien van neutronenfluxmetingen om de reactor via het First en Second Shutdown System af te schakelen op veiligheidsniveau 3b;
3. Verder voorziet het Neutronic Instrumentation System het PAM van neutronenfluxmetingen om de neutronenflux te monitoren tijdens de verschillende bedrijfstoestanden en bij ongevalscondities op veiligheidsniveau 4.
4. Het Neutronic Instrumentation System voorziet het ICMS van neutronenfluxmetingen met de Self-Powered Neutron Detectors (SPND).

### 8.10.2 Systeembeschrijving

1. Het Neutronic Instrumentation System bestaat uit een set meetkanalen op basis van neutronen- en gammadetectors. De kanalen die gebruik maken van neutronendetectors meten de thermische neutronenflux. Het kanaal dat gebruik maakt van de gammadetector meet de gamma-activiteit die wordt veroorzaakt door het verval van stikstof-16 isotopen.
2. Het Neutronic Instrumentation System geeft meetsignalen met betrekking tot veiligheidsfuncties aan het FRPS, SRPS en PAM. Hiervoor zijn op het FRPS de volgende drievoudig redundante kanalen aangesloten: de Start-up channel en de Wide Range Linear Channel. Op het SRPS zijn de drievoudig redundante Power Channels aangesloten.
3. Het Neutronic Instrumentation System levert neutronenfluxinformatie aan het RCMS voor regelen en monitoringsdoeleinden. Op het RCMS zijn de Linear Auto-Range Channel en de Nitrogen 16 Channel aangesloten.
4. Tabel 8-3 geeft een overzicht van de kanalen van het Neutronic Instrumentation System.

Tabel 8-3: Neutronic Instrumentation System - Overzicht van de kanalen

Neutronen Instrumentatiekanaal	Bestemming van de signalen				
	FRPS	SRPS	PAM	RCMS	ICMS
Start-up channel	X			X	
Wide Range Log Channel	X		X	X	
Power Channel		X		X	
Linear Auto-Range Channel				X	
Nitrogen 16 Channel				X	
Self-Powered Neutron Detectors (SPND)					X

### 8.10.3 Veiligheidsbeschouwing

1. De NIS-onderdelen die zijn aangesloten op het FRPS en SRPS zijn drievoudig redundant uitgevoerd. De op het RCMS en ICMS aangesloten onderdelen zijn niet redundant.
2. Het principe van veilig falen” is in het hele ontwerp in aanmerking genomen (zie paragraaf 2.2.6).
3. Diversiteit is aangebracht door het toepassen van verschillende detectieprincipes. Detectie in de neutronen kanalen in het FRPS vindt op andere wijze plaats dan in het SRPS.

## 8.11 Radiation Monitoring System

### 8.11.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. Het Radiation Monitoring System (RMS) omvat de detectoren die ioniserende straling meten.
2. Het RMS draagt bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie “beheersing van de reactiviteit” door het verstrekken van stralingsmetingen boven de Reactor Pool aan het FRPS om een hoge stralingsdosis te detecteren.
3. Het RMS draagt bij aan de fundamentele veiligheidsfunctie “insluiting van radioactief materiaal” door het verstrekken van stralingsmetingen van het Reactor Building Ventilation System aan het VRS om een hoge stralingsdosis te detecteren.

### 8.11.2 Systeembeschrijving

1. Het RMS draagt bij aan het radiologische toezicht binnen het Nuclear Island Building. Daarnaast draagt het bij aan de nucleaire veiligheid van de reactor doordat het systeem informatie geeft over de algemene bedrijfsomstandigheden en prestaties van de systemen.
2. De volgende processen worden continu door het RMS gemonitord:
  - processen met vloeibare stromen en effluenten;
  - luchtventilatie en ventilatie-afvoer;
  - ruimte dosistempen binnen het Reactor Building;
  - besmetting van goederen en personeel.
3. Het RMS levert informatie die door andere systemen zoals het FRPS, PAM, VRS en RCMS wordt verzameld, waardoor zij in staat zijn om acties te ondernemen.
4. Het RMS levert signalen via drievoudige kanalen aan het FRPS en het VRS en levert enkelvoudige signalen aan het RCMS.

### 8.11.3 Veiligheidsbeschouwing

1. De detectoren monitoren het dosistempo en de aanwezigheid van vluchtige radioactieve stoffen op verschillende plaatsen in het Nuclear Island Building. Hiermee kunnen bedrijfsomstandigheden en prestaties van systemen worden gemonitord, kan indien nodig een

reactorafschakeling worden geïnitieerd en wordt de stralingsveiligheid van het personeel en de omgeving gegarandeerd.

## 8.12 Procesinstrumentatie

### 8.12.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. De procesinstrumentatie omvat sensoren en transmitters die parameters zoals druk, debiet, temperatuur, kleppositie, vloeistofniveau en vloeistofgeleiding van de verschillende reactor-processystemen meten.
2. De procesinstrumentatie levert de volgende signalen:
  - processignalen van koelsystemen aan het RCMS;
  - veiligheidssignalen aan het FRPS en SRPS om de reactor af te schakelen;
  - veiligheidssignalen aan het FRPS om de pompen van het Primary en Pool Cooling System af te schakelen. Dit draagt bij aan het behoud van koelwater in het Primary en Pool Cooling System in het geval van een lekkage;
  - processignalen van het Reactor Building Ventilation System aan het VRS;
  - processignalen aan het PAM;
  - processignalen van de Hot Cells aan het ICMS;
  - veiligheidssignalen aan het IPS.

### 8.12.2 Systeembeschrijving

1. Parameters van de processystemen worden gemeten en de signalen worden doorgegeven aan de besturings- of monitoringssystemen. Deze processystemen worden beschreven in betreffende hoofdstukken.
2. De voeding van de procesinstrumentatie wordt verzorgd door het besturingssysteem waarop het instrumentarium is aangesloten.
3. Het procesinstrumentatie levert signalen aan het FRPS, IPS en SRPS en aan het PAM, RCMS, ICMS en VRS.

### 8.12.3 Veiligheidsbeschouwing

1. De procesinstrumentatie voldoet aan de eisen die aan het bereik, de nauwkeurigheid en de reactietijd van de metingen zijn gesteld.
2. Voor elk instrument is het principe van veilig falen in het ontwerp opgenomen (zie paragraaf 2.2.6).
3. Het aantal redundant opgestelde instrumenten komt overeen met de redundantie van het systeem waarop het is aangesloten. Instrumenten van verschillende redundanties zijn zo veel mogelijk fysiek, elektrisch en functioneel onafhankelijk.

## 8.13 Main Control Room

### 8.13.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. De Main Control Room (MCR) is het operationele centrum van waaruit alle operationele- en monitoringsactiviteiten van de reactor- en productiesystemen worden uitgevoerd. Alle interfaces voor monitoring en besturing van de installatie bevinden zich in de hoofdconsole en de wandpanelen van de MCR. Bij het ontwerp van de MCR is rekening gehouden met menselijke factoren (zie hoofdstuk 19).
2. De MCR stelt het personeel in staat om de reactor en de productie veilig en efficiënt te bedienen en maatregelen te nemen om de reactor in een veilige toestand te brengen.

### 8.13.2 Systeembeschrijving

1. In het ontwerp van de MCR is rekening gehouden met menselijke factoren zoals de werkbelasting, mogelijk menselijk falen, reactietijd van de bediener en het minimaliseren van fysieke en mentale inspanningen.
2. De taken waarmee in het ontwerp van de MCR rekening is gehouden betreffen:
  - het veilig bedienen van de installatie gedurende alle bedrijfstoestanden en ongevalssituaties;
  - het effectief communiceren met de verschillende gebieden binnen het Nuclear Island Building gedurende alle bedrijfstoestanden en ongevalssituaties;
  - het toepassen van noodprocedures gedurende ongevalssituaties.
3. In het ontwerp van de MCR is rekening gehouden met stralingsniveaus, verlichting, temperatuur, luchtvochtigheid, geluid, stof en trillingen. Ook is rekening gehouden met omstandigheden die het gevolg zijn van interne gevaren (bv. brand of rook, toxische stoffen in de atmosfeer) en externe gevaren (bv. aardbevingen, overstromingen, extreme meteorologische omstandigheden en gevaren als gevolg van menselijk handelen).
4. De bezetting van de MCR en Supplementary Control Room (SCR) voor verschillende gebeurtenissen is weergegeven in Tabel 8-4.

**Tabel 8-4: Bezetting van de controlekamers bij verschillende gebeurtenissen**

Gebeurtenis	MCR	SCR
Evacuatie van de reactorhal	JA	JA
Gebiedsmonitoring dosis $\geq 10$ mSv/h in MCR	NEE	JA
Brand / rook / toxische gassen in MCR	NEE	JA
Brand / rook / toxische gassen in SCR	JA	NEE
Aardbeving $< SL2$	JA	JA
Overstroming	JA	NEE
Vliegtuigongeval	JA	JA

5. De locatie van de MCR is zo gekozen dat deze in noodgevallen bereikbaar is, dat er een vluchtroute is en dat de SCR bereikbaar is vanuit de MCR.
6. Toegangscontrole tot de MCR-ruimte voorkomt de toegang van onbevoegd personeel.

### 8.13.3 Veiligheidsbeschouwing

1. De I&C-apparatuur in de MCR is fysiek en elektrisch gescheiden van de apparatuur van de SCR.
2. Tijdens bedrijfscondities kunnen de operators de reactor besturen en monitoren via de RCMS en ICMS voor normaal bedrijf (veiligheidsniveau 1) en in geval van storingen (veiligheidsniveau 2).
3. Tijdens ongevalscondities kunnen de operators de reactor besturen en monitoren via de:
  - FRPS in het geval van gebeurtenissen met enkelvoudig falen (veiligheidsniveau 3a);
  - SRPS en VRS in het geval van gebeurtenissen met meervoudig falen (veiligheidsniveau 3b);
  - VRS in het geval van gepostuleerde kernsmeltongevallen (veiligheidsniveau 4).

## 8.14 Supplementary Control Room

### 8.14.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. De Supplementary Control Room (SCR) is een alternatieve controlekamer waarmee de reactor kan worden afgeschakeld en in een veilige toestand kan worden gebracht en gehouden, indien de MCR ontoegankelijk of onbruikbaar is. Alle bedieningsinterfaces voor monitoring en besturing



bevinden zich in de console en de wandpanelen. Bij het ontwerp van de SCR is rekening gehouden met interactie tussen mens en systeem, comfort en ergonomie.

2. De SCR stelt de operators in staat om de fundamentele veiligheidsfuncties onder zowel operationele als ongevalscondities, te kunnen monitoren en waarborgen.

### 8.14.2 Systeembeschrijving

1. Alle signalen en bedieningselementen die verband houden met de veiligheidsfuncties zijn aanwezig en worden duidelijk weergegeven aan de operator. Dit is identiek voor elke werkplek en toegankelijk vanaf elke werkplek.
2. De taken waarmee in het ontwerp van de SCR rekening is gehouden betreft een selectie van de uitgebreidere operationele taken van de MCR. De taken van de SCR betreffen:
  - monitoren en beheren van alarmen;
  - uitvoeren en bevestigen van een gecontroleerde reactor afschakeling;
  - activering van de First of Second Shutdown System;
  - behouden van een veilig afgeschakelde toestand van de reactor;
  - bedienen van de veiligheidsvoorzieningen;
  - controleren van de status van de barrières voor splijtingsproducten;
  - uitvoeren van noodprocedures.
3. De locatie van de SCR is zo gekozen dat deze in noodgevallen bereikbaar is en dat er een vluchtroute is.

### 8.14.3 Veiligheidsbeschouwing

1. De I&C-apparatuur in de SCR is fysiek en elektrisch gescheiden van de apparatuur van de MCR.
2. De SCR is zo ontworpen dat het operationele personeel wordt voorzien van nauwkeurige, volledige, relevante en tijdige informatie die hen in staat stelt de reactor af te schakelen en in een veilige toestand te brengen en te houden.

# 9

---

## Elektriciteits- voorziening



## 9.1 Inleiding

1. Dit hoofdstuk beschrijft de elektriciteitsvoorziening van de PALLAS-reactor en de bedrijfsvoering hiervan.
2. Paragraaf 9.2 geeft een globale beschrijving van het systeem voor elektriciteitsvoorziening.
3. In het elektrisch systeem kunnen, in overeenstemming met de verschillende voedingsmogelijkheden, drie deelsystemen onderscheiden worden. De configuratie en de bedrijfsvoering van deze delen worden in de paragrafen 9.3 tot en met 9.5 achtereenvolgens behandeld en omvatten:
  - Normal Power Supply (NPS) (paragraaf 9.3);
  - Standby Power Supply (SPS) (paragraaf 9.4);
  - Uninterruptible Power Supply (UPS) (paragraaf 9.5).

## 9.2 Samenvattende beschrijving

### 9.2.1 Algemene beschrijving

1. De elektriciteitsvoorziening voorziet de PALLAS-reactor van stroom voor alle bedrijfstoestanden.
2. De elektriciteitsvoorziening is niet noodzakelijk om de drie fundamentele veiligheidsfuncties te waarborgen in het geval van ongewone voorvallen of ongevalscondities. Bij het ontbreken ervan, schakelt de reactor zichzelf af en komt passieve koeling van de vervalwarmte op gang. Wanneer de elektriciteitsvoorziening beschikbaar is, draagt deze echter wel bij aan een betere ongevalsbeheersing door andere veiligheidssystemen van voeding te voorzien.
3. De elektriciteitsvoorziening omvat de volgende drie diverse en redundante elektrische deelsystemen:
  - Normal Power Supply (NPS);
  - Standby Power Supply (SPS);
  - Uninterruptible Power Supply (UPS).
4. De NPS bestaat uit transformatoren die worden gevoed door het externe net. Met een voltage van 21 kV voorziet dit in de stroomvraag onder normale bedrijfsomstandigheden.
5. Wanneer de NPS niet beschikbaar is, schakelt de reactor automatisch af. Het SPS voedt de systemen die daarna nog stroom nodig hebben. De SPS bestaat uit twee redundante en onafhankelijke dieselgeneratoren. De SPS heeft bovendien twee aansluitpunten voor een externe alternatieve wisselstroombron (AAC), voor het geval zowel het NPS als de twee dieselgeneratoren niet beschikbaar zijn. Omdat het opstarten van de dieselgeneratoren enige tijd in beslag neemt (enkele tientallen seconden), levert de UPS in die periode ononderbroken elektrisch vermogen aan systemen waarvoor een korte onderbreking van de voeding niet toegelaten is tot het moment dat de SPS in stroom voorziet.
6. Wanneer de NPS en SPS beiden niet beschikbaar zijn, wordt een beperkt aantal systemen door de UPS (vanuit de batterijen) gevoed.
7. Alle elektrische systemen en apparatuur die geaard moeten zijn, zijn aangesloten op een fijnmazig aardingsstelsel. Het Nuclear Island Building is voorzien van bliksembescherming dat is aangesloten op de aardingspunten.

### 9.2.2 Veiligheidsklassering

1. De hulpsystemen zijn geklasseerd op basis van hun belang voor de veiligheid. Deze klassering bepaalt op haar beurt de wijze waarop zij vervolgens ontworpen, gefabriceerd, geïnstalleerd en in bedrijf gesteld worden.
2. De klassering van de systemen is aangegeven in Tabel 9-1. De methode voor veiligheids- en seismische klassering van structuren, systemen en componenten wordt in hoofdstuk 2 behandeld.

Tabel 9-1: Veiligheids- en seismische klassering van het elektrische systemen

Installatieonderdeel	Veiligheids-klasse	Seismische klasse
NPS:		
• Voeding van systemen van klasse 1	1	1
• Voeding van systemen van klasse 2	2	1
SPS:		
• Voeding van systemen van klasse 1	1	1
• Voeding van systemen van klasse 2	2	1
• Dieselgeneratoren	2	1
UPS:		
• Voeding van klasse 1-systemen (UPS-RPS)	1	1
• Voeding van klasse 2-systemen (UPS-RCMS)	2	1
Veiligheidsaarding	2	2
Bliksembeveiliging	2	2

## 9.3 Normal Power Supply (NPS)

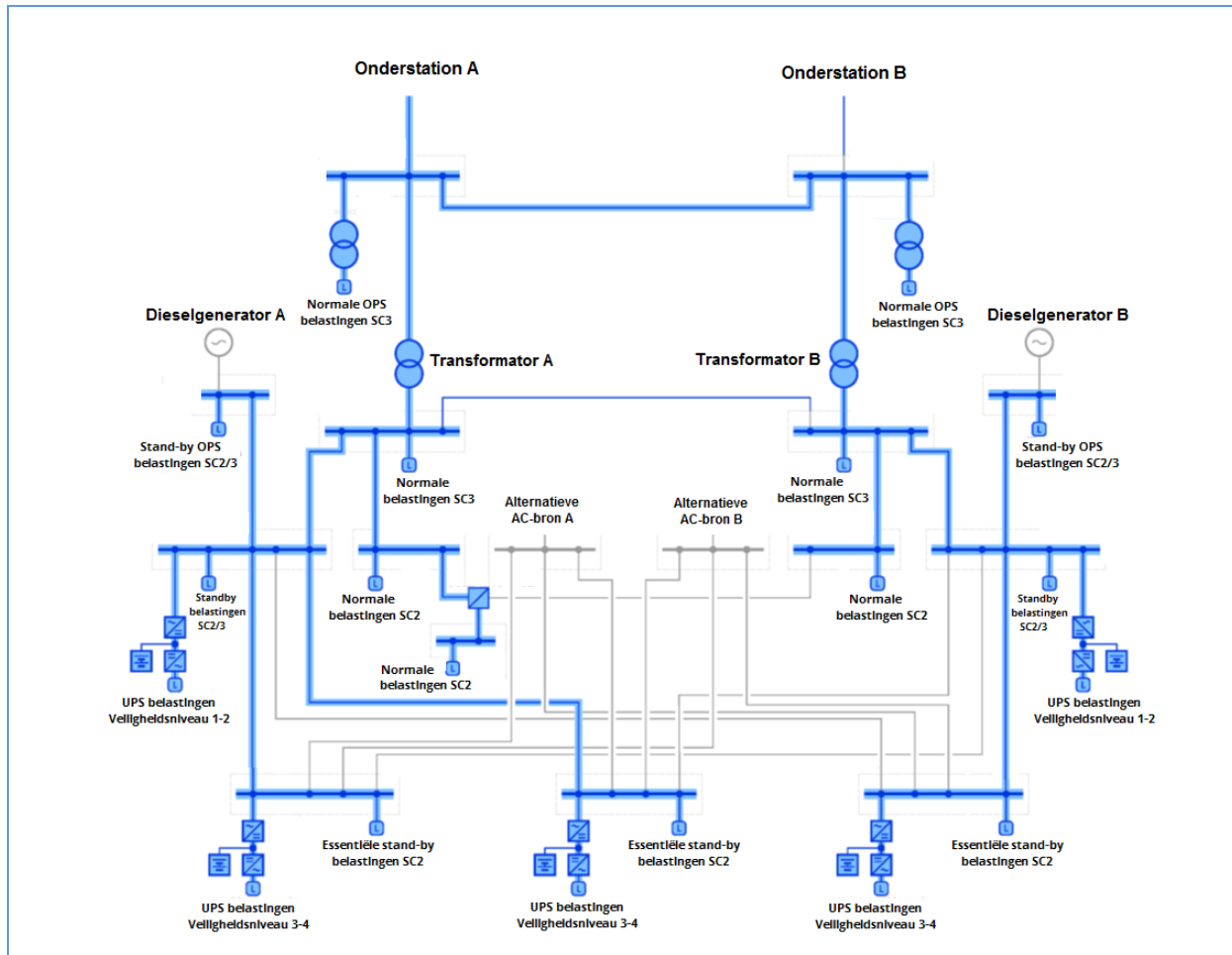
### 9.3.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. De NPS is niet noodzakelijk om de drie fundamentele veiligheidsfuncties in het geval van ongewone voorvallen of ongevalscondities te waarborgen.
2. De NPS is ontworpen om het benodigde elektrische vermogen te leveren tijdens normaal bedrijf en storingen (veiligheidsniveaus 1 en 2), met uitzondering van het wegvallen van het externe net.
3. De veiligheidsfunctie van de NPS is de onderbreking van de elektrische voeding van de primaire- en bassinkoelpompen (PCS/POCS) bij een lekkage in een koelsysteem (LOCA), zodat de lekkage wordt beperkt.

### 9.3.2 Systeembeschrijving

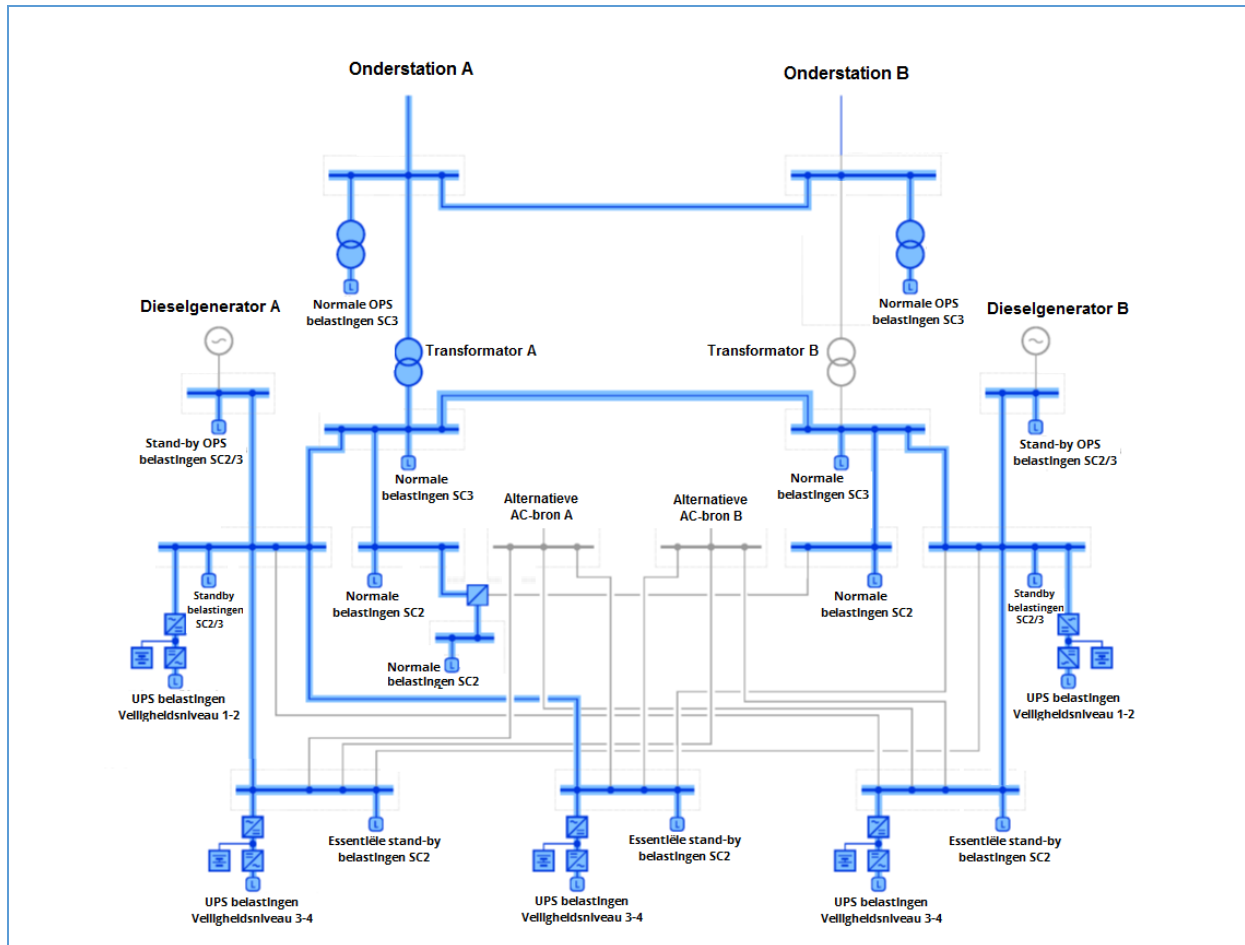
1. De NPS is afkomstig van twee redundante 21 kV, 3-fase, 50 Hz onderstations (A en B), die zijn aangesloten op twee hoogspanningsvoedingen van het externe net. Deze onderstations liggen op het PALLAS-terrein maar zijn eigendom en worden beheerd door de netbeheerder. Elk van hen is in staat om 100% van het elektrisch vermogen te leveren. Bij normale bedrijfsvoering is slechts één van de onderstations gevoed door het externe net, zie Figuur 9-1 waar alleen onderstation A wordt gevoed. De onderstations A en B zijn gekoppeld waardoor beiden worden gevoed.
2. De onderstations voeden twee hoogspanningsschakelborden, voor de elektriciteitsvoorziening van het Nuclear Island Building via twee schakelborden en de elektriciteitsvoorziening van de overige gebouwen (OPS). De schakelborden voeden twee redundante transformatoren waarbij elke transformator in staat is het Nuclear Island Building geheel te voeden. De NPS, SPS en UPS zijn gekoppeld en werken samen om de noodzakelijke installatieonderdelen tijdens normaal bedrijf van stroom te voorzien.
3. In Figuur 9-1 is de normale voorkeursmodus van het elektrische systeem met externe voeding aangegeven in blauw; alle systemen kunnen in deze modus van stroom worden voorzien.

Figuur 9-1: Schematische elektrische stroomverdeling bij normale externe elektriciteitsvoorziening



4. Wanneer één transformator niet beschikbaar is, wordt de elektriciteitsvoorziening overgenomen door de andere redundante en operationele transformator. In Figuur 9-2 is bij wijze van voorbeeld transformator B buiten gebruik. Transformator A levert stroom aan het onderliggende schakelbord. Door de gesloten koppeling wordt ook het B-schakelbord gevoed.
5. In de situatie waarin één transformator niet beschikbaar is, wordt de elektriciteitsvoorziening op vergelijkbare wijze aan de gebruikers geleverd als in de normale bedrijfsmodus en zijn de dieselgeneratoren uitgeschakeld.

Figuur 9-2: Schematische elektrische stroomverdeling bij externe elektriciteitsvoorziening met één niet-beschikbare transformator



### 9.3.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Om de betrouwbaarheid van de NPS te garanderen zijn voorzieningen getroffen voor de:
  - redundantie van de externe en interne elektriciteitsvoorziening van het Nuclear Island Building;
  - ruimtelijke scheiding van belangrijke redundante componenten, zoals transformatoren, hoogspanningsverdelers en hun bekabeling en hierbij ook in verschillende brandcompartimenten;
  - bescherming tegen overstromingen van de transformatorruimtes, hoogspanningsverdeelkasten en normale hoofdverdelers.
2. Een veiligheidsfunctie van de NPS is de onderbreking van de elektrische voeding van de primaire- en bassinkoelpompen (PCS/POCS) bij een lekkage in een koelsysteem (LOCA), zodat de lekkage wordt beperkt. Om bij een lekkage in een koelsysteem (LOCA) de primaire- en bassinkoelpompen (PCS/POCS) te stoppen, zijn redundante stroomonderbrekers in de NPS-schakelpanelen opgenomen. Om deze functie tijdens en na een interne of externe bedreiging beschikbaar te hebben, bevinden de betreffende installatiedelen zich op een locatie waar bescherming wordt geboden tegen vliegtuiginslag en overstromingen. Bovendien zijn ze aardbevingbestendig.

## 9.4 Stand-by Power Supply (SPS)

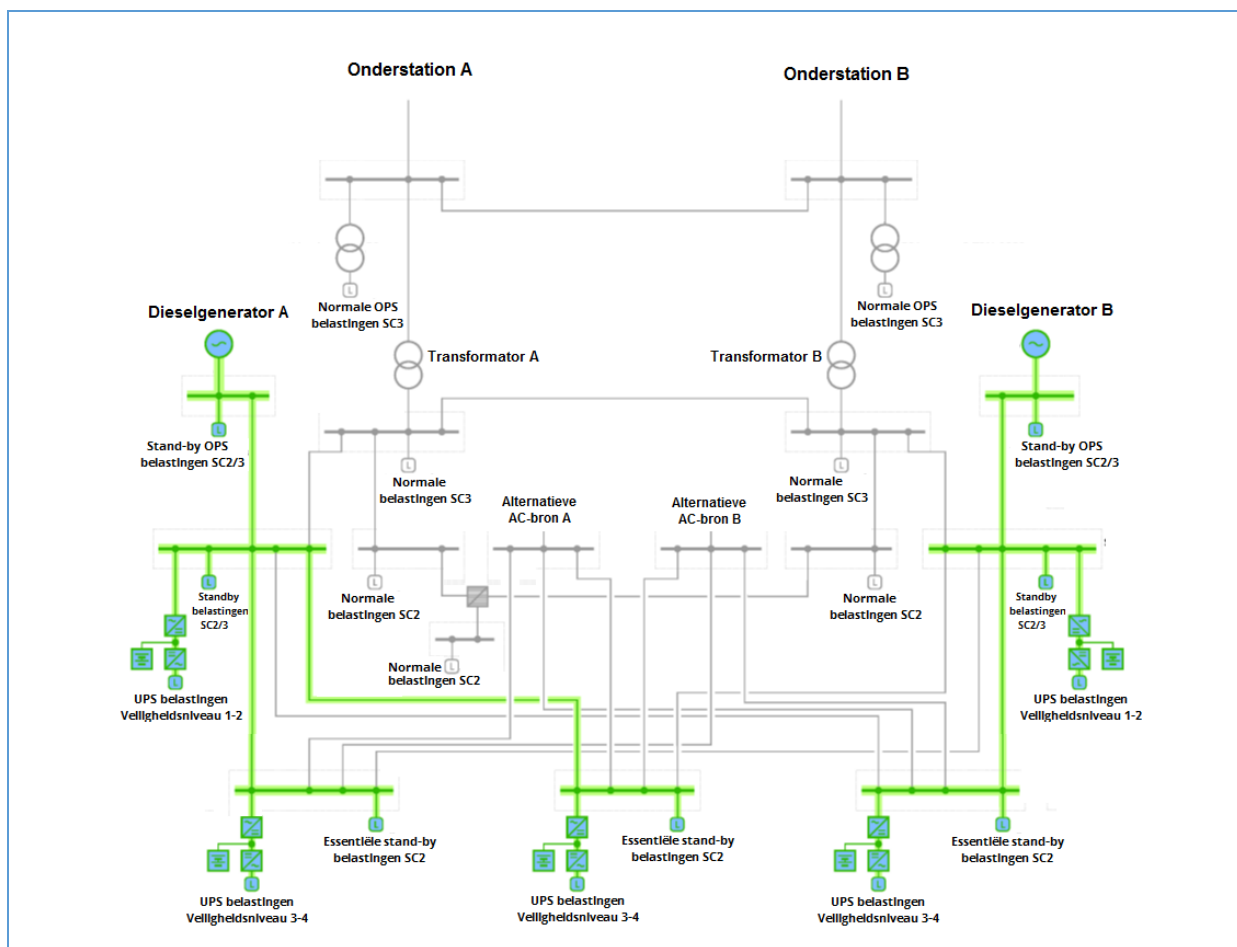
### 9.4.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. De SPS is niet noodzakelijk om de drie fundamentele veiligheidsfuncties te waarborgen in het geval van ongewone voorvallen of ongevalscondities.
2. De hoofdfunctie van de SPS is het voeden van veiligheidsklasse 2 en 3 systemen, indien de NPS niet beschikbaar is. De SPS is ontworpen om het benodigde elektrische vermogen te leveren tijdens storingen (veiligheidsniveau 2).

### 9.4.2 Systeembeschrijving

1. Om voldoende betrouwbaarheid te garanderen bestaat de SPS uit twee redundante dieselgeneratoren (A en B). Beide zijn afzonderlijk in staat om het maximale vermogen te leveren dat op elk moment nodig kan zijn om de stand-by-belastingen te voeden. Dit zijn alle belastingen die na uitval van de NPS nodig zijn om te functioneren, maar waarbij een korte onderbreking van de elektriciteitsvoorziening acceptabel is. Systemen waarvoor dit niet acceptabel is, zijn aangesloten op de UPS (zie paragraaf 9.5 van dit hoofdstuk).
2. De dieselgeneratoren zijn elektrisch onafhankelijk uitgevoerd en ruimtelijk gescheiden om falen door gemeenschappelijke oorzaak te voorkomen.
3. De dieselgeneratoren zijn tijdens en na een interne of externe gebeurtenis gedurende tenminste 72 uur beschikbaar. De dieselgeneratoren worden vanuit hoger gelegen dagtanks door middel van de zwaartekracht van brandstof voorzien. De dagtanks hebben een capaciteit van 4 uur voor continu gebruik. De dieselgeneratoren hebben bovendien ieder een eigen bulkbrandstoftank met voldoende capaciteit voor minimaal 72 uur elektriciteitsvraag.
4. De SPS beschikt ook over twee aansluitingen voor alternatieve AC-voedingsbronnen, voor het geval dat zowel de NPS als de dieselgeneratoren niet beschikbaar zijn. Eén aansluitpunt bevindt zich onder het overstromingsniveau, de andere erboven.
5. Als de NPS niet beschikbaar is, schakelt de reactor af (via het fail-safe principe) en worden de dieselgeneratoren van de SPS automatisch gestart en gekoppeld, waardoor de stand-by-belastingen van stroom worden voorzien. De systemen die door het SPS van stroom worden voorzien zijn in Figuur 9-3 in groen weergegeven.
6. In het geval van overbelasting van de dieselgeneratoren worden stroomonderbrekers automatisch geopend, waardoor de voeding van veiligheidsklasse 3 (SC3) systemen wordt onderbroken. Deze ontkoppeling van de belasting is gericht op het behoud van elektrische voeding van de veiligheidsklasse 2 (SC2) systemen.

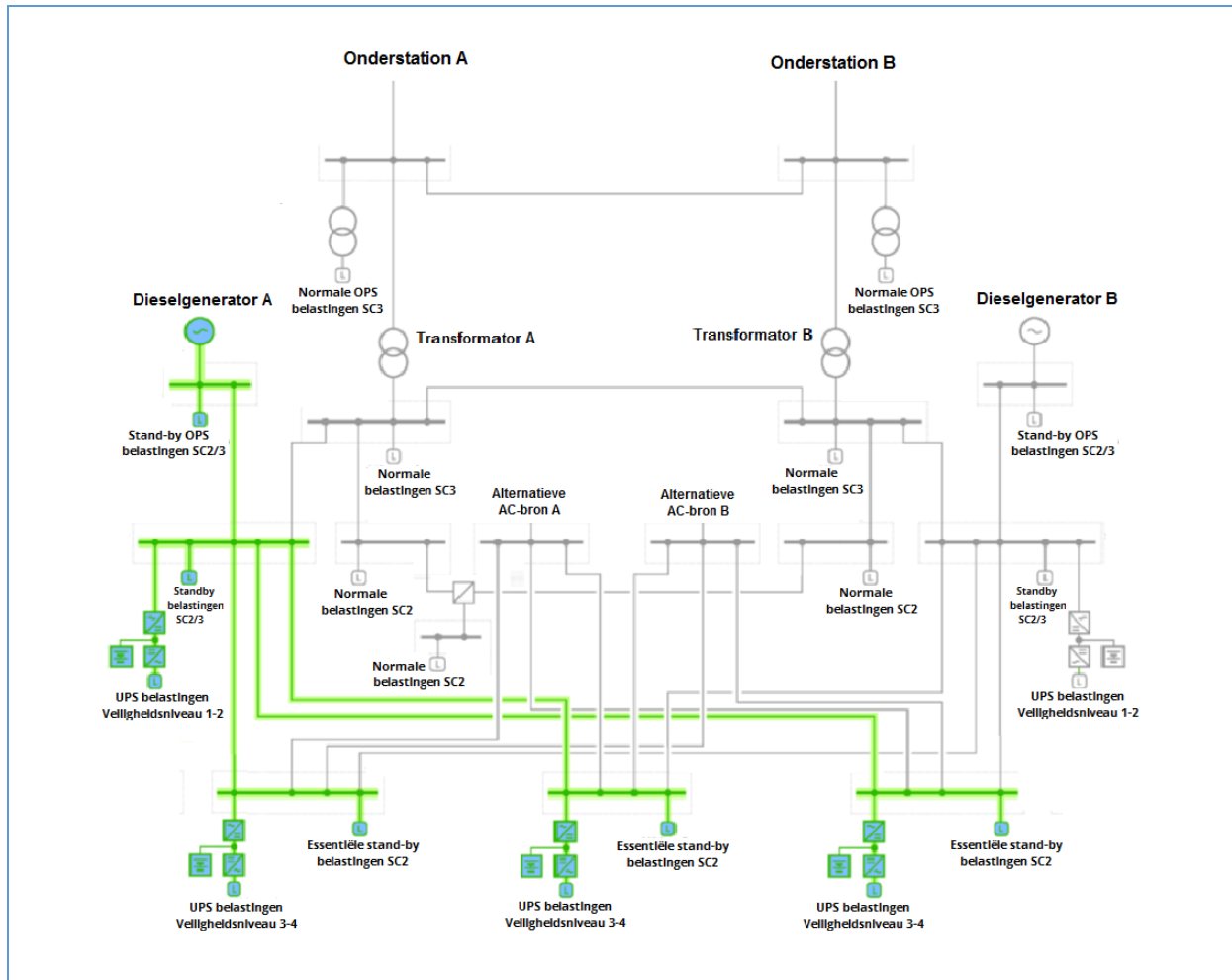
Figuur 9-3: Schematische elektrische stroom met NPS niet beschikbaar - Stand-by-modus



7. Wanneer één dieselgenerator niet beschikbaar is, geeft Figuur 9-4 in groen weer welke systemen gevoed worden wanneer alleen dieselgenerator A in bedrijf is.
8. In dit geval wordt de configuratie handmatig gewijzigd, waardoor levering vanaf de A-zijde mogelijk wordt. Deze operatie wordt uitgevoerd terwijl UPS-RPS de aangesloten systemen ononderbroken voedt met behulp van batterijen.
9. In het geval van overbelasting van dieselgenerator A wordt voeding van veiligheidsklasse 3 systemen onderbroken. Deze ont koppeling van de belasting is gericht op het behoud van elektrische voeding van de veiligheidsklasse 2 systemen.

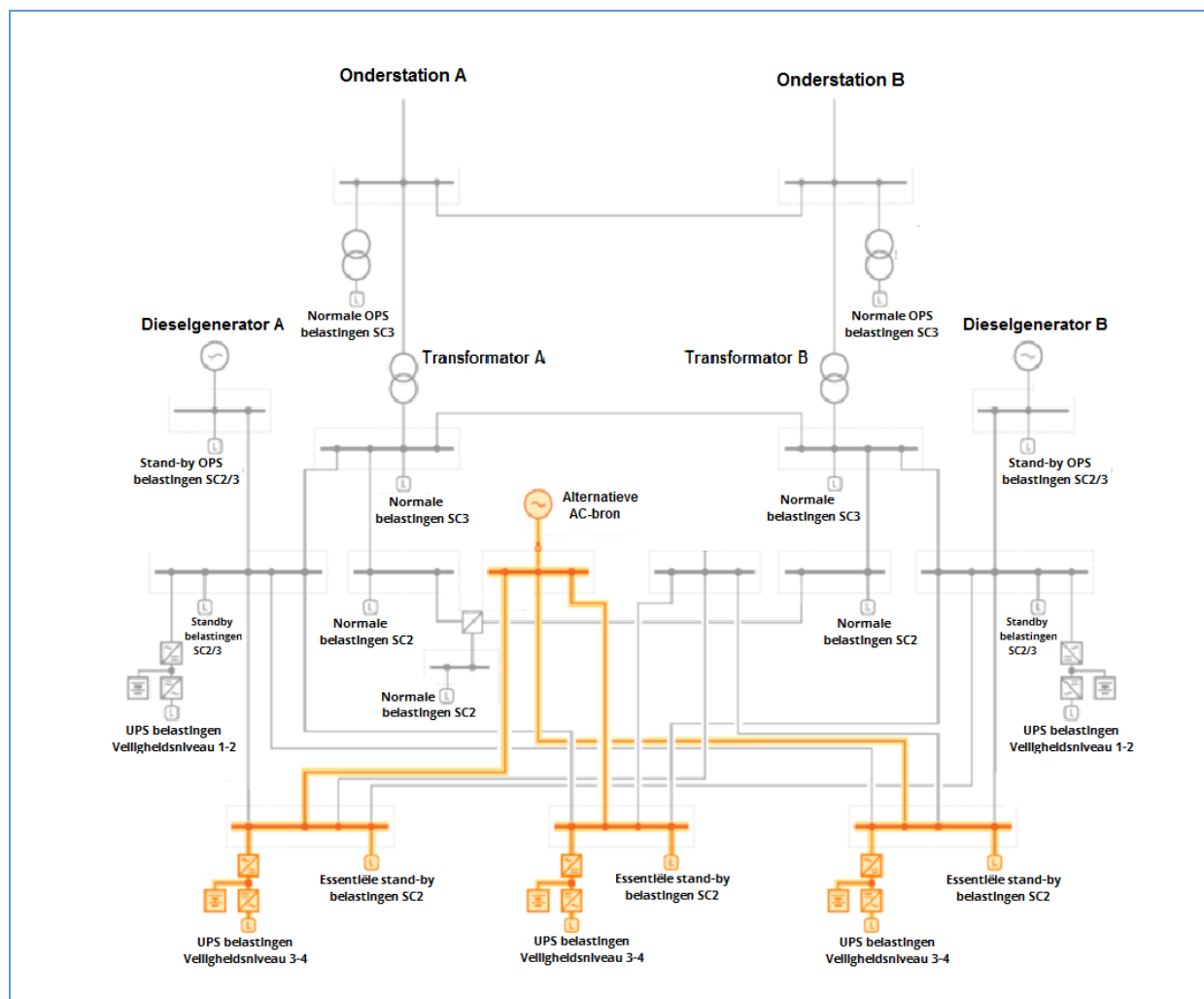


Figuur 9-4: Schematische elektrische stroom met NPS niet beschikbaar - Stand-by-modus met één dieselgenerator niet beschikbaar



10. In geval de NPS en de dieselgeneratoren gelijktijdig niet beschikbaar zijn, kan een mobiele alternatieve wisselspanningsbron (zoals een mobiele dieselgenerator) worden aangesloten. Het niet beschikbaar zijn van de NPS resulteert in het afschakelen van de reactor. In deze modus worden alleen de essentiële systemen die in oranje in Figuur 9-5 aangegeven zijn, van stroom voorzien. Hierbij is van een aangesloten mobiele alternatieve AC-bron op de A-zijdige schakelkast uitgegaan. Het voeden via de B-zijdige schakelkast leidt tot een vergelijkbare situatie.
11. In deze situatie worden de ingangen van de schakelborden met de hand geconfigureerd en kunnen zij vanuit de alternatieve bron worden gevoed. Deze operatie wordt uitgevoerd terwijl UPS-RPS de aangesloten systemen, met name SC1 systemen, ononderbroken voedt met behulp van batterijen.

Figuur 9-5: Schematische weergave met alternatieve voeding (NPS en SPS niet beschikbaar)



### 9.4.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Om de betrouwbaarheid van de SPS te garanderen zijn voorzieningen getroffen voor de redundantie van belangrijke componenten
  - ruimtelijke scheiding van belangrijke elektrische systemen (hoofdverdelers e.d.) en aansluitpunten voor AC-bronnen;
  - onderlinge scheiding van de doorvoeringen en bekabeling van de verschillende redundanties.
2. In verband met de bescherming tegen in- en externe bedreigingen zijn de volgende voorzieningen opgenomen:
  - minimalisering van de brandlast in het Nuclear Island Building als gevolg van de aanwezigheid van dieselbrandstof, door plaatsing van de beide dieselgeneratoren buiten dit gebouw;
  - bescherming van minstens één dieselgenerator bij brand, interne overstroming, interne/externe explosies of een neerstortend vliegtuig door plaatsing in verschillende gebouwen. Beide dieselgeneratoren bevinden zich boven de overstromingshoogte met kans van optreden van  $1.10^{-4}$  per jaar (zie hoofdstuk 3);
  - seismische kwalificatie van de dieselgeneratoren en hun brandstofsysteem: de dieselgenerator en de dagtanks zijn ondergebracht in aparte gebouwen, die ook seismisch gekwalificeerd zijn;

- ten minste één van de aansluitpunten voor de AC-bronnen bevindt zich boven de overstromingshoogte met kans van optreden van  $1.10^{-6}$  per jaar (zie hoofdstuk 3).

## 9.5 Uninterruptible Power Supply (UPS)

### 9.5.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

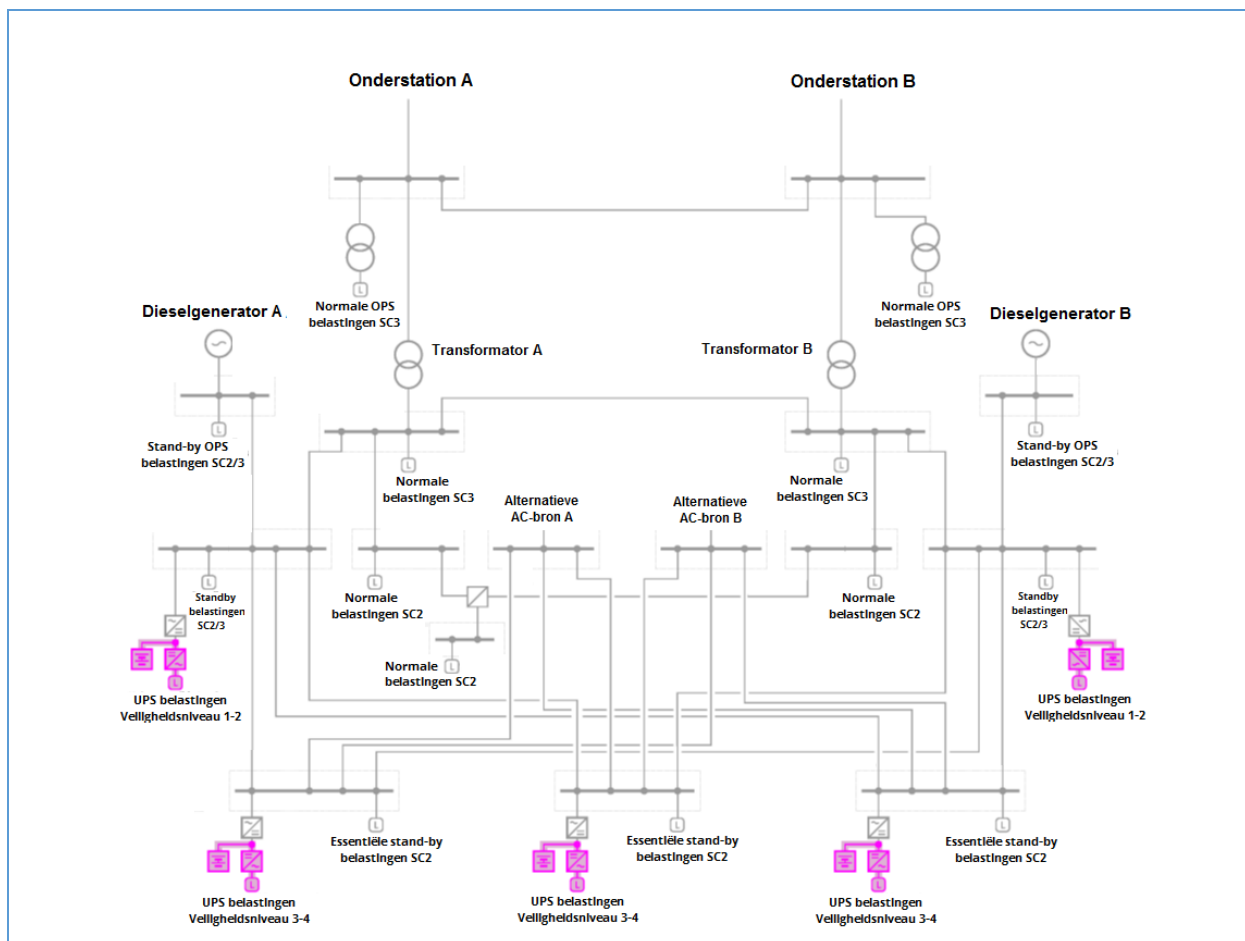
1. De UPS is niet noodzakelijk om de drie fundamentele veiligheidsfuncties te waarborgen in het geval van ongewone voorvallen of ongevalscondities. De UPS levert elektrisch vermogen aan systemen waarvoor een korte onderbreking van de voeding niet aanvaardbaar is met betrekking tot hun veiligheidsfunctie, bij uitval van zowel de NPS en de SPS.
2. De UPS is te verdelen in 2 groepen:
  - de UPS voor het Reactor Protection System (UPS-RPS), levert het benodigde elektrische vermogen aan alle noodzakelijke belastingen tijdens ongevalssituaties (veiligheidsniveaus 3 en 4);
  - de UPS voor het Reactor Control and Monitoring System (UPS-RCMS), levert het benodigde elektrische vermogen voor alle noodzakelijke belastingen tijdens storingen (veiligheidsniveau 2).
3. De UPS-RPS voldoet aan de volgende functionele criteria:
  - hoge betrouwbaarheid met drie redundante UPS-systemen waarvan ieder in staat is om de betreffende veiligheidsrelevante systemen te voeden. De redundante UPS-systemen zijn voorzien van functionele scheidings- en (ont)koppelsystemen;
  - met de volgende eigenschappen (zie paragraaf 2.2.6):
    - veilig falen (fail-safe principe), d.w.z. storingen leiden tot acties die geen negatieve invloed op de veiligheid van de reactor hebben;
    - beschikbaar tijdens en na het optreden van een interne of externe bedreiging;
    - bestand tegen enkelvoudig falen;
    - ontworpen tegen storingen met een gemeenschappelijke oorzaak;
    - ruimtelijke scheiding en onafhankelijkheid van de redundanties.
4. De UPS-RCMS voldoet aan de volgende functionele criteria:
  - hoge betrouwbaarheid met twee redundante UPS-systemen waarvan ieder in staat is om de betreffende veiligheidsrelevante systemen te voeden; de redundante UPS-systemen zijn voorzien van functionele scheidings- en (ont)koppelsystemen;
  - met de volgende eigenschappen:
    - veilig falen (fail-safe principe), d.w.z. storingen leiden tot acties die geen negatieve invloed op de veiligheid van de reactor hebben;
    - beschikbaar tijdens en na het optreden van een interne of externe bedreiging;
    - ontworpen tegen storingen met een gemeenschappelijke oorzaak;
    - ruimtelijke scheiding en onafhankelijkheid van de redundanties.

### 9.5.2 Systembeschrijving

1. De UPS-RPS voedt instrumentatiesystemen van veiligheidsklasse 1, zoals het Reactor Protection System (FRPS en SRPS) en Irradiation facilities Protection System (IPS) en daaraan gekoppelde systemen zoals het Neutronic Instrumentation System (NIS) en het Radiation Monitoring System (RMS). Enkele veiligheidsklasse 2 systemen, zoals het Post-Accident Monitoring System (PAM) en het Ventilation Reconfiguration System (VRS), worden ook gevoed.
2. De UPS-RPS is drievoudig redundant uitgevoerd (N+2) en elke redundante eenheid heeft een aparte en onafhankelijke batterij-set. De batterijen zijn ontworpen om tenminste gedurende 60 minuten elektrisch vermogen te leveren aan FRPS, SRPS, IPS, VRS en daaraan gekoppelde systemen. Verder zijn de batterijen ontworpen om gedurende 10 uur elektrisch vermogen te leveren aan het PAM en daaraan gekoppelde systemen.

3. In het onwaarschijnlijke geval van uitval van de UPS-RPS leiden de beveiligings- en afschakelsystemen de reactor naar een veilige status: de regelstaven van het First Shutdown System vallen bij uitval van de NPS vanzelf in de reactorkern waardoor deze afschakelt. Bovendien gaan de Second Shutdown System kleppen in geval van uitval van UPS-RPS voeding naar de open toestand, waarbij het zwaar water van de Reflector Vessel wordt afgevoerd wat ook tot afschakeling van de reactor leidt.
4. De UPS-RCMS levert ononderbroken voeding aan het RCMS (veiligheidsklasse 2) en aan instrumentatiesystemen.
5. De UPS-RCMS is tweevoudig redundant uitgevoerd (N+1). Elke redundante eenheid heeft een aparte en onafhankelijke batterij-set, ontworpen voor 15 minuten autonomie.
6. Extra elektrische voeding voor bepaalde instrumentatiesystemen zoals communicatie wordt ook gevoed door de UPS-RCMS, maar in dergelijke gevallen wordt geen redundante voeding toegepast.
7. Wanneer zowel de NPS als beide dieselgeneratoren niet beschikbaar zijn, worden alleen de systemen gevoed die op ononderbroken elektriciteitsvoorziening aangesloten zijn. In Figuur 9-6 zijn de systemen in roze weergegeven die gevoed worden.

**Figuur 9-6: Schematische elektrische stroom met ononderbroken bedrijfsvoering (NPS en SPS niet beschikbaar)**



### 9.5.3 Veiligheidsbeschouwing

1. De betrouwbaarheid van de UPS-RPS wordt gegarandeerd op basis van de volgende kenmerken:
  - drie redundante en onafhankelijk units; elk van de drie UPS-modules, inclusief bekabeling, is ruimtelijk gescheiden en bestand tegen een overstroming of aardbeving;
  - twee modules zijn beschermd tegen vliegtuiginslag;
  - 60 minuten dan wel 10 uur autonomie voor elke UPS-module, afhankelijk van de vereisten van het gevoede systeem;
  - principe van veilig falen; bij uitval van UPS-voeding wordt een 'afschakel-sigitaal' afgegeven. Bij uitval van een UPS-module schakelt deze automatisch over op 'bypass-bedrijf', zodat de stroomtoevoer van de aangesloten ononderbroken voedingen niet wordt onderbroken.
2. De betrouwbaarheid van de UPS-RCMS wordt gegarandeerd op basis van de volgende kenmerken:
  - twee redundante en onafhankelijk units. Elk van de twee UPS-modules, inclusief bekabeling, is ruimtelijk gescheiden en bestand tegen een overstroming of aardbeving;
  - één module is beschermd tegen vliegtuiginslag;
  - 15 minuten autonomie voor elke UPS-module.

# 10

---

## Hulpsystemen



## 10.1 Inleiding

1. In dit hoofdstuk wordt het ontwerp van de hulpsystemen van de PALLAS-reactor beschreven en op welke wijze deze systemen bijdragen aan de veiligheid en aan veiligheidsrelevante systemen.
2. De beschreven hulpsystemen betreffen:
  - Systemen voor opslag en hantering van splijtstof (paragraaf 10.3);
  - Brandbeveiligingssysteem (paragraaf 10.4);
  - Communicatiesystemen (paragraaf 10.5);
  - Verlichtingssysteem (paragraaf 10.6);
  - Conventionele HVAC-systeem (paragraaf 10.7);
  - Compressed Air System (paragraaf 10.8);
  - Demineralized Water System (paragraaf 10.9);
  - Industrial Gases System (paragraaf 10.10).

## 10.2 Samenvattende beschrijving

### 10.2.1 Algemene beschrijving

1. De belangrijkste hulpsystemen voor de PALLAS-reactor zijn de systemen voor de opslag en hantering van splijtstof, omdat deze een directe bijdrage leveren aan de fundamentele veiligheidsfuncties, namelijk de beheersing van reactiviteit, afvoer van warmte en insluiting van radioactief materiaal.
2. Daarnaast zijn de brandbeveiligingssystemen belangrijk, omdat zij veiligheidssystemen en veiligheidsrelevante systemen beschermen in geval van een brand. Bovendien worden redundancies van veiligheidssystemen in verschillende brandcompartimenten geplaatst. Hierdoor is hun functioneren, in geval van brand in één van de compartimenten gewaarborgd. Het brandbeveiligingssysteem draagt niet direct bij aan de fundamentele veiligheidsfuncties.
3. Alle overige hulpsystemen dragen weliswaar bij aan het uitvoeren van veiligheidsfuncties maar zijn hiervoor niet noodzakelijk. Wanneer deze hulpsystemen niet functioneren, zullen de veiligheidssystemen en veiligheidsrelevante systemen de fundamentele veiligheidsfuncties blijven waarborgen.

### 10.2.2 Veiligheidsklassering

1. De hulpsystemen zijn geklasseerd op basis van hun belang voor de veiligheid. Deze klassering bepaalt op haar beurt de wijze waarop zij vervolgens ontworpen, gefabriceerd, geïnstalleerd en inbedrijf gesteld worden.
2. De klassering van de systemen is aangegeven in Tabel 10-1. De methode voor veiligheids- en seismische klassering van structuren, systemen en componenten wordt in hoofdstuk 2 behandeld.

Tabel 10-1: Veiligheidsklassering hulpsystemen

Installatieonderdeel	Veiligheidsklasse	Seismische klasse
<ul style="list-style-type: none"> <li>Opslagrek voor verbruikte splijtstofelementen in de Reactor Pool en in de Service Pool</li> </ul>	1	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Opslagrek voor verse splijtstofelementen</li> <li>Opslagrek onbestraalde targets Mo-99</li> <li>Brandbeveiligingssysteem</li> <li>Evacuatieverlichting</li> </ul>	2	1
<ul style="list-style-type: none"> <li>Communicatiesysteem</li> <li>Verlichtingssystemen (behalve evacuatieverlichting)</li> <li>Conventionele HVAC-systeem</li> <li>Compressed Air System</li> <li>Demineralized Water System</li> <li>Industrial Gases System</li> </ul>	3	3

## 10.3 Opslag en hantering van splijtstof

- Deze paragraaf is onderverdeeld in drie secties:
  - opslag en hantering van verse splijtstofelementen;
  - opslag en hantering van verbruikte splijtstofelementen;
  - opslag en hantering van onbestraalde Mo-99 targets.

### 10.3.1 Opslag en hantering van verse splijtstofelementen

- De opslag en hantering van verse splijtstofelementen bestaat uit de ontvangst bij de PALLAS-reactor, de opslag ervan en het beladen van de kern.

#### 10.3.1.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

- De opslagrekken voor verse splijtstofelementen voorzien in twee fundamentele veiligheidsfuncties:
  - Beheersing van reactiviteit: de opslagrekken voorkomen criticiteit of onacceptabele reactiviteitstransiënten tijdens de opslag en het hanteren van splijtstof;
  - Beheersing van reactiviteit: Bij het transport en het hanteren van verse splijtstofelementen binnen de PALLAS-reactor wordt criticiteit voorkomen;
  - Insluiting van radioactief materiaal: de opslagrekken voorkomen schade aan de splijtstof tijdens de opslag en het hanteren ervan.
- De opslagrekken voor verse splijtstofelementen zijn zo ontworpen dat, uitgaande van de hoogst toegestane verrijking van een splijtstofelement, de vermenigvuldigingsfactor ( $K_{\text{eff}}^3$ ) de acceptatiecriteria niet overschrijdt:
  - $K_{\text{eff}} < 0,95$  bij normale opslagcondities;
  - $K_{\text{eff}} < 0,95$  bij ongevalssituaties waarbij de opslagruimte onder water staat.
- Het ontwerp van de opslagrekken borgt dat een criticiteitsongeval alleen kan optreden indien er zich tenminste twee onwaarschijnlijke, onafhankelijke en gelijktijdige veranderingen in de procescondities hebben voorgedaan.
- Het ontwerp garandeert dat een verandering in één van de volgende drie variabelen niet kan leiden tot criticiteit:

<sup>3</sup>  $K_{\text{eff}}$  staat voor het gemiddeld aantal nieuwe neutronen dat per neutron in het splijtingsproces gegenereerd wordt.



- de totale massa van het opgeslagen splijtbaar materiaal;
  - de geometrie van de splijststofelementen en de rangschikking van splijtbaar, neutronen-absorberend, neutronen-modererend en neutron-reflecterend materiaal;
  - de hoeveelheid neutronen-modererend materiaal aanwezig buiten de splijststofelementen.
5. Het opslagrek behoudt zijn integriteit tijdens normale opslagcondities en wanneer het aan belastingen ten gevolge van ontwerpaardbevingen onderworpen wordt.
  6. De opslagrekken bieden plaats aan 80 verse splijststofelementen. Dit komt overeen met tenminste twee jaar reactorbedrijf.
  7. Voor het vervoer van splijststofelementen wordt een speciale transportkar gebruikt. Hiermee kunnen maximaal 4 splijststofelementen worden vervoerd. Door de maximaal getransporteerde massa  $^{235}\text{U}$  en de geometrie is subkriticiteit hierbij gegarandeerd.

### 10.3.1.2 Systeembeschrijving

1. De opslag en hantering van verse splijststofelementen bestaat uit de volgende stappen:
  - ontvangst;
  - inspectie;
  - opslag;
  - transport en hantering;
  - laden in de reactorkern.

#### Ontvangst

2. De verse splijststofelementen zijn vervoerd en komen aan in transportverpakkingen die zijn gecertificeerd voor het beoogde gebruik.
3. Bij de ontvangst wordt slechts één transportverpakking tegelijk gelost om ophoping van splijtbaar materiaal te voorkomen.

#### Inspectie

4. De ontvangstcontrole van de splijststofelementen wordt uitgevoerd volgens schriftelijke procedures.
5. De ontvangstcontrole van verse splijststofelementen omvat een uitgebreide visuele controle om beschadigingen of defecten, die de splijststofelementen vóór levering en transport zou kunnen hebben opgelopen, uit te sluiten. Eveneens wordt gecontroleerd op de aanwezigheid van materiaal dat de koelkanalen zou kunnen blokkeren.
6. Als tijdens de ontvangstcontrole een beschadigd splijststofelement wordt ontdekt dan vindt melding aan de fabrikant plaats en wordt deze opgeslagen en gelabeld waarbij wordt voorkomen dat deze wordt gebruikt.
7. Zodra de inspectie is uitgevoerd en de eisen van de technische specificatie van het splijststofelement zijn geverifieerd, wordt het splijststofelement vrijgegeven voor opslag.
8. Elk splijststofelement is volledig traceerbaar en heeft een uniek identificatienummer.

#### Opslag

9. Opslag gebeurt conform schriftelijke procedures.
10. Een kriticiteitsongeval tijdens de opslag van splijststofelementen is niet mogelijk.
11. De opslagrekken zijn ontworpen voor verse splijststofelementen die een uraniumverrijking bevatten tot 20 %  $^{235}\text{U}$ . De rekken zijn aan de opslagruimte verankerd. Het ontwerp van de opslagrekken is zodanig dat de minimale afstand tussen splijststofelementen wordt gegarandeerd en dat de splijststofelementen, ook bij seismische gebeurtenissen, beschermd worden tegen schade. Subkriticiteit wordt gehandhaafd, ook als de opslagruimte onder water zou komen te staan.
12. De opslagruimte is voorzien van branddetectie, dat gekoppeld is aan de brandcontrolepanelen in de Main Control Room, Supplementary Control Room en de Centrale Alarmcentrale. De opslagruimte is tevens voorzien van brandbestrijdingsmiddelen.

### Transport en hantering

13. Transport en hantering van verse splijstofelementen wordt uitgevoerd door geschoold en gekwalificeerd personeel en conform schriftelijke procedures.
14. Het transport vindt binnen het gebouw handmatig plaats met behulp van een transportkar voor maximaal 4 splijstofelementen tegelijkertijd.
15. Bij het transport en de hantering van verse splijstofelementen van de opslagruimte naar de Reactor Pool worden procedures gevolgd om besmetting met radioactief materiaal en beschadiging van de elementen door mechanische spanningen, krassen of stoten te voorkomen.

### Laden in de reactorkern

16. Voordat de verse splijstofelementen in de reactorkern geladen worden, wordt in de opslagruimte een laatste visuele inspectie uitgevoerd op beschadigingen of de aanwezigheid van materiaal dat de koelkanalen zou kunnen blokkeren. Na inspectie worden de splijstofelementen vrijgegeven.
17. Het beladen van de kern met de Operation Bridge en speciale gereedschappen gebeurt volgens schriftelijke procedures. Na belading wordt de kernconfiguratie geverifieerd door controle van de identificatie van de splijstofelementen, welke van bovenaf zichtbaar zijn.

#### 10.3.1.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het ontwerp van de opslagrekken voor verse splijstofelementen voorkomt criticiteitsongevallen, door voldoende scheiding tussen de splijstofelementen onderling en door het beperken van de hoeveelheid splijtbaar materiaal.
2. De transportkar voor splijstofelementen transporteert een gelimiteerde splijstofmassa in een vaststaande geometrie waardoor subkriticiteit blijft gewaarborgd.
3. Het ontwerp van de rekken, transportkar en opslagboxen voorkomt beschadiging van de splijstofelementen door bewegingsbeperking en stootbescherming.
4. De rekken voor opslag van verse splijstof zijn bestand tegen seismische belastingen.

#### 10.3.2 Opslag en hantering van verbruikte splijstofelementen

1. De opslag en hantering van verbruikte splijstofelementen omvat de herverdeling van splijstofelementen in de kern, de opslag van verbruikte splijstofelementen in de Reactor en Service Pools, het inkorten van splijstofelementen ten behoeve van het laden in de transportverpakkingen en het laden in transportverpakkingen voor verzending naar COVRA. Het inkorten van een splijstofelement heeft geen gevolg voor de functionaliteit van het koelkanaal en veroorzaakt geen schade aan de bekleding van de splijstofplaten van het element.
2. Naast deze activiteiten is ook voorzien in het afvoeren van beschadigde splijstofelementen.

##### 10.3.2.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. De opslagrekken voor verbruikte splijstofelementen voorzien in de fundamentele veiligheidsfuncties:
  - Beheersing van reactiviteit: de opslagrekken voorkomen criticiteit of onacceptabele reactiviteitstransiënten tijdens de opslag van splijstof.
  - Afvoer van warmte: de opslagrekken maken afvoer van de vervalwarmte mogelijk;
  - Insluiting van radioactief materiaal: de opslagrekken voorkomen schade aan de splijstof tijdens de opslag en het hanteren ervan.
2. De opslagcapaciteit in de Reactor Pool is voldoende voor 56 verbruikte splijstofelementen. Van deze posities zijn er 20 leeg en beschikbaar om de hele kern op te slaan.
3. Het opslagrek in de Service Pool heeft capaciteit voor 280 verbruikte splijstofelementen, wat overeenkomt met meer dan 5 jaar gebruik. Het opslagrek in de Service Pool biedt ook ruimte aan 2 defecte splijstofelementen.
4. De opslagrekken voor verbruikte splijstofelementen zijn zo ontworpen dat de vermenigvuldigingsfactor ( $K_{eff}$ ), uitgaande van de hoogst toegestane verrijking van een splijstofelement, de acceptatiecriteria niet overschrijdt:

- $K_{\text{eff}} < 0,95$  bij normale opslagcondities;
  - $K_{\text{eff}} < 0,95$  in ongevalssituaties waarbij het waterniveau of de dichtheid van het water in de pool, verandert.
5. Het ontwerp van de opslagrekken borgt dat een criticiteitsongeval alleen kan optreden indien er zich tenminste twee onwaarschijnlijke, onafhankelijke en gelijktijdige veranderingen in de procescondities hebben voorgedaan. De opslagrekken zijn zo ontworpen dat de vervalwarmte van de verbruikte splijstofelementen door natuurlijke circulatie wordt afgevoerd, waarbij de temperatuur van de splijstofelementen binnen de acceptatiecriteria blijft.
  6. Om de stralingsbelasting voor het personeel te beperken, is bij de hantering van verbruikte splijstofelementen rekening gehouden met diverse aspecten, waaronder de locatie van de opslagrekken in de Reactor en Service Pool, de constructie van de reactor, afscherming en afmetingen van doorvoeringen, instrumentatie en het volgen van procedures.

### 10.3.2.2 Systeembeschrijving

1. De opslag en hantering van bestraalde en verbruikte splijstofelementen bestaat uit de volgende stappen:
  - herverdelen (alleen voor bestraalde splijstof);
  - ontladen van de reactorkern;
  - hantering;
  - opslag;
  - inspectie;
  - beladen in een transportverpakking en afvoer.
2. Naast deze stappen is ook in de hantering van beschadigde splijstofelementen voorzien.

#### Herverdelen (bestraalde splijstof)

3. Het herverdelen van splijstofelementen in de kern wordt uitgevoerd op basis van een goedgekeurd kernwijzigingsplan. De uitvoering kan plaatsvinden als de reactor zich in de bedrijfstoestand splijstofwisseling bevindt.
4. De splijstofelementen worden vanaf de bovenkant van de Reactor Pool door een getrainde operator gehanteerd. De handelingen betreffen:
  - verwijderen van verbruikte splijstofelementen uit de kern en overbrengen naar het opslagrek in de Reactor Pool;
  - veranderen van de posities van bestraalde splijstofelementen in de kern;
  - plaatsen van verse splijstofelementen in de kern.
5. bij de uitvoering van de bovengenoemde handelingen wordt de identificatie van het splijstofelement geverifieerd.
6. De opslagrekken in de Reactor Pool worden gebruikt voor tijdelijke opslag van splijstofelementen terwijl verse splijstofelementen in het kernrooster worden geplaatst.

#### Ontladen van de reactorkern

7. Het ontladen van de reactorkern wordt uitgevoerd in de bedrijfstoestand splijstofwisseling en omvat de volgende handelingen:
  - verwijderen van het beschermrooster dat boven op de kern rust;
  - loskoppelen van het splijstofelement;
  - hanteren van het splijstofelement boven de Reactor Pool door een getraind operator op basis van schriftelijke procedures en met speciale instrumenten;
  - transporteren en plaatsen van het splijstofelement in de toegewezen lege positie in het opslagrek in de Reactor Pool.

#### Hanteren

8. Verbruikte splijstofelementen worden volgens schriftelijke procedures en met de bijbehorende autorisatie en supervisie door een getrainde operator gehanteerd.

9. De gehanteerde apparatuur is gekwalificeerd en wordt periodiek geïnspecteerd. De apparatuur is alleen toegankelijk voor geautoriseerd personeel om specifieke taken mee uit te voeren waarvoor de apparatuur is ontworpen.

#### Opslag

10. De opslag van verbruikte splijtstofelementen wordt in twee fasen verdeeld om de stralingsdosis van de operator op de Operations Bridge tot een minimum te beperken.
11. Allereerst worden de verbruikte splijtstofelementen gedurende tenminste één cyclus opgeslagen in de opslagrekken in de Reactor Pool. In deze rekken zijn korven geplaatst die elk 4 posities hebben voor verbruikte splijtstofelementen. Vervolgens worden ze onder water via het overdrachtskanaal naar de toegewezen plaatsen in de opslagrekken in de Service Pool overgebracht.
12. Als een gebruikt splijtstofelement direct naar de Service Pool moet worden overgebracht, bijvoorbeeld wanneer deze (mogelijk) beschadigd is, wordt speciale procedures gebruikt.
13. Er is voldoende opslagruimte in de opbergrekken van de Reactor Pool en van de Service Pool om een volledige kern op te slaan.
14. Alle posities in de opslagrekken hebben unieke identificaties.
15. Het verplaatsen van zware ladingen boven de opslagrekken is verboden. De reactorhalkraan heeft een vergrendeling die deze beweging verhindert.

#### Inspectie

16. De integriteit van opgeslagen verbruikte splijtstofelementen wordt periodiek visueel geïnspecteerd. Deze inspecties worden uitgevoerd volgens schriftelijke procedures en met gecertificeerde gereedschappen en apparatuur.
17. Inspectieresultaten worden op basis van vastgestelde acceptatiecriteria beoordeeld en vastgelegd.

#### Belading in een transportcontainer en afvoer

18. De verbruikte splijtstofelementen worden, na voldoende vervaltijd voor afname van de straling en warmteproductie van de splijtstofelementen, in een speciaal voor dit doel ontworpen transportcontainer beladen en vervolgens getransporteerd naar COVRA.
19. De splijtstofelementen worden ingekort ten behoeve van het beladen in de transportverpakkingen. Dit heeft geen gevolg voor de functionaliteit van het koelkanaal en veroorzaakt geen schade aan de bekleding van de splijtstofplaten.

#### 10.3.2.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het ontwerp van de opslagrekken voor verbruikte splijtstof voorziet in voldoende watercirculatie om vervalwarmte af te voeren.
2. Het ontwerp van de rekken en bijbehorende korven voorkomt schade aan de splijtstofelementen door hun bewegingen te beperken en ze te beschermen tegen stoten.
3. Het ontwerp van de rekken en korven garandeert subkriticiteit door de hoeveelheid verbruikte splijtstofelementen te beperken, door de geometrische configuratie en door het gebruik van materialen die neutronen absorberen.
4. Het ontwerp van de rekken, tezamen met de pools en het reactorblok, voorzien in afdoende biologische afscherming.
5. De rekken voor opslag van verbruikte splijtstof zijn bestand tegen seismische belastingen. Hierbij zijn volledig gevulde rekken beschouwd.

#### 10.3.3 Opslag en hantering van onbestraalde Mo-99-targets

1. Deze paragraaf behandelt de opslag en hantering van onbestraalde Mo-99-targets, bestaande uit de ontvangst bij de PALLAS-reactor, inspectie, opslag en intern transport. Het beladen van de targets in de bestralingsposities in de Reflector Vessel wordt beschreven in hoofdstuk 11.

### 10.3.3.1 Functie en uitgangspunten van het ontwerp

1. De opslagrekken voor onbestraalde Mo-99 targets voorzien in twee fundamentele veiligheidsfuncties:
  - de beheersing van reactiviteit door het voorkomen van criticiteit of onacceptabele reactiviteitstransiënten tijdens opslag en hantering
  - de insluiting van radioactief materiaal door te voorkomen dat de targets schade oplopen tijdens opslag en hantering.
2. Het opslagrek is zo ontworpen dat, uitgaande van de hoogst toegestane verrijking van een Mo-99 target, de vermenigvuldigingsfactor ( $K_{eff}$ ) de acceptatiecriteria niet overschrijdt:
  - $K_{eff} < 0,95$  bij normale opslagcondities;
  - $K_{eff} < 0,95$  bij ongevalsituaties waarbij de opslagruimte onder water staat.
3. Het ontwerp van de opslagrekken borgt dat een criticiteitsongeval alleen kan optreden indien er zich tenminste twee onwaarschijnlijke, onafhankelijke en gelijktijdige veranderingen in de procescondities hebben voorgedaan.
4. Het Mo-99 opslagrek behoudt zijn integriteit wanneer deze aan ontwerpaardbevingen wordt onderworpen.
5. De twee opslagrekken bieden voldoende ruimte om onbestraalde Mo-99- targets voor tenminste 2 jaar reactorbedrijf op te slaan.

### 10.3.3.2 Systeembeschrijving

1. De opslag en hantering van onbestraalde Mo-99-targets bestaat uit de volgende stappen:
  - ontvangst;
  - inspectie;
  - opslag;
  - transport en hantering.

#### Ontvangst

2. De transportverpakking voor vervoer van onbestraalde Mo-99-targets is ontworpen voor het vervoer van verse splijtstoffen, is gecertificeerd voor het beoogde gebruik en garandeert veilig vervoer en de integriteit van de Mo-99-targets
3. Bij de ontvangst wordt slechts één transportverpakking tegelijk gelost om ophoping van splijtbaar materiaal te voorkomen.

#### Inspectie

4. Na ontvangst ondergaan de Mo-99-targets een uitgebreide visuele controle, volgens schriftelijke procedures, om schade of krassen opgelopen vóór de levering aan PALLAS-reactor uit te sluiten.
5. Zodra de inspectie is uitgevoerd en voldaan is aan de acceptatiecriteria, worden de Mo-99-targets vrijgegeven voor opslag.
6. Elk Mo-99 target is volledig traceerbaar door middel van zijn unieke identificatienummer.

#### Opslag

7. De rekken zijn ontworpen voor de opslag van onbestraalde Mo-99-targets die uranium bevatten tot 20%  $^{235}\text{U}$  verrijking.
8. De opslagrekken bestaan uit opslagcellen. Elke cel kan 4 opslagboxen bevatten die aan 24 Mo-99 targets elk plaats bieden. In totaal kunnen maximaal 7680 Mo-99 targets worden opgeslagen. Elke opslagplaats heeft een uniek identificatienummer.
9. De rekindeling en matrixstructuur voorzien in een minimale scheiding tussen aangrenzende cellen. Dit is voldoende om een subkritische configuratie te handhaven, ook als de opslagruimte onder water komt te staan.
10. De opslagruimte is voorzien van branddetectie, die aan de brandcontrolepanelen in de Main Control Room, Supplementary Control Room en Centrale Alarmcentrale gekoppeld is. De opslagruimte is tevens voorzien van brandbestrijdingsmiddelen.

11. De rekken en opslagboxen zijn ontworpen om de Mo-99-targets te beschermen tegen schade, ook bij een seismische gebeurtenis.

#### Transport en hantering

12. Transport en hantering van onbestraalde Mo-99-targets wordt uitgevoerd door getraind en gekwalificeerd personeel op basis van schriftelijke procedures.
13. Het transport vindt binnen het gebouw handmatig plaats met behulp van een transportkar.
14. Bij het transport en de hantering van onbestraalde Mo-99-targets worden procedures gevolgd om besmetting met radioactief materiaal en beschadiging van de elementen door mechanische belasting, krassen of stoten te voorkomen.

#### 10.3.3.3 Veiligheidsbeschouwing

1. Het ontwerp van de opslagrekken voor onbestraalde Mo-99 targets voorziet in het voorkomen van kriticititeit door het aanbrengen van voldoende scheiding en het beperken van de hoeveelheid splijtbaar materiaal.
2. Het ontwerp van de opslagrekken en opslagboxen voorkomt schade aan de Mo-99-targets door bewegingsbeperkingen en schokpreventie.
3. De rekken voor opslag van onbestraalde Mo-99 targets zijn bestand tegen seismische belastingen. Hierbij zijn volledig gevulde rekken beschouwd.

## 10.4 Brandbeveiligingssysteem

1. Het brandbeveiligingssysteem beschermt de onderdelen die belangrijk zijn voor de veiligheid van de PALLAS-reactor, maar draagt niet rechtstreeks bij aan de fundamentele veiligheidsfuncties.
2. Het brandbeveiligingssysteem omvat branddetectiemiddelen, brandalarmen en brandblussystemen. Bovendien zijn brandwerende barrières opgenomen en zijn beveiligingsfuncties in de ventilatiesystemen geïmplementeerd om brand- en rookverspreiding te beheersen.
3. Het branddetectie- en alarmeringssysteem geeft informatie van elk automatisch of handmatig geactiveerd brandalarm door aan de Main Control Room, Supplementary Control Room en de Central Alarm Station en draagt bij aan het identificeren van de getroffen brandzone.
4. Het ontruimingsalarm maakt het mogelijk om personen binnen de gebouwen te informeren over de vereiste acties die ondernomen moeten worden.
5. De brandbeveiligingssystemen maken gebruik van het concept van gelaagde veiligheid. Dit concept omvat drie hoofddoelstellingen:
  - voorkomen van brand (door controle van de ontstekingsbronnen en het minimaliseren van brandbaar materiaal);
  - snel opsporen van branden die wel ontstaan en blussen om zo de schade te beperken;
  - Voorkomen van verspreiding van niet-gebluste branden en zo het effect op de veiligheid te minimaliseren.
6. De brandbeveiligingssystemen beschermen de reactor tegen de gevolgen van brand door:
  - het beperken van brandbare materialen en het gebruiken van afwerkmaterialen met beheersbaar brandgedrag;
  - het gebruik van passieve brandbeveiligingsmaatregelen zoals compartimentering en brandschermen;
  - het gebruik van automatische branddetectie- en alarmsystemen;
  - het gebruik van automatische brandbestrijdingssystemen;
  - het gebruik van manuele brandbestrijdingssystemen;
  - de beschikbaarheid van een noodhulpteam.
7. Om onbedoelde activering en daarmee schade aan structuren, systemen en componenten in een ruimte te minimaliseren, zijn twee automatische detecties of een handmatige activering nodig om een brandbestrijdingssysteem in bedrijf te stellen.

8. Om de schade in belangrijke schakelkasten en aan structuren, systemen en componenten in een ruimte te minimaliseren zijn ruimten met elektrische hoofdverdelers en I&C-kasten voorzien van brandbestrijdingssystemen op basis van gasblussing.
9. Ruimtes waar veiligheidsrelevante structuren, systemen en componenten aanwezig zijn, worden met een watermiststelsel geblust, zodat een brand onder controle wordt gehouden met een kleine hoeveelheid water en de schade aan apparatuur beperkt is.
10. De zelfdiagnose van de brandbeveiligingssystemen helpt, in combinatie met periodieke testen, inspecties en onderhoud, storingen te voorkomen.
11. De brandcompartimenten zorgen er voor dat een brand is ingedamd, waarmee wordt voorkomen dat een brand, bij het uitvallen van een brandbeveiligingssysteem, zich kan uitbreiden naar andere compartimenten. De redundante, faalveilige veiligheidssystemen bevinden zich in verschillende brandcompartimenten waardoor het afschakelen van de reactor, het afvoeren van vervalwarmte en de insluiting van de radioactieve stoffen zeker gesteld kunnen worden.
12. Naast deze specifieke maatregelen zijn de volgende kenmerken in het ontwerp meegenomen om de kans op en grootte van een brand te beperken:
  - geschikte dimensionering van apparatuur en bekabeling om overbelasting te voorkomen;
  - gebruik van brandwerende kabels of kabels met beperkte rookontwikkeling;
  - gebruik van aardings-, stroom- en spanningsbeveiligingen;
  - beperken van de opslag van brandbare materialen;
  - beperken van brandbare materialen in het Reactor Building;
  - gebruik van koolstoffilters met een systeem voor brandonderdrukking;
  - scheiding door middel van brandcompartimenten, inclusief het gebruik van brandwerende afdichtingen, deuren en kleppen.
13. De brandbeveiligingssystemen voldoen minimaal aan de eisen van het Bouwbesluit 2012.

## 10.5 Communicatiesystemen

1. De communicatiesystemen ondersteunen het uitvoeren van veiligheidsfuncties maar dragen niet rechtstreeks bij aan de fundamentele veiligheidsfuncties.
2. De functie van de communicatiesystemen is het geven van berichten of informatie aan het personeel binnen de gebouwen en op het terrein van de PALLAS-reactor.
3. De PALLAS-reactor heeft verschillende communicatiemiddelen om alle medewerkers en betrokkenen in staat te stellen die activiteiten uit te voeren die nodig zijn, voor het functioneren van de PALLAS-reactor en voor situaties die zich mogelijk kunnen voordoen.
4. Het communicatiesysteem beschikt over hoorbare aankondigingen en over spraak- en visuele communicatie.
5. Voor communicatie tijdens ongevalssituaties (veiligheidsniveau 4) is er het noodcommunicatiesysteem dat is onderdeel van het Post-Accident Monitoring Systeem (PAM, zie hoofdstuk 8).
6. De PALLAS-reactor heeft ook aansluitingen op het externe telecommunicatienetwerk zodat er gecommuniceerd kan worden met externe organisaties of personen die mogelijk nodig zijn in bepaalde omstandigheden, zoals: medewerkers op afroep, de ANVS, het medisch centrum, de brandweer, de politie en het elektriciteitsbedrijf.

## 10.6 Verlichtingssysteem

1. Het verlichtingssysteem ondersteunt het uitvoeren van veiligheidsfuncties maar draagt niet rechtstreeks bij aan de fundamentele veiligheidsfuncties.
2. Het verlichtingssysteem zorgt voor kunstmatige verlichting van gebouwen, ruimtes en het terrein en heeft de volgende functies:

- Normale (niet noodzakelijke) installatieverlichting; De functie van het niet noodzakelijke verlichtingssysteem is het bieden van een toereikend verlichtingsniveau voor de normale bedrijfsomstandigheden.
  - Noodverlichting; De functie van het noodverlichtingssysteem is het leveren van de vereiste lichtsterkte in het Nuclear Island Building tijdens noodgevallen.
  - Evacuatieverlichting; De functie van het evacuatieverlichtingssysteem is om in geval van nood te zorgen voor een minimaal verlichtingsniveau dat nodig is om het Nuclear Island Building te evacueren.
3. De verlichtingssystemen zorgen voor voldoende verlichting om de vereiste taken te ondersteunen en zijn afgestemd op de aard van de activiteiten, de zone en de afmetingen van de ruimte waarin de activiteiten worden uitgevoerd.
  4. De PALLAS-reactor heeft back-up functies (Stand-by Power Supply, SPS) die de noodverlichting 72 uur lang in bedrijf houdt tijdens stroomuitval, evacuatie en noodgevallen. Daarnaast zijn er ook batterijen die na verlies van SPS voor evacuatieverlichting gedurende tenminste 60 minuten zorgen.
  5. In de Reactor en Service Pools is onderwaterverlichting aanwezig zodat de onderwaterconstructies goed zichtbaar zijn.
  6. In de MCR en de SCR is het kunstmatig licht zo ontworpen dat handelingen door het personeel hierdoor effectief worden ondersteund. Bij de inrichting van de verlichting is rekening gehouden met de verschillende taken die worden uitgevoerd. De verlichting is ook zodanig ontworpen dat verblinding en reflectie op de displays zoveel mogelijk wordt beperkt.

## 10.7 Conventioneel HVAC-systeem

1. De verwarmings-, ventilatie- en airconditioningsystemen (HVAC) van het Nuclear Island Building en de overige gebouwen van PALLAS-reactor zijn verdeeld in twee systemen:
  - conventioneel HVAC-systeem;
  - Reactor Building Ventilation System (zie hoofdstuk 4).
2. Het conventionele HVAC-systeem draagt niet bij aan de fundamentele veiligheidsfuncties.
3. Het belangrijkste doel van het conventionele HVAC-systeem is het verzorgen van een geschikt klimaat voor personeel en apparatuur bij normale bedrijfsvoering. De conventionele HVAC-systemen produceren geconditioneerde ventilatielucht in de gebouwen en in de ruimtes buiten de reactor in het NI, met uitzondering van de Main Control Room (MCR) en de Supplementary Control Room (SCR).
4. Het conventionele HVAC-systeem verzorgt geconditioneerde ventilatielucht voor de volgende ruimten van het NI:
  - niet-radiologische gebieden van de Access Building Sector;
  - niet-radiologische gebieden van de Service Building Sector;
  - radiologisch bewaakte gebieden;
  - radiologisch gecontroleerde gebieden (type 2 en 3).
5. Het conventionele HVAC-systeem verzorgt ook de voldoende lucht voor de dieselgeneratoren.
6. Het conventionele HVAC-systeem verzorgt ook het benodigde gekoelde en warme water aan de HVAC-apparatuur voor de verschillende gebouwen, met uitzondering van de MCR en SCR.
7. Het conventionele HVAC-systeem draagt zorg voor frisse lucht en voorkomt, met behulp van meetapparatuur in belangrijke luchtinlaatkanalen, het binnendringen van buitenlucht die met rook of potentieel gevaarlijke stoffen is verontreinigd.
8. Door de drukcascade die door zowel het conventionele HVAC-systeem als het Reactor Building Ventilation System wordt gecreëerd, stroomt de lucht van gebieden met een laag besmettingspotentieel naar gebieden met een hoger besmettingspotentieel.



## 10.8 Compressed Air System

1. Het Compressed Air System ondersteunt het uitvoeren van veiligheidsfuncties, maar draagt niet rechtstreeks bij aan de fundamentele veiligheidsfuncties.
2. Het systeem levert perslucht van een specifieke kwaliteit aan veiligheidssystemen, veiligheidsrelevante en conventionele systemen. Zo levert het systeem perslucht aan het First en Second Shutdown System voor het laten vallen van de regelstaven in de reactorkern, resp. het openen van de kleppen waarmee de reflectortank wordt geleegd. Alle systemen die worden ondersteund door het Compressed Air System kunnen hun veiligheidsfunctie echter ook afdoende en snel genoeg uitvoeren wanneer het systeem om enige reden niet kan bijdragen.
3. Het systeem bestaat uit twee luchtcompressors, die elk 100% van de benodigde capaciteit kunnen voorzien. Daarnaast bestaat het systeem uit opslagvaten, filters, drogers, distributieleidingen, instrumentatie en kleppen.
4. Het Compressed Air System levert ook perslucht aan het Breathing Air System, voor gebruik bij onderhoudsactiviteiten.

## 10.9 Demineralized Water System

1. Het Demineralized Water System draagt niet bij aan de fundamentele veiligheidsfuncties.
2. Het belangrijkste doel van het systeem is om aan met name de volgende onderdelen van de PALLAS-reactor gedemineraliseerd water van geschikte kwaliteit te leveren:
  - Reactor Pool and Service Pool;
  - Hot Water Layer System;
  - Long Term make-up Water System;
  - Water Purification System;
  - Heavy Water Cooling and Purification System;
  - Reactor Building Ventilation System;
  - Radioactive Liquid Waste Management;
  - Radioactive Spent Resins Management;
  - Hot Cells;
  - Laboratories.
3. Het systeem bestaat uit een demineralisatie-installatie, een pompsysteem, opslagtanks, distributieleidingen, instrumentatie en afsluiters en wordt gevoed met koud leidingwater.

## 10.10 Industrial Gases System

1. Het Industrial Gases System draagt niet bij aan de fundamentele veiligheidsfuncties.
2. Het belangrijkste doel van het systeem is het leveren van industriële gassen, zoals argon, neon, (vloeibare) stikstof, helium, zuurstof en gezuiverde lucht, aan verschillende systemen.
3. Gasvormig zuurstof, helium, argon, neon en gezuiverde lucht worden uit gasflessen geleverd. Gasvormig -en vloeibaar stikstof worden geleverd vanuit een vloeibaar-stikstof toevoersysteem. Voor specifieke toepassingen wordt stikstof ook uit gasflessen geleverd.
4. De opslag van gasflessen vindt plaats in een speciaal daartoe ingerichte opslag, gelegen buiten het Nuclear Island Building.
5. Het systeem beschikt over een leidingnetwerk dat de gassen vanuit de cilinderbanken naar de plaats van bestemming brengt.

# 11

Reaktorbenutzung



## 11.1 Inleiding

1. Dit hoofdstuk beschrijft de activiteiten en aspecten die van belang zijn voor de benutting van de reactor ofwel bestralingsactiviteiten bij normaal bedrijf.
2. Met de PALLAS-reactor wordt een breed scala aan bestralingsactiviteiten uitgevoerd. Zo worden er targetmaterialen bestraald waarmee radio-isotopen geproduceerd worden die in andere installaties worden omgezet naar medische radiofarmaca voor diagnose en therapie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de productie van Mo-99 en de productie van andere radio-isotopen (ook wel ORI, Other Radioisotopes genoemd). Ook worden materialen bestraald ten behoeve van industriële toepassingen en onderzoek, waaronder R&D-studies naar het gedrag van materialen onder bedrijfscondities in kerncentrales.
3. Paragraaf 11.2 gaat in op het management systeem voor reactorbenutting, dat onderdeel is van het PALLAS geïntegreerde managementsysteem (IMS) (zie hoofdstuk 14). Naarmate de technologie zich ontwikkelt zal ook het benuttings- en onderzoeksprogramma van de PALLAS-reactor veranderen, waardoor nieuwe bestralingsactiviteiten zullen worden ontplooid. Het managementsysteem voor reactorbenutting stelt zeker dat alle bestralingsactiviteiten zo worden uitgevoerd dat deze de veiligheid en gezondheid van de operators, de bevolking en het milieu niet in gevaar brengen en dat ze geen risico vormen voor de veiligheid van de reactorsystemen of andere bestralingsactiviteiten.
4. Paragraaf 11.3 gaat in op de belangrijkste bestralingsfaciliteiten van de PALLAS-reactor voor de bestralingsactiviteiten, zijnde:
  - In-Core Irradiation Facilities, binnen de kern (zie paragraaf 11.3.1);
  - Out-of-Core Irradiation Facilities, in de Reflector Vessel of in de Beryllium Reflector (zie paragraaf 11.3.2);
  - Pneumatische faciliteiten (zie paragraaf 11.3.3).
5. Paragraaf 11.4 behandelt de faciliteiten voor hantering en verzending van bestraald materiaal zijnde:
  - Transfer Hot Cells (zie paragraaf 11.4.1.1);
  - Pneumatic Transfer Hot Cell (zie paragraaf 11.4.1.2);
  - Decanning Hot Cells (zie paragraaf 11.4.1.3);
  - Packing and Dispatch Hot Cell (zie paragraaf 11.4.1.4);
  - Hot Cell Transfer System (zie paragraaf 11.4.1.5);
  - ORI Dispatch Preparation Room en de ORI Bunker (zie paragraaf 11.4.2.1);
  - Afschermd vaten (zie paragraaf 11.4.2.2).

## 11.2 Managementsysteem voor reactorbenutting

1. Met de PALLAS-reactor wordt een breed scala aan bestralingsactiviteiten uitgevoerd. In de loop van de tijd zullen door de veranderde markt- en klantvraag, uit veiligheidsoverwegingen en/of productieoptimalisatie nieuwe onderzoeksactiviteiten en bestralingsactiviteiten in de PALLAS-reactor gaan plaatsvinden.
2. Beoordeling en goedkeuring van nieuwe of gewijzigde bestralingsactiviteiten gebeurt middels het managementsysteem voor reactorbenutting. Dat maakt deel uit van het geïntegreerde managementsysteem (IMS, zie hoofdstuk 14). Het managementsysteem voor reactorbenutting stelt zeker dat de veiligheid van de reactor en van de bestralingsactiviteit voorrang krijgt en de vereiste aandacht krijgt middels een passende veiligheidsdemonstratie van bestralingsactiviteiten.
3. Bestralingsactiviteiten worden uitgevoerd conform goedgekeurde werkprocedures.

### 11.2.1 Veiligheidsdemonstratie van bestralingsactiviteiten

1. De basis voor de beoordeling en goedkeuring van nieuwe of gewijzigde bestralingsactiviteiten is het ontwerp- en veiligheidsrapport. Dit rapport moet aantonen dat de nieuwe of gewijzigde

bestralingsactiviteit veilig in de PALLAS-reactor kan worden uitgevoerd en dat er wordt voldaan aan de veiligheidsanalyses, de Veiligheidstechnische Specificaties (VTS, zie hoofdstuk 18) en de Kernenergiewetvergunning van de PALLAS-reactor.

2. De veiligheidsanalyse in het ontwerp- en veiligheidsrapport gaat in op de gevolgen van enkelvoudige storingen, vooral in verband met reactiviteit, insluiting van radioactief materiaal, koeling, elektriciteitsvoorziening, instrumentatie, andere hulpmiddelen en componenten, bediening en hantering. Ook worden de gevolgen van een gelijktijdig falen van onderling onafhankelijke veiligheidssystemen en menselijke fouten geanalyseerd. Tenslotte moet de veiligheidsanalyse aantonen dat gepostuleerde enkelvoudige en meervoudige storingen niet kunnen leiden tot onaanvaardbare gezondheidsrisico's voor medewerkers, omwonenden en het milieu, noch tot onaanvaardbare schade aan de reactorkern of de reactorsystemen.

### 11.2.2 Beoordeling en goedkeuring van bestralingsactiviteiten

1. Nieuwe of gewijzigde bestralingsactiviteiten volgen een procedure met een getrapte interne goedkeuring, eerst van het ontwerp, dan van de veiligheidsdemonstratie en uiteindelijk van de operationele uitvoering.
2. De interne goedkeuringsprocedure en de daarvoor benodigde documenten zijn gebaseerd op nationale en internationale ervaring en zullen voldoen aan de wettelijke eisen.
3. Elke nieuwe en gewijzigde bestralingsactiviteit wordt op basis van de mogelijke veiligheidsgevolgen ingedeeld in een veiligheidscategorie. Deze categorie bepaalt de mate van detail en diepgang van de veiligheidsanalyse, welke documentatie moet worden opgesteld, maar ook welke route moet worden gevolgd voor de beoordeling en goedkeuring door de ANVS.
4. De PALLAS beoordeling en goedkeuring van een nieuwe of gewijzigde bestralingsactiviteit begint met een review van het ontwerp, onder andere door deskundigen die bij het dagelijks gebruik en het onderhoud van de PALLAS-reactor betrokken zijn. Dan volgt een tweede, onafhankelijke review door personen die niet betrokken zijn bij het dagelijks gebruik van de PALLAS-reactor. Het gehele proces staat onder toezicht van de Reactor Veiligheidscommissie (RVC), die de Reactor Manager adviseert over de veiligheid van de voorgestelde bestralingsactiviteit.
5. Een nieuwe of gewijzigde bestralingsactiviteit wordt te allen tijde aan de ANVS gemeld, waarbij ook het ontwerp- en veiligheidsrapport voorgelegd. Een nieuwe of gewijzigde bestralingsactiviteit kan leiden tot de benodigde wijziging van de veiligheidsanalyses, de Veiligheidstechnische Specificaties (VTS, zie hoofdstuk 18) en de Kernenergiewetvergunning van de PALLAS-reactor. Dit zal conform de wettelijke eisen en het geïntegreerde managementsysteem (IMS, zie hoofdstuk 14) van PALLAS worden geregeld.

## 11.3 Bestralingsfaciliteiten

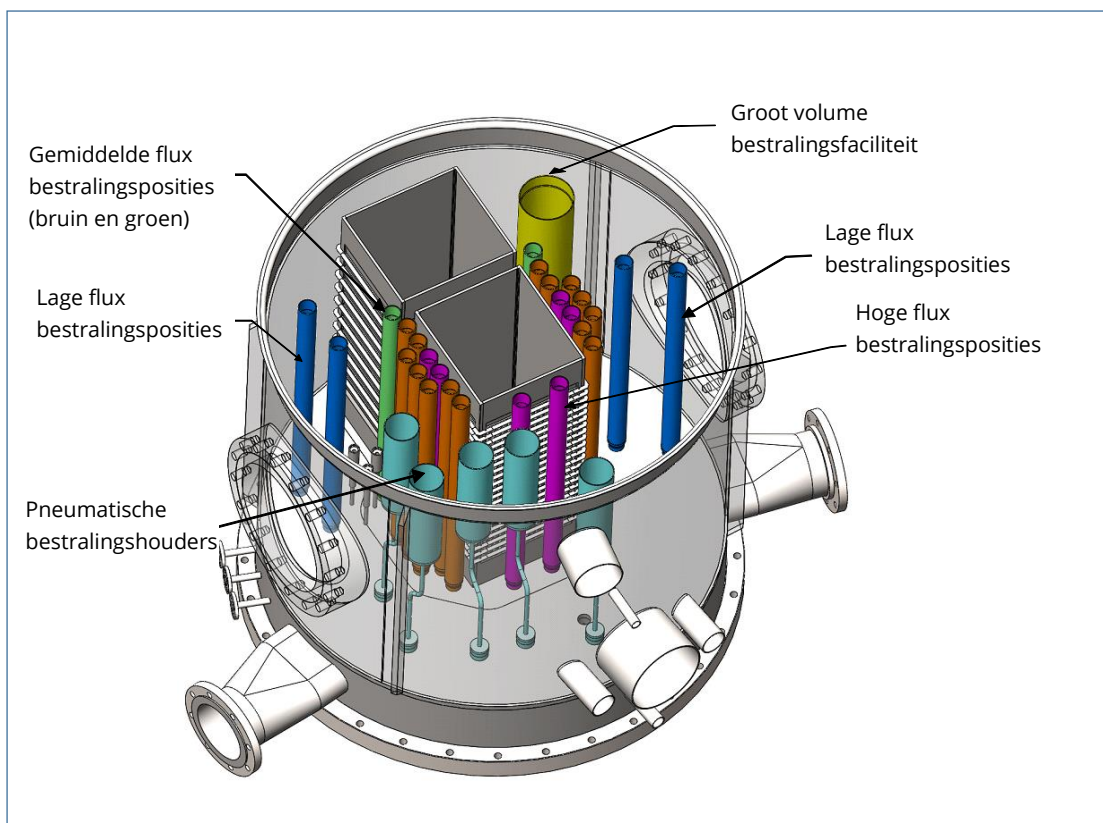
### 11.3.1 In-Core Irradiation Facilities

1. De bestralingsposities van de In-Core Irradiation Facilities bevinden zich binnen de reactorkern. Zij worden gekoeld door het Primary Cooling System met gedemineraliseerd water.
2. De reactorkern laat kernconfiguraties van 18, 19 of 20 splijtstofelementen toe, waarmee het de mogelijkheid biedt voor één of twee In-Core Irradiation Facilities-bestralingsposities op vrije elementplaatsen waarin dan een bestralingselement wordt geplaatst.
3. De externe vorm van een bestralingselement is praktisch gelijk aan dat van een splijtstofelement en past daarmee precies in het kernrooster. Hierin kunnen een of meerdere targethouders met targets worden geplaatst.
4. Het beladen en ontladen van een bestralingselement in de reactorkern gebeurt alleen als de reactor zich in splijtstofwisseltoestand bevindt en volgens vastgelegde procedures met speciaal daarvoor ontworpen gereedschappen en uitsluitend door daartoe bevoegde medewerkers.

### 11.3.2 Out-of-Core Irradiation Facilities

1. De Out-of-Core Irradiation Facilities bevinden zich in de Reflector Vessel en in de Beryllium Reflector. In de Reflector Vessel worden ze gevormd door verticale buizen. In de Beryllium Reflector worden ze gevormd door verticale holtes in enkele reflectorstaven.
2. Een bestralingsfaciliteit bestaat uit een bestralingspositie plus een verwisselbare targethouder waarin de te bestralen targets zijn gefixeerd.
3. De Out-of-Core Irradiation Facilities worden gekoeld door het Pools Cooling System met gedemineraliseerd water.
4. In de Out-of-Core Irradiation Facilities kunnen targets voor de productie van Mo-99 of andere radio-isotopen (ORI) bestraald worden. Ook kunnen daarin andere bestralingen voor bijvoorbeeld onderzoek worden uitgevoerd.
5. Tijdens bestraling wordt een reeks veiligheidsvariabelen gemonitord met het Irradiation Protection System (zie hoofdstuk 8), dat bij afwijkingen tijdens een bestralingsactiviteit de reactor afschakelt.
6. De PALLAS-reactor heeft in 29 Out-of-Core Irradiation Facilities-bestralingsposities verdeeld over 3 regimes (zie Figuur 11-1):
  - Hoge flux bestralingsposities: Dit zijn 7 bestralingsposities, voornamelijk voor ORI-productie (bijvoorbeeld lutetium-177): 6 in het Reflector Vessel (paars) en 1 in de Beryllium Reflector (niet zichtbaar in Figuur 11-1).
  - Gemiddelde flux bestralingsposities: Dit zijn 18 bestralingsposities, waarvan 14 in het Reflector Vessel die in beginsel voor Mo-99 productie bedoeld zijn (bruin) en 4 voornamelijk voor ORI-productie (bijvoorbeeld ytrium-90): van deze laatste zijn er 2 in de Reflector Vessel (groen) en 2 in de Beryllium Reflector (niet zichtbaar in Figuur 11-1).
  - Lage flux bestralingsposities: Dit zijn 4 extra bestralingsposities in de Reflector Vessel (blauw) voor andere lage flux bestralingsactiviteiten.
7. De Beryllium Reflector biedt flexibiliteit voor toekomstige bestralingsactiviteiten. Het rooster van de Beryllium Reflector kan geherconfigureerd worden om ook andere dan de boven genoemde bestralingsposities mogelijk te maken.
8. Naast genoemde bestralingsposities heeft de Reflector Vessel nog een speciale bestralingsfaciliteit voor bestralingsactiviteiten met een groot volume (lichtgroen in Figuur 11-1).
9. De bestralingsfaciliteiten zijn zo gebouwd dat tijdens gebruik de stralingsdosis voor werknemers zo laag mogelijk blijft. De operators hanteren de targethouders volgens vastgelegde procedures op afstand met speciale tools onder water vanaf de Operation Bridge boven de Reactor en Service Pools.
10. Na bestraling worden de targethouders van de Reactor Pool naar de Service Pool verplaatst en vervolgens met een onderwaterlift naar één van beide afgeschermd Transfer Hot Cells voor verdere verwerking overgebracht, zie paragraaf 11.4.

**Figuur 11-1: Schematisch overzicht van de Out-of-Core Irradiation Facilities in de Reflector Vessel**



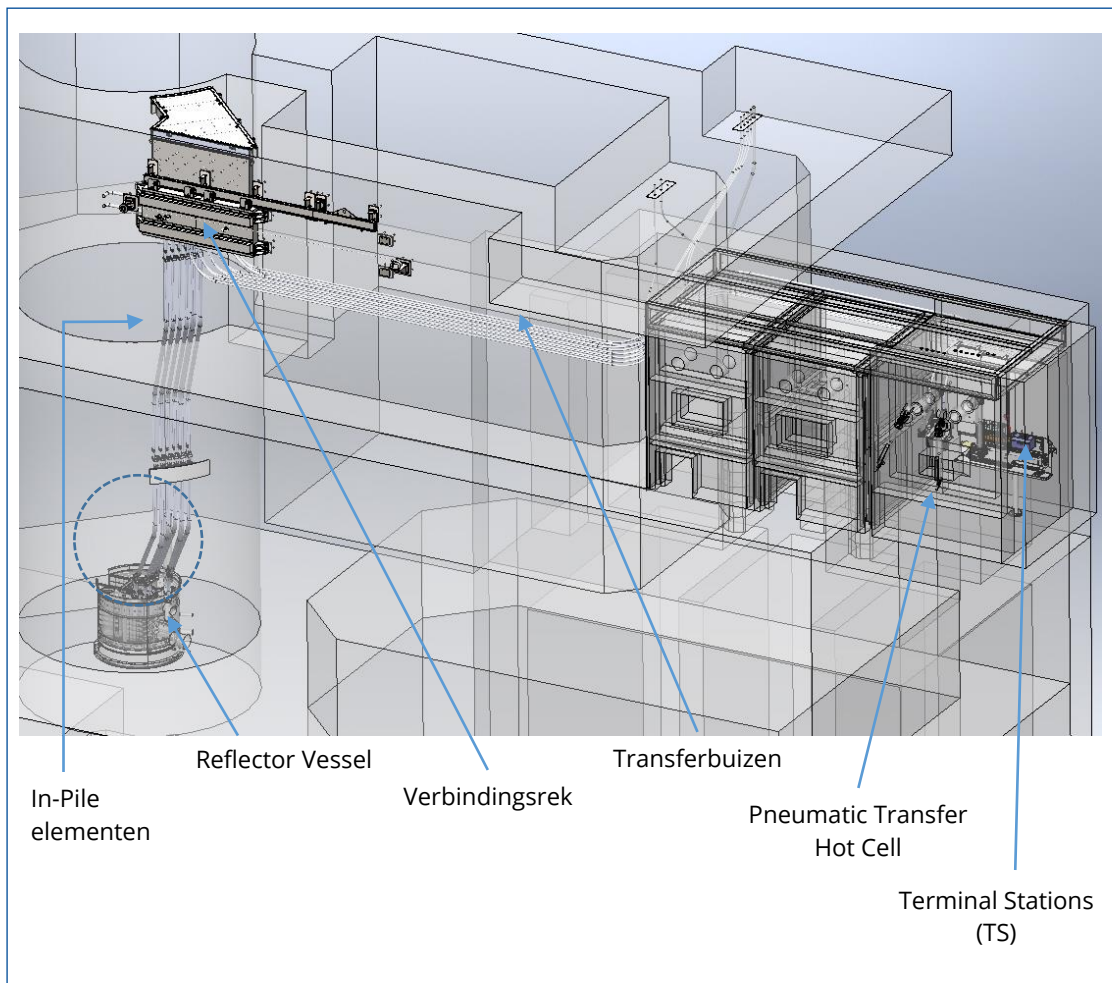
### 11.3.3 Pneumatic Transport and Cooling System

1. Met het Pneumatic Transport and Cooling System kunnen targets worden bestraald waarbij minimale operatorhandelingen benodigd zijn voor het beladen en ontladen. Dit gebeurt door targets met stikstof pneumatisch door transferbuizen vanuit de Hot Cell naar de bestralingspositie te verplaatsen en weer terug. Met het Pneumatic Transport and Cooling System kunnen de bestralingsposities met targets worden beladen en ontladen terwijl de reactor op vol vermogen werkt.
2. Nadat een te bestralen target (bus met targetmateriaal) de Pneumatic Transfer Hot Cell is ingesluisd, wordt deze middels een automatisch bediend Terminal Station in een van de transferbuizen geladen. Deze transferbuizen zijn verbonden met speciale bestralingsposities in of vlakbij de Reflector Vessel. Na bestraling verplaatst het Pneumatic Transport and Cooling System het target ook weer terug naar het Terminal Station in de Pneumatic Transfer Hot Cell.
3. Het Pneumatic Transport and Cooling System bedient twaalf bestralingsposities, verdeeld over zes pneumatische bestralingshouders. Vijf bestralingshouders, elk in een pneumatische buis, bevinden zich binnen de Reflector Vessel (zie Figuur 11-1, in aquamarijn). Een bestralingshouder, uitgerust met speciale afscherming en moderator, bevindt zich net buiten de Reflector Vessel (niet zichtbaar in Figuur 11-1).
4. Het Pneumatic Transport and Cooling System is voorzien van vergrendelingslogica die voorkomt dat pneumatische targets gelijktijdig vanuit verschillende bestralingsposities kunnen worden ontladen.
5. Het Pneumatic Transport and Cooling System (zie Figuur 11-2) omvat de:
  - Terminal Stations in de Pneumatic Transfer Hot Cell (zie paragraaf 11.4);
  - In-Pile Elementen (in-pile buizen en bestralingshouders) met hun instrumentatie en transferbuizen;
  - Gas Process Circuits voor de benodigde stikstofstroom voor verplaatsing van de pneumatische targets naar en van de twaalf bestralingsposities en koelen de pneumatische

targets als die zich in de bestralingspositie bevinden. Om Argon-41 productie – door neutronenactivering van de Argon-40 in lucht – te voorkomen wordt hoog-zuivere stikstof gebruikt

6. De bestralingshouders in het Reflector Vessel worden gekoeld door een door het Pool Cooling System geleverde neerwaartse waterstroom, die door de pneumatische bestralingsbuizen circuleert.
7. De speciaal afgeschermd en gemedereerde pneumatische bestralingshouder net buiten het Reflector Vessel wordt middels natuurlijke circulatie door de Reactor Pool water gekoeld.
8. Elke bestralingspositie heeft direct naast de pneumatische bus een in de bestralingsfaciliteit geïntegreerde temperatuursensor, die deel uitmaakt van het Irradiation Control and Monitoring System (zie hoofdstuk 8).

**Figuur 11-2: Algemene opzet van het Pneumatic Transport and Cooling System**



## 11.4 Hantering en verzending van bestraald materiaal

1. De faciliteiten voor hantering en verzending van bestraald materiaal vormen de interface tussen de bestralingsactiviteiten in het Nuclear Island Building en de elders uitgevoerde verwerkings- en productieactiviteiten.
2. Typische werkzaamheden die in het Nuclear Island Building worden uitgevoerd zijn:
  - voorbereiding en ontvangst van nieuwe targets;
  - planning en sturing van de bestralingscycli;
  - montage en demontage van houders;
  - uitpakken van bestraalde targets (indien gewenst);

- activiteitsmetingen van bestraalde targets (indien van toepassing);
  - conditionering van bestraalde targets in vaten of speciale verpakkingen voor vervoer en verzending;
  - verzending van bestraald materiaal.
3. Deze werkzaamheden worden uitgevoerd in het Nuclear Island Building in faciliteiten die ontworpen zijn om radioactief materiaal conform de stralingsbeschermingsnormen te hanteren.
  4. De transportstromen binnen het Nuclear Island Building zijn erop ingericht om stralingsdoses voor de werknemers te minimaliseren en besmetting van schoon materiaal of onbesmette personen door besmet materiaal te voorkomen. Voorbeelden daarvan zijn: scheiding van de transportstromen voor grondstoffen en radioactieve producten (in- en uitgang); minimalisering van benodigde aanwezigheid van werknemers in gebieden met hoge stralingsdoses; scheiding van de stroom bestraalde Mo-99-targets van die van bestraalde pneumatische targets.
  5. De faciliteiten voor hantering en verzending van radioactief materiaal bestaan uit:
    - de Radioisotope Transfer Hot Cell en Flexible Transfer Hot Cell, die zich buiten het Reactor Containment, deels boven de Service Pool bevinden en daarmee middels liften verbonden zijn;
    - de Pneumatische Hot Cell, de 2 Decanning Hot Cells en de Packing and Dispatching Hot Cell, eveneens buiten het Reactor Containment;
    - verbindingen tussen de Hot Cells voor overdracht van bestraalde targets via het Hot Cell Transfer System;
    - de ORI Dispatch Preparation Room en de ORI Bunker;
    - afgeschermd vaten en verschillende brugkranen t.b.v. verzending van bestraald materiaal.
  6. Het ontwerp van de installaties en de processen voor hantering en verzending van bestraald materiaal minimaliseren de productie van afval, door geen of weinig wegwerpmateriaal te gebruiken en zo min mogelijk apparatuur te gebruiken dat bij onderhoud vaak moet worden vervangen.
  7. De Hot Cells zijn ontworpen om later eenvoudig ontmanteld te kunnen worden.

#### 11.4.1 Hot Cells System

1. Het Hot Cells System is ontwikkeld met focus op veiligheid. Daarbij is met name gekeken naar inherent veilige kenmerken en werkingsprincipes om storingen uit te sluiten waarbij radioactief materiaal kan vrijkomen.
2. De basiscomponenten van de Hot Cells zijn:
  - afscherming door zwaar beton en/of koolstofstaal;
  - afschermend raam;
  - afschermd toegangspoort;
  - werktafel;
  - Master-Slave Manipulators voor het op afstand bedienen van apparaten en hantering van bestraalde targethouders en targets;
  - bedieningsconsole;
  - aansluiting op een actief ventilatiesysteem om onderdruk te handhaven;
  - elektrische voeding en verlichting, noodverlichting;
  - flexibele wanddoorvoeren;
  - ruimtestralingsmonitoren in de Hot Cell werkruimtes.
3. De 'veilige kritieke massa' om een ongeval met criticiteit uit te sluiten, komt overeen met ongeveer 120 Mo-99 targets. Het ontwerp van de Hot Cells maakt belading met meer dan 120 Mo-99 targets fysiek onmogelijk.
4. De Hot Cells zijn voorzien van specifieke instrumenten om middels detectie en controle van toegangspoorten en docking-poorten de dynamische insluiting van radioactief materiaal, op basis van drukverschillen tussen de ruimtes, te garanderen.



5. Het Hot Cells Ventilation Circuit onttrekt lucht uit de Hot Cell werkruimtes naar de Hot Cells. De Hot Cell werkruimtes staan op onderdruk t.o.v. de buitenwereld.
6. Voor dynamische insluiting van radioactieve stoffen in de Hot Cells wordt in elke Hot Cell het onderdrukkniveau ten opzichte van de omgeving (Reactor Containment en Hot Cell werkruimtes) gemonitord. Met het Hot Cells Ventilation Circuit kan ook routinematig de lekdichtheid van de Hot Cells gecheckt worden om vermindering daarvan tijdig te detecteren.
7. Het Hot Cells Ventilation Circuit zorgt verder voor drukverschillen tussen de Hot Cells onderling, waarbij Hot Cells met potentieel hoger besmettingsniveau onder een lagere druk worden gehouden dan Hot Cells met een lager besmettingsniveau.
8. Voordat de uit de Hot Cells afgevoerde lucht door de ventilatieschacht in de buitenlucht vrijkomt, wordt deze over HEPA- en geactiveerde koolfilters gevoerd.
9. In de luchtafvoerkanalen van elke Hot Cell zijn bruto gamma-meetinstrumenten geïnstalleerd. Een gemeten hoge activiteit resulteert in een alarm op de bedieningsconsole van de Hot Cell. De operator kan dan de isolatieklep van de toevoerleiding sluiten om de luchtgedragen radioactiviteit die via de ventilatieschacht vrijkomt te verminderen.
10. De Hot Cells en de instrumenten en apparaten voor operatorwerkzaamheden zijn ergonomisch ontworpen.
11. De belangrijkste functies van elke cel zijn samengevat in Tabel 11-1 en beschreven in de daaropvolgende paragrafen.

**Tabel 11-1: Belangrijkste functies van de Hot Cells**

Naam	Belangrijkste functies
Radioisotopes Transfer Hot Cell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montage/demontage van targethouders</li> <li>• Verplaatsing van targethouders via de lift van de Radioisotope Transfer Hot Cell naar en uit de Service Pool</li> <li>• Hantering van bestraalde targets</li> <li>• Verplaatsing van bestraalde targets naar de Service Pool</li> <li>• Laden van bestraalde targets in transportvaten</li> <li>• Verplaatsing van bestraalde ORI-targets naar een van de 2 Decanning Hot Cells</li> </ul>
Flexible Transfer Hot Cell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montage / demontage van targethouders</li> <li>• Verplaatsing van targethouders via de lift van de Flexible Transfer Hot Cell naar en uit de Service Pool</li> <li>• Hantering van bestraalde targets</li> <li>• Verplaatsing van bestraalde targets naar de Service Pool</li> <li>• Laden van bestraalde targets in transportvaten</li> <li>• Verplaatsing van bestraalde ORI-targets naar 1 van de 2 Decanning Hot Cells</li> <li>• Hantering van speciale bestralingsfaciliteiten (onderzoekbestralingen)</li> </ul>
Pneumatic Transfer Hot Cell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behuizing van de Terminal Stations voor de pneumatische bestralingsfaciliteiten</li> <li>• Hantering van verse en bestraalde pneumatische targets (bus met targetmateriaal)</li> <li>• Verplaatsing van bestraalde pneumatische targets (bus met targetmateriaal) naar andere Hot Cells (Decanning Hot Cell 2 en Packing and Dispatching Hot Cell)</li> </ul>
Decanning Hot Cell 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hantering van bestraalde ORI-targets ontvangen van Radioisotope Transfer Hot Cell en Flexible Transfer Hot Cell</li> <li>• Decanning: openen van bestraalde ORI-bussen en uitnemen van de binnen-bussen die het bestraalde targetmateriaal bevatten</li> <li>• Plaatsen van de binnen-bussen in transportcapsules en overdracht naar Packing and Dispatching Hot Cell</li> <li>• Persen van lege bestraalde bussen</li> </ul>

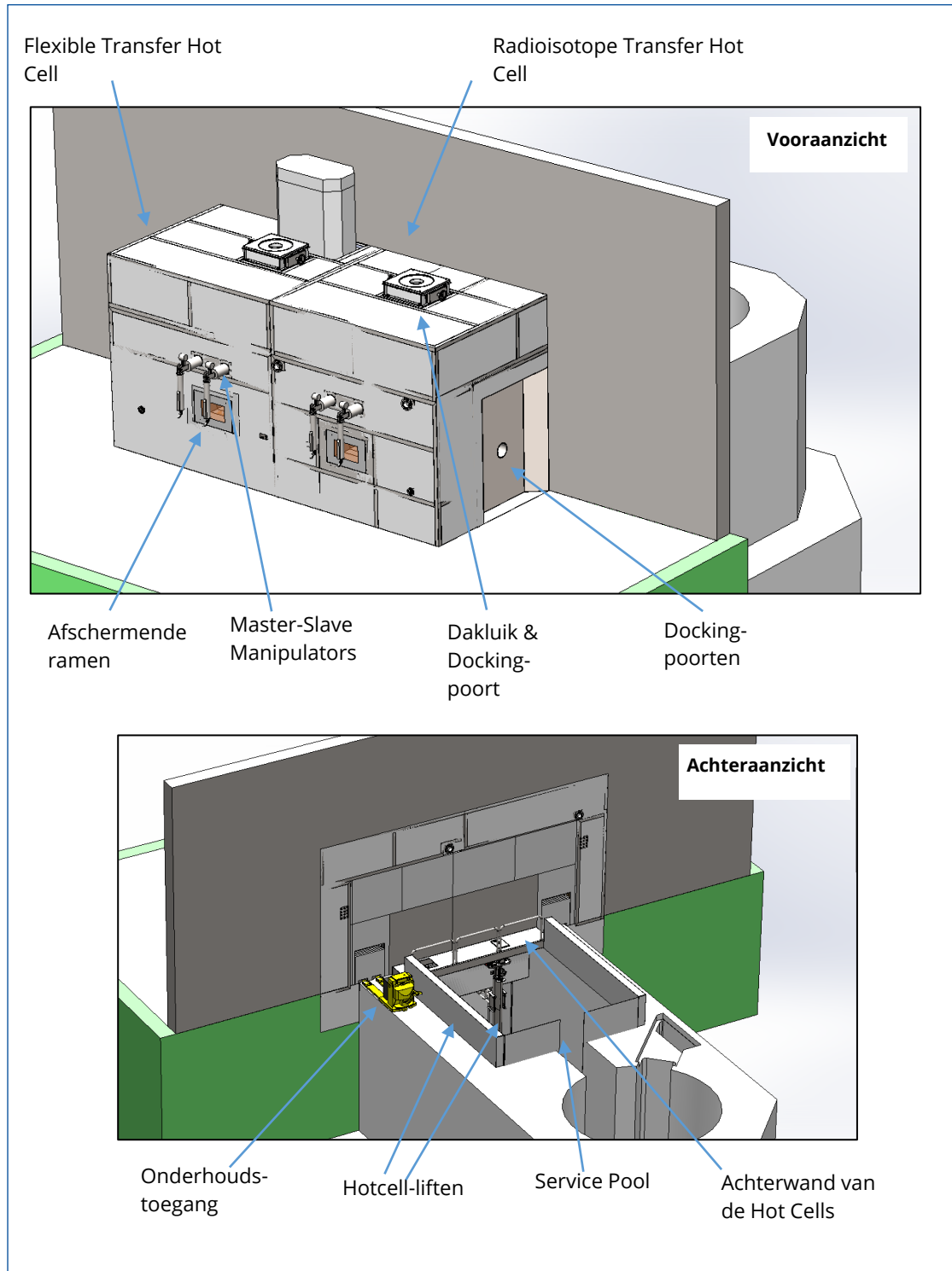
Naam	Belangrijkste functies
Decanning Hot Cell 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hantering van ORI-targets en bestraalde pneumatische targets (bus met targetmateriaal)</li> <li>• Decanning: openen van bestraalde ORI-houders of pneumatische bestraalde bussen en uitnemen van de binnen-bussen die het bestraalde materiaal bevatten</li> <li>• Plaatsen van de binnen-bussen in transportcapsules en overdracht naar Packing and Dispatching Hot Cell</li> <li>• Persen van lege bestraalde bussen</li> </ul>
Packing and Dispatch Hot Cell	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ontvangst van bestraalde materialen in transportcapsules van de 2 Decanning Hot Cells, Pneumatic Transfer Hot Cell</li> <li>• Activiteitsmeting (zo nodig)</li> <li>• Verpakkingswerk (gedeeltelijk of volledig)</li> </ul>

#### 11.4.1.1 Radioisotope Transfer Hot Cell en Flexible Transfer Hot Cell

1. De Radioisotope Transfer Hot Cell en Flexible Transfer Hot Cell worden samen beschreven omdat ze vrijwel dezelfde kenmerken en uitrusting hebben. Beide Hot Cells liggen naast elkaar, deels boven de Service pool. Figuur 11-3 hieronder geeft een voor- en achteraanzicht van beide Hot Cells.
2. In deze goed afgeschermd Hot Cells kunnen – nadat ze voldoende vervallen zijn – twaalf bestraalde Mo-99 targets tegelijkertijd gehanteerd worden.
3. Beide Transfer Hot Cells hebben een binnenbekleding die eenvoudig te decontamineren is.
4. Voor onderhoud zit er in de achterwand (kant van de Reactor Pool) een toegangsdeur, die de Hot Cell luchtdicht afsluit van de reactorhal.
5. Voor onderhoud zit er op het dak een afschermend luik, dat tevens dient als docking-poort voor het aankoppelen van afgeschermd vaten, voornamelijk voor het terughalen van vast afval.
6. De onderhoudsdeur heeft een deursensor om zeker te stellen dat deze tijdens gebruik van de Hot Cell gesloten is. De docking-poorten hebben sensoren om te detecteren dat daarin aangekoppelde vaten correct aangekoppeld zijn voordat de binnendeur van de Hot Cell wordt geopend.
7. Beide Hot Cells hebben een voorziening om verse targets vanuit de Hot Cell werkruimte binnen te sluisen.
8. De zijwand van elke Transfer Hot Cell is voorzien van een docking-poort voor het aankoppelen van zware vaten, voornamelijk voor het ophalen van bestraalde targets.
9. Bestraalde ORI-targets kunnen middels het Hot Cell Transfer System (zie paragraaf 11.4.1.5) vanuit de Transfer Hot Cells naar de twee Decanning Hot Cells worden verplaatst.
10. Beide Hot Cells worden bediend vanuit een gezamenlijke Hot Cell werkruimte, die voorzien is van ruimtestralingsmonitoren om in het geval van storing verhoogde straling te kunnen detecteren.
11. Een bedieningsconsole voorziet de operator van de benodigde informatie om zijn werkzaamheden, zoals bediening van de lift, de toegangsdeur en andere hulpsystemen, veilig te kunnen uitvoeren.
12. De Flexible Transfer Hot Cell heeft voorzieningen voor het knippen en/of persen van afval van onderzoeksapparatuur en afgedankte targethouders. Die voorzieningen kunnen ook nuttig zijn bij latere ontmantelingsactiviteiten.
13. De liften van beide Transfer Hot Cells transporteren voornamelijk targethouders tussen de betrokken Hot Cell en de Service Pool.
14. Elke lift heeft een vergrendeling waardoor die alleen naar boven kunnen gaan als de lift-poort in veilige positie is, waarmee toegang tot de betrokken Transfer Hot Cell en voldoende afscherming tijdens transport verzekerd is.
15. Bij het ontwerp van beide Hot Cells is er mee rekening gehouden dat ze vanuit oogpunt van insluiting een ‘materiaal-luchtsluit’ voor het Reactor Containment vormen. De lucht binnen het

Reactor Containment is gescheiden van die in de Transfer Hot Cells middels het waterslot gevormd door het water van de Service Pool en door de luchtdichte metalen afdekking om de liftkokers waar die boven de Service Pool de Hot Cell binnengaan.

**Figuur 11-3: Voor- en achteraanzicht van de Radioisotope Transfer Hot Cell en de Flexible Transfer Hot Cell (schematische weergave)**



#### 11.4.1.2 Pneumatic Transfer Hot Cell

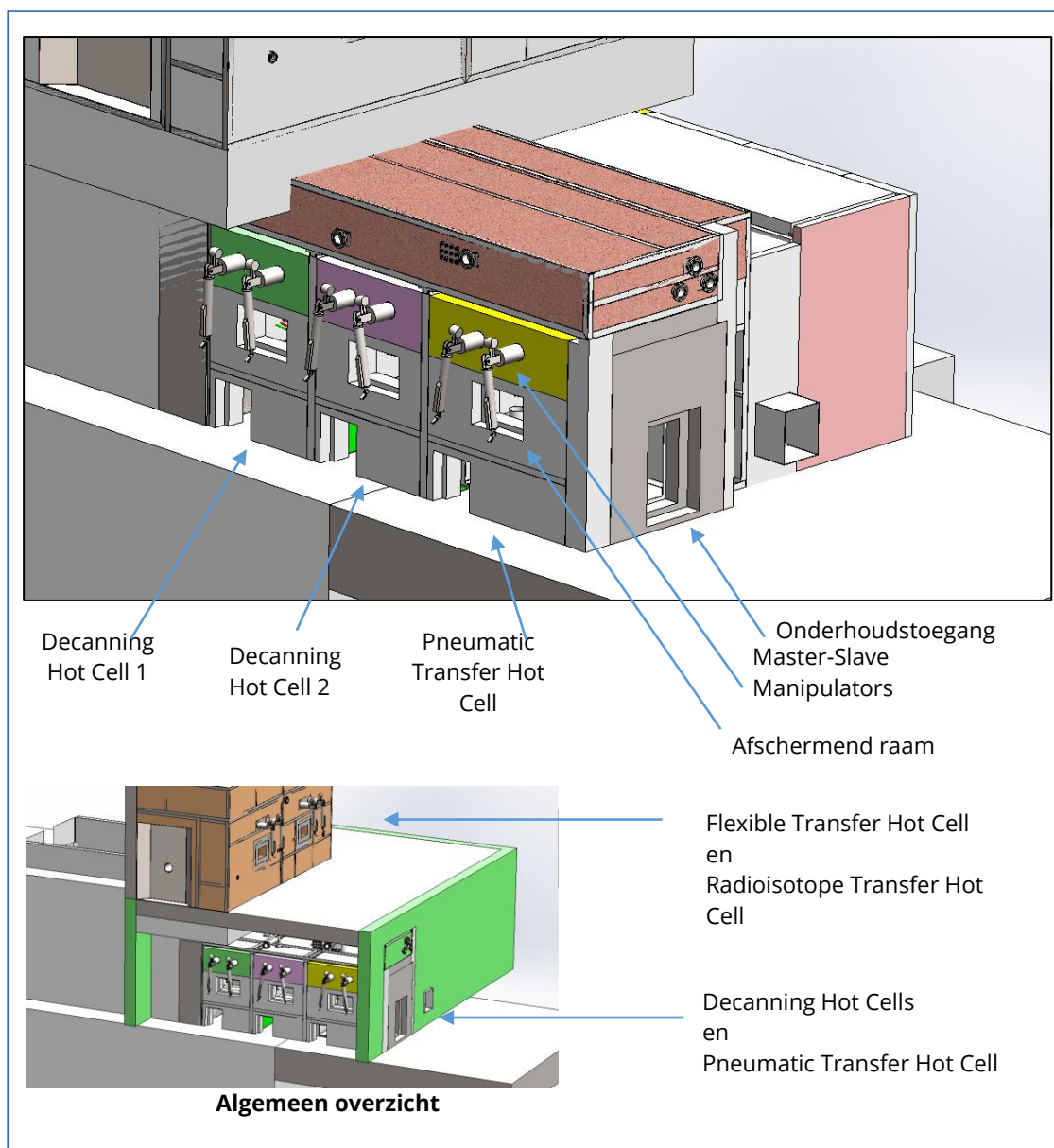
1. De Pneumatic Transfer Hot Cell ligt naast beide Decanning Hot Cells schuin onder beide Transfer Hot Cells (zie 'Algemeen overzicht' in Figuur 11-4).
2. Met de Master-Slave Manipulators kunnen de drie Terminal Stations op afstand worden bediend.

3. Bediening vindt plaats vanuit een Hot Cell werkruimte, die voorzien is van ruimtestralingsmonitoren om in het geval van storing verhoogde straling te kunnen detecteren.
4. De Pneumatic Transfer Hot Cell heeft een onderhoudstoegang en een docking-poort voor aankoppelen van de vaten, voornamelijk voor aan- en afvoer van materialen.
5. De Fresh Target Loading Device wordt gebruikt om verse targets vanuit de Hot Cell werkruimte binnen te sluizen. Dat apparaat is voorzien van een dubbele isolatieklep.
6. Pneumatisch bestraalde targets worden middels het Hot Cell Transfer System van de Pneumatic Transfer Hot Cell naar Decanning Hot Cell 2 of naar de Packing and Dispatch Hot Cell verplaatst.

#### 11.4.1.3 Decanning Hot Cells

1. De Decanning Hot Cells worden samen beschreven omdat ze vrijwel dezelfde kenmerken en uitrusting hebben. Zij liggen naast de Pneumatic Transfer Hot Cell schuin onder beide Transfer Hot Cells (zie Figuur 11-4).
2. Bij het uitpakken (decannen) van een bestraald target wordt het bestraalde materiaal in een transportcapsule geplaatst, die fysieke bescherming biedt en een extra insluiting vormt.
3. De afscherming volstaat om meerdere bestraalde bussen tegelijk te hanteren. Extra afscherming wordt voorzien voor de opslag van geperste lege bestraalde aluminium bussen.
4. Met de Master-Slave Manipulators kunnen de decanning en persmachines op afstand worden bediend.
5. De Decanning Hot Cells worden bediend vanuit een gezamenlijke Hot Cell werkruimte, die voorzien is van ruimtestralingsmonitoren om in het geval van storing verhoogde straling te kunnen detecteren.
6. De Hot Cells hebben een onderhoudstoegang en een docking-poort voor het aankoppelen van vaten, voornamelijk voor afvoer van vast afval.
7. De Transport Capsule Loading Device wordt gebruikt om transportcapsules vanuit de Hot Cell werkruimte in de Hot Cell binnen te sluizen.
8. Bestraalde materialen worden in transportcapsules met het Hot Cell Transfer System (paragraaf 11.4.1.5) vanuit de Decanning Hot Cells naar de Packing and Dispatch Hot Cell verplaatst.

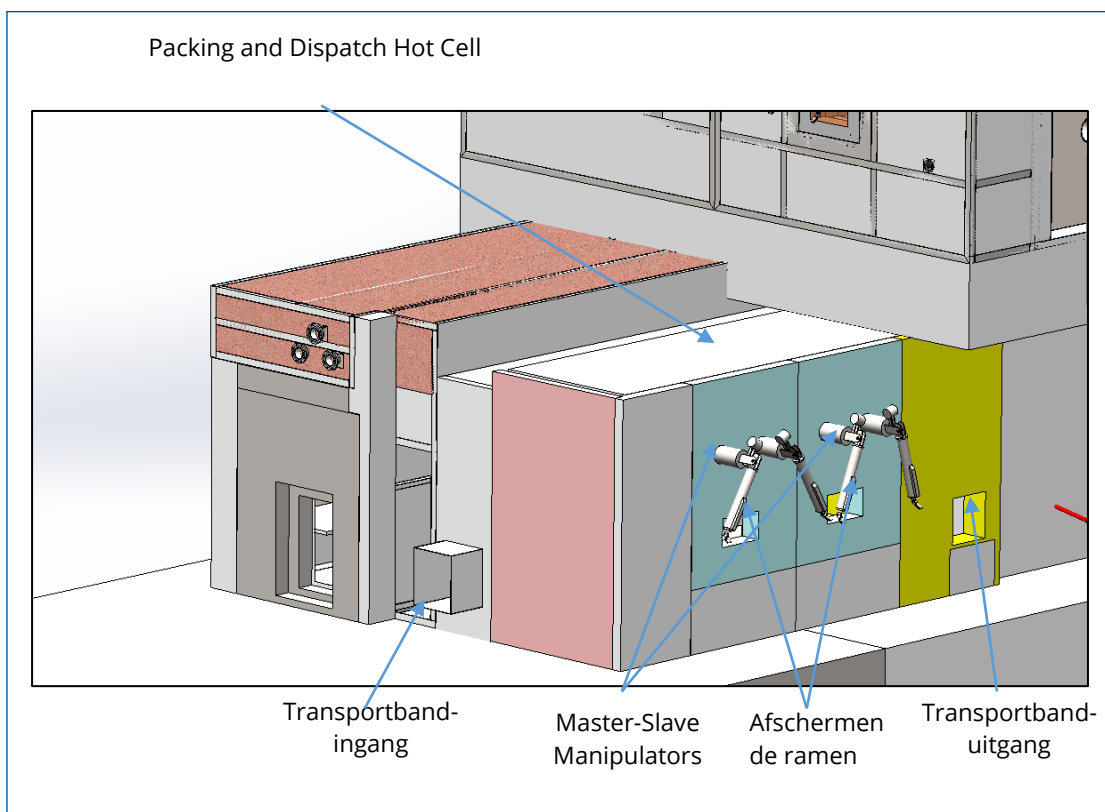
Figuur 11-4: Decanning Hot Cells en Pneumatic Transfer Hot Cell (schematische weergave)



#### 11.4.1.4 Packing and Dispatch Hot Cell

1. De Packing and Dispatch Hot Cell ligt achter de Pneumatic Transfer Hot Cell en beide Decanning Hot Cells, schuin onder beide Transfer Hot Cells (zie Figuur 11-5).
2. In deze Hot Cell wordt het bestraalde materiaal ontvangen en verpakt in een of twee gesloten containers, bedoeld om verspreiding van radioactief materiaal te voorkomen en om het bestraalde targetmateriaal te beschermen.
3. De Hot Cell heeft twee werkstations met elk een afschermend raam en een paar Master-Slave Manipulators en wordt bediend vanuit een Hot Cell werkruimte, waar stralingsgebiedsmonitoren geïnstalleerd zijn om in het geval van een gebeurtenis hoge doses te detecteren.
4. De Hot Cell heeft een ORI-vatingang in de ene zijwand en een ORI-vatuitgang in de tegenoverliggende zijwand. Achter in de werkruimte bevindt zich een transportbandsysteem voor het verplaatsen van ORI-vaten die in de Hot Cell met bestraald materiaal worden beladen.
5. Omdat in deze Hot Cell alleen gesloten stralingsbronnen worden behandeld, is deze afwijkend van de andere Hot Cells aangesloten op het Non-Conventional Ventilation Circuit (zie hoofdstuk 4).

Figuur 11-5: Packing and Dispatch Hot Cell (schematische weergave)



#### 11.4.1.5 Hot Cells Transfer System

1. Het verplaatsen van bestraalde materialen tussen de Hot Cells gebeurt met het Hot Cell Transfer System. Dit systeem is ontworpen om bussen met bestraalde targets te verplaatsen. Ook kan het transportcapsules met bestraalde targets verplaatsen nadat de targets in een Decanning Hot Cell zijn overgepakt.
2. Het Hot Cell Transfer System bestaat voornamelijk uit een set transferleidingen met stations aan beide uiteinden. De stations zijn gesloten, waardoor het systeem tussen twee Hot Cells geïsoleerd is en er geen lucht tussen de ventilatiesystemen van beide cellen kan stromen.
3. De transferkanalen zijn waar nodig afgeschermd om stralingsdoses voor de werknemers tijdens verplaatsing van bestraalde targets te vermijden.

#### 11.4.2 Overige installaties voor hantering en verzending van bestraald materiaal

##### 11.4.2.1 ORI Dispatch Preparation Room en de ORI Bunker

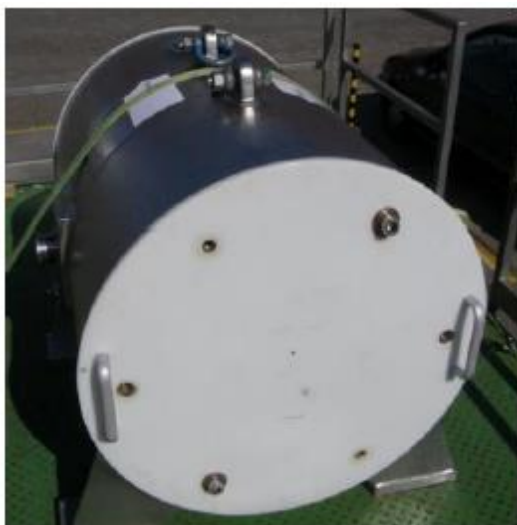
1. In de ORI Dispatch Preparation Room en de ORI Bunker worden de laatste stappen voor verzending van de geproduceerde radio-isotopen uitgevoerd.
2. In de ORI Dispatch Preparation Room, direct na de uitgangslijn van de Packing and Dispatching Hot Cell worden ORI-vaten in transportvaten verpakt, klaar voor verzending.
3. De ORI Bunker is een kleine, goed afgeschermd ruimte gelegen naast de ORI Dispatch Preparation Room. Hierin kan, zo nodig, radioactief materiaal in transportvaten tijdelijk worden opgeslagen, in afwachting van verzending.

##### 11.4.2.2 Afschermden vaten

1. Voor verzending van radioactief materiaal worden diverse afschermden vaten gebruikt. Binnen het Nuclear Island Building worden alleen gecertificeerde transportvaten gebruikt, elk voor bepaalde toepassingen.

2. De gebruikte vatmodellen zijn vergelijkbaar met de modellen die ook in gelijksoortige installaties in de nucleaire industrie worden gebruikt:
  - zware vaten voor verzending van bestraalde Mo-99-targets: deze kunnen in de Service Pool ondergedompeld worden en/of op het docking-poort van de Radioisotope Transfer Hot Cell of de Flexible Transfer Hot Cell aangesloten worden;
  - zware vaten voor verzending van samen te versturen bestraalde ORI-targets ("in bulk") of van radioactief afval: deze kunnen in de Service Pool ondergedompeld worden of op het docking-poort op het dak van de Radioisotope Transfer Hot Cell, de Flexible Transfer Hot Cell en de Decanning Hot Cells aangekoppeld worden;
  - zware vaten voor verzending van bestraalde iridiumnaalden;
  - kleine vaten voor verzending van uitgepakte bestraalde ORI-targets (i.e. na decanning).
3. Figuur 11-6 toont ter illustratie enkele voorbeelden van zware vaten.
4. Voor verplaatsing van kleine vaten binnen het Nuclear Island Building wordt de transportband gebruikt, die achter in de Packing and Dispatch Hot Cell en langs de ORI-verzendzones loopt. De aanvoer en verzending van ORI-vaten van het Nuclear Island Building gebeurt met lorries, elektrisch aangedreven of met mankracht.
5. Zware vaten worden zo verplaatst en gehanteerd dat mechanische beschadiging aan componenten in de Service Pool en daarbuiten, tijdens transport binnen het Nuclear Island Building, wordt voorkomen. Het hanteren, heffen en aankoppelen van zware vaten gebeurt conform goedgekeurde procedures en checks. De zware vaten en hun jukken zijn voor de bedoelde werkzaamheden gecertificeerd en vergund.
6. Voor verplaatsing van zware vaten bij de Service Pool en in de reactorhal wordt de Reactor Hall Bridge Crane gebruikt. Het aan- en afkoppelen van de vaten aan de Transfer Hot Cells gebeurt met de Hot Cell Bridge Crane. De daaropvolgende verplaatsingen vanuit de reactorhal tot aan verzending gebeurt met elektrische lorries en de Loading Bay Bridge Crane. De brugkranen hebben diverse veiligheidskenmerken. Hiermee wordt de veiligheid gegarandeerd van zowel de vaten met hun inhoud als de installaties in het Nuclear Island Building.
7. Elk zwaar vat is ontworpen, gecertificeerd en vergund voor vervoer van een maximale hoeveelheid radioactiviteit en warmteproductie op de openbare weg. Het gebruik van een bepaald zwaar vat voor een bepaalde lading gebeurt conform goedgekeurde procedures en checks.
8. Waar nodig worden luchtdichte zware vaten gebruikt voor het vervoer van radioactief materiaal. Na het beladen worden deze zware vaten onderworpen aan een lekttest.

Figuur 11-6: Zware vaten (voorbeelden ter illustratie)



MARIANNE  
(zonder schokdempers)



W-Container



AGNES



# 12

Radioactief afval



## 12.1 Inleiding

1. Dit hoofdstuk beschrijft het programma, het plan en de systemen voor het beheer van radioactief afval. Samen dragen deze bij tot de beperking van de hoeveelheid en de activiteit van het afval, de insluiting van radioactief materiaal en de bescherming van de PALLAS-medewerkers, het publiek en het milieu tegen de radioactiviteit in het afval.
2. Het beheer van radioactief afval omvat de behandeling van alle vaste, vloeibare en luchtgedragen (gassen en aerosol) radioactieve afvalstromen die kunnen ontstaan tijdens de inbedrijfstelling, normaal bedrijf en gepostuleerde gebeurtenissen en ongevallen van de PALLAS-reactor.
3. Paragraaf 12.2 beschrijft het PALLAS-programma voor het beheer van radioactief afval, de overige paragrafen van dit hoofdstuk beschrijven het beheer en de beheerssystemen voor de diverse radioactieve afvalstromen:
  - vast radioactief afval (paragraaf 12.3);
  - verbruikte radioactieve harsen (paragraaf 12.4);
  - vloeibaar radioactief afval (paragraaf 12.5);
  - luchtgedragen (gassen en aerosol) radioactiviteit (paragraaf 12.6).
4. Het beheer van bestraalde splijtstof is beschreven in hoofdstuk 10.

## 12.2 Programma voor radioactief afvalbeheer

### 12.2.1 Doelstellingen van het radioactief afvalbeheer

1. Het PALLAS-programma voor het beheer van radioactief afval heeft tot doel:
  - het waarborgen van controle van alle aspecten van radioactief afvalbeheer;
  - het zorgdragen voor veilige uitvoering van het afvalbeheer, i.e. met minimale blootstelling van de medewerkers en maximale bescherming van het publiek en het milieu tegen blootstelling aan straling;
  - het minimaliseren van de hoeveelheid en activiteit van het geproduceerde afval;
  - het minimaliseren en monitoren van luchtgedragen radioactieve emissies.

### 12.2.2 Afvalbeheerplan

#### 12.2.2.1 Algemeen

1. Het afvalbeheerplan beschrijft de afvalverwerkingsprocessen voor karakterisering, conditionering en/of minimalisering van radioactieve afvalstromen. De details van de processen zijn vastgelegd in specifieke procedures voor elk van de afvalstromen.
2. Het afvalbeheerplan beschrijft de methodiek waarmee voor elk type radioactief afval van de PALLAS-reactor wordt bepaald welke van de drie verwijderingsroutes wordt gevolgd: vrijgave, vergunde afvoer of opslag bij de Centrale Organisatie Voor Radioactief Afval (COVRA).
3. Het afvalbeheerplan beschrijft alle beheerstappen, inclusief op hoofdlijnen de relevante processen bij dienstverlener(s). Dit betreft zowel het verzamelen, verwerken en afvoeren als het monitoren daarvan.
4. Gedurende de bedrijfsduur van de PALLAS-reactor zullen nieuwe bestralingsactiviteiten worden ontplooid (zie hoofdstuk 11), waarbij nieuwe radioactieve afvalstromen kunnen ontstaan. Als onderdeel van de voorafgaandelijke evaluatie van nieuwe bestralingsactiviteiten zal worden nagegaan hoe het resulterende radioactieve afval beheerd kan worden.

#### 12.2.2.2 Verzamelen van radioactief afval

1. Van elk radioactief afval worden alle kenmerken, zoals oorsprong, hoeveelheid, nuclide-inventaris, activiteit, dosistempo, geregistreerd en vastgelegd. Het afval wordt op basis van de herkomst (bijv. materialen van experimenten) en kenmerken (bijv. persbaar) verzameld totdat er voldoende is om

veilig en efficiënt te verwerken. Het afval blijft altijd korter opgeslagen dan de daarvoor maximaal toegestane tijdsduur (2 jaar).

2. Kortlevend radioactief afval wordt voor verval veilig tijdelijk op de PALLAS-site opgeslagen om de blootstelling te beperken. Daarbij wordt de maximaal toegestane opslagduur in acht genomen.

#### 12.2.2.3 Verwerken van radioactief afval door PALLAS

1. Op basis van de kenmerken van het radioactief afval wordt dit volgens de eisen van COVRA als 'standaard' of 'niet-standaard' afval geclassificeerd. Bij 'niet-standaard' afval zal COVRA bij alle volgende stappen betrokken moeten worden en moet er een 'afvalspecificatie' worden opgesteld met daarbij de benodigde behandelings-, volumereductie- en conditioneringsstrategieën.
2. Ter beperking van de hoeveelheid radioactief afval zijn diverse volumereductiestappen mogelijk (bijv. indampen, filtreren, decontamineren, etc.).
3. Voor opslag en/of transport kan het nodig zijn om het radioactieve afval op de PALLAS-site te conditioneren, bijvoorbeeld ompakken in geschikte opslag-/transportcontainers of stabilisatie van de afvalmatrix.
4. Het geconditioneerde radioactieve afval wordt vaak tijdelijk opgeslagen op de PALLAS-site, totdat er voldoende is verzameld om efficiënt in één afvaltransport te kunnen afvoeren. Daarbij wordt de maximaal toegestane opslagduur voor radioactief afval in acht genomen.
5. Radioactief afval waarvan de activiteit onder de vrijgavelimieten ligt, wordt als niet-radioactief afval vrijgegeven en als conventioneel afval afgevoerd.

#### 12.2.2.4 Verwerken van radioactief afval door derden

1. Omdat PALLAS slechts een beperkt aantal verwerkingsmethoden voor radioactief afval heeft, zal het afval ook naar een dienstverlener worden getransporteerd voor verdere volumereductie (bijv. persen of verbranding) en/of conditionering (bijv. herverpakken of cementeren). PALLAS zorgt dat wordt voldaan aan de transportvoorschriften en acceptatiecriteria van de dienstverlener. Als eigenaar van het afval blijft PALLAS verantwoordelijk voor het radioactief afval tot aan overdracht ervan aan COVRA.

#### 12.2.2.5 Afvoeren van radioactief afval

1. Vloeibaar en vast radioactief afval wordt behandeld en geconditioneerd door een externe dienstverlener. PALLAS kwaliteitsborging zorgt ervoor dat radioactief afval dat wordt overgedragen aan COVRA voldoet aan de acceptatiecriteria van de COVRA.
2. Luchtgedragen radioactieve emissies worden via de ventilatieschacht naar de buitenlucht gevoerd. Deze emissies zijn beperkt door de voorwaarden in de Kernenergiewetvergunning voor PALLAS.

#### 12.2.2.6 Monitoren van het afvalverwerkingsproces

1. Zolang een afvalstroom bestaat zullen de veiligheidsaspecten ervan (bijv. dosistempo, chemische stabiliteit) worden gemonitord om mogelijke veranderende kenmerken, bijvoorbeeld als gevolg van een verwerkingsstap, van het afval te detecteren. Op basis van nieuwe inzichten (bijv. na karakterisering) kunnen maatregelen worden genomen om zeker te stellen dat het afval veilig wordt opgeslagen (bijv. herverpakken).
2. Alle relevante informatie over en handelingen met het afval worden in een database geregistreerd en met COVRA gedeeld.
3. Zo nodig zullen tijdens elke relevante stap COVRA, ANVS en/of betrokken dienstverlener(s) over de feitelijke status geïnformeerd worden om de risico's op onverwachte situaties tot een minimum te beperken.

## 12.2.3 Toepassing van het afvalbeheerplan

### 12.2.3.1 Beperking van radioactief afval

1. Bij de werkzaamheden in de PALLAS-reactor wordt rekening gehouden met de volgende principes om afval zoveel mogelijk te beperken: voorkomen, hergebruik en volumereductie van radioactief afval.
2. Vanaf het eerste ontwerpstadium van de PALLAS-reactor is rekening gehouden met het ontstaan van radioactief afval. Hierbij wordt de productie van radioactief afval zo veel mogelijk voorkomen door materiaalkeuzes, het ontwerp van de afvalbeheerssystemen, beperking van de zones waarin met radioactieve stoffen wordt gewerkt en de beperking van radioactieve verontreiniging in elke zone.
3. Ook tijdens bedrijf wordt de hoeveelheid geproduceerd radioactief afval beperkt, bijvoorbeeld door decontaminatie van radioactief besmet materiaal als tools, door zuivering en vervolgens hergebruik van water (bijv. opslag van pool water tijdens onderhoudswerkzaamheden) of door de reiniging van beschermende kleding voor hergebruik.
4. Volumereductie van radioactief afval gebeurt op vele plaatsen. In de Service Pool wordt bijvoorbeeld vast afval geknipt en verkleind en in de Decanning Hot Cell worden bestralingsblikken geperst.

### 12.2.3.2 Ontwikkeling van werkprocedures voor het beheer van radioactief afval

1. De behandeling, de verwerking, het vervoer, de opslag en de overdracht of de uiteindelijke verwijdering van alle radioactieve afvalstromen worden in werkprocedures vastgelegd.
2. Dergelijke werkprocedures worden ontwikkeld conform het PALLAS geïntegreerde managementsysteem (IMS, zie hoofdstuk 14) en worden periodiek herzien. Deze procedures zijn zo vormgegeven dat de PALLAS-medewerkers ze gemakkelijk kunnen toepassen en bevatten alle voor het radioactief afvalbeheer relevante stuurparameters en beperkingen.

### 12.2.3.3 Karakterisering van radioactief afval

1. Om te voldoen aan de relevante wet- en regelgeving en de afvalacceptatiecriteria van een dienstverlener wordt het af te voeren vaste of vloeibare afval representatief bemonsterd en gekarakteriseerd. Zo nodig worden bij de karakterisering externe laboratoria betrokken.
2. Monitors in de ventilatieschacht meten de activiteit van de luchtgedragen emissie (zie paragraaf 12.6).

### 12.2.3.4 Vastleggen van data van het beheer van radioactief afval

1. Conform het programma voor radioactief afvalbeheer houdt PALLAS een database bij met:
  - data van al het radioactief afval dat binnen de PALLAS-reactor ontstaat, opgeslagen en verplaatst wordt;
  - data van elke afvalcontainer die – uniek gecodeerd – de PALLAS-site verlaat, met voor:
    - vast afval, minstens: soort afval, herkomst, massa, externe besmetting, contactdosistempo, radionuclide-inventaris en -activiteit;
    - Verbruikte harsen, minstens: volume, totale alfa en bèta activiteit, gamma radionucliden activiteit, tritium activiteit en dosistempo;
    - vloeibaar afval, minstens: volume, totaal-alfa- en -bèta-activiteit, gamma radionucliden activiteit, tritium activiteit en dosistempo;
  - registratie van tijd, gemeten karakterisatie-data en geloosde luchtvolumes voor de continue luchtgedragen emissies door de ventilatieschacht;
  - audits en andere beoordelingen van de inhoud en de uitvoering van het programma voor radioactief afvalbeheer.
2. De data zijn beschikbaar voor elke batch/gebeurtenis/lozing die tijdens het bedrijf van de PALLAS-reactor plaatsvindt.

## 12.3 Beheer van vast radioactief afval

1. Vast radioactief afval ontstaat in gecontroleerde en bewaakte zones, de Hot Cells en in de Reactor en Service Pool. Het ontstaat bij werkzaamheden uitgevoerd in radioactief besmette zones of aan besmette of geactiveerde systemen en voorwerpen. Het vast radioactief afval bestaat in het algemeen uit vast, droog materiaal, zoals:
  - beschermende kleding, handschoenen, sloffen en poetslappen;
  - laboratoriumafval: absorberend papier zoals tissues en servetten, filterpapier, flacons of pipetpunten gebruikt bij routineanalyses;
  - plastic zakken en papier;
  - materialen zoals HVAC-filters en moleculaire zeefbedden, inlaatfilters bij de ionenwisselharskolommen;
  - verontreinigde persbare metalen voorwerpen en niet-persbare vaste voorwerpen zoals afgedankte gereedschappen en gebruikte apparatuur of systeemonderdelen (buizen, kleppen, instrumenten);
  - afgedankte bestraalde targetbussen en -houders, bestraalde regelementen, eindstukken van bestraalde splijtstofelementen en reactoronderdelen;
2. Het beheer van vast radioactief afval is een verzameling van processen en procedures voor verzamelen, scheiden, verpakken, opslag, controle en verzenden van vast radioactief afval waarbij de bescherming van de PALLAS-medewerkers, het publiek en het milieu wordt gewaarborgd.
3. Vast radioactief afval dat ontstaat in de gecontroleerde en bewaakte zones wordt direct door de medewerkers in daartoe goedgekeurde vaten verzameld, gescheiden in 'besmet' of 'mogelijk besmet' en wel en niet persbaar afval. Wanneer een vat vol is, wordt deze handmatig verzegeld en naar een tijdelijke opslagruimte gebracht voorafgaand aan transport naar een externe dienstverlener of COVRA. De opslagfaciliteiten bieden voldoende afscherming om de stralingsblootstelling onder de grenswaarden te houden en zijn voorzien van automatische branddetectie en -bestrijding.
4. Het vaste radioactieve afval uit de Hot Cells bestaat vooral uit decontaminatiemateriaal, afgedankte bestralingshouders en bestraalde targetblikken. In de Flexible Transfer Hot Cell kunnen componenten geknipt of geperst worden. Ook kan deze gebruikt worden om afval in speciale transportcontainers te laden.
5. In de Reactor en Service Pool wordt vast radioactief afval tijdelijk opgeslagen, waaronder afgedankte regelementen, uiteinden van verbruikte splijtstofelementen en beschadigde of afgedankte bestralingshouders. De Service Pool beschikt over een knipapparaat voor het onder water knippen en verkleinen van metalen voorwerpen, dat vanaf een platform boven de Service Pool wordt bediend. Het vaste afval uit beide pools wordt in bakken in de Service Pool verzameld. Als de bakken vol zijn, wordt dit in de Service Pool in een afschermend vat geladen voor transport naar een externe dienstverlener.
6. PALLAS zal samen met de externe dienstverlener en COVRA een strategie ontwikkelen die leidt tot volumereductie van het vaste radioactieve afval.

## 12.4 Beheer van verbruikte harsen

### 12.4.1 Inleiding

1. De zuiverheid van het water in de Reactor en Service Pool en in de zwaar watersystemen wordt met ionenwisselharsen in stand gehouden. Als de absorptiecapaciteit van de harsen is uitgeput, i.e. de harsen zijn verbruikt, worden deze vervangen. De verbruikte harsen worden vervolgens als vast radioactief afval verwerkt.
2. Een speciaal systeem zorgt voor de verwerking van de verbruikte harsen, inclusief het verzamelen, scheiden, verpakken, opslaan en controleren. Het systeem is ingericht om afval voor

tijdelijke opslag en transport in standaard COVRA-vaten of verpakkingen van een externe dienstverlener te verpakken.

3. De verzamelde verbruikte harsen worden tijdelijk op de PALLAS-site opgeslagen in faciliteiten die voldoende afscherming bieden om de stralingsblootstelling onder de grenswaarden te houden. Alle potentiële vrijzettingsspaden worden gecontroleerd en gemonitord en de opslagfaciliteiten zijn voorzien van automatische branddetectie en -bestrijding.
4. De verbruikte harsen worden door PALLAS overgedragen aan een externe dienstverlener of COVRA voor verdere verwerking en voor de uiteindelijke opslag van het radioactieve afval bij de COVRA.

## 12.4.2 Systeembeschrijving

1. Het systeem voor het beheer van verbruikte harsen is ingericht om:
  - conform de wettelijke richtlijnen het radioactieve verbruikte hars dat is ontstaan bij het reactorbedrijf te scheiden, te verpakken en op te slaan;
  - representatieve monsternamen mogelijk te maken voor analyse in een extern laboratorium;
  - het dosistempo en oppervlaktebesmetting van de verpakkingen te meten;
  - de verpakkingen voor te bereiden voor overdracht aan een externe dienstverlener of COVRA;
  - de stralingsblootstelling van medewerkers en het publiek te optimaliseren.

### 12.4.2.2 Verbruikte harsen van het Heavy Water Cooling and Purification System

1. De harsbedden van het Heavy Water Cooling and Purification System (HWPCS, zie hoofdstuk 6) zijn verwisselbaar en in kleine containers af te voeren.
2. Wordt het geleidingsvermogen van het zwaar water te hoog, dan wordt de zuiveringsstroom van de verbruikte ionenwisselharskolom naar een klaarstaande verse kolom verlegd. De verbruikte kolom blijft vervolgens gedurende enkele jaren op zijn plaats om de geabsorbeerde activiteit significant te laten verminderen door verval, totdat zijn plaats weer nodig is voor een verse harskolom. Die procedure leidt tot een lagere stralingsblootstelling van medewerkers.

### 12.4.2.3 Verbruikte harsen van het Water Purification System en het Hot Water Layer System

1. De diverse radioactieve verbruikte harsen van de ionenwisselaars van het Water Purification System (WPS, zie hoofdstuk 6) en het Hot Water Layer System (zie hoofdstuk 6) worden naar de tanks voor verbruikte harsen gepompt, waar ze vervallen voordat ze verwerkt worden. Die procedure leidt tot een lagere stralingsblootstelling voor medewerkers.
2. Er zijn twee opslag tanks voor verbruikte harsen, waardoor het geproduceerde afval naar behoefte gescheiden kan worden. Beide tanks staan in afzonderlijke, onderling goed afgeschermden cellen. Het systeem is van buiten de afgeschermden cellen bedienbaar. De harsen uit de verbruikte hars tanks worden in transportvaten gepompt en tijdelijk opgeslagen voorafgaand aan transport naar COVRA. De vaten blijven opgeslagen om te vervallen tot het door COVRA vereiste dosistempo bereikt is.

## 12.5 Beheer van vloeibaar radioactief afval

### 12.5.1 Inleiding

1. In de gecontroleerde of bewaakte zones van het Reactor Building kan vloeibaar radioactief afval ontstaan, met name vanuit:
  - apparatuur bij onderhoudstaken;
  - Reactor en Service Pool bij onderhoudstaken (kleine hoeveelheden water);
  - wasbakken;
  - nooddouches;
  - schoonmaakwerkzaamheden en verzameld lekwater;

- decontaminatiebassins;
  - lekkage van de Reactor en Service Pool;
  - lekkage in de Control Rod Drive ruimte;
  - afvoer van condenswater uit ventilatiesystemen;
  - watermonsters uit het Reactor Chemistry Laboratory.
2. Het afvalbeheersysteem voor vloeibaar radioactief afval is ingericht om dit afval op te vangen en tijdelijk op te slaan waarna het gerecycled wordt of afgevoerd wordt naar de externe dienstverlener voor verdere verwerking. Er vinden geen emissies plaats vanuit de PALLAS-reactor naar het oppervlaktewater.
  3. Omdat met gedemineraliseerd water van hoge zuiverheid gewerkt wordt, zal bij normaal bedrijf en potentiële storingen en ongevallen de activiteit in het afvalwater afkomstig van een eventuele lekkage zeer laag zijn.
  4. Ook het zwaar water in de zwaar watersystemen wordt in een zeer zuivere gedemineraliseerde toestand gehouden, maar tijdens de bedrijfsduur van de PALLAS-reactor zal het tritiumgehalte daarin toenemen. Daarom worden eventuele waterlekken in de zwaar water ruimte door een separaat systeem behandeld.
  5. Het vloeibare radioactief afval dat niet door het afvalbeheersysteem voor vloeibaar radioactief afval verwerkt kan worden, wordt verwerkt via het vaste afval systeem waarbij het vloeibare afval mogelijk geïmmobiliseerd wordt.

## 12.5.2 Systeembeschrijving

### 12.5.2.1 Algemeen

1. Het systeem voor het beheer van vloeibaar radioactief afval bestaat uit verschillende netwerken die onder normale bedrijfsomstandigheden onafhankelijk van elkaar functioneren. Het systeem is ingericht om:
  - het vloeibare radioactieve afval dat tijdens normaal bedrijf en bij te verwachten storingen en ongevallen in de PALLAS-reactor kan ontstaan op te vangen;
  - het vloeibare radioactieve afval te scheiden in twee hoofdstromen, vloeibaar laagradioactief afval ("A"-lijn) en vloeibaar potentieel radioactief afval ("B"-lijn);
  - representatieve monsternamen van elke vloeibaar afvalstroom mogelijk te maken terwijl het systeem in bedrijf is;
  - koelwater te verzamelen en, in geval van een ongeval met lekkage van koelwater, tijdelijk op te slaan;
  - bluswater op te vangen en, in geval van brand in de gecontroleerde of bewaakte zones van het Reactor Building, tijdelijk op te slaan;
  - vloeibaar afval naar een tankwagen over te brengen;
  - zwaar water op te vangen en door een separaat systeem af te voeren.

### 12.5.2.2 Netwerk voor vloeibaar radioactief afval

1. Het netwerk voor vloeibaar radioactief afval bestaat uit twee lijnen "A" en "B". Het water van elke lijn wordt opgevangen in aparte tijdelijke verzamel- en bemonsteringspools onder in het Reactor Containment.
2. Het volume van elke pool ("A" en "B") is zo bepaald dat alle inkomende vloeistoffen vóór bemonstering t.b.v. verzending naar een externe dienstverlener gehomogeniseerd kunnen worden.
3. Contact van vloeibaar afval met grondwater wordt vermeden doordat elke pool voorzien is van een dubbele afdichting (zoals een metalen bekleding aan de binnenzijde en een epoxy coating aan de buitenzijde, of vergelijkbaar). Bovendien zijn de pools voorzien van afvoeren voor de opvang van lekwater. Volgens procedure wordt frequent gecontroleerd of er geen lekkage optreedt. Is dat wel het geval, dan wordt de lekkage van de pool gerepareerd.

### 12.5.2.3 Netwerk voor zwaar water

1. De ruimte voor de systemen die zwaar water bevatten is zo ontworpen dat lekkages in die ruimte blijven. De gecoate vloer is op afschot gelegd waardoor eventueel gemorst of gelekt water naar de putten stroomt. Het afvoersysteem is specifiek voor deze ruimte aangelegd en er zijn geen verbindingen met de andere systemen voor vloeibaar afval.
2. De periodieke bemonstering van het zwaar water voor laboratoriumanalyse wordt uitgevoerd in een handschoenkast die zich bevindt in de ruimte voor de systemen die zwaar water bevatten. Hiermee kan dit veilig worden gedaan en wordt lekkage van zwaar water voorkomen.

### 12.5.2.4 Netwerk voor tijdelijke opslag van Poolwater

1. Tijdens de onderhoudstops wordt een deel van het gedemineraliseerde water van de Reactor en Service Pool tijdelijk opgeslagen in een specifiek voor dit doel beschikbare Pool (de Refilling pool) onder in het Reactor Containment. Na afloop wordt het water gerecycled door het Water Purification System (WPS) en weer teruggevoerd naar de Reactor en Service Pool.

### 12.5.2.5 Netwerk voor opslag van koelwater na een ongeval met lekkage

1. Alle ruimten binnen het Reactor Containment waar zich een ongeval met een lekkage van primair koelwater (LOCA) kan voordoen, zijn voorzien van een afvoer naar specifiek daarvoor bedoelde LOCA-Pools, met een totale capaciteit van ruim 600 m<sup>3</sup>, die zich onder in het Reactor Containment bevinden.
2. Het afvoersysteem voorkomt dat er, zelfs bij het ergst voorstelbare LOCA-ongeval, water op de vloer blijft staan, waarmee negatieve effecten door een overstroming minimaal zijn. In de LOCA-afvoerleidingen bevindt zich een lekdetectiesysteem waarmee een lekkage tijdig wordt opgemerkt en de hoeveelheid vloeibaar afval kan worden geminimaliseerd.
3. De LOCA-pool is voorzien van:
  - niveau-indicatoren en -alarm en waterinlaat- en -uitlaataansluitingen;
  - een ventilatiekanaal aangesloten op het Reactor Building Ventilation System (zie hoofdstuk 4) om gassen en dampen aan het pool-oppervlak af te voeren;
  - een overloopverbinding naar de Refilling pool (zie paragraaf 12.5.2.4) om extra capaciteit beschikbaar te maken.

## 12.6 Beheer van luchtgedragen radioactiviteit

### 12.6.1 Inleiding

1. Luchtgedragen radioactieve stoffen worden behandeld door het Reactor Building Ventilation System (zie hoofdstuk 4) en komen via de ventilatieschacht in de buitenlucht vrij. De ventilatieschacht vormt het enige emissiepunt van het Reactor Building Ventilation System.
2. De emissies via de ventilatieschacht bestaan uit luchtgedragen (gassen en aerosol) radioactieve elementen of verbindingen afkomstig van de volgende bronnen:
  - de open Reactor Pool en Service Pool, koelwatersystemen, bestralingsinstallaties en experimentele installaties;
  - de Heavy Water ruimte, waaronder zwaar waterdamp met tritium;
  - ondersteunende faciliteiten zoals zuurkasten in laboratoria, handschoenkasten, Hot Cells en besmette zones.
3. Tijdens normaal bedrijf vangt het Reactor Building Ventilation System aerosol en radioactieve deeltjes in de ventilatielucht af met HEPA-filters. Tijdens reconfiguratiedrijf (zie hoofdstuk 4) zorgt het Reactor Building Ventilation System ook voor het afvangen van radioactief jodium middels actiefkoolfilters. De deeltjes die worden afgevangen met de filters worden samen met de filters als vast afval behandeld.



4. In de ventilatieschacht bevindt zich meetapparatuur welke online kan worden uitgelezen. Deze apparatuur meet continu de samenstelling en activiteitsconcentraties van aerosol (deeltjes), jodium, edelgassen en tritium in de luchtstroom van de ventilatieschacht.
5. De HEPA-filters en actiefkoolfilters van het Reactor Building Ventilation System kunnen geen edelgassen en tritium afvangen. Tijdens normaal bedrijf worden deze dan ook volledig geloosd. Bij overschrijding van de Veiligheidstechnische specificaties (VTS, zie hoofdstuk 18) worden aanvullende maatregelen genomen waarmee de emissie binnen de lozingslimieten wordt gehouden.
6. Het ventilatiekanaal van het Reactor Containment naar de ventilatieschacht is voorzien van totaal-gammamonitors die bij overschrijding van vooraf ingestelde limieten het Ventilation Reconfiguration System (VRS) in bedrijf stellen (zie hoofdstukken 13 en 8).

### 12.6.2 Systeembeschrijving

1. Het Reactor Building is op basis van potentieel aanwezige luchtgedragen radioactiviteit verdeeld in meerdere zones, waarbij de luchtstroom altijd van zones met een lager besmettingsrisico naar zones met een hoger besmettingsrisico wordt geleid. De ruimten waarin mogelijk luchtgedragen radioactiviteit kan vrijkomen zijn voorzien van luchtverversing en -zuivering middels filters.
2. Ruimtes waar tijdens bedrijf geen toegang van medewerkers nodig is, zijn ofwel geheel geïsoleerd ofwel voorzien van een eigen onafhankelijk ventilatiesysteem, zoals de ruimte voor systemen die zwaar water bevatten.
3. Luchtgedragen radioactiviteit die in zones binnen het Reactor Containment ontstaat, wordt door het Reactor Building Ventilation System afgezogen. De afgevoerde lucht wordt gefilterd en komt via de ventilatieschacht in de buitenlucht vrij. De meetapparatuur in de ventilatieschacht registreert online de activiteit van de emissie en geeft een alarm bij hoge activiteit.
4. De ventilatiecircuits van gecontroleerde zones buiten het Reactor Containment zijn voorzien van HEPA-filters en koolfilters waarmee de ventielatierlucht gefilterd wordt voordat die via de ventilatieschacht wordt afgevoerd.
5. Het ventilatiecircuit van de Hot Cells handhaaft de onderdruk ten opzichte van de omliggende ruimten en waarborgt zo nodig een continue behandeling van de lucht afkomstig van de Hot Cells door filters.

## 12.7 Voorziene hoeveelheden radioactief afval

1. Tabel 12-1 geeft een overzicht van de geschatte gemiddelde hoeveelheden radioactief afval als gevolg van de bedrijfsvoering.

Tabel 12-1 Indicatieve gemiddelde hoeveelheden radioactief afval als gevolg van de bedrijfsvoering

Type	Oorsprong	Volume	Voorziene verpakking
Besmet en mogelijk besmet vast afval (persbaar)	Papier (tissue e.d.), plastic handschoenen, kleding, gebruiksmaterialen, e.d. Uit gecontroleerde en bewaakte zones	12 m <sup>3</sup> /jr	134 Standaard vaten (90 liter)
Besmet vast afval (persbaar)	Bestraalde targetbussen	500 bussen/cyclus (3 liter na persen)	1 afgeschermd container
	Papier (tissue e.d.), plastic handschoenen, kleding, gebruiksmaterialen, e.d. uit de Hot Cells	0,5 m <sup>3</sup> /jr	8 W-Containers 24 afgeschermd containers
Besmet en geactiveerd vast afval (niet persbaar)	Besmette en geactiveerde onderdelen als gevolg van onderhoud	1,2 m <sup>3</sup> /jr	14 Standaard vaten (90 liter)
	Experiment houders	400 kg/jr	3 W-Containers
	Bestraalde targethouders	2/jr	1 TN6-3 Container
	Eindstukken van bestraalde splijtstofelementen	35/jr	4 TN6-3 containers
	Geactiveerde metalen componenten	0,1 m <sup>3</sup> /jr	3 TN6-3 containers
	Gebruikte regelstaven	6 per 10 jr	2 TN6-3 containers
	Geleidebuizen	2 per 20 jr	3 TN6-3 containers
	Diverse neutronen instrumentatie	25 kg/15 jr	1 TN6-3 containers
Filters	35/jr	35 verpakkingen	
Verbruikte harsen	Verbruikte harsen van het Water Purification System en het Hot Water Layer System	4,5 m <sup>3</sup> /jr	90 Standaard vaten (50 liter)
	Verbruikte harsen van het Heavy Water Cooling and Purification System	8 liter /3 jr	1 afgeschermd container
Mogelijk radioactief vloeibaar afval	Water van systemen die niet verbonden zijn met de reactorinstallatie, water van schoonmaak activiteiten en van wastafels en de nooddouche	24 m <sup>3</sup> /jr	6 maal afvoer met tankwagen
	Water van wastafels en de nooddouche	19 m <sup>3</sup> /jr	5 maal afvoer met tankwagen
Laag radioactief vloeibaar afval	Waterafvoer van onderhoudstaken, reiniging en lekkages van systemen verbonden met de reactorinstallatie	24 m <sup>3</sup> /jr	6 maal afvoer met tankwagen
	Zwaar water bemonstering	2 liter/jr	Opslagvat in bunker
	Diverse watermonsters	28 liter/jr	12 flessen (2 liter)

# 13

## Stralings- bescherming



## 13.1 Inleiding

1. De rol van stralingsbescherming bij de ontwikkeling van de PALLAS-reactor is ervoor te zorgen dat deze voldoet aan de fundamentele veiligheidsdoelstelling: bescherming van het publiek, de medewerkers en het milieu tegen schadelijke effecten van ioniserende straling tijdens alle van reactor, van ontwerp tot en met de ontmanteling.
2. Dit hoofdstuk behandelt achtereenvolgens:
  - het stralingsbeschermingsprogramma (paragraaf 13.2);
  - de stralingsbronnen in de PALLAS-reactor (paragraaf 13.3);
  - de toepassing van stralingsbescherming in het ontwerp (paragraaf 13.4);
  - de evaluatie van het basisontwerp vanuit stralingsbeschermingsoogpunt (paragraaf 13.5).
3. Het stralingsbeschermingsprogramma bestaat uit het stralingsbeschermingsbeleid, de -organisatie en -procedures.
4. Om de stralingsdoses voor het publiek, het milieu en als gevolg van beroepsmatige blootstelling tot een minimum te beperken, omvat het ontwerp voorzieningen die:
  - de hoeveelheid en de activiteit van verontreinigde en geactiveerde componenten minimaliseren;
  - de verspreiding van een eventuele besmetting voorkomen en decontaminatie vereenvoudigen;
  - bescherming bieden, bijvoorbeeld door toegangscontrole en zonering, afscherming, ventilatiesystemen en stralingscontrole;
  - de blootstellingstijd verminderen en afstandsbesturing en -manipulatie mogelijk maken.
5. Gedurende de levensduur van de PALLAS-reactor wordt de bescherming tegen ioniserende straling geoptimaliseerd. Optimalisatie is erop gericht de grootte van de effectieve of equivalente doses van individuele personen, de kans op het optreden van blootstelling en het aantal blootgestelde personen zo beperkt te houden als redelijkerwijs mogelijk is, rekening houdend met de actuele stand van de techniek en met economische en sociale factoren.
6. PALLAS heeft dosisbeperkingen gesteld om te zorgen voor een geoptimaliseerd ontwerp van de reactor, met afdoende technische en organisatorische voorzieningen voor stralingsbescherming. Hiermee wordt geborgd dat tijdens de bedrijfsvoering wordt voldaan aan de wettelijke limieten en waarbij de stralingsbescherming van individuele personen is geoptimaliseerd.
7. De evaluatie van het basisontwerp vanuit stralingsbeschermingsoogpunt laat zien dat de hierin getroffen voorzieningen een solide basis geven voor een geoptimaliseerd ontwerp. De berekende stralingsdosis voor het publiek en het milieu ligt beneden het door de overheid vastgestelde secundair niveau. Onder het secundair niveau bestaat vanuit milieuoogpunt nooit bezwaar tegen vergunningverlening. De verwachte stralingsdosis als gevolg van beroepsmatige blootstelling ligt beneden de wettelijke limieten. Tijdens detailontwerp worden verdere maatregelen getroffen om deze beroepsmatige dosis te optimaliseren.
8. Dit hoofdstuk beperkt zich uitsluitend tot het normaal bedrijf van de PALLAS-reactor. De stralingsblootstelling als gevolg van potentiële storingen en ongevallen wordt in hoofdstuk 16 behandeld.

## 13.2 Stralingsbeschermingsprogramma

### 13.2.1 Inleiding

1. PALLAS geeft invulling aan zijn verantwoordelijkheid voor stralingsbescherming en veiligheid via het stralingsbeschermingsprogramma. Dit programma maakt integraal onderdeel uit van het PALLAS Integrated Management System (IMS, zie hoofdstuk 14). Het IMS legt de managementstructuur, het beleid, de procedures en organisatorische regelingen vast.

2. Het stralingsbeschermingsprogramma omvat alle administratieve en organisatorische regelingen waarmee de naleving van wettelijke eisen inzake stralingsbescherming wordt geborgd en de continue verbetering en optimalisatie van de stralingsbescherming wordt nagestreefd.
3. De volgende subparagrafen beschrijven:
  - het stralingsbeschermingsbeleid, -doelstelling en -principes (paragraaf 13.2.2);
  - de interne regeling stralingsveiligheid (paragraaf 13.2.3);
  - de stralingsbeschermingsorganisatie (paragraaf 13.2.4);
  - het stralingsbescherming en het managementsysteem (paragraaf 13.2.5).
4. Een groot deel van de regelingen genoemd in deze paragraaf zijn pas benodigd voor de inbedrijfsstelling en bedrijfsvoering van de reactor. Deze informatie is nog niet volledig en wordt waar nodig aangevuld ten behoeve van de aanvraag voor de operationele vergunning.

### 13.2.2 Stralingsbeschermingsbeleid, -doelstelling en -principes

1. PALLAS Management heeft een beleidsverklaring vastgesteld als basis voor het Integrated Management System. Deze verklaring richt zich op gezondheid, veiligheid, bescherming van het milieu, kwaliteit en beveiliging. De waarden van organisatie staan hierin vermeld en de wijze waarop deze worden nagestreefd.
2. De beleidsverklaring bevat de volgende veiligheidsdoelstelling: PALLAS draagt er zorg voor dat de bescherming van mens en milieu tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling, beroeps- of industriële gevaren altijd wordt bereikt.
3. Hiertoe worden de volgende stralingsbeschermingsprincipes toegepast in het ontwerp, maar ook in de toekomstige bedrijfsvoering:
  - rechtvaardiging van activiteiten: in de PALLAS-reactor is geen enkele activiteit toegestaan waarbij een persoon mogelijk aan straling blootgesteld kan worden tenzij deze gerechtvaardigd en goedgekeurd is op basis van een specifieke beoordeling;
  - optimalisatie van de bescherming: gericht op de grootte van de effectieve of equivalente doses van individuele personen, de kans op het optreden van blootstelling en het aantal blootgestelde personen zo beperkt te houden als redelijkerwijs mogelijk is, rekening houdend met de actuele stand van de techniek en met economische en sociale factoren;
  - beperking van individuele risico's: de totale stralingsdosis blijft onder de wettelijke limieten.

### 13.2.3 Interne regeling stralingsveiligheid

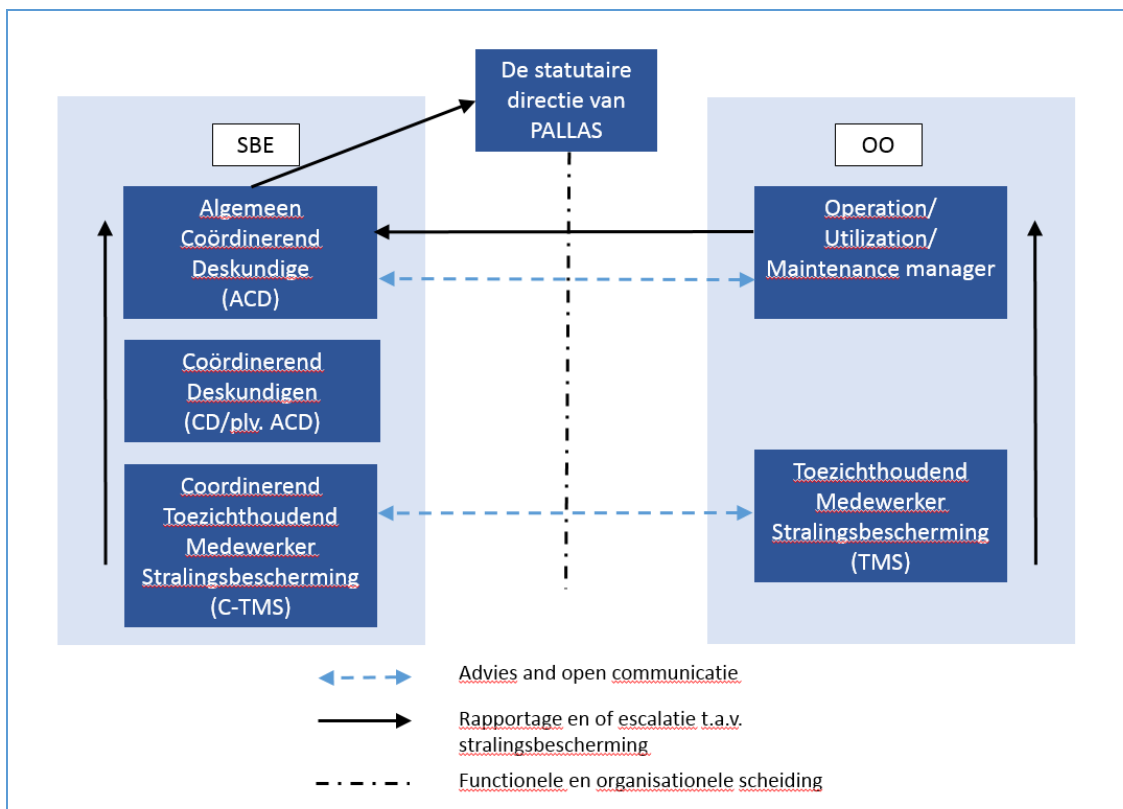
1. PALLAS beschikt over een interne regeling conform de regeling basisveiligheidsnormen stralingsbescherming, waarin in ieder geval is vastgelegd:
  - de doelstellingen en uitgangspunten van het beheersysteem;
  - het werkingsgebied;
  - de stralingsbeschermingsorganisatie, met een omschrijving van de verantwoordelijkheden, taken, bevoegdheden van de bij het verrichten van handelingen betrokken organisatieonderdelen en werknemers, alsmede het interne toezicht en de rapportage daarover;
  - de formatieve omvang van de stralingsbeschermingseenheid, de vereiste deskundigen en de aanvullend benodigde administratieve of technische ondersteuning;
  - een verbod om zonder interne toestemming handelingen te verrichten;
  - een beheersysteem van interne toestemmingen;
  - werkwijzen en procedures voor handelingen inclusief de toelatingseisen voor werknemers of blootgestelde werknemers, registratieverplichtingen en periodieke controles;
  - een plan voor de inzameling, de opslag en de overdracht van radioactief afval; en
  - een calamiteitenregeling voor incidenten of ongevallen met bronnen.

### 13.2.4 Stralingsbeschermingsorganisatie

1. De stralingsbeschermingsorganisatie bestaat uit:

- de statutaire directie;
  - de stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van algemeen coördinerend deskundige (ACD);
  - de stralingsbeschermingseenheid (zie Figuur 13-1);
  - het management en de toezichthoudend medewerkers stralingsbescherming (TMS) van de operationele organisatie.
2. De statutaire directie is eindverantwoordelijk voor de stralingsbescherming van het publiek, de PALLAS-medewerkers en het milieu tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling tijdens de bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor.
  3. De dagelijkse verantwoordelijkheid voor de stralingsbescherming wordt gedelegeerd aan de geregistreerde ACD. De ACD maakt onderdeel uit van en geeft leiding aan de stralingsbeschermingseenheid.
  4. De stralingsbeschermingseenheid is functioneel en organisatorisch gescheiden van de productie- en technische eenheden (operationele organisatie). Wel kunnen leden ervan daarnaast ook een andere functie en/of rol binnen PALLAS vervullen, mits die niet in strijd is met hun verantwoordelijkheden binnen de eenheid. Onder de Kew-oprichtingsvergunning bestaat de stralingsbeschermingseenheid uit minimaal 2 stralingsbeschermingsdeskundigen (totaal ten minste 1,0 FTE), waarvan 1 geregistreerde ACD (ten minste 0,8 FTE) en 1 plaatsvervanger, minimaal stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige (CD). Bij afwezigheid van de ACD neemt de plaatsvervanger diens taken, bevoegdheden en verantwoordelijkheden over. Onder de Kew-bedrijfsvergunning zal de plaatsvervanger geregistreerd zijn als ACD.
  5. De verantwoordelijkheden en bevoegdheden van leden van de stralingsbeschermingseenheid zijn:
    - het waarborgen van de uitvoering van het stralingsbeschermingsprogramma;
    - het reviewen van de ontwerpdocumentatie en as-built controle tijdens commissioning ten aanzien van stralingsbescherming;
    - het verlenen van advies, ondersteuning en opleiding op het gebied van stralingsbescherming;
    - het leveren van toezicht, stralingscontrole, dosimetrie en meetdiensten;
    - het garanderen van onderhoud, testen en de kalibratie van de stralingsmeetapparatuur en dosimeters;
    - het rapporteren over het bovenstaande.
    - om elke activiteit op de PALLAS-site te stoppen wanneer de stralingsbeschermingsprocedures (dreigen te) worden overtreden of wanneer er sprake is van een onaanvaardbare situatie met betrekking tot de stralingsbescherming.

Figuur 13-1: Organisatorische positie van de stralingsbeschermingseenheid (SBE = stralingsbeschermingseenheid, OO = operationele organisatie)



6. Het management van de operationele organisatie is verantwoordelijk voor de (stralings)veiligheid van haar personeel, de toegang tot radiologische ruimtes en naleving van de interne toestemmingen afgegeven door de SBE. De toezichhoudend medewerkers stralingsbescherming (TMS) binnen de operationele organisatie zijn de "ogen en oren" van het management van de operationele organisatie en de stralingsbeschermingseenheid voor adequate stralingsbescherming bij de dagelijkse werkzaamheden.

### 13.2.5 Stralingsbescherming en het managementsysteem

1. Het PALLAS IMS beschrijft alle processen die PALLAS moet hebben om haar missie, visie en veiligheidsdoelstelling te realiseren. Voor elk proces is een beschrijving gegeven, waaronder definities van het toepassingsgebied, procedures en verantwoordelijkheden binnen de organisatie. Er bestaat een specifiek proces voor stralingsbescherming.
2. Het PALLAS-management bevordert een organisatiecultuur waarin de organisatie, maar ook elke individuele medewerker, veiligheid en beveiliging als hoogste prioriteit beschouwt. Daarmee worden veilige (werk)omstandigheden gewaarborgd voor alle personen die op de PALLAS-site aanwezig zijn. Een juiste houding en gedrag t.a.v. stralingsbescherming vormt een zeer belangrijk onderdeel van die cultuur.
3. Alle medewerkers, werkzaam binnen de inrichtingsgrenzen van PALLAS, worden getraind voor de taken die zij uitvoeren. Dit betreffen trainingen inzake stralingsbescherming, de processen, procedures en de systemen van de reactor.
4. Alle taken en processen die gepaard gaan met blootstelling aan ioniserende straling, zoals bediening en onderhoud, worden uitgevoerd volgens procedures en in overleg met de stralingsbeschermingseenheid. Die procedures zijn zo ontworpen dat de blootstelling van medewerkers, bezoekers en publiek zo laag mogelijk blijft en voldoet aan de Nederlandse regelgeving.

## 13.2.6 Stralingsmonitoringsprogramma

1. Het stralingsmonitoringsprogramma betreft beroepsmatige blootstelling en milieumonitoring als gevolg van normaal bedrijf.
2. Monitoring van beroepsmatige blootstelling zal bestaan uit routinematige, niet-routinematige en taak-gerelateerde monitoring en controle van personen en ruimtes/zones (zie 13.4.9). De resultaten zullen worden vergeleken met limieten en dosisbeperkingen om optimalisatie tijdens de bedrijfsvoering zeker te stellen en waar nodig verbeteringen te kunnen doorvoeren.
3. Als gevolg van normaal bedrijf van de PALLAS-reactor ontvangt het publiek (de omwonenden van de PALLAS-site) een zeer geringe stralingsdosis (zie 13.5.2). Deze wordt vooral veroorzaakt door de gefilterde emissie van de ventilatielucht. Dicht bij de terreingrens is er een kleine bijdrage afkomstig van externe straling vanuit de gebouwen.
4. Milieumonitoring bewaakt de stralingsdosis van het publiek. Hiertoe worden in ieder geval de volgende metingen uitgevoerd.
5. Voorafgaand aan het in bedrijf nemen van de reactor:
  - Een nulsituatiemeting, om de "baseline" stralingsniveaus en activiteitsconcentraties in het milieu vast te leggen. Deze baseline zal worden gebruikt in berekeningen van de dosis van het publiek en lozingen naar het milieu. Daarnaast kan hiermee de impact van PALLAS activiteiten inzichtelijk worden gemaakt en de nulsituatie voor de toekomstige ontmanteling worden vastgelegd.
6. Na het in bedrijf nemen van de reactor:
  - Het Radiation Monitoring System meet continu de radioactiviteit (gassen en aerosol) in de gefilterde lozing van ventilatielucht. Er wordt gecontroleerd dat de toegestane lozingslimiet niet wordt overschreden (zie 13.4.9);
  - Langs de grenzen van het PALLAS-terrein worden real-time fvmetingen (omgevingsdosis-equivalent) uitgevoerd om te controleren dat aan de dosislimiet op de terreingrens wordt voldaan;
  - Periodieke monsternames worden uitgevoerd om de stralings- en activiteitsniveaus in de omgeving, zoals in lucht, water, bodem en voedingsmiddelen, vast te stellen.
7. Voorafgaand aan het in bedrijf nemen van de reactor wordt het stralingsmonitoringsprogramma vastgelegd. Voor bovenstaande metingen wordt in ieder geval het volgende gespecificeerd:
  - Doel van de meting;
  - Typen, aantallen, locaties van meetapparatuur;
  - Meet/sample frequenties;
  - Analyse en verder gebruik van de resultaten.

## 13.3 Stralingsbronnen

1. Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste stralingsbronnen tijdens normaal bedrijf. Deze zijn gebruikt om de afschermingscomponenten te dimensioneren en de indicatieve stralingsdoses voor medewerkers te berekenen.

### 13.3.1 Reactor Pool

1. De Reactor Pool is een met gedemineraliseerd water gevuld roestvrijstalen bassin, ingebed in het reactorblok van hoge dichtheidsbeton (zie hoofdstuk 4). Het water in de Reactor Pool vormt de afscherming voor de medewerkers die in de reactorhal of op de Operation Bridge boven de Reactor Pool werken. In de Reactor Pool bevinden zich de volgende stralingsbronnen:
  - de reactorkern (zie hoofdstuk 5), omgeven door zwaar water in het Reflector Vessel;
  - diverse constructiematerialen in en rond de reactorkern zijn radioactief als gevolg van neutronenactivering;
  - de rekken voor de tijdelijke opslag van splijtstofelementen en Irradiation Rigs.
  - de targets voor productie van radio-isotopen;



- het zwaar water in het Reflector Vessel is radioactief als gevolg van neutronenactivering (zie paragraaf 13.3.5);
  - het licht water van de Reactor Pool is radioactief als gevolg van neutronenactivering en van menging van het geactiveerde water in het Primary Cooling System met het water in het Pools Cooling System (zie paragraaf 13.3.3).
2. Voor de dimensionering van de afscherming zijn de splijtstofelementen tijdens normaal bedrijf de bepalende neutronen- en gammastralingsbron. De overige genoemde bronnen zijn verwaarloosbaar in vergelijking met de splijtstofelementen.

### 13.3.2 Service Pool

1. De Service Pool is een met gedemineraliseerd water gevuld roestvrijstalen bassin dat via het Transfer Canal met de Reactor Pool is verbonden. De Service Pool en het Transfer Canal zijn gevat in het reactorblok (zie hoofdstuk 4). Het water in de Service Pool vormt de afscherming voor de medewerkers die in de reactorhal of op de Operation Bridge boven de Service Pool werken. In de Service Pool bevinden zich de volgende bronnen:
  - de rekken met de opgeslagen verbruikte splijtstofelementen;
  - de rekken met de (tijdelijk) opgeslagen bestraalde Irradiation Rigs;
  - de Solid Waste Storage Container om tijdelijk vast afval op te slaan.
2. De activiteit van de opgeslagen verbruikte splijtstofelementen in de Service Pool is afhankelijk van hun opbrand en neemt af naarmate ze langere tijd uit de kern verwijderd zijn.
3. Het activiteitsniveau in het water van de Service Pool hangt af van de menging van geactiveerd water in het Primary Cooling System met water in het Pools Cooling System.

### 13.3.3 Primary Cooling System en Pools Cooling System

1. De radionuclideninventaris in het koelwater van het Primary Cooling System en Pools Cooling System ontstaat tijdens bedrijf van de reactor door neutronenbestraling van de kerncomponenten en het koelwater. De diverse processen waardoor radioactiviteit in het koelwater ontstaan zijn:
  - activering van water (tot tritium) en onzuiverheden daarin;
  - activering van constructiematerialen in en rond de reactorkern, waarvan een kleine fractie in het koelwater komt;
  - activering van corrosieproducten van constructiematerialen in en rond de kern;
  - activering van lucht dat opgelost is in het koelwater;
  - splijtingsproducten afkomstig van sporen splijtbaar materiaal aan de buitenzijde van de splijtstofelementen;
  - soortgelijke processen gerelateerd aan de bestralingsfaciliteiten in de reactor.
2. Het Primary Cooling System zorgt voor een neerwaartse stroom door de stijgleiding boven de reactorkern, die voorkomt dat geactiveerd water uit de reactorkern het oppervlak van de Reactor Pool bereikt.
3. Bovenop de Reactor en Service Pool wordt een warmwaterlaag gevormd, die vermenging met het overige water tot een minimum beperkt.

### 13.3.4 Water Purification System - Ionenwisselharsen

1. Het Water Purification System verwijdert onzuiverheden zoals stof, corrosieproducten en radionucliden en houdt het water van het Primary en Pools Cooling System – en vervolgens van de Reactor Pool en Service Pool – binnen de vereiste zuiverheidsgrenzen (zie hoofdstuk 6).
2. De ionenwisselharsen in het Water Purification System absorberen de radionucliden uit het water, waardoor de activiteit in de harsen tijdens hun gebruik steeds toeneemt.

### 13.3.5 Heavy Water Cooling and Purification System

1. In de PALLAS-reactor ontstaat tritium door neutronenbestraling van het zwaar water van het Heavy Water Cooling and Purification System. De bestraling van deuterium en zuurstof in het zwaar water is de belangrijkste stralingsbron van dit systeem. De grootte van die stralingsbron is evenredig met de neutronenflux (reactorvermogen).
2. Alle onderdelen van het Heavy Water Cooling and Purification System (zie hoofdstuk 6) die in contact komen met zwaar water, inclusief het Reflector Vessel, zijn gemaakt van corrosiebestendige materialen, wat bijdraagt aan het behoud van de waterzuiverheid en dus tot de beperking van activering van onzuiverheden.

### 13.3.6 Ingekapselde bronnen

1. Ten behoeve van de bedrijfsvoering zijn een aantal ingekapselde bronnen nodig, waaronder een neutronenbron voor het opstarten van de kernreactie en bronnen voor verificatie en kalibratie van stralingsdetectoren.

### 13.3.7 Radioactief afval

1. De tanks met gebruikte harsen van de ionenwisselaars vormen een relevante stralingsbron voor het afschermingsontwerp. De gebruikte harsen worden tijdelijk opgeslagen in tanks in de Spent Resin ruimte voor verval. Daarna worden ze in afwachting van afvoer opgeslagen in een daarvoor ontworpen ruimte.
2. Vast afval bestaat voornamelijk uit geactiveerd materiaal van bedrijfs- en productieactiviteiten en uit radioactief besmette materialen. Daarbij zullen de afgedankte targetbussen, bestralingshouders, verbruikte regelstaven, eindstukken van verbruikte splijtstofelementen en andere geactiveerde onderdelen de belangrijkste stralingsbronnen vormen. Dit vaste afval wordt rechtstreeks vanuit de Service Pool of via de Hot Cells in vergunde transportvaten geladen. De afscherming van de Hot Cells is afdoende voor de deze handeling.
3. Overig vast afval wordt verzameld in standaard verpakkingen (COVRA-vaten) en tijdelijk opgeslagen in een daarvoor ontworpen ruimte.
4. Vloeibaar afval wordt tijdelijk in de verzamel- en bemonsteringspools opgeslagen. Vervolgens wordt dit naar een externe dienstverlener overgebracht (zie hoofdstuk 12), welke over een vergunning beschikt om het te mogen ontvangen en het verder verwerkt volgens best beschikbare technieken. Alle koelwater- en waterzuiveringssystemen van de reactor werken met zuiver gedemineraliseerd water. Daarom is het afvalwater geen relevante stralingsbron voor het ontwerp. Wel kunnen mogelijk vaste radioactieve deeltjes in het afvalwater zich op de bodem van de verzamel- en bemonsteringspools en andere reservoirs als slib ophopen.

### 13.3.8 Stralingscontrolesysteem

1. De Failed Fuel Element Monitor-ruimte bevat meetapparatuur om defecte verbruikte splijtstofelementen of Mo-99-targets te detecteren in het koelwater. De afscherming van deze ruimte is gebaseerd op de maximaal verwachte activiteit in het bemonsterde koelwater.

### 13.3.9 Reactor Building- luchtgedragen bronnen

1. Bij normaal bedrijf worden radionucliden in het koelwater gegenereerd. Een fractie daarvan, voornamelijk edelgassen, kan de warmwaterlaag boven in de Reactor Pool en Service Pool bereiken en daarmee in de lucht van de reactorhal terechtkomen.
2. Daarnaast kunnen radionucliden in de lucht van het Reactor Building komen door onderhoud van processystemen, kleine lekkages van apparatuur en decontaminatiewerkzaamheden.
3. Vluchtige radionucliden in de reactorhal worden door het Reactor Building Ventilation System verwijderd en een klein deel zal na filtering gecontroleerd via de ventilatieschacht in de buitenlucht worden geloosd.

### 13.3.10 Reactor Building Ventilation System

1. Het Reactor Building Ventilation System omvat diverse deelsystemen voor de ventilatie van verschillende ruimtes binnen de PALLAS-reactor (zie hoofdstuk 4). De filters van het systeem vormen potentieel relevante stralingsbronnen. Dit betreft vooral HEPA- en koolfilters.

### 13.3.11 Pneumatic Transport and Cooling System

1. Het Pneumatic Transport and Cooling System is een geautomatiseerd systeem om kleine batches targets te bestralen. De in het systeem gebruikte aluminium bussen vormen door neutronactivering een stralingsbron. Als transport- en koelmiddel wordt hoog-zuivere stikstof gebruikt, waardoor de productie van  $^{41}\text{Ar}$  tot een minimum wordt beperkt en dit geen relevante stralingsbron vormt.

## 13.4 Stralingsbescherming in het ontwerp

### 13.4.1 Inleiding

1. Optimalisatie van de blootstelling aan ioniserende straling speelt bij het ontwerp van de PALLAS-reactor een grote rol. Het doel is ervoor te zorgen dat de hoogte van de grootte van de effectieve of equivalente doses van individuele personen, de kans op het optreden van blootstelling en het aantal blootgestelde personen zo beperkt te houden als redelijkerwijs mogelijk is, rekening houdend met de actuele stand van de techniek en met economische en sociale factoren. Minimaal moeten de individuele doses aan de wettelijke dosislimieten voldoen.
2. De optimalisatie van de dosis van werknemers van de PALLAS-reactor is een continu proces dat in alle levensfasen van PALLAS-reactor wordt meegenomen, van ontwerp tot en met de ontmanteling. Tijdens het ontwerp is optimalisatie een prospectief en iteratief proces. Het is gericht op het voorkomen of verminderen van blootstellingen als gevolg van normaal bedrijf, onbedoelde gebeurtenissen en ongevalsituaties. Hierbij wordt rekening gehouden met de operationele ervaringen van andere faciliteiten. Voorafgaand aan het ontwerp zijn dosisbeperkingen vastgesteld, die worden gebruikt als limiet en doelstelling.
3. Voor maatregelen ter voorkoming van radiologische blootstelling ligt de voorkeur bij fysieke ontwerpaanpassingen en pas daarna bij eventuele organisatorische en administratieve maatregelen. Tevens zal gebruik worden gemaakt van persoonlijke beschermingsmiddelen, deze worden echter niet in rekening gebracht bij het bepalen van de dosis.
4. Voor de PALLAS-reactor zijn m.b.t. stralingsbescherming de volgende ontwerpbeginselen gehanteerd, rekening houdend met de in paragraaf 13.3 geïdentificeerde stralingsbronnen:
  - optimalisatie van de blootstelling en toepassing van dosisbeperkingen in het ontwerp (zie paragraaf 13.4.2);
  - insluiting van radioactieve stoffen (paragraaf 13.4.3);
  - radiologische zonering en ventilatie (paragraaf 13.4.4);
  - installatie- en component lay-out om de blootstelling tijdens bedrijf en bij onderhoudstaken te verminderen (paragraaf 13.4.5);
  - minimalisatie van activering en besmetting (paragraaf 13.4.6);
  - voorzieningen voor stralingsbescherming (paragraaf 13.4.7);
  - afscherming van bronnen van ioniserende straling (paragraaf 13.4.8);
  - stralingsmonitoring en -controle (paragraaf 13.4.9).
5. In de hierna volgende paragrafen is beschreven welke maatregelen/voorzieningen in het basisontwerp zijn genomen. De evaluatie van deze maatregelen volgt in 13.5.

### 13.4.2 Toepassing van dosisbeperkingen bij het ontwerp

1. PALLAS heeft dosisbeperkingen vastgesteld voor de beroepsmatige blootstelling en de blootstelling van leden van de bevolking, zoals vereist in het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs). Deze dosisbeperkingen dienen als ontwerp instrument voor de optimalisatie van de bescherming van werknemers en leden van de bevolking.
2. Tabel 13-1 vermeldt de wettelijke dosislimieten voor radiologische werkers en het publiek en de dosisbeperkingen die bij het ontwerp worden gebruikt. Deze dosisbeperkingen bestaan uit criteria en doelstellingen voor het ontwerp.
3. De ontwerpcriteria borgen dat de stralingsdoses bij normaal bedrijf van de PALLAS-reactor onder de wettelijke limiet blijft. De jaarlijkse individuele effectieve dosis moet lager zijn dan de ontwerpcriteria, dankzij een goed ontwerp en technische en organisatorische voorzieningen van de reactor.
4. De ontwerpdoelstellingen zijn gedefinieerd om de stralingsdoses zo laag als redelijkerwijs mogelijk te krijgen. Wanneer de jaarlijkse individuele effectieve dosis hoger is dan de doelstelling, worden zoveel als mogelijk aanvullende technische voorzieningen getroffen in het ontwerp.
5. De ontwerpcriteria en -doelstellingen zijn bedoeld voor het ontwerp van de reactor en beperken zich tot de effectieve dosis. Voorafgaand aan de inbedrijfsstelling en de bedrijfsvoering zullen nieuwe dosisbeperkingen worden opgesteld, waaronder ook voor de equivalente dosis op de ooglenzen, de huid en de ledematen (handen en voeten).

**Tabel 13-1: Wettelijke dosislimieten volgens het Bbs, de PALLAS-ontwerpcriteria en de PALLAS-dosisoptimalisatie-doelstelling**

Beschrijving	Dosislimieten volgens de Nederlandse regelgeving	PALLAS-ontwerpcriteria	PALLAS-ontwerpdoelstellingen
Blootgestelde medewerkers	Effectieve dosis van 20 mSv per kalenderjaar	Effectieve dosis van 10 mSv per kalenderjaar gemiddeld over 5 jaar, met een maximum van 15 mSv in een jaar	Effectieve dosis van 2 mSv per kalenderjaar
	Equivalentente dosis op de ooglenzen van 20 mSv per kalenderjaar		
	Equivalentente dosis op de huid van 500 mSv per kalenderjaar gemiddeld over 1 cm <sup>2</sup>		
	Equivalentente dosis op handen, onderarmen, voeten en enkels van 500 mSv per kalenderjaar		
Niet-blootgestelde medewerkers en bezoekers die zich op het PALLAS-terrein bevinden.	Effectieve dosis van 1 mSv per kalenderjaar	Effectieve dosis van 0,1 mSv per kalenderjaar	Effectieve dosis van 0,040 mSv per kalenderjaar
	Equivalentente dosis van 15 mSv per kalenderjaar op de ooglenzen		
	Equivalentente dosis van 50 mSv per kalenderjaar op de huid gemiddeld over 1 cm <sup>2</sup>		
	Equivalentente dosis van 50 mSv in een kalenderjaar op de ledematen (handen en voeten)		
Omwonenden van de PALLAS-site	Effectieve dosis van 0,1 mSv per kalenderjaar	Effectieve dosis van 0,040 mSv per kalenderjaar	Effectieve dosis < 0,040 mSv per kalenderjaar

### 13.4.3 Insluiting van radioactieve stoffen

1. Bij de bescherming van het publiek en de PALLAS-medewerkers tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling speelt insluiting van radioactieve stoffen een sleutelrol. Fysieke barrières en/of retentiefuncties voorkomen of verminderen het vrijkomen van radioactieve stoffen en schermen de stralingsbronnen af.
2. De structuren, systemen en componenten van de PALLAS-reactor verzorgen de insluiting van alle radioactieve bronnen, zoals de splijtstofelementen in de reactorkern, radioactieve gasen en aerosol, vloeistoffen en vaste stoffen.
3. Voor luchtgedragen radionucliden zijn de insluitfuncties van de PALLAS-reactor gebaseerd op:
  - achtereenvolgende barrières en retentiefuncties;
  - gecontroleerde omgevingscondities om de integriteit van de barrières te borgen;
  - drukverschil tussen ruimtes in verschillende insluitklassen, evenals tussen het Reactor Containment en de buitenlucht;
  - controle van lekpaden en bijbehorende insluitvoorzieningen;
  - uitsluitend gefilterde emissie (door zowel HEPA- als koolfilters) via de ventilatieschacht.
4. In ruimtes en structuren, systemen en componenten waar mogelijk radioactieve vloeistoffen kunnen vrijkomen zijn opvangnetwerken voorzien, waarmee deze vloeistoffen naar waterdichte retentieruimtes en verzamelreservoirs worden afgevoerd.
5. Voor de insluiting van vaste radioactieve materialen worden gesloten containers zoals targetbussen, afvalvaten en transportvaten gebruikt.
6. Tabel 13-2 vermeldt de belangrijkste radioactieve bronnen, samen met de beschikbare barrières en de structuren, systemen en componenten die een retentiefunctie vervullen tussen de bron en het buitenmilieu.

**Tabel 13-2: Belangrijke radioactieve bronnen en structuren, systemen en componenten die barrière- en retentiefuncties vervullen<sup>4</sup>**

Bronnen	Beschikbare barrières	Structuren, systemen en componenten met retentiefunctie
splijtstofelementen in de reactorkern	Bekleding van de splijtstofelementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuel-matrix</li> <li>• Reactor Pool water</li> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>
verbruikte splijtstofelementen in rekken in de Reactor en Service Pool	Bekleding van de splijtstofelementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuel-matrix</li> <li>• Reactor en Service Pool water</li> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>
Beschadigde verbruikte splijtstofelementen	Container voor beschadigde verbruikte splijtstofelementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>
Mo-99-targets in de Reactor of Service Pools	Bekleding van het Mo-99-target	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MO-99 target-matrix</li> <li>• Reactor en Service Pool water</li> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>
Bestraalde Mo-99-targets in de Hot Cell	Omhulling van het Mo-99-target	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MO-99 target-matrix</li> <li>• Hot Cell Containment System</li> </ul>
Bestraalde targets (andere dan Mo-99) in de Reactor en Service Pool	Target-container (omhulling)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor en Service Pool water</li> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>

<sup>4</sup> Een barrière is een fysieke belemmering die de beweging van radionucliden verhindert of een afscherming tegen straling biedt. Een retentiefunctie is een structuur, systeem of component voor het vasthouden van radioactieve stoffen (filtering, onderdruk, enz.).

Bronnen	Beschikbare barrières	Structuren, systemen en componenten met retentiefunctie
Water van het Primary Cooling System and Pools Cooling System (bassins, leidingen, pompen, warmtewisselaars en Decay Tanks)	Warmtewisselaar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decay Tanks</li> <li>• Pool-lekvang en -detectienetwerk</li> <li>• LOCA Pool</li> <li>• Water Purification System</li> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>
Zwaar water	Gesloten zwaar watersysteem met gelaste plaat-warmtewisselaar en pompen met interne motoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waterdichte zwaar waterruimtes</li> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>
Ionenwisselharsen (in bedrijf en verbruikt)	Opslagtanks Vaten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Water Purification System</li> <li>• Managementsysteem voor gebruikte radioactieve harsen</li> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>
Radioactief afval	Vaten Transportcontainers	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>
Bestralingsactiviteiten	Voor elke bestralingsactiviteit worden de vereiste insluitsystemen per geval ontwikkeld.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor Containment System</li> <li>• Flexible Transfer Hot Cell</li> <li>• Hot Cell Ventilation Circuit</li> </ul>
Bestraalde targets in transportbussen in het Pneumatic Transport and Cooling System	Target transportomhulling (binnen-bus of kwartsampul)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pneumatische Transfer Hot Cell</li> <li>• Reactor Containment System</li> </ul>
Bestraalde targets (anders dan Mo-99) in de Decanning Hot Cells	Er is hier geen barrière omdat de ORI-targets in de Decanning Hot Cells worden uitgepakt en overgepakt in een transportcapsule voor verwerking in de PDHC. Voor korte tijd is het target binnen de DHC dan niet door een extra barrière ingesloten en vormt de Decanning Hot Cell met het Reactor Building Ventilation System de enkele dynamische insluiting.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decanning Hot Cell</li> <li>• Reactor Building Ventilation System</li> </ul>

#### 13.4.4 Radiologische zonerings en ventilatie

1. Om verspreiding van radioactiviteit te voorkomen en blootstelling van PALLAS-medewerkers te minimaliseren zijn het Nuclear Island Building, het Logistic Building en het Support Building conform het Bbs verdeeld in radiologische zones, te weten gecontroleerde en bewaakte zones.
2. De aanwezigheid van potentieel verspreidbare radioactieve stoffen is beperkt tot het Nuclear Island Building.

3. De toegang tot die zones is duidelijk aangegeven, evenals specifieke vereisten die gelden voor elke zone en de te gebruiken middelen (vergunningen, procedures, instructies, persoonlijke dosimeters en persoonlijke beschermingsmiddelen). In elke zone zijn voorzieningen getroffen en middelen voorhanden om de blootstelling van medewerkers tot een minimum te beperken.
4. Sommige ruimtes binnen de gecontroleerde zone zijn "verboden tijdens normaal bedrijf" vanwege de daar te verwachten hoge stralings- of besmettingsniveaus. Ook zijn sommige ruimtes om radiologische of conventionele veiligheidsredenen "beperkt toegankelijk".
5. Een ruimte wordt als gecontroleerde respectievelijk bewaakte zone geclassificeerd als de potentiële blootstelling van medewerkers valt onder minstens één van de in Tabel 13-3 daarvoor genoemde criteria.
6. Reguliere toegang tot een gecontroleerde zone is alleen mogelijk via een ander deel van de gecontroleerde zone of via de bewaakte zone. Alleen in noodsituaties kan daarvoor een noodtoegang worden gebruikt.
7. Toegang tot de bewaakte zone verloopt via de Radiological Control Room. Hier worden alle radiologisch werkers A of B (zie paragraaf 13.4.9), voordat zij de bewaakte zone binnegaan, gecontroleerd op gebruik van individuele dosimeters. De niet-radiologische zones van het Nuclear Island Building zijn via de Access Building Sector bereikbaar.

**Tabel 13-3: Criteria voor radiologische zonering conform het Bbs**

Gecontroleerde zone	Bewaakte zone
Effectieve dosis van > 6 mSv per kalenderjaar	Effectieve dosis van 1 - 6 mSv per kalenderjaar
Equivalentente dosis op de ooglenzen van > 15 mSv per kalenderjaar	
Equivalentente dosis op de huid van > 150 mSv per kalenderjaar gemiddeld over 1 cm <sup>2</sup>	Equivalentente dosis op de huid van 50 - 150 mSv per kalenderjaar gemiddeld over 1 cm <sup>2</sup>
Equivalentente dosis op handen, onderarmen, voeten en enkels van > 150 mSv per kalenderjaar	Equivalentente dosis op handen, onderarmen, voeten en enkels van 50 - 150 mSv per kalenderjaar
Mogelijkheid van radioactieve besmetting	

8. Diverse ventilatie- en filtersystemen beperken besmetting en voorkomen verspreiding van luchtgedragen radioactiviteit:
  - Het Reactor Building Ventilation System voert alle lucht uit de radiologische zones gefilterd af via de ventilatieschacht.
  - Lokale filtersystemen kunnen bij vervanging van besmette onderdelen worden ingezet.
  - Het Recovery Recirculation Circuit met zijn HEPA- en koolfilters reinigt de lucht van de reactorhal wanneer hier een verhoogde radioactiviteit wordt gemeten.
  - Als in de Heavy Water Ventilation Room een verhoogd tritiumniveau wordt gemeten, wordt de lucht omgeleid door moleculaire zeven die het getritieerde waterdamp vasthouden.

### 13.4.5 Lay-out ter beperking van blootstelling

1. De lay-out van de reactor is erop gericht om de uitvoering van werkzaamheden te vereenvoudigen, de blootstelling van het personeel aan stralingsbronnen te optimaliseren en besmetting met en verspreiding van radioactief materiaal te beperken.
2. De lay-out biedt ruimte voor scheiding van werkruimten, radiologische zonering, ventilatie, toegang, afscherming, apparatuur voor bediening op afstand, werkplaatsen, kleedkamers en faciliteiten voor werkzaamheden aan- en ontsmetting van apparatuur.

### 13.4.6 Minimalisatie van activering en besmetting

1. De omvang en mate van activering en besmetting van structuren, systemen en componenten moet worden geminimaliseerd. Zorgvuldige materiaalkeuze en de toepassing van coatings spelen hier een belangrijke rol in.
2. Vanuit stralingsbeschermingsoogpunt zijn de volgende eisen aan de toegepaste materialen gesteld:
  - corrosiebestendigheid voor structuren, systemen en componenten in contact met corroderende media/water;
  - lage neutronenactivatie voor structuren, systemen en componenten onderworpen aan een significante neutronenflux;
  - goede reinigbaarheid voor structuren, systemen en componenten met kans op oppervlaktebesmetting.
3. Om corrosie te minimaliseren wordt in de koelwatersystemen en de bassins gedemineraliseerd water gebruikt en zijn de koelwatersystemen en de bassins van goed decontamineerbare materialen als roestvaststaal, zircaloy en aluminium gemaakt. Zo wordt de vorming van geactiveerde deeltjes voorkomen die zich in het koelcircuit als slib kunnen ophopen. Het koelwater wordt met diverse systemen met filters en ionenharwisselaars schoongehouden. De zuiverheid van het koelwater wordt continu bewaakt. Periodiek worden watermonsters genomen die in het chemielab op specifieke activiteit worden geanalyseerd.
4. Systemen met mogelijk radioactief water zijn voorzien van opvang en lekdetectie. Ruimtes waarin radioactieve vloeistoffen kunnen vrijkomen zijn eenvoudig te decontamineren, met vloeren op afschot en afvoergoten om verspreiding van activiteit te minimaliseren. Bij het verlaten van dergelijke ruimtes worden medewerkers gecontroleerd op besmetting. Ventilatiesystemen voorkomen verspreiding van eventueel vrijkomende luchtgedragen activiteit.
5. Rond de reactorkern bevinden zich geen ruimtes die met lucht zijn gevuld, hiermee is activering van lucht uitgesloten. Het Pneumatic Transport and Cooling System gebruikt stikstof met een zeer laag <sup>40</sup>Ar-gehalte, om de productie van <sup>41</sup>Ar te minimaliseren.
6. Door eventuele besmette lucht af te zuigen en schone lucht toe te voeren wordt de opname van radionucliden door medewerkers voorkomen. Naast ventilatie worden speciale werkkleding en andere persoonlijke beschermingsmiddelen gebruikt om de opname van radionucliden te minimaliseren.

### 13.4.7 Voorzieningen voor stralingsbescherming

1. De PALLAS-faciliteit kent de volgende voorzieningen om stralingsbescherming te borgen:
  - Radiological Control Room, toegang tot de radiologische zones en opslag van dosimeters;
  - Decontamination Rooms, zowel voor ontsmetting van apparatuur en personeel;
  - Radiation Protection Room, voor toezicht op de in- en uitgangscntrole, afgifte van dosimeters, werkvergunningen en bewaking via het Radiation Monitoring System;
  - Health Physics Room, voor kalibratie en opslag van stralingsmeetapparatuur;
  - Reactor Chemistry Laboratory, voor fysisch-chemische en radiochemische analyses (koelwaterkwaliteit, cover gas, demi water en vloeibaar afval). De klasse van het lab en de maximaal te hanteren radioactiviteit wordt in de aanvraag voor de operationele vergunning vermeld.

### 13.4.8 Afscherming van bronnen van ioniserende straling

1. Op basis van de ontwerpdoelstelling voor beroepsmatige blootstelling (effectieve dosis < 2 mSv/jaar) is een ontwerpdosistempo bepaald van 1 µSv/uur bij volledige bezetting van een ruimte. Dit ontwerpdosistempo is gebruikt als doel om de benodigde afscherming voor een ruimte te bepalen, waarbij rekening is gehouden met conservatieve bezettingsfactoren.
2. In het basisontwerp is voor de afscherming de volgende aanpak gevolgd:



- in kaart brengen van alle bronnen, hun locatie en hun belangrijkste eigenschappen (soort straling, intensiteit en energie);
- verificatie van de ontworpen afscherming (dikte/geometrie) om eventuele zwakke plekken te identificeren en op te lossen;
- berekenen van de dose rates op posities van de operators als gevolg elk van deze bronnen en de ontworpen afscherming.

3. Enkele belangrijke voorbeelden van afscherming zijn gegeven in Tabel 13-4.

**Tabel 13-4: Typering van enkele belangrijke afschermingen (hsb staat voor hoge dichtheidsbeton)**

Ruimte/systeem	Afscherming	Materiaal	Indicatieve dikte [cm]
Reactor Block	Wanden	Beton (hsb)	130 (bovenste deel) 250 (onderste deel)
	Vloer	Beton (hsb)	200
	Water hoogte	Water	> 1000
Service Pool	Wanden	Beton (hsb)	580
	Vloer	Beton (hsb)	130
	Water hoogte	Water	150
Transfer Canal	Water hoogte	Water	500
Decay Tank ruimte	Wanden	Beton (hsb)	150
Heavy Water Bunker	Wanden	Beton (hsb)	140
	Roof	Beton (hsb)	140
Primary Cooling System ruimtes	Wanden	Beton	50
	Roof thickness	Beton	60
Pools Cooling System ruimtes	Wanden	Beton	40
Harsen	Wanden	Beton (hsb)	80
Radioisotopes Transfer Hot Cell (RTHC) en Flexible Transfer Hot Cell	Wand voorzijde	Beton	130
	Zijwanden	Beton	55
	Dak	Beton	115
	Vloer	Beton	115

4. In detailontwerp wordt het rekenmodel om de afscherming te verifiëren nader gedetailleerd met de doorvoeringen in de afscherming, zoals voor leidingen en kabels. Ook wordt de gedetailleerde geometrie van deuren en labyrinten meegenomen en de gedetailleerde locatie en geometrie van de bronnen. De benodigde afscherming voor accidentele omstandigheden, zoals de afscherming van filters, wordt geverifieerd in detailontwerp.

### 13.4.9 Stralingstoezicht en -controle

1. Het Nuclear Island Building wordt radiologisch bewaakt met het Radiation Monitoring System, dat instrumentatie en signalering verzorgt voor:

- werkplekcontrole inclusief radiologisch toezicht op de vloeibare processtromen;
- stralingsdosis en besmettingscontrole van het personeel;
- radiologische controle van objecten en apparatuur;
- radiologische controle van gasvormige emissies naar het milieu;

- radiologische alarmering.
2. Stralingscontrole wordt uitgevoerd met vaste en met draagbare apparatuur op:
    - externe bèta-, gamma- en neutronenstralingsvelden;
    - operationele blootstelling per specifieke tijdsperiode of per specifieke activiteit;
    - besmetting van voorwerpen, oppervlakken en personen;
    - luchtgedragen activiteit;
    - activiteit van emissies en afvalstromen.
  3. Beroepsmatig blootgestelde medewerkers worden verdeeld in de categorieën radiologisch werker A en B. Een radiologisch werker A is een blootgestelde medewerker die gekwalificeerd is om ook in de gecontroleerde zone te werken (zie Tabel 13-3), een radiologisch werker B is een blootgestelde medewerker die gekwalificeerd is om in de bewaakte zone te werken.
  4. PALLAS maakt gebruik van ambtelijke dosimeters voor alle medewerkers die op grond van hun werkzaamheden meer dan 1 mSv in een kalenderjaar zouden kunnen ontvangen. Ook alle overige medewerkers en bezoekers ontvangen zo'n dosimeter als zij een radiologische zone betreden.
  5. Voor bepaalde taken worden aanvullend direct uitleesbare elektronische dosimeters gebruikt. Deze geven een alarm bij een verhoogd dosistempo of bij het overschrijden van vooraf ingestelde dosislimieten. Voor specifieke taken worden totale lichaams- en extremiteitsdosimeters gebruikt.
  6. Voor medewerkers die werken in gecontroleerde gebieden waar de effectieve volg dosis van blootstelling door inname van radionucliden meer dan 1 mSv in een jaar zou kunnen bedragen, is een periodieke individuele controle op ingenomen activiteit verplicht.
  7. Iedereen die een radiologische zone verlaat waar besmetting mogelijk is, wordt gecontroleerd op besmetting met een Hand, Feet and Clothes Monitor. Voor controle van voorwerpen, apparatuur en beladen afvalvaten wordt draagbare apparatuur gebruikt. Als laatste controlepunt worden bij de toegang van het Nuclear Island Building alle medewerkers en objecten gecontroleerd op lage niveaus van bèta- en gamma-oppervlakbesmetting met de Portal Contamination Monitor.
  8. Het Radiation Monitoring System meet continue realtime de radioactiviteit (gassen en aerosol) in de gefilterde lozing van ventilatielucht. Die metingen zijn bedoeld voor:
    - verificatie dat de activiteitsemissies lager zijn dan elk vastgelegd kennisgevingsniveau;
    - verzamelen van gegevens om met een geschikt verspreidingsmodel de blootstelling voor omwonenden van de PALLAS-site te kunnen bepalen;
    - verzamelen van informatie over de werking van de installatie en het luchtbehandelingssysteem;
    - snel detecteren en identificeren van de aard en omvang van een emissie die de vergunde limieten overschrijdt;
    - activering van het bedrijfsnoodstelsel;
    - verzamelen van informatie die leidt tot een beter inzicht in het emissiegedrag en over het in bepaalde omliggende gebieden verspreid radioactief materiaal;
    - verzorgen van online emissieregistratie.

## 13.5 Evaluatie van de stralingsbescherming

### 13.5.1 Inleiding

1. De optimalisatie van de dosis van werknemers van de PALLAS-reactor is een continu proces dat in alle levensfasen van PALLAS-reactor wordt meegenomen, van ontwerp tot en met de ontmanteling. De optimalisatie in het ontwerp kent een gefaseerde aanpak, waarbij de te nemen maatregelen in lijn zijn met de mate van detail van het ontwerp.
2. Het doel van deze evaluatie is om aan te tonen dat optimalisatie van de stralingsbescherming is doorgevoerd in het basisontwerp door het gebruik van dosisbeperkingen. Dit heeft geresulteerd in de in paragraaf 13.4 beschreven maatregelen en voorzieningen. Met deze evaluatie wordt aangetoond dat deze maatregelen de beoogde bescherming bieden aan het publiek, de

medewerkers en het milieu tegen de schadelijke gevolgen van ioniserende straling voor alle activiteiten bij normaal bedrijf van de PALLAS-reactor.

3. In het detailontwerp wordt het ontwerp verder geoptimaliseerd door het treffen van technische voorzieningen. Daarnaast zullen organisatorische en administratieve maatregelen worden getroffen ten behoeve van stralingsbescherming.
4. Om deze reden resulteert de nu voorliggende stralingsbeschermingsevaluatie in conservatieve berekeningen van de stralingsdoses voor het publiek en het milieu (paragraaf 13.5.2) en van de beroepsmatige blootstelling (paragraaf 13.5.3).

### 13.5.2 Stralingsdosis voor het publiek en het milieu

1. Als gevolg van normaal bedrijf van de PALLAS-reactor ontvangt het publiek (de omwonenden van de PALLAS-site) een zeer geringe stralingsdosis (zie 13.5.2). Deze wordt vooral veroorzaakt door de gefilterde emissie van de ventilatielucht. Dicht bij de terreingrens is er een kleine bijdrage afkomstig van externe straling vanuit de gebouwen. De radioactiviteit in de ventilatielucht wordt gemeten door het Radiation Monitoring System.
2. Er vinden geen emissies plaats vanuit de PALLAS-reactor naar het oppervlaktewater.
3. De radioactieve gasen en aerosol die in de buitenlucht vrijkomen zullen zich in het milieu verspreiden, waaraan omwonenden van de PALLAS-site blootgesteld kunnen worden. Voor de berekening van de effectieve dosis zijn de volgende blootstellingsroutes beschouwd:
  - cloudshine: externe straling van radioactiviteit in de lucht;
  - groundshine: externe straling van radioactiviteit op de grond;
  - inhalatie: interne stralingsblootstelling ten gevolge van inademen van radioactiviteit;
  - ingestie: inwendige stralingsblootstelling als gevolg van inslikken van radioactiviteit.
4. Bij de verspreidingsberekeningen ter bepaling van de stralingsdoses voor omwonenden van de PALLAS-site zijn meteorologische data (stabiliteit, frequentie per windrichting en –snelheid) over de jaren 1981-2010 van meteostation De Kooy op 17 km van de PALLAS-locatie gebruikt.
5. De stralingsdoses voor omwonenden is bepaald met een analytisch atmosferisch transport model voor verspreiding van radioactieve stoffen. Dit model (ATM-INVAP-MODEL-NO-2019-V1.0) is gebaseerd op internationale regels en internationaal geaccepteerde modellen. Met een benchmark is aangetoond dat dit model conservatieve resultaten geeft in vergelijking met het Nieuw Nationaal Model (NNM) en DOVIS-A.
6. De dosis voor omwonenden als gevolg van externe straling is vastgesteld voor de relevante stralingsbronnen op basis van de duur van de straling, de afstand tot de terreingrens en de aanwezige afscherming. Dit betreft voornamelijk de volgende stralingsbronnen:
  - Reactorkern in de Reactor Pool;
  - Gebruikte splijtstof in de Service Pool;
  - Afvoer van bestraalde targets;
  - Afvoer van radioactief afval.
7. De individuele effectieve dosis (ID) voor het publiek als gevolg van lozing via de lucht is per locatie verschillend omdat deze afhankelijk is van de emissiehoogte en meteorologische omstandigheden. De berekende dosis op de locatie waar deze maximaal is bedraagt minder dan 0,2  $\mu\text{Sv}$  per jaar. Deze waarde ligt ruim onder het Secundair Niveau van 1  $\mu\text{Sv}$ /jaar voor luchtlozingen. Tabel 13-5 vermeldt de relatieve bijdrage per radionuclide(-groep) aan deze dosis.
8. Conservatieve berekeningen van de externe straling laten zien dat de individuele effectieve dosis (ID) lager ligt dan 2,5  $\mu\text{Sv}$  per jaar. Dit is de maximale dosis die een lid van de bevolking kan oplopen wanneer deze zich 24 uur per dag en 365 dagen per jaar bevindt op meest ongunstige positie ten opzichte van de bronnen. Deze waarde ligt ruim onder het Secundair Niveau van 10  $\mu\text{Sv}$ /jaar voor externe straling.
9. De totale individuele effectieve dosis (ID) voor het publiek bedraagt daarmee 2,7  $\mu\text{Sv}$  per jaar en ligt daarmee ruimschoots lager dan de wettelijke grens van 100  $\mu\text{Sv}$  per jaar en het PALLAS-optimalisatiedoel van 40  $\mu\text{Sv}$  per jaar.

Tabel 13-5: Relatieve radionuclidebijdrage aan de jaarlijkse effectieve dosis als gevolg van luchtlozing voor de omwonenden van de PALLAS-site

Radionuclide of radionuclidegroep	Relatieve bijdrage
<sup>41</sup> Ar	73 %
<sup>3</sup> H	24 %
Edelgassen (m.u.v. <sup>41</sup> Ar)	4 %
Jodium	0,001 %
Aerosolen	0,0001 %

### 13.5.3 Beroepsmatige blootstelling

- De bedrijfs-, productie- en onderhoudstaken bij de PALLAS-reactor leiden tot beroepsmatige blootstelling aan ioniserende straling. De evaluatie van deze blootstelling bestaat uit berekeningen waarmee wordt aangetoond dat de ontworpen afscherming effectief is. Hiervoor is de individuele dosis van operators als gevolg van verschillende werkzaamheden berekend.
- Alle benodigde vaste afscherming is ontworpen in het basisontwerp. Conservatieve berekeningen tonen aan dat de ontworpen afscherming geschikt is om de relevante bronnen af te schermen. Ze laten zien dat het dosistempo in naastgelegen ruimtes voldoende laag is. Hierbij is getoetst aan het ontwerpdosistempo van 1 µSv/uur bij volledige bezetting. Op bepaalde plaatsen binnen de gecontroleerde zone wordt een hoger dosistempo geaccepteerd wanneer er sprake zal zijn van beperkte aanwezigheid van een operator.
- Voor de berekening van de individuele effectieve jaar dosis als gevolg van beroepsmatige blootstelling, zijn de taken geïnventariseerd die vaak voorkomen en die een relatieve hoge bijdrage leveren aan de dosis. Deze taken zijn opgedeeld in kleinere activiteiten waarbij voor elke stap de benodigde tijd en het maximale dosistempo op de operator positie is bepaald. Voor het berekenen van de dosis is het personeel in de PALLAS-reactor verdeeld in twee hoofdgroepen, te weten operators voor de normale bedrijfsvoering (inclusief onderhoud en afvalbeheer) en operators voor de productie van radio-isotopen.
- Op grond van het basisontwerp zijn de doses van radiologisch medewerkers bij PALLAS-reactor berekend. Deze berekening geeft een indicatie van de te verwachten dosis. Het gaat hierbij dus nog niet om een daadwerkelijk gemeten waarde. Bovendien moet worden benadrukt dat deze waarden op conservatieve wijze zijn berekend en verdere maatregelen ter optimalisatie in detail ontwerpfase nog moeten worden doorgevoerd.
- De gemiddelde dosis voor reactor en onderhoudsoperators zal naar verwachting rond de 0,7 mSv/jaar liggen.
- De individuele dosis voor productiemedewerkers die werkzaam zijn boven de reactor pool is berekend tussen de 1,8 en 2,1 mSv/jaar.
- De individuele dosis voor productiemedewerkers werkzaam bij de hotcells en het transport van de radio-isotopen is berekend tussen de 0,3 en 3,5 mSv/jaar, met twee uitschieters van 6,8 en 12,4 mSv/jaar. Hierbij zijn reeds optimalisatiemaatregelen in rekening gebracht die in het detailontwerp moeten worden doorgevoerd. De berekeningen zijn echter conservatief ten aanzien van het gebruikte dosistempo en er is uitgegaan dat alle dosis door 1 medewerker per rol wordt ontvangen.
- De berekende waarde voor radiologisch medewerkers ligt voor het grootste deel beneden de ontwerpdoelstelling van 2 mSv/j, met uitzondering van enkele individuen waarvoor verdere maatregelen nodig zijn. De berekeningen laten zien dat de individuele effectieve dosis van al het personeel beneden de wettelijke limiet van 20 mSv/j zal liggen.

9. Tijdens detailontwerp zal het ontwerp verder worden geoptimaliseerd. De evaluatie van de beroepsmatige blootstelling geeft een goed inzicht in de bijdrage van elk van de taken aan de individuele effectieve dosis van de verschillende operators en maakt duidelijk waar verdere optimalisatie het meest nodig is. Tijdens detailontwerp zal ook de blootstelling voor extremiteiten, huid en ogen beschouwd worden. Waar nodig zullen maatregelen worden getroffen om deze te optimaliseren en te borgen dat wordt voldaan aan de dosislimieten.
10. PALLAS zal ook tijdens de bedrijfsvoering van de reactor doorgaan met het optimaliseren van de stralingsdoses van medewerkers.

# 14

---

Geïntegreerd  
management  
systeem



## 14.1 Inleiding

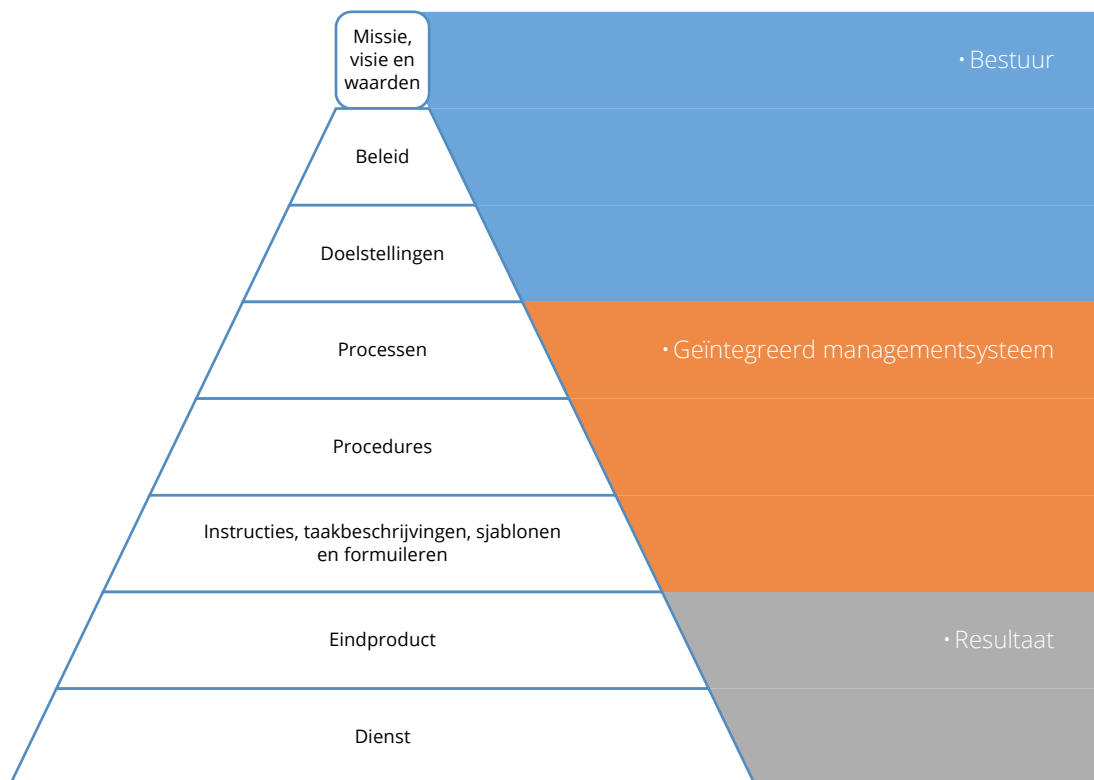
1. PALLAS is primair verantwoordelijk voor het ontwerp, de bouw, het in bedrijf brengen en houden en de uiteindelijke ontmanteling van de PALLAS-reactor. Management en organisatie (M&O) omvat alle activiteiten ten aanzien van de organisatie, planning en aansturing van medewerkers en middelen teneinde de missie, visie en doelstellingen van PALLAS te bereiken.
2. Dit hoofdstuk beschrijft de M&O-aspecten die essentieel zijn om het doel te bereiken en de verantwoordelijkheden op de juiste manier te nemen. Om de belangrijkste taken van de organisatie adequaat te kunnen uitvoeren, worden het managementsysteem en de organisatie voortdurend ontwikkeld ten behoeve van de volgende levensfasen van de PALLAS-reactor:
  - "Ontwerp, vergunningverlening, voorbereiding op de bouw en financiering".  
De belangrijkste taken in deze fase zijn het ontwerp van de PALLAS-reactor, het beoordelen en aantonen dat het reactorontwerp veilig is, de voorbereiding van de bouwplaats, de start van de opleiding van het bedienend personeel en de voorbereiding van de organisatie op de volgende fase.
  - "Bouw en niet-nucleaire inbedrijfstelling".  
De belangrijkste taken zijn de bouw van de reactor en het bijbehorende gebouw en de bijbehorende faciliteiten, het installeren, testen en in bedrijf stellen van systemen en apparatuur, het aantonen dat de reactor veilig is en veilig zal blijven en het voorbereiden van de inbedrijfstelling van de installatie.
  - "Inbedrijfstelling en bedrijfsvoering".  
De belangrijkste taken zijn de nucleaire inbedrijfstellings- en opstartactiviteiten, het aantonen dat de reactor veilig is en dat de installatie veilig bedreven kan worden. Gedurende deze fase wordt de volledige overdracht van kennis van aannemers naar de operationele organisatie geborgd.
  - "Buitengebruikstelling- en ontmanteling".  
De taken in deze fase omvatten de administratieve en technische handelingen die worden uitgevoerd ten behoeve van de uiteindelijke vrijgave van de PALLAS-reactor van het wettelijke toezicht.
3. Paragraaf 14.2 geeft een toelichting op het geïntegreerde managementsysteem dat PALLAS gebruikt en de missie, visie en waarden die er de basis voor vormen. Ook wordt uitgelegd dat PALLAS een proces gestuurde organisatie is die een systematische aanpak hanteert om te zorgen dat het management systeem bruikbaar is voor zowel de huidige fase als daarna.
4. Paragraaf 14.3 beschrijft de organisatie van PALLAS, inclusief de managementstructuur, ontwikkeling ervan naar de toekomst en hoe wordt gegarandeerd dat de organisatie te allen tijde beschikt over voldoende gekwalificeerd personeel.

## 14.2 Geïntegreerd managementsysteem

1. Het geïntegreerde managementsysteem (IMS) van PALLAS heeft een hiërarchische structuur (zie Figuur 14-1) op basis van processen, die zelf specifieke procedures genereren en die op hun beurt weer instructies, taakomschrijvingen, sjablonen en/of formulieren genereren.
2. Het IMS is opgezet volgens de richtlijnen van het IAEA en integreert alle verantwoordelijkheden voor het management. Zo worden de nucleaire veiligheidseisen vastgesteld en toegepast in samenhang met andere eisen, zoals eisen voor kwaliteit, arbeidsveiligheid, beveiliging en milieu. Als gevolg hiervan komt de nucleaire veiligheid niet in het gedrang door de noodzaak om aan andere eisen te voldoen en worden veiligheids- en beveiligingsmaatregelen op een geïntegreerde manier ontworpen en toegepast.
3. Het IMS zorgt ook voor de bevordering van een sterke cultuur ten aanzien van veiligheid en beveiliging door de regelmatige beoordeling van de veiligheid en de beveiliging van zowel de organisatie als de installatie en door het leren van ervaringen te stimuleren.

4. Het geïntegreerde managementsysteem weerspiegelt de activiteiten die gedurende de gehele levensduur van de PALLAS-reactor zullen plaatsvinden en omvat de aanpak van “Plan-Do-Check-Act” (PDCA-cyclus). Toepassing van de PDCA-cyclus en het streven naar continue verbeteren vormt een belangrijk element in de PALLAS-cultuur.

**Figuur 14-1 Hiërarchie van het geïntegreerd managementsysteem**



### 14.2.1 Missie, visie en waarden

1. De missie, visie en waarden van PALLAS zijn als volgt vastgelegd:

#### De PALLAS-missie

- Het is de missie van PALLAS om unieke oplossingen te bieden voor nucleaire geneeskunde en onderzoek.

#### De PALLAS-visie

- PALLAS bouwt een veilige en moderne productiefaciliteit die 's werelds grootste producent van radio-isotopen voor nucleaire geneesmiddelen zal zijn en die onderzoek op het gebied van nucleaire technologie mogelijk maakt.

#### De PALLAS-waarden

- zorgzaamheid - wij zorgen voor gezondheid, welzijn, veiligheid, beveiliging en milieu;
- betrouwbaarheid - wij handelen waarheidsgetrouw en professioneel en leveren wat we beloven;
- uitmuntendheid - wij passen onze unieke kennis en ervaring toe ten behoeve van de samenleving;
- samenwerking - wij leggen de belangen van interne en relevante externe belanghebbenden vast en dragen bij aan een optimale vervulling van die belangen.



## 14.2.2 Beleid

1. Het Leiderschapsteam heeft een beleidsverklaring opgesteld die aan de basis ligt van het IMS en dat het doel van PALLAS en de gecontracteerde organisaties bewerkstelligt. Deze verklaring weerspiegelt de betrokkenheid van het Leiderschapsteam bij het integraal management van nucleaire veiligheid, gezondheid, arbeidsveiligheid, milieubescherming, kwaliteit en beveiliging. Het definieert de voorwaarden en de belangrijkste principes op basis waarvan PALLAS zijn activiteiten bestuurt en uitvoert.

## 14.2.3 Doelstellingen

1. PALLAS heeft zich middels haar waarden en haar IMS-beleid gecommitteerd aan veiligheid, beveiliging en kwaliteit. Deze verbondenheid heeft mede vorm gekregen in:
  - De PALLAS-veiligheidsdoelstelling<sup>5</sup>  
PALLAS zorgt ervoor dat mens en milieu beschermt worden tegen schadelijke effecten van ioniserende straling en beroepsmatige of industriële risico's.
  - De PALLAS-beveiligingsdoelstelling  
PALLAS zorgt ervoor dat bescherming wordt geboden tegen kwaadwillige handelingen, waaronder diefstal, sabotage en andere criminele of opzettelijke ongeoorloofde handelingen die kunnen leiden tot onaanvaardbare stralingsgevolgen of andere nadelige situaties.
  - De PALLAS-kwaliteitsdoelstelling  
PALLAS zorgt ervoor dat haar producten en diensten een kwaliteitsniveau bereiken dat voldoet aan de behoeften en verwachtingen van haar klanten en belanghebbenden.

## 14.2.4 Key Performance Indicators en doelstellingen

1. Het Leiderschapsteam heeft Key Performance Indicators (KPI's) en doelstellingen vastgesteld voor het ontwerp van de PALLAS-reactor waarmee de effectiviteit van het management en de organisatie van PALLAS wordt gevolgd en continue verbetering wordt bevorderd.

## 14.2.5 Processen in het IMS

1. PALLAS is een proces-gestuurde organisatie. Processen laten medewerkers weten wat het effect en de impact is van hun werk (en dat van hun collega's) op het eindproduct of de dienst. Dit inzicht leidt tot een betere planning, uitvoering en controle van de activiteiten. Processen kunnen adequaat worden gecontroleerd en aangestuurd en waar nodig eenvoudig worden verbeterd. Een proces-gestuurde organisatie draagt bij aan een sterke cultuur en vertrouwen binnen de organisatie door het creëren van transparantie over resultaten, rollen en verantwoordelijkheden.
2. Het IMS beschrijft alle processen die PALLAS moet hebben om haar missie, visie en doelstellingen te realiseren. De IMS-structuur is ontworpen om PALLAS gedurende de gehele levensduur te ondersteunen. Het huidige IMS ondersteunt de ontwerpfase, inclusief de planning en voorbereiding van de bouwfase en de latere fasen voor zover die nu reeds relevant zijn.
3. De processen bij PALLAS zijn onderverdeeld in drie categorieën: management-, primaire – en ondersteunende processen.
4. De managementprocessen zijn overkoepelend voor alle andere processen en borgen de organisatie van de activiteiten, de informatievoorziening, het meten van voortgang (o.a. middels KPI's) en het risicobeheer.
5. De primaire processen betreffen de hoofdactiviteiten om te komen tot het realiseren van de missie, visie en doelstellingen. In de eerste fase zijn dat het ontwerp van de reactor en het verkrijgen van de relevante vergunningen voor de bouw van de reactor.

---

<sup>5</sup> Wanneer "veiligheid" wordt genoemd, moet dit worden gezien in de context van de veiligheidsdoelstelling, d.w.z. nucleaire/radiologische, milieu- en arbeidsgezondheid en -veiligheid. Wanneer "nucleaire veiligheid" staat vermeld, wordt specifiek hierop bedoeld.

6. De ondersteunende processen staan ten dienste van de voornoemde processen. Ondersteunende processen nemen verantwoordelijkheden voor hun rekening, welke noodzakelijk zijn voor de algehele bedrijfsvoering, zoals Financiën, Personeel en Organisatie, Inkoop en Communicatie.
7. De relevantie van elk proces is bepaald door deze te classificeren aan de hand van de risicodomeinen nucleaire veiligheid, stralingsbescherming, veiligheid en gezondheid, milieu, kwaliteit, beveiliging, reputatie, naleving, project en business case.
8. Elk proces kent een procesbeschrijving, waaronder scope, doel, relaties met andere processen, rollen en eisen voor het proces. Hieruit volgen de benodigde procedures, instructies, taakbeschrijvingen, sjablonen en formulieren.

#### 14.2.6 Beoordeling en controle

1. Om ervoor te zorgen dat het IMS geschikt is, nageleefd en continu verbeterd wordt, worden er regelmatig interne audits en reviews uitgevoerd. De resultaten hiervan worden gerapporteerd aan het Leiderschapsteam en worden gebruikt om het IMS te verbeteren.
2. Het IMS is ISO gecertificeerd. Ten behoeve van deze certificering worden regelmatig audits uitgevoerd door een externe partij. De bevindingen van deze audits dragen bij aan de continue verbetering van het IMS.
3. Het ontwerp en de bouw wordt uitgevoerd door gecontracteerde organisaties. Om zeker te zijn dat de managementsystemen van deze organisaties een positieve bijdrage leveren aan de (nucleaire) veiligheid voert PALLAS regelmatig audits uit ten aanzien van deze managementsystemen. Dit wordt zowel voorafgaand aan hun aanstelling als tijdens de uitvoering van de werkzaamheden gedaan.

### 14.3 Organisatie van PALLAS

1. PALLAS is als vergunninghouder op grond van de Kernenergiewet verantwoordelijk voor het ontwerp, de bouw, de inbedrijfstelling, de bedrijfsvoering en de uiteindelijke ontmanteling van de reactor (de levensfasen van de PALLAS-reactor). Deze paragraaf beschrijft de organisatie verantwoordelijk voor het organiseren, plannen, leidinggeven aan en controleren van medewerkers en middelen om de missie, visie en doelstellingen van PALLAS te realiseren.

#### 14.3.1 Managementstructuur en leiderschap

1. Met de oprichting van de stichting voorbereiding PALLAS-reactor is de Raad van Toezicht samen met de Raad van Bestuur benoemd en zijn de statuten vastgesteld.
2. De Raad van Bestuur is statutair verantwoordelijk voor de jaarlijkse planning- en rapportagecyclus van de organisatie, is verantwoordelijk voor het management van PALLAS en draagt de ultieme verantwoordelijkheid voor nucleaire veiligheid.
3. Leiderschap voor veiligheid betekent dat leiders in de organisatie een voorbeeldrol hebben, dat zij zichtbaar en benaderbaar zijn en dat zij de visie ten aanzien van veiligheid binnen de organisatie uitdragen. Om leiderschap voor veiligheid binnen PALLAS te borgen heeft de Raad van Bestuur het Leiderschapsteam opgericht dat verantwoordelijk is voor het op strategisch niveau aansturen van de PALLAS-organisatie. Het Leiderschapsteam heeft de missie, visie, waarden en doelstellingen vastgesteld en zorgt voor naleving hiervan binnen de organisatie. Het Leiderschapsteam neemt de hoofdverantwoordelijkheid voor en toont leiderschap ten aanzien van de veiligheid en beveiliging. Voor elk IMS-proces is een lid van het Leiderschapsteam aangewezen als procesleider.
4. Een onafhankelijke veiligheidscommissie geeft gevraagd en ongevraagd advies en aansturing aan het Leiderschapsteam over alle veiligheidsaspecten tijdens de levensduur van de PALLAS-reactor.

### 14.3.2 Organisatie voor nucleaire veiligheid

1. Als onderdeel van de totale organisatie van PALLAS is de Nucleaire Veiligheidsorganisatie gedefinieerd als de minimaal benodigde organisatie en bekwaamheid om de nucleaire veiligheid te borgen. Via de Nucleaire Veiligheidsorganisatie worden de bevoegdheid en de verantwoordelijkheid voor veiligheid en beveiliging gedelegeerd aan deskundige personen op alle niveaus in de organisatie.
2. De eisen voor de bekwaamheid van personen in de nucleaire veiligheidsorganisatie zijn onder andere gebaseerd op vigerende wet- en regelgeving en op 'best practices' in de nucleaire industrie.

### 14.3.3 Ontwerpautoriteit

1. PALLAS is gedurende alle fases eindverantwoordelijke voor het ontwerp, ook al worden het ontwerp en de bouw door een derde partij uitgevoerd. De verantwoordelijkheid voor de veiligheid van het ontwerp is belegd in de rol van 'ontwerpautoriteit'. Deze rol blijft bestaan gedurende de levensduur van de reactor. Waar deze rol in eerste instantie de verantwoordelijkheid van het ontwerp op papier betreft, zal deze later ook de fysieke installatie betreffen en de toekomstige ontmanteling.
2. Tijdens de ontwerpfase heeft PALLAS de rol van "ontwerpautoriteit" aan ICHOS, de hoofdaannemer voor het ontwerp en de bouw, gedelegeerd. Dit betekent dat ICHOS de uitvoerende verantwoordelijkheid heeft voor het ontwerp, het beheer van het ontwerp en de technische geschiktheid van het ontwerpproces.
3. Naarmate het ontwerp en de bouw zullen vorderen, zal de capaciteit van PALLAS navenant worden ontwikkeld, zodat adequate bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor is geborgd. Alle taken van de "ontwerpautoriteit" worden in de Nucleaire Veiligheidsorganisatie vastgelegd, waarmee de opvolging en ontwikkeling van deze capaciteit binnen PALLAS wordt geborgd.
4. Tijdens de latere fasen (bouw en inbedrijfstelling) wordt de "ontwerpautoriteit" per systeem van de installatie overgedragen aan PALLAS.

### 14.3.4 Organisatiecultuur

1. PALLAS streeft continue naar een organisatiecultuur waarbij veiligheid en beveiliging de prioriteit zijn. PALLAS definieert een sterke organisatiecultuur als de verzameling van kenmerken, houdingen en gedragingen van individuen en organisaties die er voor zorgen dat veiligheids-, beveiligings-, risico- en kwaliteitskwesaties voldoende aandacht krijgen. Nucleaire veiligheid en beveiliging krijgen de hoogste prioriteit bij besluitvorming.
2. In een organisatie met een goede cultuur, laten individuen het juiste gedrag zien bij de planning, en uitvoering van hun taken, waardoor een positieve cultuur bestaat, waarbij continue verbetering en een lerende organisatie leiden tot effectieve en efficiënte samenwerking in de organisatie.
3. Gedurende alle fasen zal de cultuur van de organisatie worden ontwikkeld, onderhouden en gemonitord met een programma. Om inzicht te krijgen in deze cultuur en hoe deze verder kan worden verbeterd worden regelmatig onafhankelijke beoordelingen en zelfevaluaties uitgevoerd. De rol en werkzaamheden van (onder) aannemers ten aanzien van veiligheid en beveiliging en hun bijdrage aan de organisatie cultuur wordt hier in meegenomen.

### 14.3.5 Ontwikkeling van de organisatie

1. Voorafgaand aan de start van elke nieuwe levensfase van de PALLAS-reactor wordt de capabele Nucleaire Veiligheidsorganisatie gedefinieerd, inclusief de gewenste cultuur, het gewenste leiderschap, het noodzakelijke geïntegreerd managementsysteem en de noodzakelijke processen. De systematische benadering van een nieuwe fase geeft een basis om veranderingen te plannen

en te managen en zorgt ervoor dat overgangen naar volgende fasen effectief en efficiënt verlopen.

2. Voor de ontwikkeling van de organisatie (structuur, kwalificatie en capaciteit) en het managementsysteem worden iteratief de volgende stappen doorlopen:
  - Identificeren van eisen: op basis van de relevante (inter)nationale wet- en regelgeving worden de eisen, die van toepassing zijn op de betreffende fase, vastgesteld.
  - Definiëren van processen: de processen die nodig zijn om aan de eisen te voldoen worden in het IMS ingericht zodat de noodzakelijke activiteiten kunnen worden gemanaged. De processen worden in onderlinge samenhang opgesteld en uitgevoerd en zijn onderling geïntegreerd.
  - Vaststellen procesleiderschap: elk lid van het Leiderschapsteam krijgt als procesleider de verantwoordelijkheid toegewezen voor een of meerdere processen (en dus voor de bijbehorende activiteiten en eisen).
  - Vaststellen organisatie: de procesleiders identificeren vervolgens de proceseigenaren die de procesactiviteiten coördineren en beheren. De proceseigenaren stellen de noodzakelijke rollen en verantwoordelijkheden, kennis en capaciteit vast om de door het proces gedefinieerde activiteiten uit te voeren.
3. De ontwikkeling van de organisatie (capaciteit en kennis) wordt afgestemd op de belangrijkste activiteiten van elke fase, waarbij rekening wordt gehouden met de soms lange duur voor werving, opleiding en training.

#### 14.3.6 Kwalificaties, ervaring en opleiding van het personeel

1. PALLAS zal gedurende de levensduur van de reactor aantonen dat zij voldoende gekwalificeerd personeel beschikbaar heeft en in staat is deze op het benodigde peil te houden. PALLAS moet voldoende kennis hebben om het werk van de gecontracteerde organisaties te begrijpen, zodat zij toezicht kan houden op de ontwerpintegriteit, de veiligheidsaspecten van het ontwerp, de veiligheidsanalyse, de productie- en bouw, de inbedrijfstelling en het onderhoud.
2. Voor de ontwerpfase is veel expertises vereist om de nucleaire en niet-nucleaire systemen voor de reactor te ontwerpen en om de toepasbaarheid en de veiligheid ervan te beoordelen. Een substantieel deel van die expertise is slechts voor een beperkte periode benodigd. Zulke expertise wordt betrokken bij gevestigde organisaties. De organisatie van PALLAS is altijd instaat om te bepalen welke diensten van een gecontracteerde organisatie nodig zijn, hiervoor de eisen te specificeren, toezicht te houden op de werkzaamheden, de resultaten te beoordelen en te gebruiken.
3. PALLAS volgt een systematische aanpak om de ontwikkeling van haar personeel te borgen, dat uiteindelijk bijdraagt aan de veiligheid en efficiëntie van de installatie.
4. Deze aanpak begint zodra de rollen zijn vastgesteld om de noodzakelijke werkzaamheden uit te voeren. De eisen ten aanzien van kwalificatie, ervaring en opleiding voor het vervullen van die rollen worden vastgesteld in de kwalificatie- en capaciteitsmatrix, welke mede is gebaseerd op IAEA-richtlijnen. Door middel van Key Performance Indicators (KPI's) worden de status en de ontwikkeling gemonitord van de organisatie en de kwalificatie en capaciteit van het personeel.
5. Binnen het Human Resource Management Proces is een specifieke procedure voor training en kwalificatie geïmplementeerd. 'Best practices' komen in deze procedure aan de orde om de ontwikkeling van medewerkers te ondersteunen, zodat zij verantwoordelijkheid kunnen nemen voor hun eigen effectiviteit en arbeidstevredenheid. De procedure voorziet in verplichte opleidings- en kwalificatie-eisen (nodig voor het vervullen van één of meer functies van de Nucleaire Veiligheidsorganisatie) en overige opleidings- en kwalificatiemogelijkheden voor medewerkers en managers.
6. De noodzaak tot het volgen van een opleiding of training of tot het opdoen van ervaring kan worden veroorzaakt door de identificatie van een (geanticiperde) leemte in opleiding, ervaring en training of door gesprekken over de verbetering van de gedrag, loopbaan- of professionele

- ontwikkeling. De procedure draagt ertoe bij dat medewerkers voldoende gekwalificeerd en ervaren zijn en blijven en dat zij actief bijdragen aan veiligheid en beveiliging.
7. Om verlies van kennis te voorkomen, worden er plannen opgesteld voor de opvolging van belangrijke functies van de Nucleaire Veiligheidsorganisatie. Opgvolgingsplannen omvatten o.a. roulatie van activiteiten, opdrachten en andere middelen om de kennis en vaardigheden van medewerkers verder te ontwikkelen voor andere functies.
  8. Er wordt regelmatig bijgeschoold. Naarmate de organisatie van PALLAS zich ontwikkelt, worden specifieke trainingen ontwikkeld voor de functies die belangrijk zijn voor de veilige werking van de installatie. Door middel van bijscholing op basis van systematische aanpak worden de kwalificatieniveaus gehandhaafd en waar nodig aangepast. Deze ontwikkelingsaanpak moet daarom worden beschouwd als een integraal onderdeel van de veilige werking van de installatie.

## 14.4 Bouwmanagement

1. Het doel van de bouw is om het goedgekeurde ontwerp op een correcte manier te bouwen. PALLAS is hier als vergunninghouder verantwoordelijk voor. PALLAS zal de bouwwerkzaamheden van (onder)aannemers managen en controleren. Hiervoor zal PALLAS zich laten ondersteunen door enkele aannemers, specifiek voor dit doel.
2. Tijdens de bouw zal worden gewerkt volgens het IMS, dat veiligheid en beveiliging de hoogste prioriteit geeft.
3. Met het IMS proces "configuratie management" wordt tijdens de bouw geborgd dat de faciliteit consistent is met de ontwerpparameters. Het proces "kwaliteitsborging en controle" beschrijft wie, hoe, wanneer en op welke wijze de kwaliteit wordt gecontroleerd en hoe dit wordt vastgelegd. Uiteindelijk resulteert dit in volledige documentatie van alle inspecties om zeker te stellen dat het gebouwde en geïnstalleerde voldoet aan alle kwaliteits- en veiligheidseisen.
4. Tijdens de bouw zal specifieke aandacht worden besteed aan de veiligheidscultuur op de bouwplaats, maar ook aan de kwaliteitseisen die worden gesteld aan een nucleair project. Dit zal onder andere worden gedaan door het geven van trainingen.

# 15

Bedrijfsvoering



## 15.1 Inleiding

1. Dit hoofdstuk beschrijft de activiteiten en aspecten die van belang zijn voor de bedrijfsvoering waaronder operationele procedures, een systeem voor assetmanagement, de organisatiestructuur en de werving en opleiding van operators. De bedrijfsvoering loopt vanaf het begin van de nucleaire inbedrijfstelling tot de ontmanteling en omvat bedrijfsvoering, onderhoud, inspectie en de eventuele wijziging van de PALLAS-reactor.
2. Omdat de PALLAS-reactor nog moet worden gebouwd, zijn de programma's, het managementsysteem en de organisatie voor de uitvoering zover als mogelijk opgezet, maar kunnen deze pas tijdens de bedrijfsvoering volledig worden geïmplementeerd.

## 15.2 Programma's voor de bedrijfsvoering

### 15.2.1 Algemeen

1. PALLAS heeft conform de richtlijnen van het IAEA 17 programma's gedefinieerd welke richting geven aan het veilig ontwerpen en bedrijven van de PALLAS-reactor. Daarnaast beschouwd PALLAS nog twee programma's welke van belang zijn voor een veilige bedrijfsvoering (nummer 18 en 19). De programma's dragen bij aan het bereiken van de algemene doelstellingen van de organisatie, waaronder de veiligheids-, beveiligings- en kwaliteitsdoelstellingen (zie hoofdstuk 14). Tabel 15-1 geeft aan in welk hoofdstuk van dit Veiligheidsrapport deze programma's beschreven staan.

**Tabel 15-1: Programma's met bijbehorende hoofdstuk in het VR**

	Programma	VR Hoofdstuk
1	Opleiding en kwalificatie	14
2	Bedrijfsvoering en procedures	15
3	Inbedrijfstelling	17
4	Onderhoud, periodieke testen en inspectie	15
5	Kernbeheer en splijtstofmanagement	15
6	Brandveiligheid	10, 20
7	Noodplanning	20
8	Gegevensbeheer en registraties	14, 15
9	Terugkoppeling van operationele ervaring	15
10	Reactorbenutting en wijzigingen	11
11	Stralingsbescherming	13
12	Beheer van radioactief afval	12
13	Fysieke beveiliging	-
14	Veiligheidsanalyses	16
15	Verouderingsbeheer	15
16	Langdurige buitenbedrijfstelling	15
17	Ontmanteling	22
18	Assetmanagement	15
19	Verbetering van menselijk handelen	19

2. Elk programma valt onder het geïntegreerde managementsysteem (IMS). Het IMS omvat het samenhangend kader voor het beheer van alle PALLAS-activiteiten, om ervoor te zorgen dat veiligheid en beveiliging altijd de prioriteit hebben.
3. In dit hoofdstuk worden de volgende – voor nucleaire veiligheid en beveiliging meest belangrijke - programma's beschreven:
  - bedrijfsvoering en procedures (zie paragraaf 15.2.2);
  - terugkoppeling van operationele ervaring (zie paragraaf 15.2.3);
  - assetmanagement (zie paragraaf 15.2.4) waaronder:
    - onderhoud, periodieke testen en inspectie;
    - wijzigingsbeheer (onderdeel van Reactorbenutting en wijzigingen);
    - verouderingsbeheer;
    - langdurige buitenbedrijfstelling;
  - kernbeheer en splijstofmanagement (zie paragraaf 15.2.5);
  - gegevensbeheer en registraties (zie paragraaf 15.2.6).
4. Het programma Fysieke beveiliging is onderdeel van de beveiliging en valt buiten de scope van dit Veiligheidsrapport.

### 15.2.2 Bedrijfsvoering en procedures

1. Het doel van het programma “bedrijfsvoering en procedures” is het ontwikkelen en implementeren van procedures voor veilige bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor, waaronder voor:
  - normale bedrijfsvoering;
  - storingen en noodsituaties;
  - configuratie van de kern en het hanteren van splijstof en bestralingsfaciliteiten;
  - onderzoek, inspectie, onderhoud en testen;
  - stralingsbescherming;
  - toepassing van experimenten;
  - toezicht op de activiteiten.
2. De operationele procedures worden opgesteld volgens een specifieke procedure binnen het IMS om ervoor te zorgen dat ze eenvoudig en consistent zijn, een vaste indeling volgen, geïntegreerd worden met andere processen en procedures en bij het opstellen, voorafgaand aan het gebruik, een verificatie, validatie- en goedkeuringsproces doorlopen.

### 15.2.3 Terugkoppeling van operationele ervaring

1. Een programma voor de terugkoppeling van operationele ervaringen wordt geïmplementeerd ten behoeve van de veiligheid en de beveiliging van de bedrijfsvoering. Dit programma is gericht op het identificeren en verbeteren van ongunstige trends in bijvoorbeeld aard en aantal storingen, ongewone gebeurtenissen en op het continu verbeteren van de bedrijfsvoering. Terugkoppeling van operationele ervaring kan resulteren in:
  - wijzigingen aan installaties;
  - wijzigingen in operationele of andere procedures;
  - verbeteringen aan bestaande trainingen of de introductie van nieuwe trainingen
  - formele briefings;
  - informele discussies gericht op het ontwikkelen van de organisatiecultuur.
2. PALLAS wisselt tevens relevante operationele ervaring uit met vergelijkbare reactoren en verbetert naar aanleiding daarvan de PALLAS installaties en/of bedrijfsvoering.

### 15.2.4 Assetmanagement

1. Een asset wordt gedefinieerd als een economisch middel, materieel of immaterieel, waarvan wordt verwacht dat het een onderneming voordelen zal opleveren. De voornaamste assets van



een nucleair bedrijf zijn de reactorinstallatie en het personeel dat nodig is om deze te ondersteunen.

2. Het assetmanagement programma stelt PALLAS in staat de reactor gedurende haar hele levensduur in optimale conditie te houden en waar nodig te verbeteren. Hierdoor kan geborgd worden dat:
  - de structuren, systemen en componenten te allen tijde hun veiligheids- en beveiligingsfuncties kunnen vervullen;
  - de structuren, systemen en componenten hun overige functies (inclusief economische functies) kunnen vervullen;
  - de risico's die uit de bedrijfsvoering, het onderhoud, wijzigingen en eventuele buitenbedrijfstellingen voortvloeien tot een minimum worden beperkt;
  - de kapitaal- en operationele uitgaven die nodig zijn om structuren, systemen en componenten te ondersteunen, te allen tijde gedekt zullen zijn.
3. Effectief assetmanagement vereist een lange termijn geïntegreerde aanpak van de volgende activiteiten:
  - onderhoud en inspecties;
  - bewaking en periodieke tests;
  - verouderingsbeheer;
  - prestatie monitoring en feedback van operationele ervaring;
  - beheer van wijzigingen;
  - verhoging van de beschikbaarheid
  - voorbereiding voor buitenbedrijfstelling.

### 15.2.5 Kernbeheer en splijtstofmanagement

1. Het programma voor kernbeheer waarborgt dat de reactorkern (inclusief het laden van splijtstofelementen en bestralingsfaciliteiten) dusdanig is geconfigureerd dat er altijd wordt gewerkt binnen de veiligheidsgrenzen, zoals vastgelegd in de veiligheidstechnische specificaties (VTS, zie hoofdstuk 18). Als onderdeel van het programma voert PALLAS berekeningen uit met gespecialiseerde tools, om aan te tonen dat voor elke voorgestelde kernconfiguratie aan de VTS is voldaan.
2. Het programma voor splijtstofmanagement waarborgt dat de fysieke verplaatsing en opslag van splijtstofelementen in overeenstemming met de VTS plaatsvindt. Binnen dit programma worden procedures opgesteld voor de verwerving, controle van de fabricage, ontvangst, opslag en verzending van verse en verbruikte splijtstofelementen.

### 15.2.6 Gegevensbeheer en registraties

1. Het programma voor gegevensbeheer en registraties draagt zorg dat specifieke gegevens die tijdens de bedrijfsvoering worden gegenereerd door middel van het informatiebeheerproces worden beheerd. Voorbeelden van gegevens die worden beheerd, zijn:
  - records die de configuratie van de faciliteit beschrijven;
  - registers van de verplaatsing van nucleair materiaal (met inbegrip van splijtstofelementen);
  - gegevens met betrekking tot bestralingsactiviteiten;
  - gegevens over de radiologische doses die het personeel en de bezoekers van de PALLAS-reactor ontvangen;
  - verslagen van afvalbeheer;
  - gegevens over de toestand van assets en regelingen voor assetmanagement;
  - het bedrijfslogboek;
  - verslagen van ongewone gebeurtenissen.

## 15.3 Managementsysteem voor bedrijfsvoering

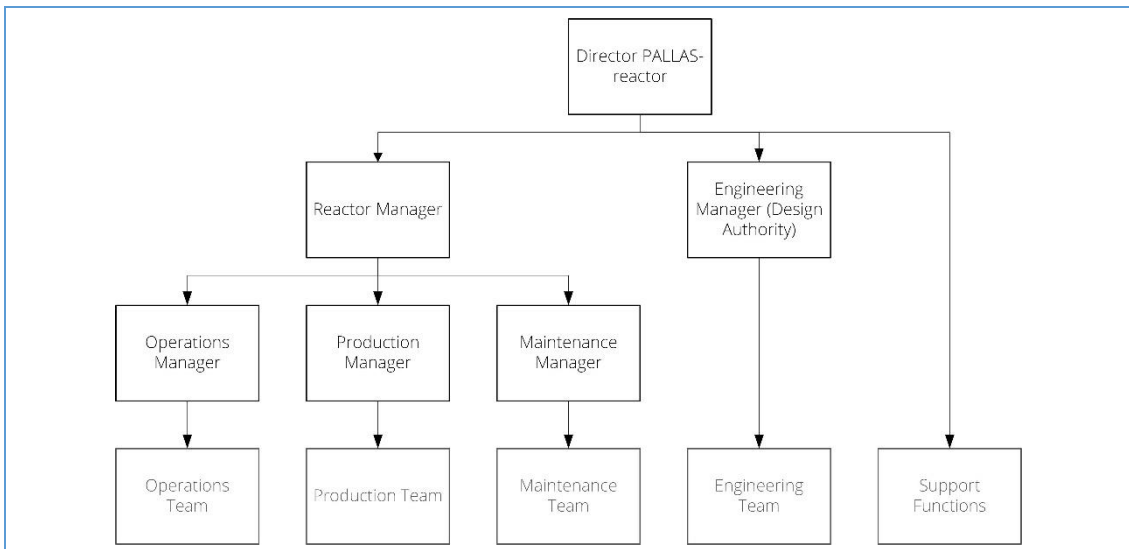
1. De uitvoering van de werkzaamheden wordt beheerd met het geïntegreerde managementsysteem (IMS, zie hoofdstuk 14). Specifieke processen en bijbehorende procedures dragen zorg dat de bedrijfsvoering aan de veiligheidstechnische specificaties (VTS, zie hoofdstuk 18) voldoet.
2. Er worden procedures opgesteld voor het invoeren van de VTS, om te zorgen dat deze worden nageleefd en om te zorgen dat naleving gemeten wordt. Dit omvat onder andere administratieve controles of aan alle VTS wordt voldaan, waarbij wordt geborgd dat de reactor wordt stilgelegd of niet wordt opgestart wanneer niet aan de VTS wordt voldaan.
3. Daarnaast zullen er specifieke processen en procedures ontwikkeld worden voor:
  - het opereren van de reactor;
  - het gebruik van de productiefaciliteiten (zoals de Hot Cells);
  - kernbeheer en splijtstofmanagement;
  - asset management;
  - het plannen en uitvoeren van onderhoud en inspectie en het vastleggen ervan;
  - configuratie management, waarmee de eisen aan, het ontwerp van en de actuele status van de structuren, systemen en componenten te allen tijde samen inzichtelijk is;
  - het verlenen van toestemming voor werkzaamheden binnen de PALLAS-reactor, waaronder de afgifte van werkvergunningen en testvergunningen, waarbij veilige werkomstandigheden voor de reactor en het personeel zeker gesteld worden.

## 15.4 Organisatie van bedrijfsvoering

### 15.4.1 Organisatiestructuur

1. Een veilige en effectieve bedrijfsvoering is afhankelijk van een duidelijke en effectieve organisatiestructuur. Hierin worden de rollen en verantwoordelijkheden van elk organisatieonderdeel op begrijpelijke wijze omschreven. Bovendien moet deze ondersteund worden door een sterke organisatiecultuur die veilige en effectieve bedrijfsvoering hoog in het vaandel heeft staan.
2. De in dit hoofdstuk beschreven organisatiestructuur is ontwikkeld in overeenstemming met en wordt beschouwd als een onderdeel van de nucleaire veiligheidsorganisatie (zie hoofdstuk 14).
3. De organisatiestructuur voor de bedrijfsvoering (zie Figuur 15-1) dient de veiligheid, beveiliging, het realiseren van de bedrijfsdoelstellingen en helpt daarnaast de overbelasting van medewerkers te voorkomen. Dit is onder andere gedaan door een evenwichtige verdeling van verantwoordelijkheden en door een duidelijke en ondubbelzinnige definitie van de individuele en collectieve verantwoordelijkheden.

**Figuur 15-1: Basisstructuur van de operationele organisatie**

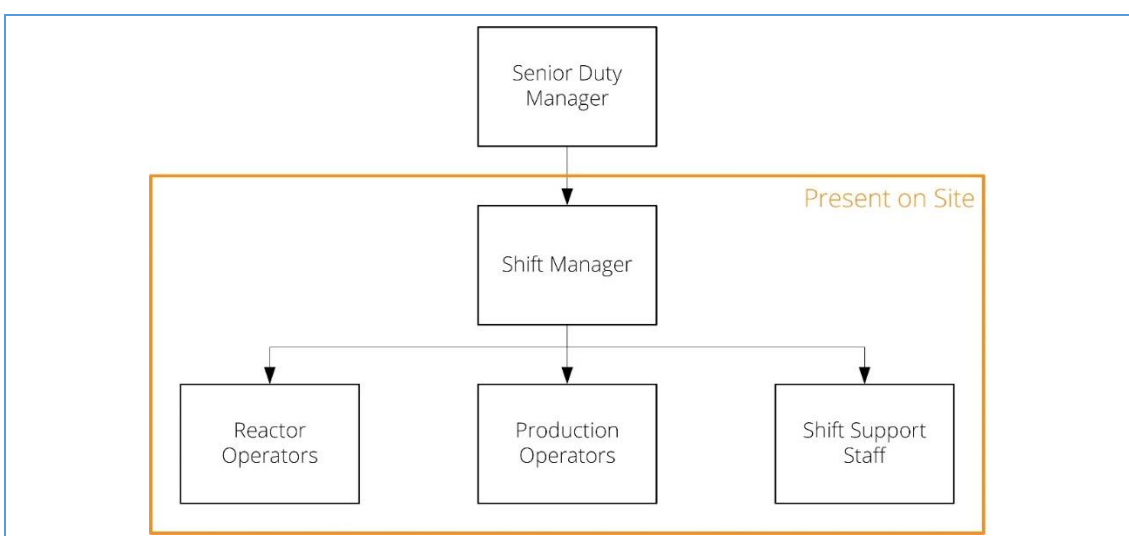


4. De directeur heeft de eindverantwoordelijkheid voor de veilige werking van de PALLAS-reactor en richt zich op de algehele leiding en strategie van de operationele organisatie.
5. De Reactor Manager is verantwoordelijk voor de dagelijkse veilige werking van de PALLAS-reactor en beheert alle middelen die daarvoor nodig zijn, zoals de operationele, productie- en onderhoudsteams.
6. De Engineering Manager is verantwoordelijk is voor het onderhouden en verbeteren van de technische staat van de PALLAS-reactor, zowel op korte als op lange termijn. Dit omvat onder andere de uitvoering van het assetmanagement programma, het onderhoud van het configuratiemanagementsysteem, het beheer van de programma's voor gebruik en modificatie, het kernbeheer en de splijststofafhandeling.

#### 15.4.2 Operationele organisatie

1. De operationele organisatie is georganiseerd in een ploegendienst waarin een 'Shift manager' de leiding heeft over de reactor-operators, de productie-operators en de ondersteunende diensten (zie Figuur 15-2)

**Figuur 15-2: Basisstructuur van de organisatie van de ploegendienst**



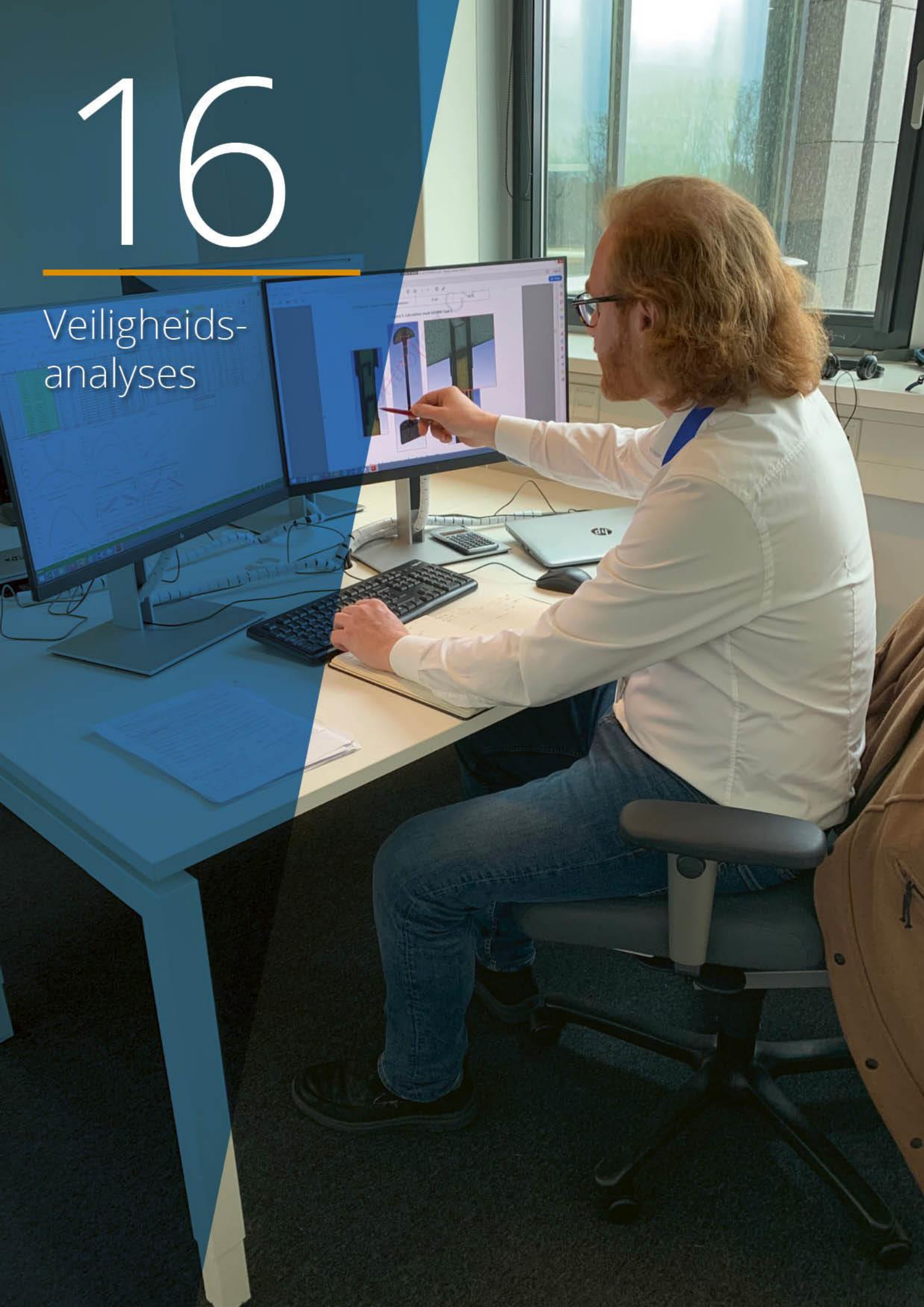
2. De senior duty manager is verantwoordelijk voor de veilige uitvoering van de dagelijkse bedrijfsvoering. De senior duty manager is de reactor manager of een andere senior manager die bij toerbeurt wordt aangesteld als de reactor manager niet beschikbaar is. De senior duty manager hoeft niet altijd aanwezig te zijn op de PALLAS-locatie, maar dient wel bereikbaar en op relatief korte afstand beschikbaar te zijn.
3. De shift manager stuurt alle activiteiten aan die binnen de PALLAS-reactor plaatsvinden. De shift manager moet altijd tijdens zijn dienst aanwezig zijn.
4. De reactor-operators zijn verantwoordelijk voor de goede werking van de PALLAS-reactor.
5. De productie-operators voeren de geplande werkzaamheden uit ten aanzien van de bestralingsactiviteiten.
6. De shift support staff draagt zorg voor onderhoud en voor ondersteuning op het gebied van (arbeids)veiligheid.

### 15.4.3 Kwalificatie en opleiding voor operationele functies

1. Reactoroperators hebben een directe en belangrijke invloed op de veilige werking van de PALLAS-reactor. Daarom is hun opleiding en training van groot belang. PALLAS zal ervoor zorgen dat Reactoroperators bevoegd en bekwaam zijn om hun rol van operator uit te voeren, in zowel normale bedrijfsomstandigheden, als in onverwachte en noodsituaties. Dit wordt bereikt door een uitgebreid proces van selectie, opleiding, certificering en doorlopende training.
2. Aan de overige operationele functies worden eisen gesteld voor de kwalificatie, ervaring en training die benodigd zijn voor de veilige uitvoering van hun taken.

# 16

## Veiligheids- analyses



## 16.1 Inleiding

1. Dit hoofdstuk beschrijft de methodiek en uitkomst van de veiligheidsanalyses die zijn uitgevoerd om aan te tonen dat het ontwerp van de PALLAS-reactor voldoet aan de veiligheidsdoelstellingen die in hoofdstuk 2 worden gepresenteerd. De analyses zijn uitgevoerd om aan te kunnen tonen dat de veronderstelde begingebourtenissen (PIE - Postulated Initiating Event) en interne en externe gevaren beheerst worden. Daarnaast wordt aangetoond dat de lozingen van radioactieve stoffen in de atmosfeer en de daaruit volgende stralingsdosis voor zowel publiek als PALLAS-medewerkers beneden de door de overheid vastgestelde limieten blijven.
2. De veiligheidsanalyses zijn te onderscheiden in deterministische en probabilistische analyses.
3. Bij deterministische analyses wordt er van uit gegaan dat een begingebourtenis plaatsvindt, waarbij vervolgens het gedrag van de installatie op een zo realistisch mogelijke wijze wordt beschreven. In deze analyses is, wat de uitgangspunten betreft, van conservatieve aannames gebruik gemaakt en zijn, wat de randvoorwaarden betreft, best estimate waarden gebruikt, aangevuld met een onzekerheidsanalyse. In het algemeen zijn deze analyses afdekkend van aard en bedoeld als bevestiging van de ontwerpbasis van de installatie.
4. Probabilistische analyses zijn gericht op het identificeren en kwantificeren van risico's om de evenwichtigheid van het ontwerp van de installatie aan te tonen, om de bijdrage van individuele scenario's aan de totale kans op een ongeval met kernschade te bepalen en om de stralingsrisico's in het geval van ernstige ongevallen te bepalen. Voor de ongevalsscenario's van de interne gebeurtenissen bij vermogensbedrijf, zijn alle faalkansen van systemen, componenten en menselijk handelen voor de beoordeling meegenomen.
5. De deterministische en probabilistische analyses vullen elkaar aan voor wat betreft de verificatie van de ontwerpbasis en de toetsing ten aanzien van de eerdergenoemde criteria en limieten.
6. Paragraaf 2 geeft de acceptatiecriteria weer om aan te tonen dat aan de veiligheidsdoelstellingen en ontwerpisen wordt voldaan.
7. In paragraaf 3 wordt uitgelegd hoe de veronderstelde begingebourtenissen zijn geïdentificeerd.
8. In paragraaf 4 beschrijft de methodiek en resultaten van de deterministische veiligheidsanalyse.
9. Paragraaf 5 presenteert de methodiek en resultaten van de probabilistische veiligheidsanalyse.
10. Paragraaf 6 presenteert de conclusies.

## 16.2 Acceptatiecriteria

1. De veiligheidsanalyses van het PALLAS-reactorontwerp dienen aan te tonen dat de 3 fundamentele veiligheidsfuncties van de reactor (beheersing van reactiviteit, afvoer van warmte en insluiting van radioactief materiaal) tijdens normaal bedrijf, storingen en ongevallen zijn gewaarborgd. Dit wordt gedaan door aan te tonen dat, voor de te veronderstellen storingen en ongevallen, aan vooraf gedefinieerde acceptatiecriteria voldaan wordt. De acceptatiecriteria uit de ANVS Handreiking VOBK zijn hierin meegenomen. Tabel 16-1 geeft een overzicht van de acceptatiecriteria voor de veiligheidsniveaus 2, 3a en 3b (zie Hoofdstuk 2 voor de definitie van de veiligheidsniveaus).

Tabel 16-1: Acceptatiecriteria voor de veiligheidsanalyses (veiligheidsniveaus 2, 3a en 3b)

Fundamentele veiligheidsfunctie (Acceptatiedoel/parameter)	Acceptatiecriteria per veiligheidsniveau			
	2		3a	3b
Acceptatiedoel Beheersing van reactiviteit	Vermogensaanpassingen	Reactor-afschakeling	Reactorafschakeling	Reactorafschakeling
Afschakelreactiviteit	≥ 3000 pcm		≥ 1000 pcm	
Acceptatiedoel Afvoer van warmte van splijstofelement	Onbeperkt hergebruik van het splijstofelement		Afschakelen van de reactor en koelen van de reactorkern Behoud van de barrière-integriteit	Afschakelen van de reactor en het koelen van de reactorkern
Kritische warmtefluxratio (zie hoofdstuk 5)	≥ 1,7		≥ 1,5	-
Temperatuur van de splijstofbekleding	≤ 210 °C		≤ 400 °C	≤ 400 °C *)
Stromingsinstabiliteitsratio (zie hoofdstuk 5)	≥ 1,7		≥ 1,3	-
Bassinwatertemperatuur	≤ 60 °C		≤ 100 °C	

\*) Voor grote lekkages geldt dat het aantal beschadigde splijstofplaten en Mo-99 targets kleiner moet zijn dan 10%.

2. Naast acceptatiecriteria voor de reactorkern, zijn er ook acceptatiecriteria vastgesteld voor de Mo-99 Out-of-Core Irradiation Facilities in de Reflector Vessel en voor de veiligheidsniveaus ( 2, 3a en 3b). Deze zijn in Tabel 16-2 weergegeven.

Tabel 16-2: Acceptatiecriteria voor de veiligheidsanalyses van Mo-99-bestralingsfaciliteiten.

Parameter	Acceptatiecriteria per veiligheidsniveau		
	2	3a	3b
Kritische warmtefluxratio (zie hoofdstuk 5)	≥ 1,7	≥ 1,5	-
Temperatuur van de splijstofbekleding	-	≤ 400 °C	≤ 400 °C

3. Naast de acceptatiecriteria uit Tabel 16-1 moeten de analyses laten zien dat de dosis voor het publiek door emissies tijdens ongevallen beneden de stralingsdosislimieten blijven zoals weergegeven in Tabel 16-3.

**Tabel 16-3: Stralingsdosislimieten voor het publiek tijdens ongevallen**

Gebeurtenisfrequentie per jaar	Maximaal effectieve off-site dosisniveau per persoon tijdens ongevallen (Bkse 18.2.a)	
	Publiek ouder dan 16 jaar	Publiek jonger dan 16 jaar
$F \geq 10^{-1}$	0,1 mSv	0,04 mSv
$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$	1 mSv	0,4 mSv
$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$	10 mSv	4 mSv
$F < 10^{-4}$	100 mSv	40 mSv
	Maximale dosislimiet voor de schildklier (Bkse 18.2.b)	
-	500 mSv	

4. Naast de eisen in Tabel 16-3 dient aan de volgende eisen te worden voldaan:
- voor het individueel risico geldt dat de kans dat een persoon, die zich permanent en onbeschermd buiten de desbetreffende inrichting zou bevinden, overlijdt als gevolg van een ongeval kleiner is dan  $10^{-6}$  per jaar (Wettelijke beperking Bkse 18.3.a);
  - voor het groepsrisico mag de kans dat een groep van tenminste 10 personen direct overlijdt als gevolg van een ongeval niet groter dan  $10^{-5}$  per jaar of voor n maal meer direct dodelijke slachtoffers een kans die  $n^2$  maal kleiner is (Wettelijke beperking Bkse 18.3.b);
  - de totale kans op ongevallen waarbij schade aan de reactorkern optreedt, dient zo laag als redelijkerwijs mogelijk te zijn, maar mag niet meer bedragen dan  $10^{-6}$  per jaar (ANVS Handreiking VOBK);
  - ongelukken met falen van splijtstof die leiden tot vroege of grote lozing van radioactiviteit dienen praktisch geëlimineerd te worden (Regeling nucleaire veiligheid, ANVS Handreiking VOBK).
5. De volgende definities zijn van toepassing:
- Een grote lozing is het vrijkomen van radioactief stoffen dat resulteert in een effectieve dosis die beschermende maatregelen buiten het bedrijfsterrein vereist. Elke lozing in het milieu die leidt tot een effectieve dosis voor de bevolking van meer dan 10 mSv is een grote lozing. Dit criterium is gebaseerd op de off-site interventieniveaus, waarvan schuilen het meest beperkend is.
  - Een vroege lozing is het vrijkomen van radioactieve stoffen waarvoor beschermende maatregelen buiten het bedrijfsterrein nodig zijn, maar die waarschijnlijk niet op tijd volledig effectief zullen zijn. Elke lozing in het milieu die leidt tot een effectieve dosis voor de bevolking van meer dan 10 mSv binnen 24 uur na het optreden van de begingebuurtenis, is een vroege lozing.
  - Praktisch geëlimineerde gebeurtenissen zijn de gebeurtenissen die fysisch onmogelijk of zeer onwaarschijnlijk zijn.



## 16.3 Veronderstelde begingebourtenissen

### 16.3.1 Identificatie van begingebourtenissen

1. Hoewel bij het ontwerp van de PALLAS-reactor maatregelen zijn getroffen ter voorkoming van ongevallen, dient de installatie in staat te zijn een aantal veronderstelde begingebourtenissen, die eventueel tot een ongeval zouden kunnen leiden, te beheersen. Met de veiligheidsanalyse wordt nagegaan of tijdens de beheersing van de gevolgen van een begingebourtenissen aan de acceptatiecriteria wordt voldaan.
2. Er zijn begingebourtenissen geïdentificeerd waarbij verondersteld wordt dat één veiligheidssysteem faalt (enkelvoudig falen) en gebeurtenissen waarbij verondersteld wordt dat gelijktijdig meerdere veiligheidssystemen falen (meervoudig falen).
3. Als uitgangspunt voor het identificeren van gebeurtenissen voor de PALLAS-reactor zijn lijsten met begingebourtenissen uit nationale en internationale richtlijnen gebruikt. Daarnaast zijn lijsten met gebeurtenissen van vergelijkbare reactoren beschouwd, waarbij rekening wordt gehouden met de overeenkomsten en verschillen in het ontwerp. Tevens is ook de IRSRR-databank (Incident Reporting System for Research Reactors) van het IAEA geconsulteerd. In deze databank zijn incidenten geregistreerd die bij andere onderzoeksreactoren in de wereld opgetreden zijn. Deze kunnen voor de veiligheidsanalyse van PALLAS relevant zijn.
4. Elke geïdentificeerde gebeurtenis is beoordeeld om te bepalen of deze al dan niet relevant is voor het ontwerp van PALLAS-reactor en dus moet worden meegenomen in de veiligheidsanalyse. Een gebeurtenis die niet van toepassing is op het PALLAS-reactorontwerp, omdat het of fysisch onmogelijk is of kan worden uitgesloten door de veiligheidskenmerken van de PALLAS-reactor, wordt buiten beschouwing gelaten.
5. De veronderstelde begingebourtenissen zijn vervolgens toegesneden op het ontwerp van de PALLAS-reactor. Soms zijn als gevolg hiervan aanvullende begingebourtenissen geïdentificeerd.
6. Combinaties van storingen voortvloeiend uit niveau 1 van de probabilistische veiligheidsanalyse (conform paragraaf 16.5.3) zijn ook in de lijst met veronderstelde begingebourtenissen opgenomen.

### 16.3.2 Methodiek voor groepering

1. Om de veiligheidsanalyse beheersbaar te houden worden veronderstelde begingebourtenissen in groepen ingedeeld, waarbij de omhullende gevallen worden geïdentificeerd. Deze worden zo gekozen dat ze de grootst mogelijke uitdaging vormen ten opzichte van de relevante acceptatiecriteria.
2. Begingebourtenissen en transiënten worden ingedeeld op basis van het veiligheidsniveau waarop zij betrekking hebben en naar de aard van de gebeurtenis.
3. De indeling op veiligheidsniveau is als volgt gedaan:
  - veiligheidsniveau 2: begingebourtenis kan leiden tot een voorziene operationele gebeurtenis (storing);
  - veiligheidsniveau 3a: begingebourtenis kan leiden tot een ongeval, waarbij de gebeurtenis is ontstaan door een enkele storing;
  - veiligheidsniveau 3b: begingebourtenis kan leiden tot een ongeval, waarbij de gebeurtenis is ontstaan door meerdere storingen (meervoudig falen).
4. Vervolgens kan de veronderstelde begingebourtenis worden ingedeeld overeenkomstig de belangrijkste effecten die kunnen leiden tot een degradatie van de veiligheidssystemen. De volgende groepeeringsindeling is gehanteerd:
  - verlies van elektriciteitsvoorziening;
  - toename van de reactiviteit;
  - verlies van koeldebiet in het PCS;
  - Verlies van koeldebiet in het POCS;

- verlies van de warmteafvoer;
  - verlies van koelwater;
  - verlies van zwaar water;
  - foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen;
  - ongeval met betrekking tot reactorgebruik;
  - ontwerpongeval zonder afschakeling van de reactor (Anticipated Transient Without Scram (ATWS));
  - interne gevaren;
  - externe gevaren.
5. Per groep worden één of meerdere begingebourtenissen geselecteerd die omhullend zijn voor de overige begingebourtenissen binnen de groep. Een begingebourtenis wordt als omhullend beschouwd als deze de grootst mogelijk uitdaging voor het relevante acceptatiecriterium inhoudt.
  6. Voor de analyse van begingebourtenissen is tevens de bestraling van Mo-99 targets geanalyseerd conform de bovengenoemde groepen. Voor nu wordt de analyse van begingebourtenissen ten aanzien van bestraling van Mo-99 targets gezien als omhullende voor het gebruik van de bestralingsfaciliteiten in de PALLAS-reactor.

### 16.3.3 Geselecteerde veronderstelde begingebourtenissen

1. In onderstaande tabellen zijn de geselecteerde veronderstelde begingebourtenissen weergegeven,. Om een betere identificatie mogelijk te maken, is aan elke veronderstelde begingebourtenis een nummer toegekend.
2. Onderstaande tabellen geven de lijsten van de interne begingebourtenissen voor de PALLAS-reactor voor verschillende bedrijfstoestanden weer. Achtereenvolgens worden de lijsten met veronderstelde begingebourtenissen voor de volgende bedrijfstoestanden weergegeven:
  - Vermogensbedrijf (Tabel 16-4);
  - Testbedrijf (Tabel 16-5);
  - Afgeschakelde reactor (Tabel 16-6);
  - Splejtstofwisseling (Tabel 16-7).
3. De begingebourtenissen uit onderstaande tabellen zijn allemaal beschouwd op ongevalsverloop en gevolgen voor de installatie ten aanzien van de beschermingsdoelstellingen; hieruit worden omhullende begingebourtenissen geselecteerd die andere begingebourtenissen qua gevolgen afdekken. De omhullende gebeurtenissen worden geanalyseerd als overkoepelend geval van de onderliggende begingebourtenissen.
4. De omhullende begingebourtenissen zijn weergegeven in de laatste kolom van onderstaande tabellen (weergegeven als "x"). Indien van toepassing is aangegeven welke andere veronderstelde begingebourtenissen omhullend zijn.
5. Voor de omhullende begingebourtenissen vindt in paragraaf 16.4.3 tot en met paragraaf 16.4.13 een thermohydraulische en radiologische beschouwing plaats.
6. In Tabel 16-8 zijn de interne en externe gevaren weergegeven. Deze worden behandeld in paragraaf 16.4.14 en 16.4.15.

Tabel 16-4: Lijst met veronderstelde begingebourtenissen voor de bedrijfstoestand "Vermogensbedrijf"

Groep	Specifieke begingebourtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
Verlies van koelwater	Lekkage van de PCS	2	PIE-006	x
	Middelgrote lekkage in de PCS-aanzuigleiding	3a	PIE-004	x
	Middelgrote lekkage in de PCS-persleiding	3a	PIE-005	x
	Falen van een pompafdichting door breuk van de PCS-pomp-as	3a	PIE-007	x
	Open laten van een afvoer- of ontluhtingsklep van PCS-pompen na onderhoud	3a	PIE-043	PIE-005
	Grote lekkage in het PCS	3b	PIE-077	x
	Falen van een pompafdichting door breuk van de POCS-pomp-as	3a	PIE-008	x
	Middelgrote lekkage in de POCS-persleiding	3a	PIE-009	x
	Middelgrote lekkage in de POCS-aanzuigleiding	3a	PIE-010	x
	Open laten van een afvoer- of ontluhtingsklep van POCS-pompen na onderhoud	3a	PIE-044	PIE-009
	Grote lekkage in de POCS	3b	PIE-078	x
	Falen van een pompafdichting door breuk van de LPOCS-pomp-as	3a	PIE-001	PIE-009
	Middelgrote lekkage in de LPOCS-persleiding	3a	PIE-002	PIE-009
	Middelgrote lekkage in de LPOCS-aanzuigleiding	3a	PIE-003	PIE-010
	Open laten van een afvoer- of ontluhtingsklep van LPOCS-pompen na onderhoud	3a	PIE-042	PIE-009
	Lekkage van de lassen in de bassins	3a	PIE-011	x

Groep	Specifieke begingebourtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
Verlies van koeldebiet in het PCS	Falen van een PCS-pomp	2	PIE-012	x
	PCS-pompstoring	2	PIE-014	x
	Verstopping van een warmtewisselaar (PCS)	2	PIE-015	PIE-014
	Vastlopen van een PCS-pomp	3a	PIE-016	x
	Breuk van een PCS-pomp-as	3a	PIE-017	PIE-016
	Bypassing van de reactorkern door falen van een PCS-leiding in de Reactor Pool	3a	PIE-026	PIE-016
	Bypassing van de reactorkern door falen van een PCS-convectieafsluiter	3a	PIE-027	PIE-016
	Bypassing van de reactorkern door falen van onderste plenum tussen de PCS en POCS	3a	PIE-028	PIE-016
	Falen van de PCS-pompen	3b	PIE-013	x
	Blokkade van een splijstofelementkanaal (verbruikt splijstofelement)	3b	PIE-029	Geëlimineerd
	Blokkade van een splijstofelementkanaal	3b	PIE-030	x
Verlies van koeldebiet in het POCS	Falen van een POCS-pomp	2	PIE-023	x
	POCS-pompstoring	2	PIE-021	x
	Verstopping van een warmtewisselaar (POCS)	2	PIE-020	PIE-021
	Breuk van een POCS-pomp-as	3a	PIE-018	PIE-019
	Vastlopen van een POCS-pomp	3a	PIE-019	x
	Bypassing van de bestralingsposities door lekkage van de flenzen	3a	PIE-024	PIE-019
	Bypassing van de bestralingsposities door lekkage van de POCS-convectieafsluiters	3a	PIE-025	PIE-019
	Falen van de POCS-pompen	3b	PIE-022	x

Groep	Specifieke begingebourtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
	Blokkade van een Mo-99 targethouder koelkanaal (in de bestralingspositie)	3b	PIE-031	x
Verlies van warmteafvoer	Falen van de SCS-pompen	2	PIE-035	x
	Lekkage van SCS-leidingen	2	PIE-032	PIE-035
	Verstopping van de SCS warmtewisselaar (secundaire zijde)	2	PIE-033	PIE-035
	Falen van een SCS-pomp	2	PIE-034	PIE-035
Toename van de reactiviteit	Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaf tijdens opstarten	2	PIE-075	x
	Storing in het automatische reactorvermogenreguleringsstelsel	2	PIE-039	x
	Verhoging van de koelcapaciteit	2	PIE-036	PIE-039
	Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaf met falen van het RCMS tijdens opstarten	3a	PIE-038	x
	Onbedoeld uitbewegen van de meest effectieve regelstaaf met falen van het RCMS	3a	PIE-041	x
	Lekkage tussen het PCS of POCS en de Reflector Vessel leidend tot een uitwisseling van zwaar en licht water	3a	PIE-040	Geëlimineerd
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Falen splijstofelementbekleding van een Mo-99 target	3a	PIE-047	PIE-048
	Falen splijstofelementbekleding van een splijstofelement	3a	PIE-048	x
	Splijstofelement buiten de Reflector Vessel, geraakt door een ander object	3b	PIE-051	x
	Mo-99 targethouder buiten de Reflector Vessel, geraakt door een ander object	3b	PIE-052	x
	Mo-99 targethouder in de Reflector Vessel, geraakt door een ander object	3b	PIE-054	x

Groep	Specifieke begingebourtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
	Val van een transportcontainer voor Mo-99 targethouders	3b	PIE-055	x
Foutieve reactorbenutting	Foutieve bediening van het Pneumatic Transport and Cooling System	2	PIE-076	x
	Foutieve hantering van een Mo-99 targethouder	3a	PIE-046	x
	Fout bij plaatsing van een Mo-99 targethouder in een bestralingspositie	3a	PIE-037	x
	Vroegtijdige blootstelling aan luchtkoeling van een Mo-99 targethouder	3b	PIE-045	x
Verlies van zwaar water	Lekkage van de warmtewisselaar tussen het zwaar water koelcircuit en het tussenkoelcircuit	3b	PIE-056	x
	Lekkage in de leidingen van het Heavy Water Cooling and Purification System en storing in moleculaire filters	3b	PIE-057	x
Verlies van energievoorziening	Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende 10 uur of minder	2	PIE-058	x
	Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende meer dan 10 uur	3a	PIE-059	x
	Verlies van het externe elektriciteitsnet en falen van de dieselgeneratoren	3b	PIE-062	x
ATWS	Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaf met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-074	x
	Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende meer dan 10 uur met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-061	x
	Vastlopen van een PCS-pomp met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-064	x

Groep	Specifieke begingeburtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
	Falen van de PCS-pompen met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-065	x
	Middelgrote lekkage in de PCS-persleiding met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-068	x
	Middelgrote lekkage in de POCS-persleiding met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-079	x
	Vastlopen van een POCS-pomp met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-070	x
	Falen van de POCS-pompen met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-071	x
	Fout bij hanteren Mo-99 targethouder leidend tot een toename van de reactiviteit met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-073	x

Tabel 16-5: Lijst met veronderstelde begingeburtenissen voor de bedrijfstoestand "Testbedrijf"

Groep	Specifieke begingeburtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
Toename van de reactiviteit	Storing in het reactiviteits-regelsysteem	3a	PIE-PT-001	x
Verlies van koeldebiet	Blokkade van een splijstofelementkanaal (van een verbruikt splijstofelement tijdens verplaatsen van een opslagrek)	3b	PIE-PT-002	PIE-029
Verlies van koeldebiet	Blokkade van een splijstofelementkanaal	3b	PIE-PT-003	PIE-030
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Splijstofelement buiten de Reflector Vessel, geraakt door een ander object	3b	PIE-PT-004	PIE-051
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Val van een transportcontainer voor Mo-99 targethouders boven de Service Pool	3b	PIE-PT-005	PIE-055

Groep	Specifieke begingeburtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
Foutieve hantering of falen van apparatuur/ onderdelen	Falen van een Mo-99 target ten gevolge van mechanische oorzaak	3b	PIE-PT-006	PIE-052
Verlies van warmte-afvoer	Falen van het Alternative Secondary Cooling System (ASCS)	2	PIE-PT-007	PIE-035
Verlies van zwaar water	Lekkage van het Heavy Water Cooling Circuit	3a	PIE-PT-008	PIE-056
Verlies van zwaar water	Lekkage van het Secondary Shutdown System	3a	PIE-PT-009	PIE-056
Verlies van zwaar water	Lekkage van het Heavy Water Purification Circuit	3a	PIE-PT-010	PIE-057
Verlies van energie-voorziening	Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende meer dan 10 uur	3a	PIE-PT-011	PIE-059
Verlies van koelwater	Lekkage van het PCS	3a	PIE-PT-012	x
Verlies van koelwater	Lekkage van het POCS	3a	PIE-PT-013	x
Verlies van koelwater	Lekkage van het LPOCS	3a	PIE-PT-014	x
Verlies van warmte-afvoer	Verlies van warmteafvoer ten gevolge van gedeeltelijk verlies van het LPOCS	2	PIE-PT-015	PIE-035
Verlies van warmte-afvoer	Verlies van warmteafvoer ten gevolge van gehele verlies van het LPOCS	2	PIE-PT-016	PIE-035
ATWS	Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaf met falen van het First Shutdown System	3b	PIE-PT-017	PIE-074

Tabel 16-6: Lijst met veronderstelde begingeburtenissen voor de bedrijfstoestand "Afgeschakelde reactor"

Groep	Specifieke begingeburtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
Verlies van koeldebiet	Blokkade van een splijstofelementkanaal (van een verbruikt splijstofelement tijdens verplaatsen van een opslagrek)	3b	PIE-SH-002	PIE-029



Groep	Specifieke begingeburtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
Verlies van koeldebiet	Blokkade van een splijstofelementkanaal	3b	PIE-SH-003	PIE-030
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Splijstofelement buiten de Reflector Vessel, geraakt door een ander object	3b	PIE-SH-004	PIE-051
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Val van een transportcontainer voor Mo-99 targethouders boven de Service Pool	3b	PIE-SH-006	PIE-055
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Falen van een Mo-99 target ten gevolge van mechanische oorzaak	3b	PIE-SH-007	PIE-052
Verlies van warmteafvoer	Falen van het Alternative Secondary Cooling System (ASCS)	2	PIE-SH-008	PIE-035
Verlies van zwaar water	Lekkage van het Heavy Water Cooling Circuit	3a	PIE-SH-009	PIE-056
Verlies van zwaar water	Lekkage van het Secondary Shutdown System	3a	PIE-SH-010	PIE-056
Verlies van zwaar water	Lekkage van het Heavy Water Purification Circuit	3a	PIE-SH-011	PIE-057
Verlies van energievoorziening	Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende meer dan 10 uur	3a	PIE-SH-012	PIE-059
Verlies van koelwater	Lekkage van het PCS	3a	PIE-SH-013	PIE-006
Verlies van koelwater	Lekkage van het POCS	3a	PIE-SH-014	PIE-009
Verlies van koelwater	Lekkage van het LPOCS	3a	PIE-SH-015	PIE-009
Verlies van warmteafvoer	Verlies van warmteafvoer ten gevolge van gedeeltelijk verlies van het LPOCS	2	PIE-SH-016	PIE-035
Verlies van warmteafvoer	Verlies van warmteafvoer ten gevolge van gehele verlies van het LPOCS	2	PIE-SH-017	PIE-035

Tabel 16-7: Lijst met veronderstelde begingebourtenissen voor de bedrijfstoestand "Splijststofwisseling"

Groep	Specifieke begingebourtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheidsniveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
Verlies van koeldebiet	Blokkade van een splijststofelementkanaal (van een verbruikt splijststofelement tijdens verplaatsen van een opslagrek)	3b	PIE-RF-001	PIE-029
Verlies van koeldebiet	Blokkade van een splijststofelementkanaal	3b	PIE-RF-002	PIE-030
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Val van een splijststofelement of Mo-99 target op de Reflector Vessel of de reactorkern	3b	PIE-RF-003	PIE-051 PIE-052
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Splijststofelement buiten de Reflector Vessel, geraakt door een ander object	3b	PIE-RF-004	PIE-051
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Val van een transportcontainer voor Mo-99 targethouders boven de Service Pool	3b	PIE-RF-005	PIE-055
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Falen van een Mo-99 target ten gevolge van mechanische oorzaak	3b	PIE-RF-006	PIE-052
Verlies van warmte-afvoer	Falen van het Alternative Secondary Cooling System (ASCS)	2	PIE-RF-007	PIE-035
Verlies van zwaar water	Lekkage van het Heavy Water Cooling Circuit	3a	PIE-RF-008	PIE-056
Verlies van zwaar water	Lekkage van het Secondary Shutdown System	3a	PIE-RF-009	PIE-056
Verlies van zwaar water	Lekkage van het Heavy Water Purification Circuit	3a	PIE-RF-010	PIE-057
Verlies van energievoorziening	Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende meer dan 10 uur	3a	PIE-RF-011	PIE-059
Verlies van koelwater	Lekkage van het PCS	3a	PIE-RF-012	PIE-006
Verlies van koelwater	Lekkage van het POCS	3a	PIE-RF-013	PIE-009
Verlies van koelwater	Lekkage van het LPOCS	3a	PIE-RF-014	PIE-009

Groep	Specifieke begingebuurtenis voor PALLAS-reactor	Veiligheids-niveau	Ongeval nr.	Afgedekt door
Verlies van warmte-afvoer	Verlies van warmteafvoer ten gevolge van gedeeltelijk verlies van het LPOCS	2	PIE-RF-015	PIE-035
Verlies van warmte-afvoer	Verlies van warmteafvoer ten gevolge van gehele verlies van het LPOCS	2	PIE-RF-016	PIE-035
Toename van de reactiviteit	Foutief uitbewegen van een regelstaaf tijdens onderhoud	3b	PIE-RF-017	PIE-074
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Val van een transportcontainer voor verbruikte splijstofelementen	3b	PIE-RF-018	PIE-055
Foutieve hantering of falen van apparatuur/onderdelen	Splijstofelement in de kern geraakt door een ander object	3b	PIE-RF-019	PIE-051

Tabel 16-8: Interne en externe gevaren

Groep	Specifieke gebeurtenis voor PALLAS-reactor
Interne gevaren	Interne brand
	Interne overstrooming
	Falen van componenten met mogelijk gevolgen voor veiligheidsrelevante systemen of componenten
	Val van zware lasten met mogelijk gevolgen voor veiligheidsrelevante systemen of componenten
	Interne elektromagnetische interferenties
	Botsing van voertuigen op het reactorterrein met veiligheidsrelevante structuren, systemen of componenten
	Wederzijdse beïnvloeding tussen reactorinstallaties met meerdere eenheden en naburige installaties
	Interne explosies in de reactorinstallatie
Externe gevaren	Vliegtuigongeval
	Externe explosies
	Aardbeving
	Externe overstrooming
	Extreme meteorologische omstandigheden
	Elektromagnetische interferentie
	Blokkade van de waterinlaat van het SCS

## 16.4 Deterministische veiligheidsanalyse

### 16.4.1 Inleiding

1. In deze paragraaf wordt de deterministische veiligheidsanalyse behandeld. Deze analyse wordt uitgevoerd om de beheersing van veronderstelde begingebourtenissen op basis van de acceptatiecriteria (zie paragraaf 16.2) aan te tonen. Paragraaf 16.4.2 beschrijft de analysemethode. Vervolgens behandelen de paragrafen 16.4.3 tot en met 16.4.13 telkens een groep begingebourtenissen (zie paragraaf 16.3). Daarbij is vastgesteld welke gebeurtenissen omhullend zijn en worden de gevolgen hiervan geanalyseerd.

### 16.4.2 Analysemethodiek en aannames

1. De deterministische veiligheidsanalyse richt zich op het evalueren van de gevolgen van veronderstelde begingebourtenissen om aan te tonen dat aan de acceptatiecriteria in paragraaf 16.2 wordt voldaan.
2. De methodiek voor deze veiligheidsanalyses betreft een best-estimate methodologie met uitvoering van een onzekerheidsanalyse aangevuld met enige conservatieve aannames/uitgangspunten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een best-estimate rekenprogramma.
3. Binnen het model worden conservatieve aannames toegepast op de afschakelsystemen, op het vermogen van de reactor en op de parameters van de instrumentatie- en regelsystemen (I&C, zie hoofdstuk 8) die bij de reactie van de veiligheidssystemen betrokken zijn.
4. De analyse van een veronderstelde begingebourtenis wordt uitgevoerd voor de bedrijfstoestand die leidt tot de ernstigste gevolgen. Hierbij worden de bedrijfstoestanden vermogensbedrijf, afgeschakelde reactor, testbedrijf en splijtstofwisseling onderscheiden. De meeste

begingebourtenissen worden geanalyseerd voor vermogensbedrijf, maar daarnaast worden analyses voor enige (specifieke) begingebourtenissen bij testbedrijf en splijstofwisseling uitgevoerd.

5. De deterministische veiligheidsanalyses zijn uitgevoerd met de RELAP5-code. Deze code is gebruikt bij de analyse van thermohydraulische transiënten en reactiviteitstransiënten.
6. De code stelt gebruikers in staat om het gekoppelde gedrag van de reactor kern en van het koelsysteem te modelleren voor verschillende operationele transiënten en veronderstelde ongevallen die in een nucleaire reactor kunnen optreden, zoals verlies van koelwater, verlies van externe elektrische voeding, verlies van secundaire koeling, verlies van koeldebiet, enz.
7. De resultaten die verkregen zijn met RELAP5, zullen altijd een bepaalde variatie vertonen door bijvoorbeeld de toegepaste vereenvoudigingen, het gebruik van empirische correlaties, de variantie in de nauwkeurigheid van de instrumentatie en de marges op de parameters van het systeemontwerp. Deze bronnen van onzekerheid zijn onderdeel van de onzekerheidsanalyse en geven een onder- en bovenwaarde rondom de best estimate waarde. In de gepresenteerde resultaten van de transiënt analyses is het resultaat van deze onzekerheidsanalyses meegenomen en is altijd de ongunstigste waarde ten opzichte van het acceptatiecriterium weergegeven.
8. Voordat een begingebourtenis optreedt, wordt een stationaire toestand berekend met betrekking tot de maximale temperaturen en de kritische toestand van de warmtefluxmarge. Alle geanalyseerde veronderstelde begingebourtenissen gaan uit van deze conservatieve begincondities.
9. De stralingsdoses voor omwonenden is bepaald met een analytisch atmosferisch transport model voor verspreiding van radioactieve stoffen. Dit model (ATM-INVAP-MODEL-NO-2019-V1.0) is gebaseerd op internationale regels en internationaal geaccepteerde modellen. Met een benchmark is aangetoond dat dit model conservatieve resultaten geeft in vergelijking met het Nieuw Nationaal Model (NNM) en DOVIS-A.
10. De lijst met geïdentificeerde gebeurtenissen omvat alle mogelijke ongevallen die van invloed kunnen zijn op de reactorveiligheid van de PALLAS-reactor. Per groep zijn één of meerdere gebeurtenissen geselecteerd die omhullend zijn voor de overige gebeurtenissen binnen de groep. Deze dekken de gevolgen van de andere gebeurtenissen binnen de groep af. Hierdoor neemt de hoeveelheid uit te voeren analyses af. Bij de bepaling van de omhullende gebeurtenis wordt uitgegaan van conservatieve aannames/uitgangspunten.
11. Voor de omhullende gebeurtenissen worden aannames en uitgangspunten gedefinieerd, waarna de respons van de PALLAS-reactor op de transiënten wordt geanalyseerd en geëvalueerd om aan te tonen dat het ontwerp voldoet aan de acceptatiecriteria uit paragraaf 16.2
12. Op alle veronderstelde begingebourtenissen wordt het principe van enkelvoudig falen toegepast. Hierbij wordt het falen van de component verondersteld dat de grootste gevolgen heeft voor de beheersing van de gebeurtenis.
13. Hoewel onwaarschijnlijk wordt het falen van het First Shutdown System ook verondersteld als gebeurtenis met meervoudig falen (veiligheidsniveau 3b). Het falen van het First Shutdown System wordt dan gevolgd door het in bedrijf stellen van het Second Shutdown System (nadat het setpoint hiervoor bereikt is).
14. De beschermingsacties voor de beheersing van een veronderstelde begingebourtenis op korte termijn zijn automatisch. Gedurende 60 minuten na het optreden van een gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld.
15. Voor de beheersing van een veronderstelde begingebourtenis op veiligheidsniveau 3a of veiligheidsniveau 3b wordt het eerste afschakelsignaal van het First Reactor Protection System genegeerd. Daarnaast wordt voor het First Shutdown System verondersteld dat de regelstaaf met de sterkste reactiviteitsinvloed niet functioneert en wordt bij het Second Shutdown System verondersteld dat 1 van de 6 kleppen voor de afvoer van het zwaar water niet sluit.

## 16.4.3 Verlies van koelwater in het Primary Cooling System

### 16.4.3.1 Geselecteerde begingebourtenissen

1. Deze paragraaf geeft een analyse van de gebeurtenissen die worden veroorzaakt door het verlies van koelwater (Loss of Coolant Accident – LOCA) in het Primary Cooling System (PCS).
2. In deze paragraaf worden de volgende omhullende gebeurtenissen behandeld:
  - PIE-004: Middelgrote lekkage in de PCS-aanzuigleiding - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-005: Middelgrote lekkage in de PCS-persleiding - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-007: Falen van een pompafdichting door PCS-pomp-asbreuk - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-077: Grote lekkage in het PCS - Veiligheidsniveau 3b.
3. PIE-004 postuleert een verlies van koelmiddelinventory uit het PCS veroorzaakt door een breuk van 50 cm<sup>2</sup> in de aanzuigleiding van één van de PCS-koelpompen bij 100% van het nominale vermogen.
4. PIE-005 postuleert een verlies van koelmiddelinventory uit het PCS veroorzaakt door een breuk van 50 cm<sup>2</sup> in de persleiding van één van de PCS-koelpompen bij 100% van het nominale vermogen.
5. PIE-007 postuleert een verlies van koelmiddelinventory uit het PCS veroorzaakt door de beschadiging in de pompafdichting ten gevolge van een breuk in de pompas, met een breukoppervlakte van 80 cm<sup>2</sup> bij 100% van het nominale vermogen.
6. PIE-077 postuleert een verlies van koelmiddelinventory uit het PCS veroorzaakt door een dubbele guillotine-breuk (2A LOCA) bij 100% van het nominale vermogen. Voor deze PIE worden de acceptatiecriteria het meest op de proef worden gesteld voor het scenario van een dubbele guillotine-breuk in de gemeenschappelijke collector (DN 600), na de PCS-pompuitlaat.
7. De representatieve PIE's die worden behandeld zijn PIE-005 en PIE-077. PIE-005 is representatief voor PIE-004 en PIE-007, aangezien de opeenvolging van gebeurtenissen en de werking van de systemen in alle gevallen vergelijkbaar zijn, en voor PIE-005 de acceptatiecriteria meer op de proef worden gesteld. Dit ondanks het feit dat bij PIE-007 de breukoppervlakte groter is dan bij PIE-005. Een groter breukoppervlak laat het bassin weliswaar sneller leeglopen, maar hierdoor wordt het reactorbeveiligingssysteem ook eerder geactiveerd. Ook bevinden de lekkages zich op andere locaties waardoor rekening moet worden gehouden met verschillende weerstanden en andere hoogteverschillen tussen de kern en de breuk.

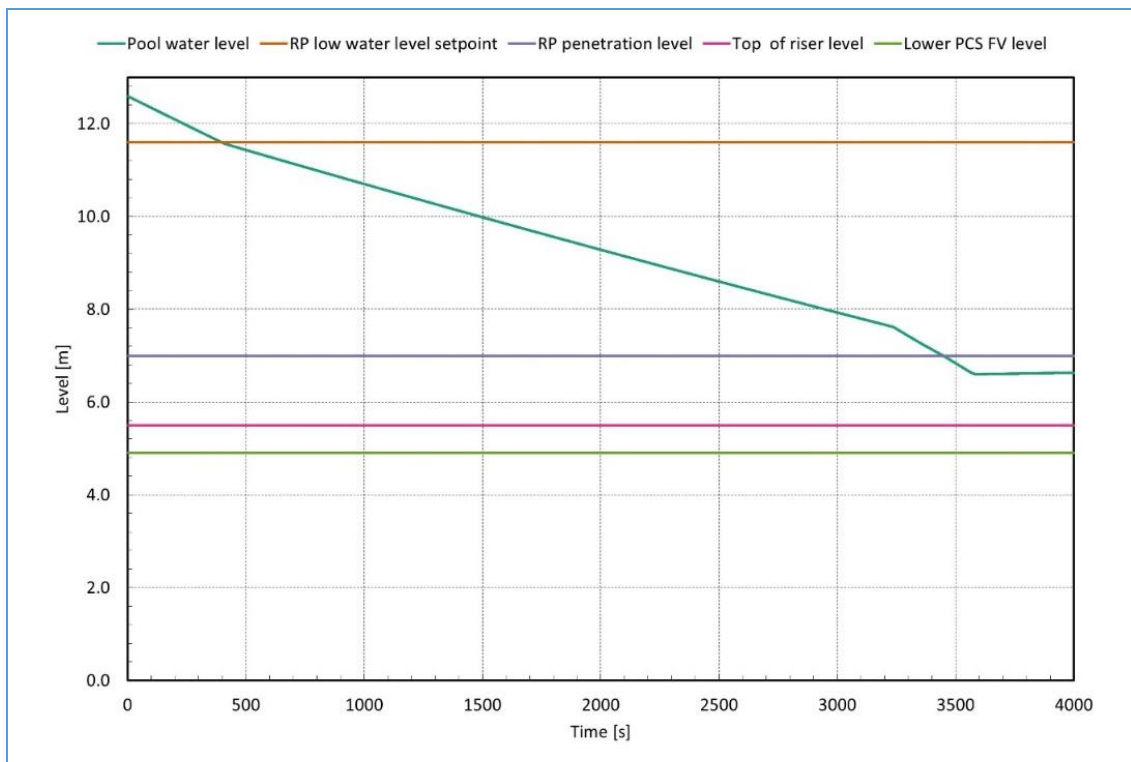
### 16.4.3.2 PIE-005: Middelgrote lekkage in de PCS-persleiding (veiligheidsniveau 3a)

1. Deze gebeurtenis heeft betrekking op lekkage in de persleiding van een PCS-pomp. De lekkage bestaat uit een lekopening van 50 cm<sup>2</sup> tussen de PCS-pomp en de warmtewisselaar.
2. Het enkelvoudig faalcriterium is bij één van de twee bovenste convectieafsluiters van de PCS gelegd. In geval van een lekkage is dit de ernstigste storing wat de koeling betreft, aangezien deze afsluiters fungeren als hevelbrekers.
3. Het ongeval begint met de reactor op vol vermogen, waarna de lekkage optreedt. Het waterniveau in de Reactor Pool en de Service Pool begint te dalen. De druk in het PCS neemt af door de lekkage waardoor het koelwaterdebiet door de kern daalt, waardoor de temperatuur van het uitgaande koelwater toeneemt. Het niveau in de Reactor Pool neemt zodanig af dat na ruim 6 minuten het signaal 'laag waterniveau' komt. Hierop worden de PCS en POCS pompen automatisch uitgeschakeld. Het First Reactor Protection System schakelt de reactor niet af omdat dit signaal wordt verondersteld niet te functioneren. De temperatuur van het koelwater en van de splijtstofbekleding nemen door het afgenomen koeldebiet toe. Ook de systeemdruk neemt verder af waardoor de reactor enkele seconden na het eerste signaal afschakelt op het signaal "lage kerndrukval".
4. Uiteindelijk openen de PCS-convectieafsluiters en de POCS-convectieafsluiters en stelt zich natuurlijke circulatie in, naast de uitstroom door het lek, waardoor de kern wordt gekoeld. Na enige tijd bereikt het waterniveau in de Reactor Pool de hevelbrekers (7 meter). Een paar minuten

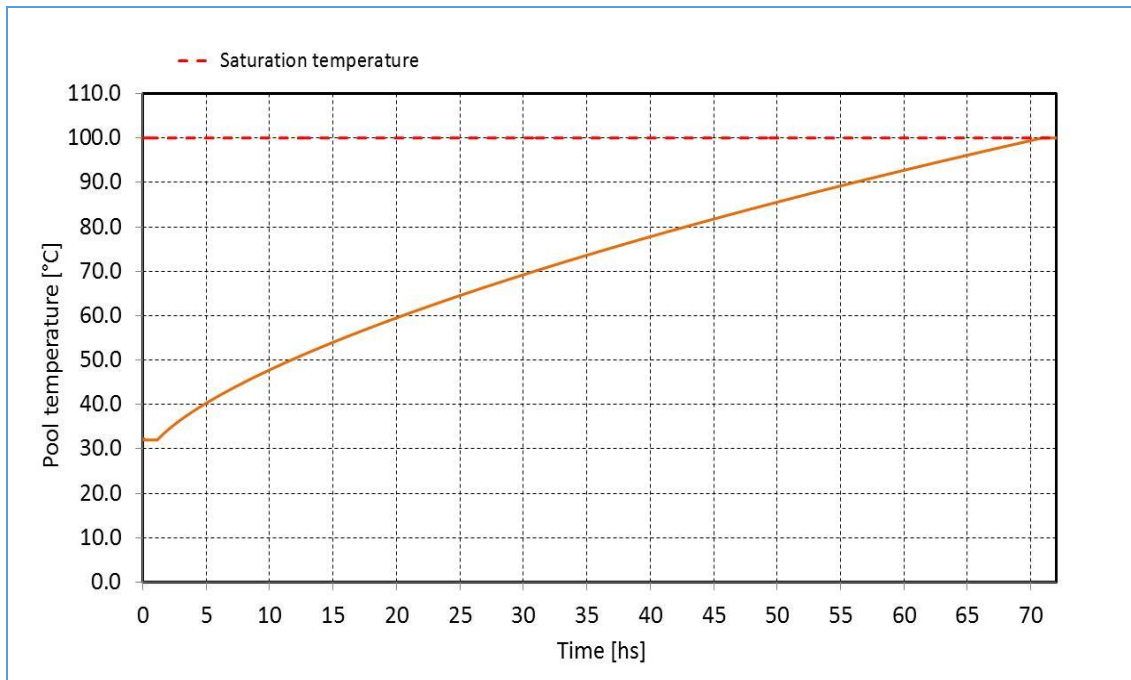
later stopt de lekkage, omdat de onderzijde van de hevelbrekers is bereikt en het bassinwater niet meer kan wegstromen (zie Figuur 16-1). De watertemperatuur in de Reactor Pool stijgt langzaam en bereikt de verzadigingstemperatuur van 100 °C na ongeveer 72 uur (zie Figuur 16-2).

5. Gedurende vrijwel het gehele ongeval blijft de temperatuur van de splijtstofbekleding beneden de waarde van normaal bedrijf (initiële situatie, zie Figuur 16-3) en de kritische warmtefluxratio daalt licht.
6. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door natuurlijke circulatie en de afvoer van de vervalwarmte naar de Reactor en Service Pools.
  - De temperatuur van het poolwater voldoet aan het acceptatiecriterium.
  - Het waterpeil blijft boven de reactorkern en de bestralingsfaciliteiten waardoor er voldoende water aanwezig is voor het in standhouden van de natuurlijke circulatie.
7. Vanwege het waterniveau en de watertemperatuur in de Reactor Pool na 72 uur is er voldoende tijd beschikbaar voor de operator om een veilige toestand te waarborgen.
8. Omdat het waterpeil uiteindelijk onder het niveau van de leidingen van het koelsysteem zakt, moet water worden bijgevuld naar de Reactor Pool om de koelsystemen op lange termijn te kunnen starten. Deze actie gebeurt automatisch wanneer het Hot Water Layer System normaal werkt, en kan ook worden uitgevoerd via additionele systemen voor watertoevoer die de operator kan starten. Nadat het waterpeil zich boven de LPOCS-zuigleiding bevindt, kan de operator het LPOCS en het ASCS starten voor lange termijn koeling om de veilige toestand te bereiken.
9. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3a (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
10. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

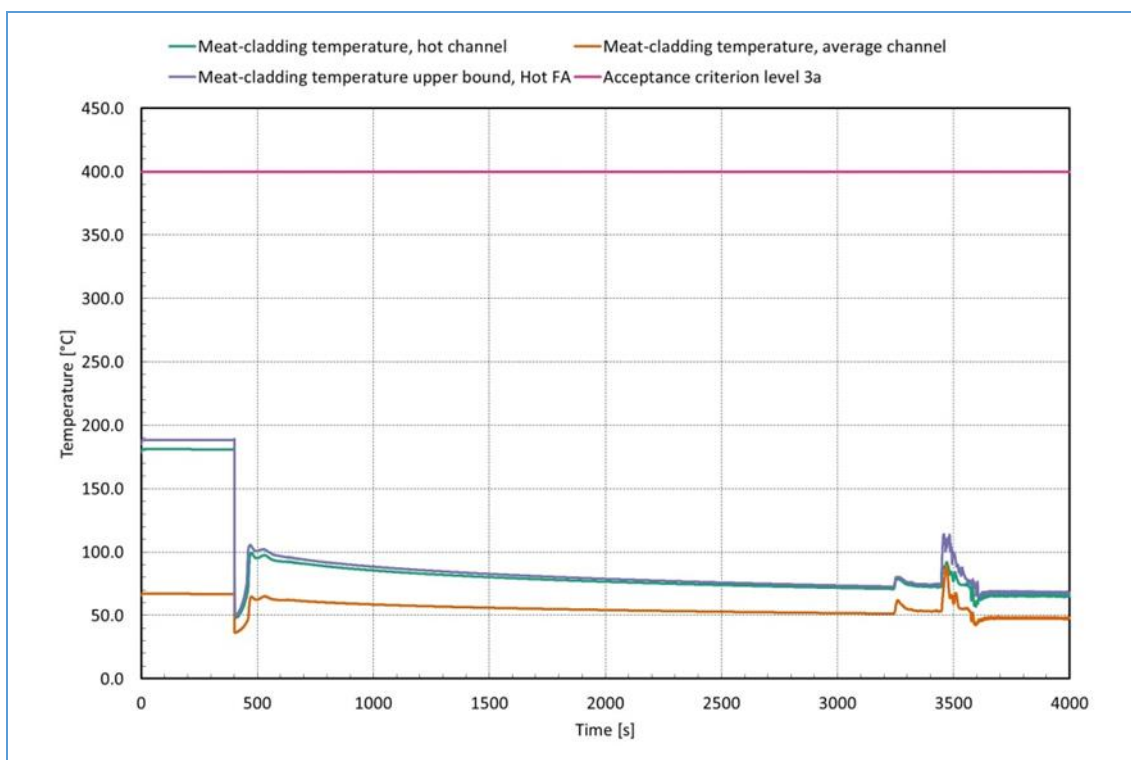
**Figuur 16-1: Waterniveau in de Reactor Pool – PIE-005**



Figuur 16-2: Temperatuur van de Reactor Pool in de lange termijn – PIE-005



Figuur 16-3: Temperatuur van de bekleding van de splijstofelementen – PIE-005



#### 16.4.3.3 PIE-077: Grote lekkage in het PCS (veiligheidsniveau 3b)

1. Deze gebeurtenis heeft betrekking op lekkage in het PCS veroorzaakt door een tweezijdige guillotinebreuk (2A LOCA) in de gemeenschappelijke collector (DN 600), achter de PCS-pompuitlaat bij 100% van het nominale vermogen. De 2A LOCA houdt een volledige breuk van een leiding in, waarbij de twee gebroken uiteinden zodanig van elkaar gescheiden zijn dat een eventuele reststroom van koelmiddel binnen de leiding niet optreedt. Het koelmiddel gaat aan



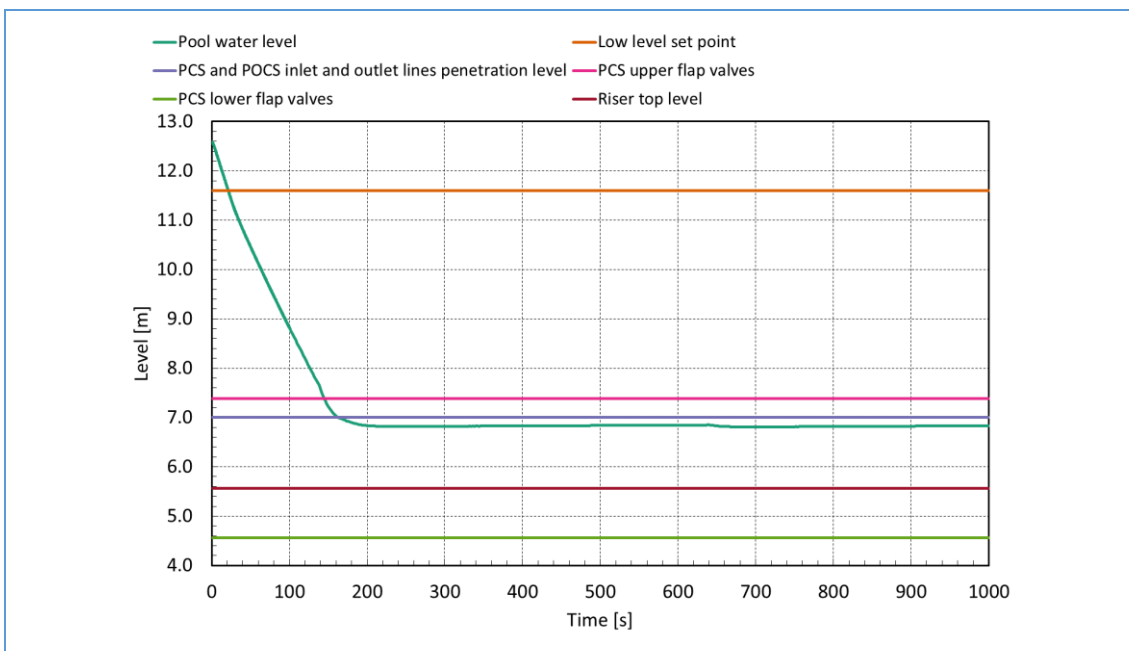
beide zijden van de breuk verloren. Vanwege de meervoudige defecten die nodig zijn voor een dergelijke breuk is dit hoogst onwaarschijnlijk.

2. Het ongeval begint met de reactor op vol vermogen, waarna de lekkage optreedt. Het waterniveau in de Reactor Pool en de Service Pool begint te dalen. De druk in het PCS neemt snel af door de lekkage waardoor het koelwaterdebiet door de kern daalt. De signalen "lage kerndrukval" en "laag kerndebiet" van het RCMS en de FRPS worden bijna gelijktijdig bereikt. De reactor wordt afgeschakeld door het in de kern vallen van de regelstaven.
3. Door de snelle drukval in het PCS openen de PCS-convectieafsluiters. Het water van de Reactor Pool stroomt via het PCS en deels door de kern via het lek. Het niveau in de Reactor Pool neemt zodanig af dat het signaal 'laag waterniveau' komt. Hierop worden de PCS en POCS pompen automatisch uitgeschakeld.
4. De afname van de druk in de Mo-99 bestralingsfaciliteiten leidt tot de opening van de POCS-convectieafsluiters. Hierdoor kan het water van de Reactor Pool, door de afsluiters naar de Mo-99 bestralingsfaciliteiten stromen en worden deze gekoeld door natuurlijke circulatie.
5. Na enige tijd bereikt het waterniveau in de Reactor Pool de hevelbrekers (7 meter, zie Figuur 16-4). Het water uit de Reactor Pool blijft echter verloren gaan via de stroomafwaartse kant van de breuk, aangezien de hydrostatische druk boven de kern de drijvende kracht levert die het water dwingt om van de Reactor Pool, in de stijgleiding, door de kern en in de PCS-inlaatpijp naar de breuk te stromen. Deze stroming zorgt er voor dat ook het water dat via de onderste convectieafsluiters deze leidingen binnenkomt, uit het systeem verdwijnt.
6. De hydrostatische druk over de kern, die de drijvende kracht is voor het water om naar de breuk te stromen, neemt af naarmate het waterniveau in de Reactor Pool verder daalt. Wanneer de hydrostatische druk niet langer voldoende is, stopt de waterstroming vanuit de Reactor Pool in de stijgbuis. De stroom door de stroomafwaartse zijde van de breuk wordt onderbroken en het water in de Reactor Pool blijft constant boven de stijgleiding op een niveau van +6,8 m. Water stroomt uit de Reactor Pool door de onderste convectieafsluiters in de PCS-inlaatpijpen naar de kern, met koeling door natuurlijke circulatie.
7. Na circa 55 uur bereikt de watertemperatuur in de Reactor Pool de verzadigingstemperatuur van 100 °C (zie Figuur 16-5). Het waterniveau in de Reactor Pool is dan ruim 6,5 m (zie Figuur 16-4). De stijgleiding en de onderste convectieafsluiters blijven afgedekt en natuurlijke circulatie voor de koeling in de reactorkern en in de Mo-99 bestralingsfaciliteiten blijft gehandhaafd.
8. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door natuurlijke circulatie en de afvoer van de vervalwarmte naar de Reactor Pool.
  - De temperatuur van het poolwater wordt onder de verzadigingsgrens gehouden.
  - Het waterpeil blijft boven de reactorkern en de bestralingsfaciliteiten waardoor er voldoende water aanwezig is voor het in standhouden van de natuurlijke circulatie.
9. Vanwege het waterniveau en de watertemperatuur in de Reactor Pool is er voldoende tijd beschikbaar voor de operator om een veilige toestand te waarborgen.
10. Omdat het waterpeil uiteindelijk onder het niveau van de leidingen van het koelsysteem zakt, moet water worden bijgevuld naar de Reactor Pool om de koelsystemen op lange termijn te kunnen starten. Deze actie gebeurt automatisch wanneer het Hot Water Layer System normaal werkt, en kan ook worden uitgevoerd via additionele systemen voor watertoevoer die de operator kan starten. Nadat het waterpeil zich boven de LPOCS-zuigleiding bevindt, kan de operator het LPOCS en het ASCS starten voor lange termijn koeling om de veilige toestand te bereiken.
11. Tijdens de eerste seconden van het ongeval neemt de splijfstofbekledingstemperatuur snel toe. De maximale waarde van de splijfstofbekledingstemperatuur komt in de buurt van het acceptatiecriterium, maar blijft beneden dit criterium (zie Figuur 16-6).
12. Voor de Mo-99 bestralingsfaciliteiten wordt aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) voldaan. Op basis van de optredende temperatuur van de splijfstofbekleding

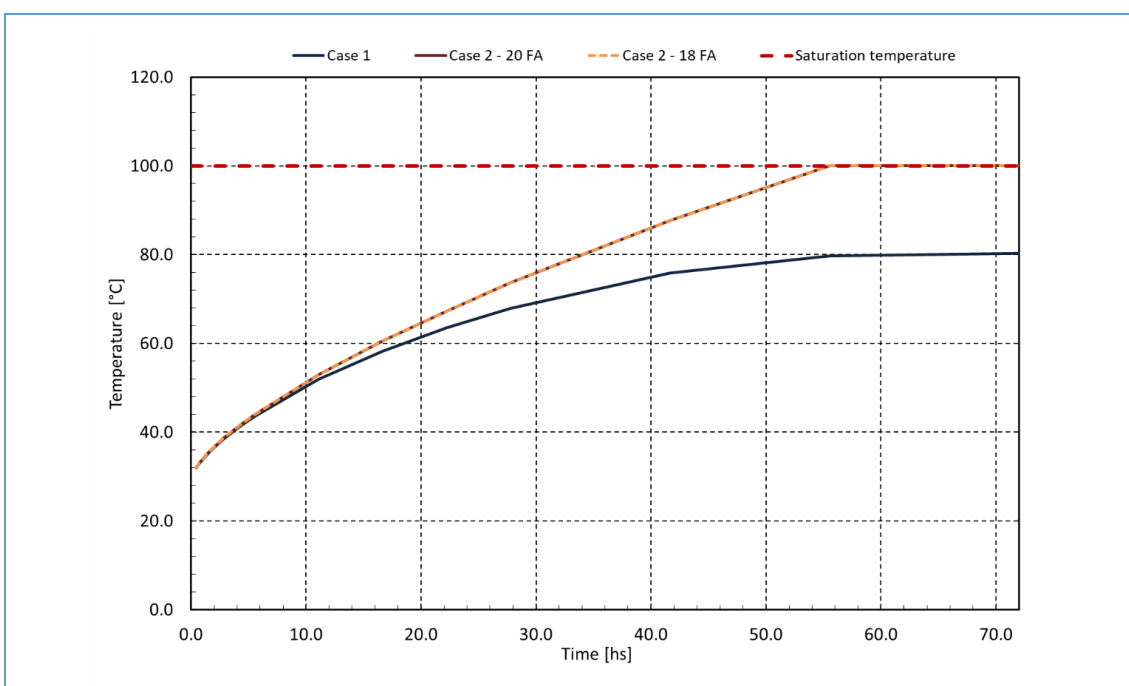
en kritische warmtefluxratio voor het hete kanaal kan de integriteit van de splijstofbarrière van één splijstofplaat gedurende een korte tijd niet met zekerheid worden gewaarborgd. Hierdoor kunnen radioactieve gassen uit de plaat vrijkomen welke deels in het Pool water zullen worden vastgehouden.

13. De radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel dat zich op het bordes aan de bovenzijde van de Reactor Pool bevindt bedraagt een effectieve dosis van ca. 2 mSv en voor de bewoners in de omgeving een effectieve dosis van 0,02 mSv bij een kans van optreden van  $3 \cdot 10^{-4}$ /jaar. De effectieve dosis voor de bevolking voldoet ruimschoots aan het acceptatiecriterium van 4 mSv (zie paragraaf 16.2). De schildklierdosis voor het reactorpersoneel bedraagt 13 mSv en voor de bewoners in de omgeving 0,01 mSv. De dosis voor de bevolking voldoet ruimschoots aan het acceptatiecriterium van 500 mSv.

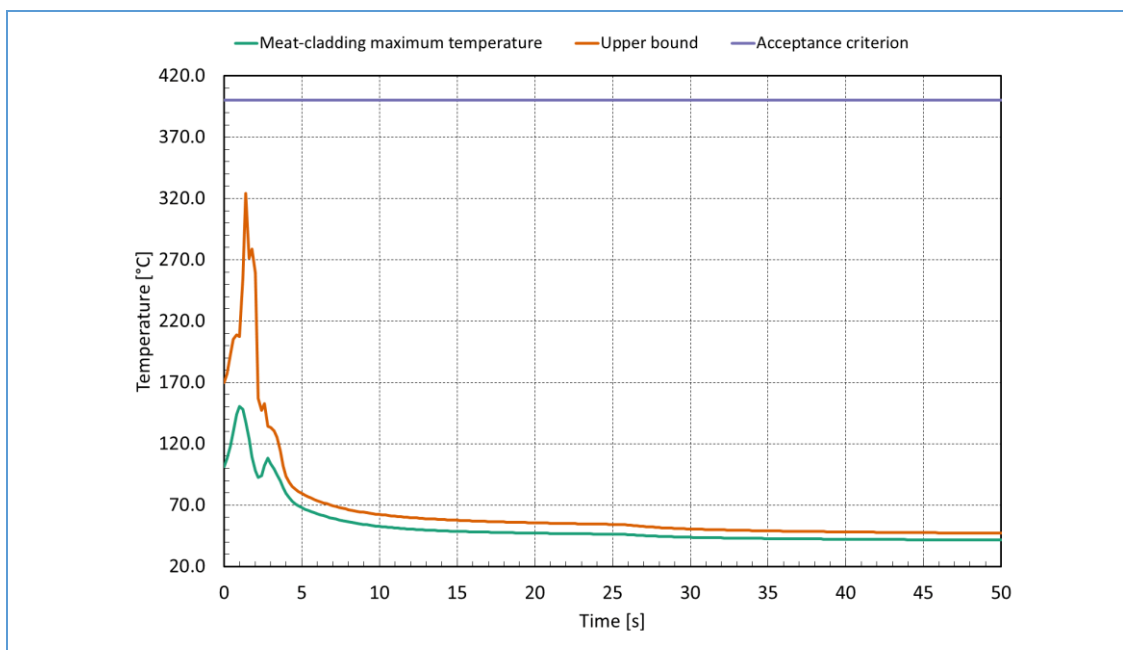
**Figuur 16-4: Waterniveau in de Reactor Pool - PIE-077**



**Figuur 16-5: Temperatuur van de Reactor Pool in de lange termijn - PIE-077**



Figuur 16-6: Temperatuur van de bekleding van de splijstofelementen - PIE-077



## 16.4.4 Verlies van koelwater in het Pools Cooling System

### 16.4.4.1 Geselecteerde begingebourtenissen

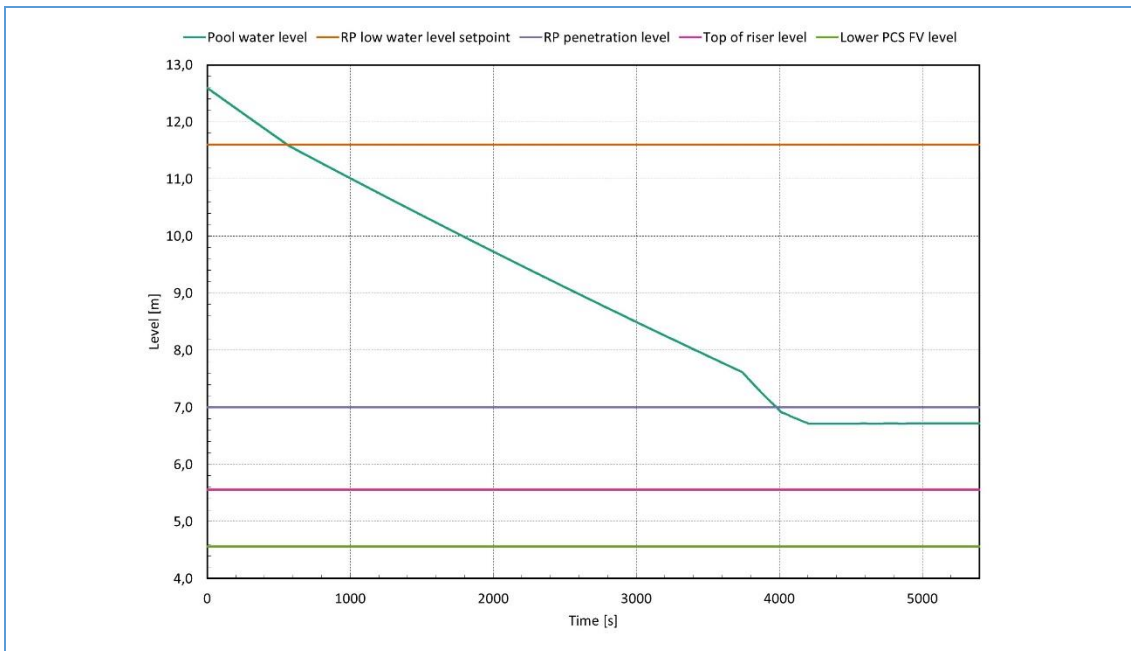
1. Deze paragraaf geeft een analyse van de gebeurtenissen die worden veroorzaakt door het verlies van koelwater (Loss of Coolant Accident – LOCA) in het Pools Cooling System (POCS) en het Long-term Pools Cooling System (LPOCS).
2. In deze paragraaf worden de volgende omhullende gebeurtenissen behandeld:
  - PIE-008: Falen van een pompafdichting door POCS-pomp-asbreuk - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-009: Middelgrote lekkage in de POCS-persleiding - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-010: Middelgrote lekkage in de POCS-aanzuigleiding - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-011 Lekkage van de lassen in de bassins - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-078: Grote lekkage in de POCS - Veiligheidsniveau 3b.
3. PIE-008 postuleert een verlies van koelmiddelinventaris uit het POCS veroorzaakt door een beschadiging in de pompafdichting ten gevolge van een breuk in de pompas, met een breukoppervlakte van 50 cm<sup>2</sup> bij 100% van het nominale vermogen.
4. PIE-009 postuleert het verlies van koelmiddelinventaris uit het POCS veroorzaakt door een breuk van 50 cm<sup>2</sup> in de afvoerleiding van één van de POCS-koelpompen stroomafwaarts van de terugslagklep die zich bevindt tussen de pomp en de POCS-warmtewisselaar bij 100% van het nominale vermogen.
5. PIE-010 postuleert een verlies van koelmiddelinventaris uit het POCS veroorzaakt door een breuk van 80 cm<sup>2</sup> in de zuigleiding van één van de POCS-koelpompen bij 100% van het nominale vermogen.
6. PIE-011 wordt afgedekt door PIE-008, PIE\_009 en PIE-010 omdat de bassins ruim boven het niveau van de veronderstelde leklocaties van de afdekkende gebeurtenissen liggen. Daarom zou de uitstroom uit de bassins lager zijn dan bij de andere gebeurtenissen. Bovendien worden de bassins omringd door het beton, waardoor de uitstroom wordt verminderd.
7. PIE-078 postuleert een tweezijdige guillotinebreuk (2A LOCA) in de POCS-pompafvoerleiding (DN200) stroomafwaarts van de terugslagklep bij 100% van het nominale vermogen.
8. De representatieve PIE's die worden behandeld zijn PIE-009 en PIE-078. PIE-009 is representatief voor PIE-008 en PIE-010, aangezien de opeenvolging van gebeurtenissen en de werking van de

systemen in alle gevallen vergelijkbaar zijn, en voor PIE-009 de acceptatiecriteria meer op de proef worden gesteld. Dit ondanks het feit dat bij PIE-010 de breukoppervlakte groter is dan bij PIE-009. Een groter breukoppervlak laat het bassin weliswaar sneller leeglopen, maar hierdoor wordt het reactorbeveiligingssysteem ook eerder geactiveerd. Ook bevinden de lekkages zich op andere locaties waardoor rekening moet worden gehouden met verschillende weerstanden en andere hoogteverschillen tussen de kern en de breuk.

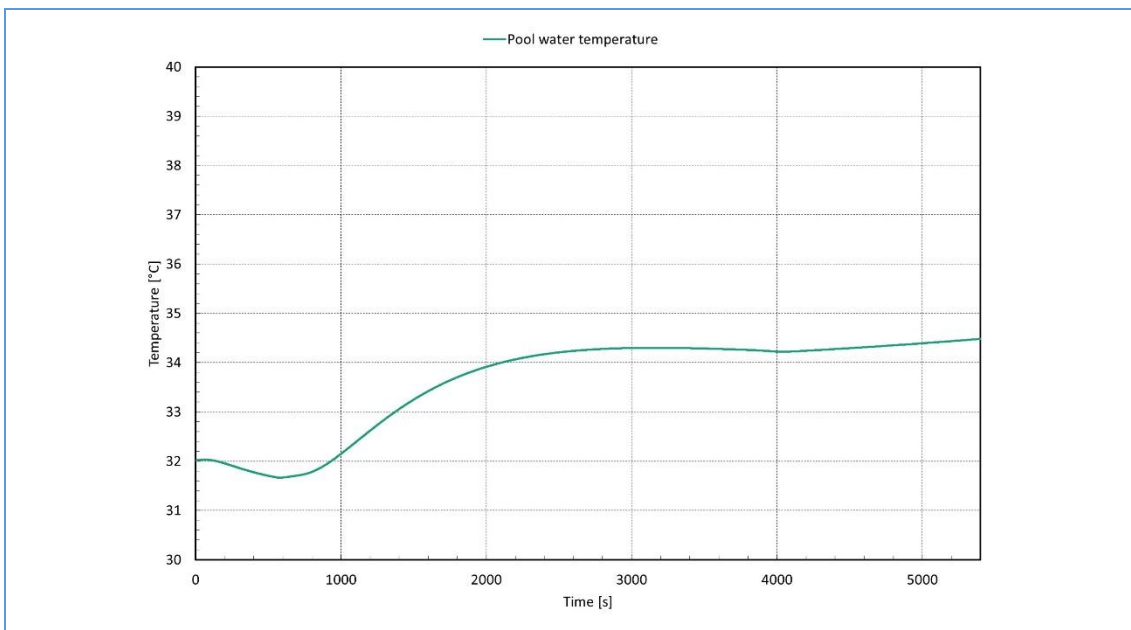
#### 16.4.4.2 PIE-009: Middelgrote lekkage in de POCS-persleiding (veiligheidsniveau 3a)

1. Deze gebeurtenis heeft betrekking op lekkage in de persleiding van een POCS-pomp. De lekkage bestaat uit een lekopening van 50 cm<sup>2</sup>, tussen de POCS-pomp en de warmtewisselaar.
2. Het enkelvoudig faalcriterium is bij één van de twee convectieafsluiters van de POCS gelegd. In geval van een lekkage is dit de ernstigste storing wat de koeling betreft, aangezien deze afsluiters fungeren als hevelbrekers.
3. Het ongeval begint met de reactor op vol vermogen, waarna de lekkage optreedt. Het waterniveau in het Reactor Pool en de Service Pool begint te dalen. Door de breuk daalt de druk in het POCS, wat leidt tot een verhoging van het waterdebiet in de Mo-99 bestralingsfaciliteiten. Het waterdebiet in de kern blijft nagenoeg dezelfde als bij normaal bedrijf.
4. De drukval bij de Mo-99 bestralingsfaciliteiten neemt toe en bereikt het FRPS-instelpunt. Hierop schakelt de reactor niet af omdat dit signaal wordt verondersteld niet te functioneren. Het waterpeil van de Reactor Pool en de Service Pool daalt verder tot het FRPS-instelpunt wordt bereikt (tweede signaal), wat leidt tot afschakeling van de reactor. Tevens worden de PCS en POCS pompen automatisch uitgeschakeld. De temperatuur van het koelwater en van de splijststofbekleding nemen door het afgenomen koeldebiet toe.
5. Kort daarop openen de PCS-convectieafsluiters en enige tijd later opent één van de twee POCS-convectieafsluiters. Hierna stelt zich natuurlijke circulatie in waardoor de kern en de Mo-99 bestralingsfaciliteiten worden gekoeld en de warmte wordt afgevoerd naar de Reactor Pool. Na verdere daling van het waterniveau in de Reactor Pool tot de hevelbrekers (7 meter) stopt de lekkage, omdat de onderzijde van de hevelbrekers is bereikt en het bassinwater niet meer kan wegstromen. Het waterniveau in het Reactor Pool is gedaald tot ongeveer 6,7 meter en blijft constant (zie Figuur 16-7).
6. Gedurende vrijwel het gehele ongeval blijft de temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets beneden de waarde van normaal bedrijf (initiële situatie, zie Figuur 16-9).
7. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door natuurlijke circulatie en de afvoer van de vervalwarmte naar de Reactor en Service Pools.
  - De temperatuur van het poolwater wordt onder de verzadigingsgrens gehouden (zie en Figuur 16-8).
  - Het waterpeil blijft boven de reactorkern en de bestralingsfaciliteiten waardoor er voldoende water aanwezig is voor het in standhouden van de natuurlijke circulatie (zie Figuur 16-7).
8. Vanwege het waterniveau en de watertemperatuur in de Reactor Pool na 72 uur is er voldoende tijd beschikbaar voor de operator om een veilige toestand te waarborgen.
9. Omdat het waterpeil uiteindelijk onder het niveau van de leidingen van het koelsysteem zakt, moet water worden bijgevuld naar de Reactor Pool om de koelsystemen op lange termijn te kunnen starten. Deze actie gebeurt automatisch wanneer het Hot Water Layer System normaal werkt, en kan ook worden uitgevoerd via additionele systemen voor watertoevoer die de operator kan starten. Nadat het waterpeil zich boven de LPOCS-zuigleiding bevindt, kan de operator het LPOCS en het ASCS starten voor lange termijn koeling om de veilige toestand te bereiken.
10. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3a (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
11. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

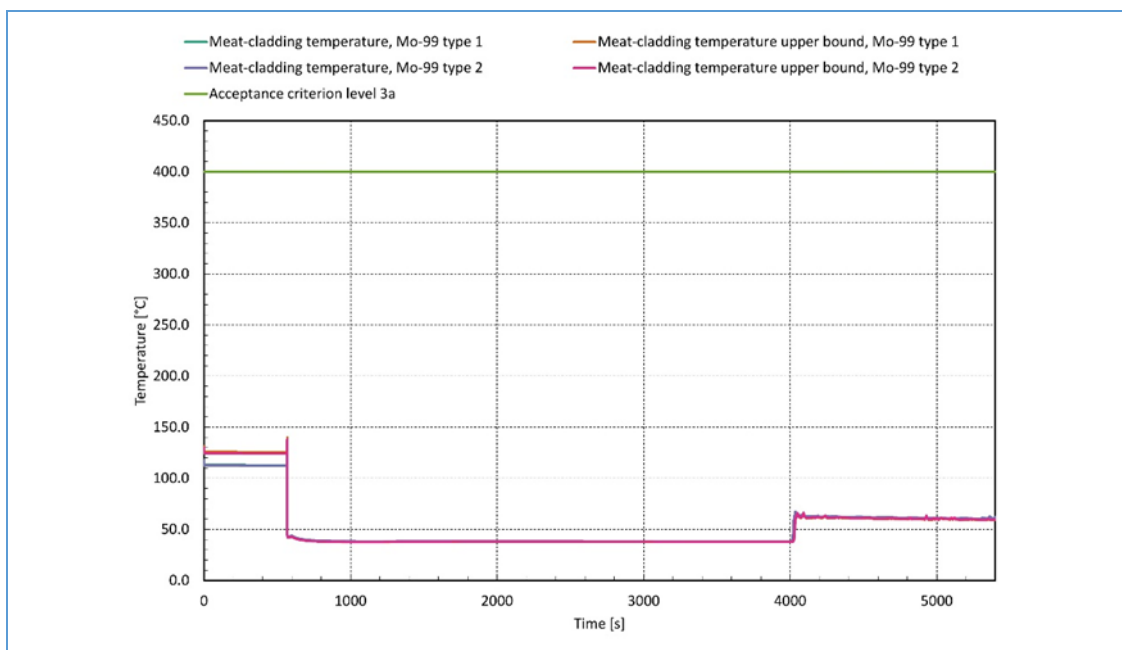
Figuur 16-7: Waterniveau in de Reactor Pool, PIE-009



Figuur 16-8: Temperatuur van de Reactor Pool, PIE-009



Figuur 16-9: Temperatuur van de bekleding van de splijstofelementen – PIE-009

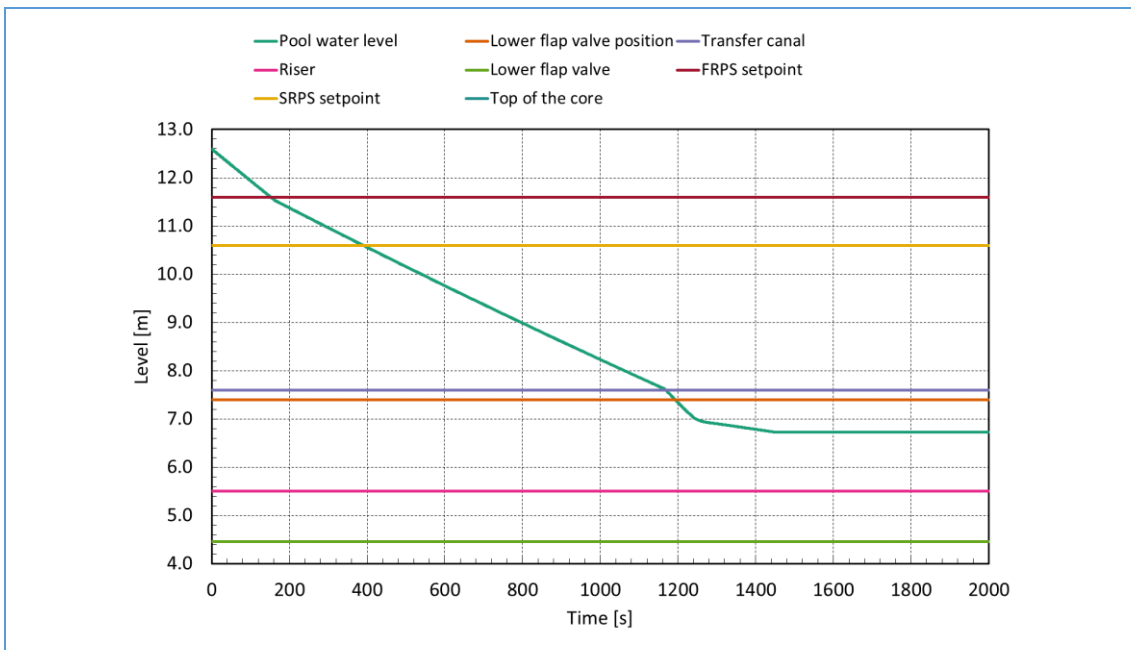


#### 16.4.4.3 PIE-078: Grote lekkage in het POCS (veiligheidsniveau 3b)

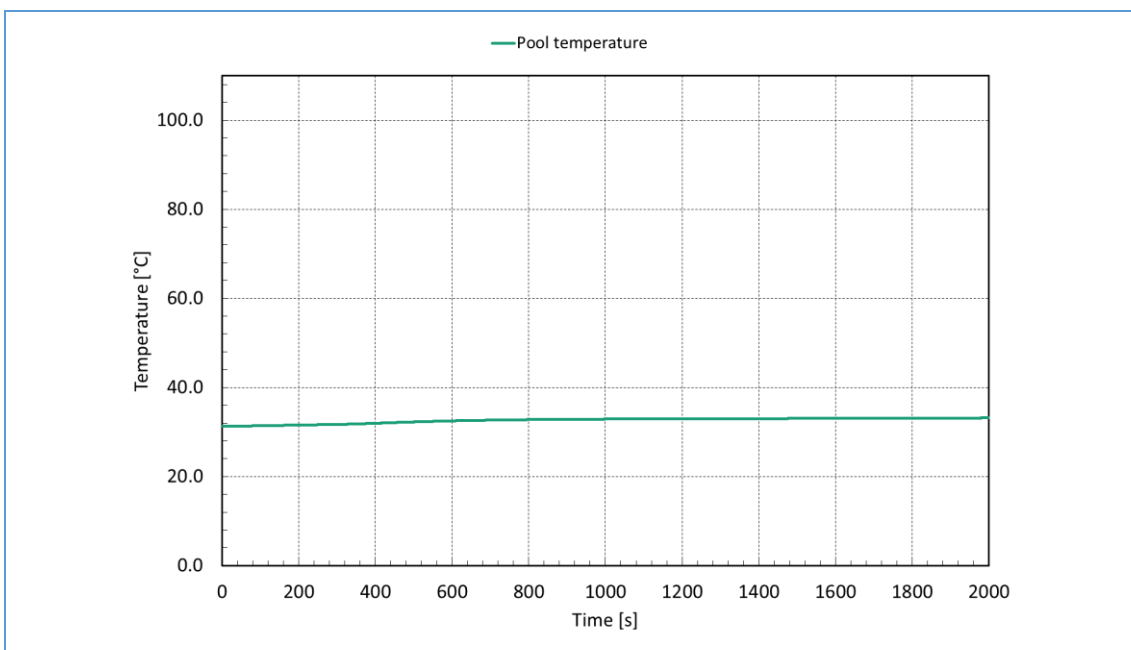
1. Deze gebeurtenis heeft betrekking op lekkage in het POCS veroorzaakt door een tweezijdige guillotinebreuk (2A LOCA) in de POCS-pompafvoerleiding (DN200) stroomafwaarts van de terugslagklep bij 100% van het nominale vermogen. De 2A LOCA houdt een volledige breuk van een leiding in, waarbij de twee gebroken uiteinden zodanig van elkaar gescheiden zijn dat een eventuele reststroom van koelmiddel binnen de leiding niet optreedt. Het koelmiddel gaat aan beide zijden van de breuk verloren. Vanwege de meervoudige defecten die nodig zijn voor een dergelijke breuk is dit hoogst onwaarschijnlijk.
2. Het ongeval begint met de reactor op vol vermogen, waarna de lekkage optreedt. Het waterniveau in de Reactor Pool en de Service Pool begint te dalen. Het signaal "laag waterniveau" van de FRPS wordt bereikt en de reactor wordt afgeschakeld door het in de kern vallen van de regelstaven. Ook worden de PCS en POCS pompen automatisch uitgeschakeld.
3. Door de drukval in het PCS en het POCS openen de PCS- en POCS-convectieafsluiters. Omdat nog steeds water van de Pools via het lek wegstroomt, blijft het waterniveau dalen. Na enige tijd bereikt het waterniveau in de Reactor Pool de hevelbrekers (7 meter). Het water uit de Reactor Pool blijft echter verloren gaan via de breuk, tot dat de hydrostatische druk tussen de POCS leidingen en de breuk gelijk is. De stroom door de breuk wordt onderbroken en het water in de Reactor Pool blijft constant boven de stijgleiding op niveau +6,7 m (zie Figuur 16-10). Water stroomt uit de Reactor Pool door de onderste convectieafsluiters in de PCS-inlaatpijpen naar de kern en water stroomt via de POCS convectieafsluiters naar de Mo-99 bestralingsfaciliteiten, met koeling door natuurlijke circulatie. De stijgleiding en de onderste convectieafsluiters blijven bedekt en natuurlijke circulatie voor de koeling in de reactorkern en in de Mo-99 bestralingsfaciliteiten blijft gehandhaafd.
4. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door natuurlijke circulatie en de afvoer van de vervalwarmte naar de Reactor Pool.
  - De temperatuur van het poolwater wordt onder de verzadigingsgrens gehouden (zie Figuur 16-8).
  - Het waterpeil blijft boven de reactorkern en de bestralingsfaciliteiten waardoor er voldoende water aanwezig is voor het in standhouden van de natuurlijke circulatie (zie Figuur 16-10).

5. Vanwege het waterniveau en de watertemperatuur in de Reactor Pool is er voldoende tijd beschikbaar voor de operator om een veilige toestand te waarborgen.
6. Omdat het waterpeil uiteindelijk onder het niveau van de leidingen van het koelsysteem zakt, moet water worden bijgevuld naar de Reactor Pool om de koelsystemen op lange termijn te kunnen starten. Deze actie gebeurt automatisch wanneer het Hot Water Layer System normaal werkt, en kan ook worden uitgevoerd via additionele systemen voor watertoevoer die de operator kan starten. Nadat het waterpeil zich boven de LPOCS-zuigleiding bevindt, kan de operator het LPOCS en het ASCS starten voor lange termijn koeling om de veilige toestand te bereiken.
7. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-10: Waterniveau in de Reactor Pool - PIE-078**



**Figuur 16-11: Temperatuur van de Reactor Pool- PIE-078**



## 16.4.5 Verlies van koeldebiet in het PCS

### 16.4.5.1 Geselecteerde begingeburtenissen

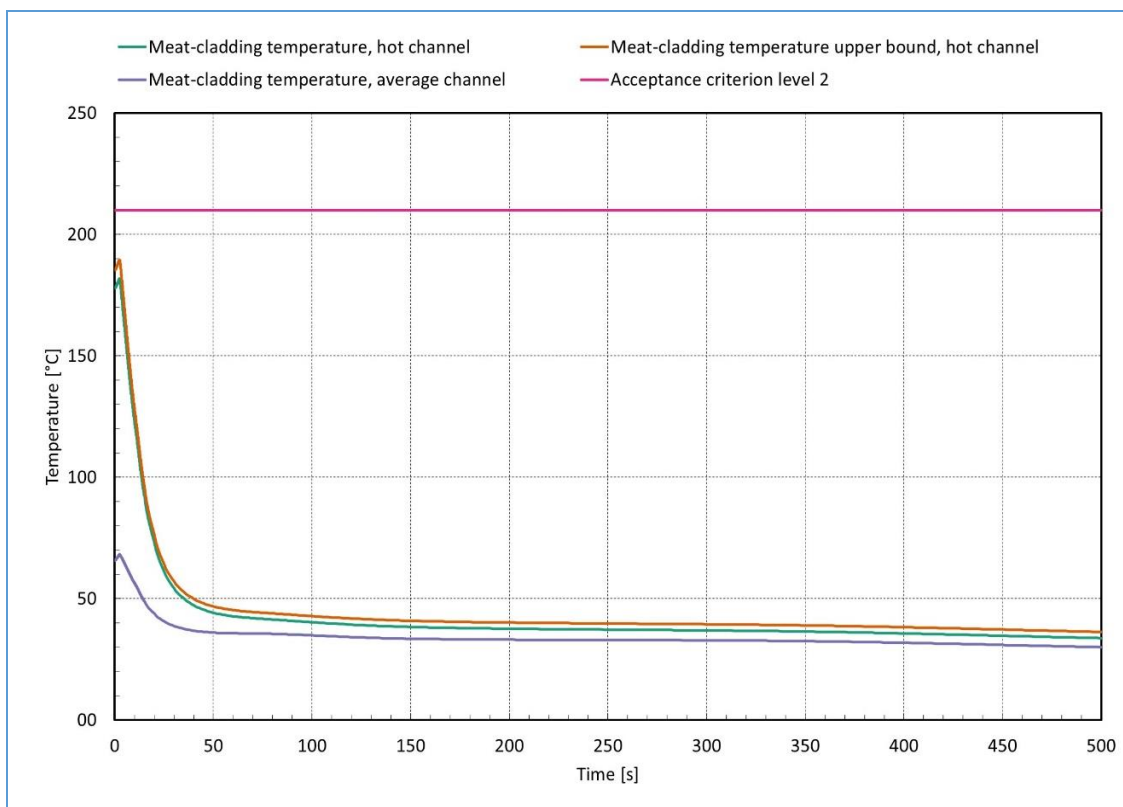
1. Dit hoofdstuk beschouwt de omhullende gebeurtenissen die worden veroorzaakt door verlies van het koeldebiet in het Primary Cooling System (PCS):
  - PIE-012: Falen van een PCS-pomp - Veiligheidsniveau 2;
  - PIE-014: PCS pompstoring - Veiligheidsniveau 2;
  - PIE-016: Vastlopen van een PCS-pomp - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-013: Falen van de PCS-pompen - Veiligheidsniveau 3b;
  - PIE-030: Blokkade van een splijstofelementkanaal - Veiligheidsniveau 3b;
2. Voor Veiligheidsniveau 2 wordt gebeurtenis PIE-012 geëvalueerd omdat deze het grootste effect op de koelcapaciteit heeft en daarom representatief is.
3. Voor Veiligheidsniveau 3a wordt gebeurtenis PIE-016 geëvalueerd. Bij gebeurtenis PIE-016 stopt het koeldebiet van de ene op het andere moment waardoor het totale koeldebiet wordt gehalveerd (2 pompen in bedrijf). Dit heeft een relatief groot effect op de koelcapaciteit.
4. Voor Veiligheidsniveau 3b wordt gebeurtenis PIE-030 geëvalueerd. Gebeurtenis PIE-030 betreft een gedeeltelijke blokkade van een koelkanaal in een splijstofelement of een blokkade van het inlaatgedeelte van een splijstofelement waardoor het koeldebiet langs de splijstofplaten vermindert. Gebeurtenis PIE-013 wordt afgedekt door PIE-065 in paragraaf 16.4.13.3.

### 16.4.5.2 PIE-012: Falen van een PCS-pomp (veiligheidsniveau 2)

1. Deze gebeurtenis betreft het uitvallen van een pompmotor als gevolg van bijvoorbeeld een storing of onderbreking van de stroomtoevoer naar de pomp.
2. Door de uitval van een PCS-pomp neemt de PCS-koelwaterstroom geleidelijk af dankzij het vliegwiel van de pomp. Reactorafschakeling wordt na enige seconden geïnitieerd door het Reactor Control Monitoring System (RCMS) die 5 van de 6 regelstaven in de reactorkern beweegt. Het relevante signaal voor de initiatie voor de reactorafschakeling door het RCMS is 'laag drukverschil over de kern'. De in bedrijf zijnde PCS-pomp voert de vervalwarmte af.
3. Het enkelvoudig faalcriterium is bij het RCMS gelegd, maar deze is meervoudig uitgevoerd waardoor het zijn functie blijft vervullen.
4. De uitgangssituatie is dat de reactor op vol vermogen draait, waarna één pomp uitvalt. Door het verminderde koelwaterdebiet zal de temperatuur van het koelwater uit de kern stijgen. Er treedt in eerste instantie een geringe temperatuurstijging op van het koelwater en van de splijstofbekleding (zie Figuur 16-12), terwijl de kritische warmtefluxratio licht daalt.
5. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
6. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 2 (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
7. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
8. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.



Figuur 16-12: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE-012



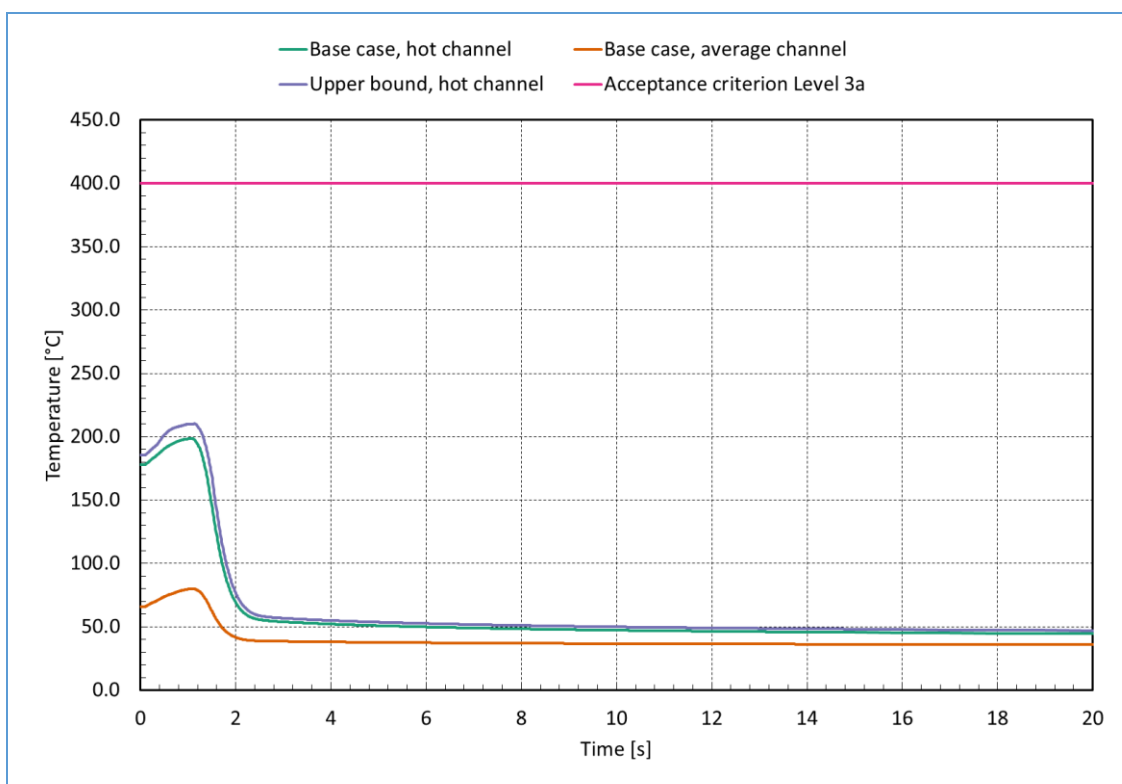
#### 16.4.5.3 PIE-016: Vastlopen van een PCS-pomp (veiligheidsniveau 3a)

1. Deze gebeurtenis betreft het uitvallen van één van de twee in bedrijf zijnde PCS-pompen (2 x 50%). Hierbij loopt de uitgevallen pomp vast, resulterend in een snelle stop en plotseling vastzitten van de pompwaaier. In dit geval is de vermindering van het koeldebiet plotseling en volgt er geen uitlopen van de pomp. De andere PCS-pomp blijft normaal functioneren.
2. Het enkelvoudig faalcriterium is bij de terugslagklep na de vastgelopen pomp gelegd. Hierdoor kan een deel van de koelstroom van de andere pomp teruglopen via de vastgelopen pomp waardoor het koeldebiet door de reactorkern vermindert.
3. Uitgangssituatie is vol vermogen, waarna één pomp uitvalt en vastloopt. Door het plotselinge verminderde koelwaterdebiet zal de temperatuur van het koelwater uit de kern stijgen. Het setpoint van het First Reactor Protection System voor 'laag drukverschil over de kern' wordt bereikt, maar dit wordt verondersteld niet te functioneren. Vervolgens wordt het setpoint voor 'laag PCS-debiet' bereikt, waarop het First Reactor Protection System de reactor na circa 1 seconde na aanvang van het ongeval afschakelt door 5 van de 6 regelstaven in de kern laten vallen. De tweede PCS-pomp blijft na afschakeling van de reactor de vervalwarmte afvoeren. Er treedt een geringe temperatuurstijging op van het koelwater en van de splijtstofbekleding (zie Figuur 16-13), terwijl de kritische warmtefluxratio licht daalt.
4. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
5. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3a (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
6. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS

handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.

7. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

Figuur 16-13: Temperatuur van de bekleding van de splijststofelementen - PIE-016

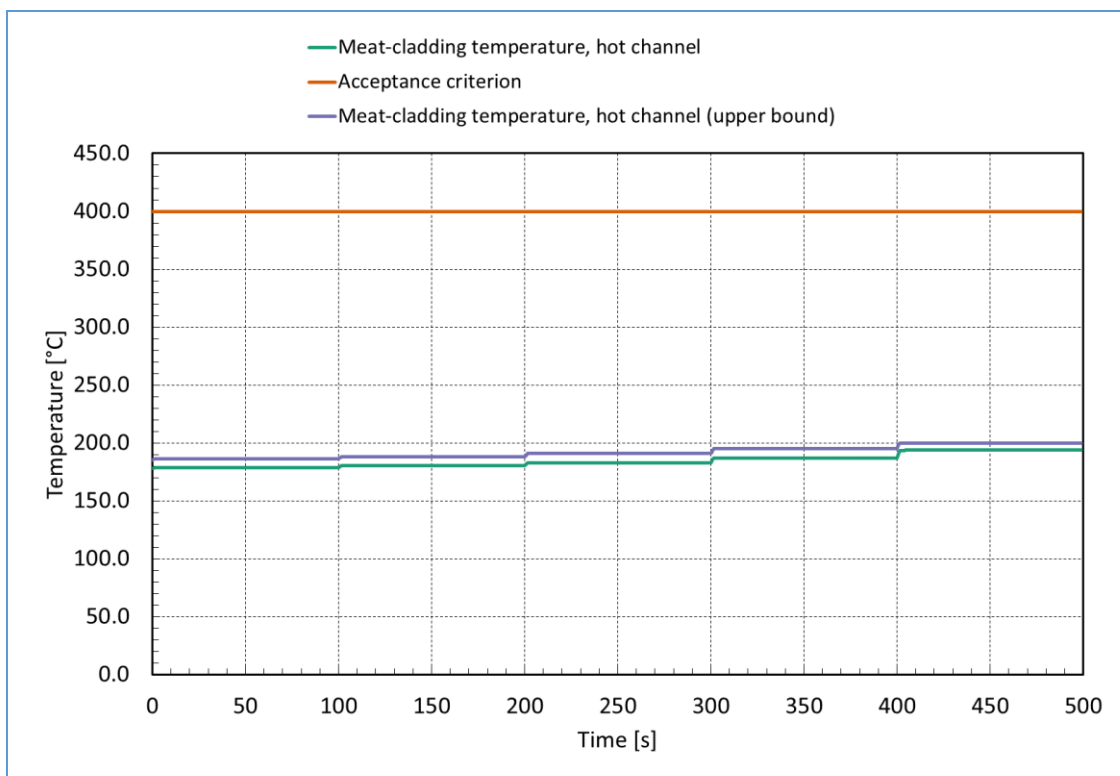


#### 16.4.5.4 PIE-030: Blokkade van een splijststofelementkanaal (veiligheidsniveau 3b)

1. Deze begingebuurtenis betreft de gedeeltelijke blokkade van een koelkanaal in een splijststofelement of de blokkade van het inlaatgedeelte van een splijststofelement, waardoor het koeldebiet langs de splijststofplaten vermindert.
2. Blokkade van een koelkanaal kan ontstaan door:
  - spanningen in een splijststofplaat;
  - vreemd voorwerp in of bij het inlaatgedeelte van een splijststofelement;
  - beschadiging of buiging van de splijststofplaten tijdens het hanteren.
3. Er zijn verschillende filters en roosters in het primaire circuit aanwezig. Deze voorkomen dat losse onderdelen via het PCS naar de splijststofelementen kunnen worden getransporteerd en voorkomen blokkade door voorwerpen die in de pool kunnen vallen.
4. De volgende voorzieningen voorkomen dat voorwerpen in de koelkanalen onder de splijststofelementen terechtkomen:
  - onderste plenumrooster, aan de inlaat van de kern, is een conische geperforeerde plaat binnenin het cilindrische plenum waarin de twee PCS-inlaatleidingen uitmonden. De perforaties maken een gelijkmatige verdeling van het koelwater naar de splijststofelementen mogelijk en dienen als zeef voor los materiaal;
  - platenwarmtewisselaars werken als filters voor kleinere objecten.
5. Daarnaast voorkomen onder andere de volgende voorzieningen een blokkade door vallende voorwerpen:
  - De opwaartse koelwaterstroming door de kern tijdens geforceerde circulatie sleept een voorwerp dat boven op de kern valt weg.

- De hanteerpen van een splijstofelement is een cilindrische stang aan de bovenkant van de splijstofelement dat voor de bediening wordt gebruikt. Het zorgt voor een ongelijkmatig oppervlak dat blokkering van het gehele splijstofelement door vallende voorwerpen voorkomt.
  - Het rooster aan de bovenzijde van het stijgkanaal voorkomt dat grotere voorwerpen in de kern vallen.
6. Het enige moment waarop een voorwerp op de kern zou kunnen vallen is tijdens splijstofwisseling, wanneer het rooster van het stijgkanaal is verwijderd. Door controle en inspectie na de splijstofwisseling wordt zeker gesteld dat er zich geen vreemde voorwerpen op de kern bevinden.
  7. Slechts een gedeeltelijke blokkering van een splijstofelement is mogelijk als gevolg van de geometrie van de splijstofelementen en de kern, ontwerpkenmerken van de koelsystemen en getroffen administratieve en procedurele maatregelen. Aangenomen is dat de helft van het kanaal potentieel geblokkeerd kan zijn.
  8. Als gevolg van de 50% blokkering van het heetste koelkanaal (gesimuleerd in 5 stappen van 10%) treedt er vermindering van de massastroom in het hete kanaal en daardoor verkleining van de veiligheidsmarges en stijging van de temperatuur van de splijstofbekleding op (zie Figuur 16-14).
  9. Door de blokkering van 50% wordt de gemiddelde snelheid tussen de platen van het betreffende kanaal verminderd met ongeveer 24% en de totale kernstroom met minder dan 1%. Deze variaties zijn niet voldoende om door de regel- en beveiligingssystemen (RCMS, FRPS of SRPS) te worden gedetecteerd en de reactor blijft op vol vermogen werken.
  10. De reactor kan worden afgeschakeld indien de operator de veranderingen in operationele variabelen zou opmerken.
  11. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
    - De kern wordt gekoeld door geforceerde circulatie.
    - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen.
  12. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
  13. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Het toezicht op de operationele parameters, zoals het kerndebiet, zal er echter toe leiden dat de blokkering van het kanaal wordt ontdekt en er actie wordt ondernomen.
  14. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

Figuur 16-14: Temperatuur van het in vijf stappen 50% geblokkeerde koelkanaal – PIE-030



## 16.4.6 Verlies van koeldebiet in het POCS

### 16.4.6.1 Geselecteerde begingebourtenissen

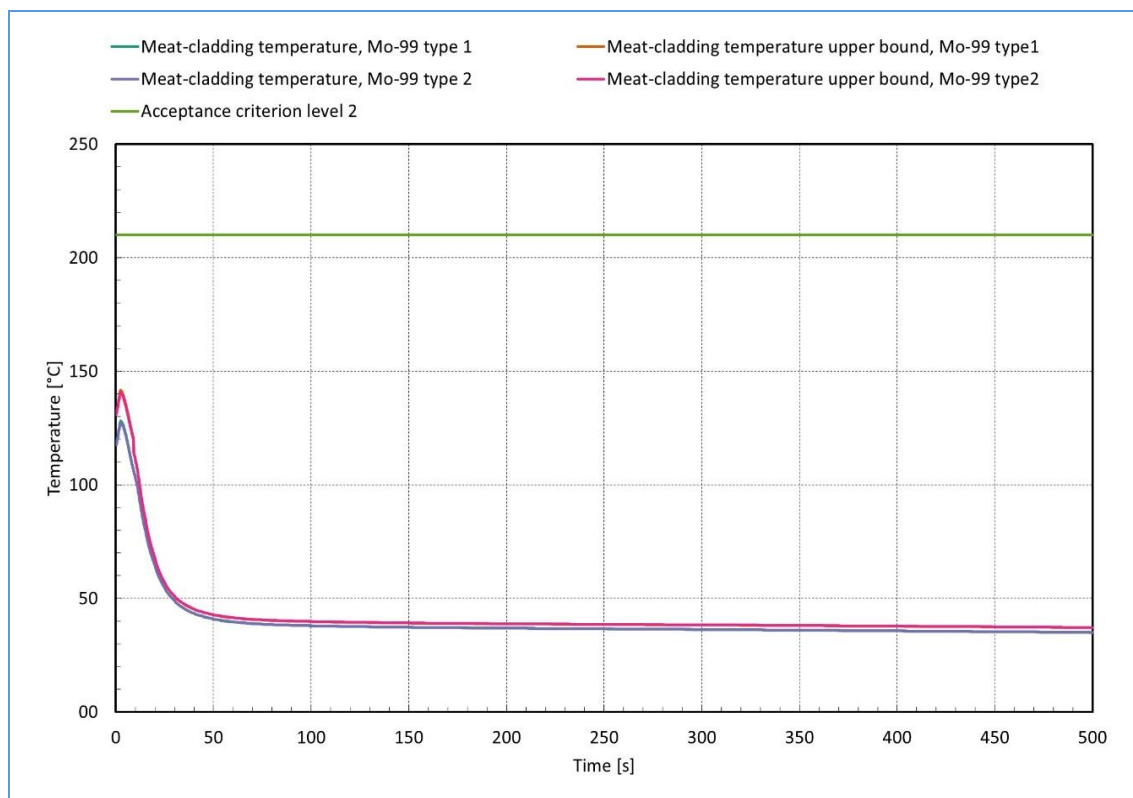
1. Dit hoofdstuk beschouwt de omhullende gebeurtenissen die worden veroorzaakt door verlies van het koeldebiet in het Pools Cooling System (POCS):
  - PIE-021: POCS pompstoring - Veiligheidsniveau 2;
  - PIE-023: Falen van een POCS-pomp - Veiligheidsniveau 2;
  - PIE-019: Vastlopen van een POCS-pomp - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-022: Falen van de POCS-pompen - Veiligheidsniveau 3b;
  - PIE-031: Blokkade van een Mo-99 targethouder koelkanaal (in de bestralingspositie) - Veiligheidsniveau 3b.
2. Voor Veiligheidsniveau 2 is de gebeurtenis PIE-023 representatief omdat deze het grootste effect op de koelcapaciteit heeft en de acceptatiecriteria het meest op de proef worden gesteld.
3. Voor Veiligheidsniveau 3a wordt gebeurtenis PIE-019 geëvalueerd. Bij gebeurtenis PIE-019 stopt het koeldebiet van de ene op het andere moment waardoor het totale koeldebiet gehalveerd wordt (2 pompen in bedrijf). Dit heeft een relatief groot effect op de koelcapaciteit.
4. Voor Veiligheidsniveau 3b wordt gebeurtenis PIE-031 geëvalueerd. Gebeurtenis PIE-031 betreft een blokkade van een koelkanaal van een Mo-99 targethouder waarbij lokaal de koeling volledig stopt. Gebeurtenis PIE-022 wordt afgedekt door PIE-071 in paragraaf 16.4.13.5.

### 16.4.6.2 PIE-023: Falen van een POCS-pomp (veiligheidsniveau 2)

1. Deze gebeurtenis heeft betrekking op het uitvallen van een pompmotor als gevolg van bijvoorbeeld een storing of onderbreking van de stroomtoevoer naar de pomp.
2. Door de uitval van een POCS-pomp neemt de POCS-koelwaterstroom af rekening houdend met het uitlopen met behulp van het pompliegwiel. Reactorafschakeling wordt geïnitieerd worden door het Reactor Control Monitoring System (RCMS) die 5 van de 6 regelstaven in de reactorkern

- beweegt. Het relevante signaal is: 'laag drukverschil over de Out of Core Irradiation Facilities'. De in bedrijf zijnde POCS-pomp voert de vervalwarmte af.
3. Het enkelvoudig faalcriterium is bij het RCMS gelegd, maar deze is meervoudig uitgevoerd waardoor het zijn functie blijft vervullen.
  4. Door het verminderde koelwaterdebiet zal de temperatuur van het koelwater uit de Out of Core Irradiation Facilities stijgen. Er treedt een geringe temperatuurstijging op van het koelwater en van de bekleding van de targets (zie Figuur 16-15), terwijl de kritische warmtefluxratio licht daalt.
  5. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
    - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
    - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
    - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
  6. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 2 (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
  7. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
  8. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-15: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets – PIE-023**

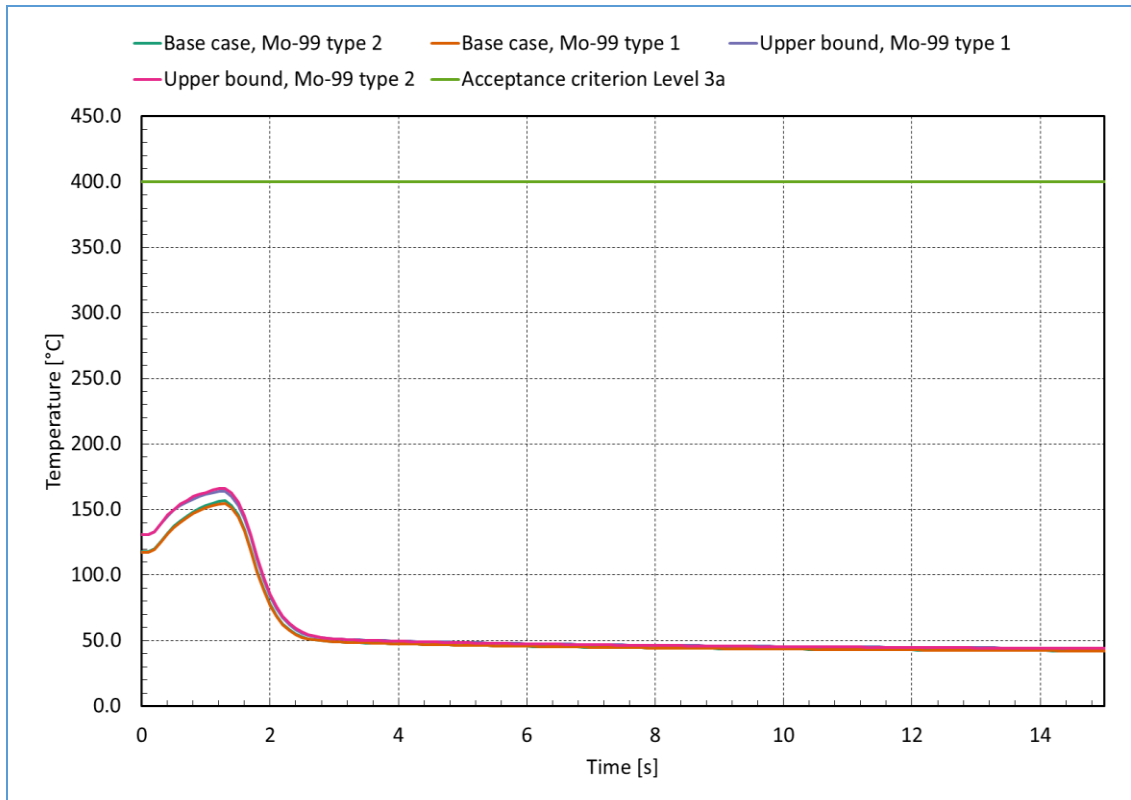


#### 16.4.6.3 PIE-019: Vastlopen van een POCS-pomp (veiligheidsniveau 3a)

1. Deze gebeurtenis betreft het uitvallen van één van de twee in bedrijf zijnde POCS-pompen (2 x 50%). Hierbij loopt de uitgevallen pomp vast resulterend in een snelle stop en plotseling vastzitten van de pompwaaier. De vermindering van het koeldebiet is plotseling en er volgt geen uitlopen van de pomp.

2. Het setpoint van het First Reactor Protection System voor 'laag drukverschil over de Out of Core Irradiation Facilities' wordt bereikt, maar dit wordt verondersteld niet te functioneren. Vervolgens wordt het setpoint voor 'laag PCS-debiet' bereikt, waarop het First Reactor Protection System de reactor afschakelt door 5 van de 6 regelstaven in de kern te laten vallen. De andere POCS-pomp blijft in bedrijf en voert de vervalwarmte af na reactorafschakeling.
3. Het enkelvoudig faalcriterium is bij de terugslagklep na de vastgelopen pomp gelegd. Hierdoor kan een deel van de koelstroom van de andere pomp teruglopen via de vastgelopen pomp waardoor het koeldebiet door de reactorkern vermindert.
4. Door het verminderde koelwaterdebiet zal de temperatuur van het koelwater uit de Out of Core Irradiation Facilities stijgen. Er treedt een geringe temperatuurstijging op van het koelwater en van de bekleding van de targets (zie Figuur 16-16), terwijl de kritische warmtefluxratio licht daalt.
5. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
6. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3a (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
7. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
8. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

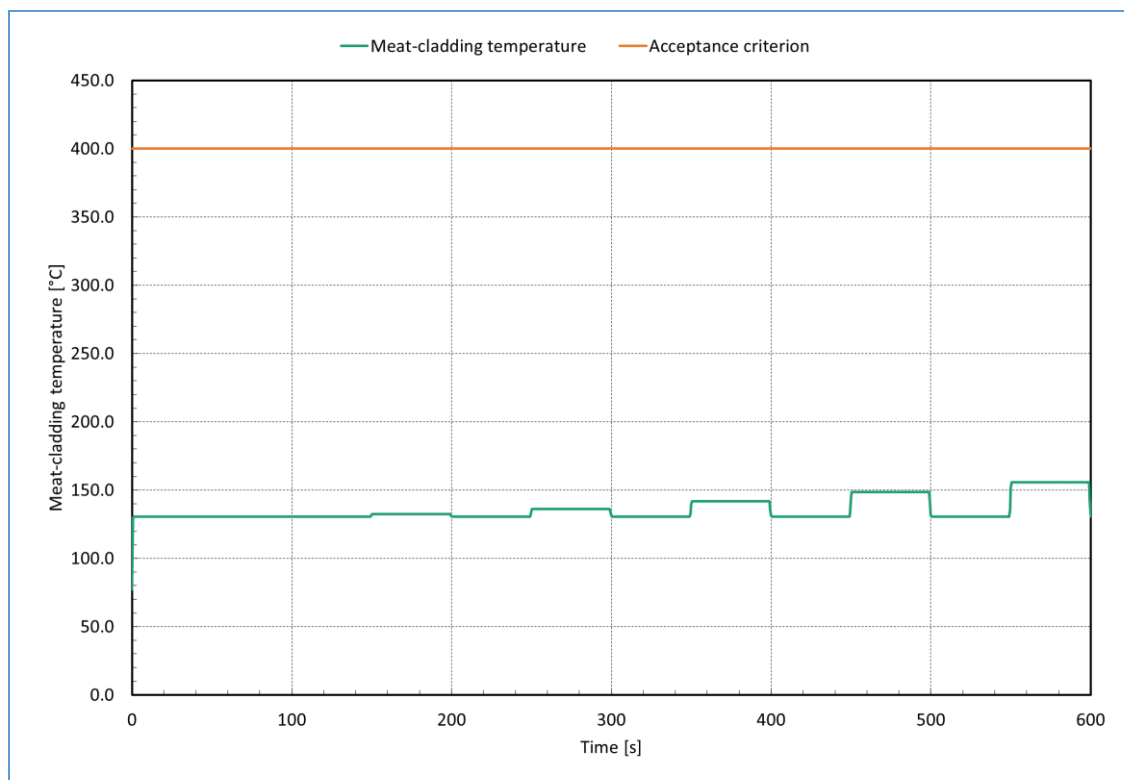
**Figuur 16-16: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets - PIE-019**



#### 16.4.6.4 PIE-031: Mo-99 verstopping van een Mo-99 targethouder (veiligheidsniveau 3b)

1. Deze begingebuurtenis betreft de gedeeltelijke blokkade van een koelkanaal in een Mo-99-bestralingsfaciliteit.
2. Blokkade van een koelkanaal kan ontstaan door:
  - spanningen in een Mo-99-target;
  - vreemd voorwerp in of bij de inlaat van een Mo-99-koelkanaal;
  - beschadiging of verbuiging van Mo-99 targets tijdens het hanteren.
3. Het belangrijkste verschil tussen deze gebeurtenis en de gebeurtenis die in sectie 16.4.5.4 is beschreven, is de neerwaartse stroming in de Mo-99-bestralingsfaciliteiten tijdens normaal bedrijf.
4. Doordat de koelwaterstroming in de Mo-99-faciliteit naar beneden is gericht, wordt een voorwerp dat in het bassin valt naar de Mo-99-faciliteit gezogen. Daarom zijn voorzieningen getroffen om blokkade door vallende voorwerpen te voorkomen. Hiertoe zijn de bestralingsposities voorzien van een kap waarbij de koelwatertoevoer via een verticaal rooster plaatsvindt. Dit rooster voorkomt dat een vallend voorwerp de watertoevoer naar de faciliteit volledig kan blokkeren.
5. Slechts een gedeeltelijke blokkering van een splijtstofelement is mogelijk als gevolg van de geometrie van de bestralingsfaciliteit, ontwerpkenmerken van het koelsysteem en getroffen administratieve en procedurele maatregelen. Aangenomen is dat de helft van het kanaal potentieel geblokkeerd kan zijn.
6. Als gevolg van de 50% blokkering van het heetste koelkanaal (gesimuleerd in 5 stappen met steeds 10% grotere blokkering) treedt er vermindering van de massastroom in het hete kanaal en daardoor verkleining van de veiligheidsmarges en stijging van de temperatuur van de splijtstofbekleding op (zie Figuur 16-17).
7. Door de blokkering van 50% wordt de gemiddelde snelheid tussen de platen van het betreffende kanaal verminderd met ongeveer 58%. Deze afwijking is niet voldoende om door de regel- en beveiligingssytemen (RCMS, FRPS of SRPS) te worden gedetecteerd en de reactor blijft op vol vermogen werken.
8. De reactor kan worden afgeschakeld indien de operator de veranderingen in operationele variabelen zou opmerken.
9. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De kern en de bestralingsfaciliteiten worden gekoeld door geforceerde circulatie
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen.
10. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
11. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Het toezicht op de operationele parameters zal er echter toe leiden dat de blokkering van het kanaal wordt ontdekt en er actie wordt ondernomen.
12. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

Figuur 16-17: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets – PIE 031



## 16.4.7 Verlies van de warmteafvoer

### 16.4.7.1 Geselecteerde begingebourtenissen

1. In de groep "Verlies van de warmteafvoer" worden storingen, afwijkingen en ongevallen behandeld, die worden veroorzaakt door het verlies van het Secondary Cooling System (SCS), of op een andere manier de warmteafvoer via de warmtewisselaars van het Primary Cooling System (PCS) naar het Secondary Cooling System verminderen.
2. Hierbij is één omhullende begingebourtenis geïdentificeerd, namelijk:
  - PIE-035: Falen van de SCS-pompen - Veiligheidsniveau 2.
3. Als gevolg van de uitval van de SCS-pompen zal het secundaire koelwaterdebiet wegvallen.

### 16.4.7.2 PIE-035: Falen van de SCS-pompen (veiligheidsniveau 2)

1. De gelijktijdige uitval van beide SCS-pompen bij vol vermogen neemt het secundaire koelwaterdebiet af tot nul en valt de warmteafvoer weg.
2. Het verlies van het secundaire koelwaterdebiet leidt tot een hogere kerninlaattemperatuur. Hierdoor zal het reactorvermogen afnemen als gevolg van de negatieve terugkoppeling op de reactiviteit, waardoor het RCMS een regelstaaf zal gaan uitbewegen.
3. Bij verdere stijging van de kerninlaattemperatuur zal de reactor worden afgeschakeld door het RCMS door inbewegen van 5 van de 6 regelstaven (enkelvoudig falen). Hierbij is aangenomen dat het First Shutdown System niet functioneert. Na afschakeling daalt de primaire koelwateruitlaattemperatuur.

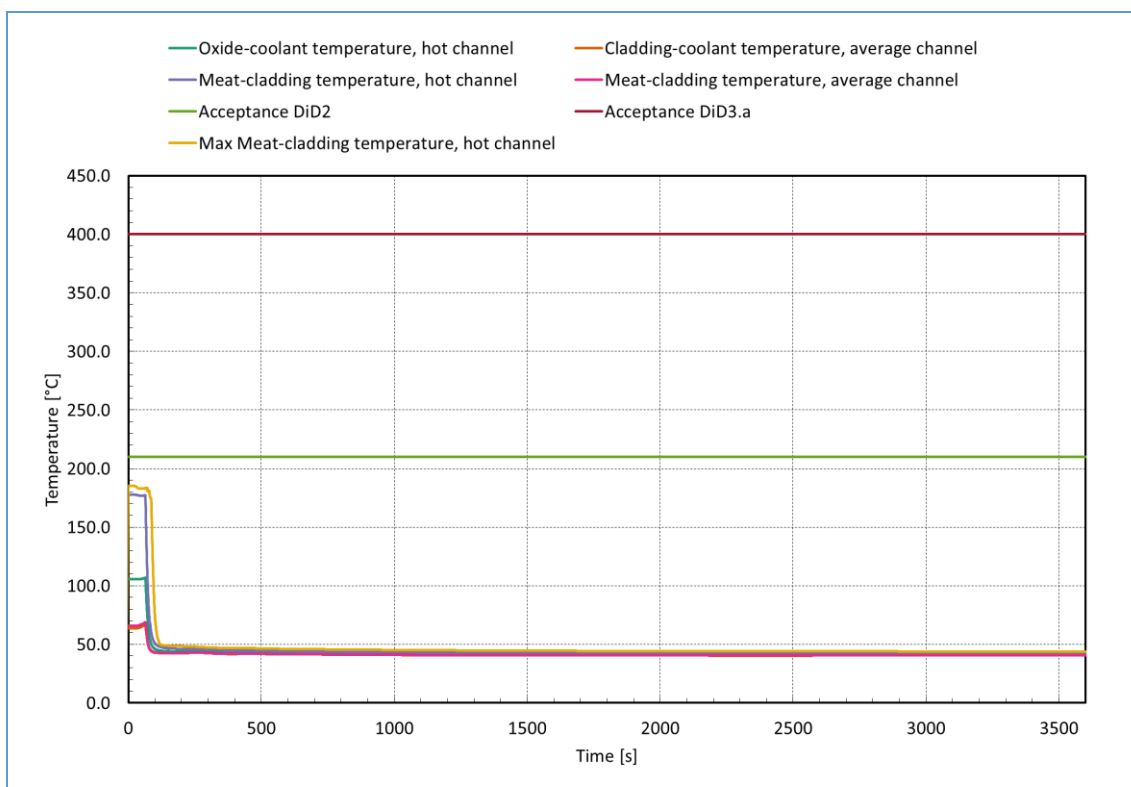
Als gevolg van de warmteproductie in de bestralingsfaciliteiten zal de watertemperatuur van de Reactor Pool stijgen (zie

4. Figuur 16-19).

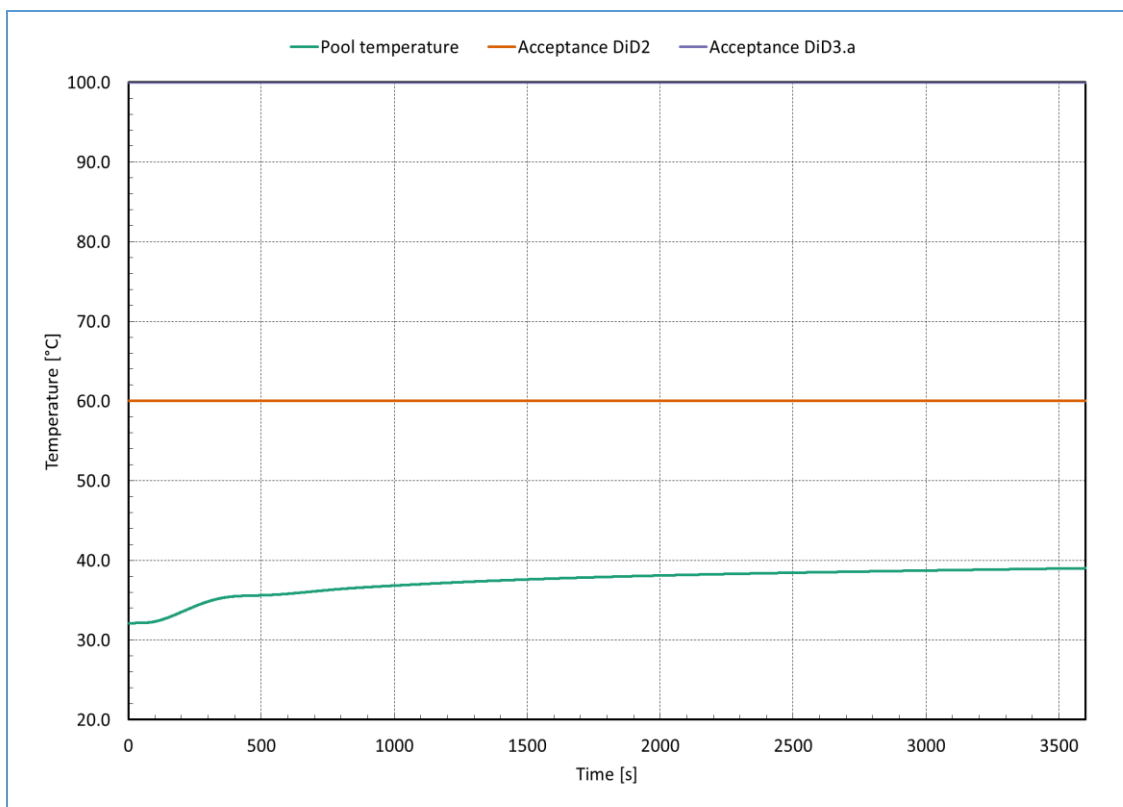


5. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling en de afvoer van de vervalwarmte naar de Reactor en Service Pools (zie Figuur 16-18).
  - De temperatuur van het poolwater wordt onder de verzadigingsgrens gehouden en als gevolg daarvan blijft het waterpeil binnen het operationele niveau.
6. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 2 (zie paragraaf 16.2) wordt hiermee voldaan.
7. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS en POCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
8. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-18: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE-035**



Figuur 16-19: Temperatuur van de Reactor Pool - PIE-035



## 16.4.8 Toename van de reactiviteit

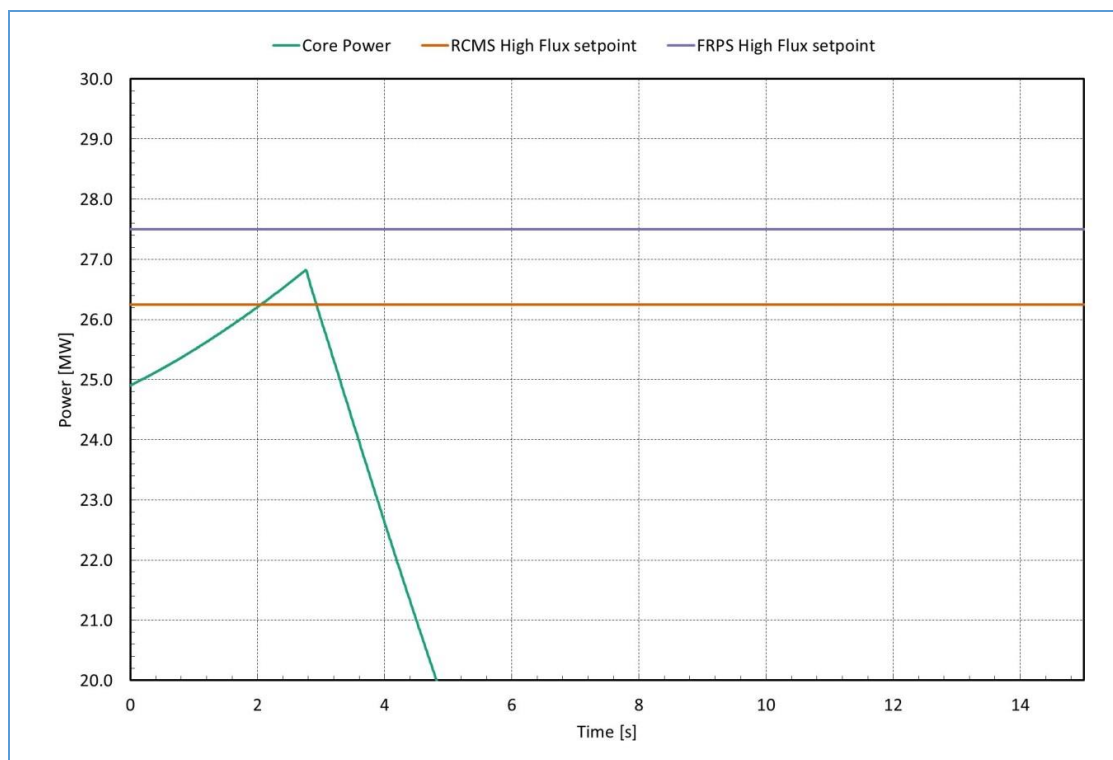
### 16.4.8.1 Geselecteerde begingebourtenissen

1. In de groep "Toename van de reactiviteit" worden storingen, afwijkingen en fouten behandeld, die mogelijk een positieve reactiviteit in de reactorkern en/of de bestralingsfaciliteiten kunnen introduceren.
2. Vijf omhullende begingebourtenissen zijn in deze groep geïdentificeerd, namelijk:
  - PIE-039: Storing in de automatische regeling van het vermogen (Reactor Control and Monitoring system) – Veiligheidsniveau 2;
  - PIE-038: Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaf tijdens opstarten – Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-041: Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaf met falen van het Reactor Control and Monitoring System – Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-075: Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaf tijdens het opstarten – Veiligheidsniveau 2;
  - PIE-PT-001: Onbedoeld uitbewegen van de meest effectieve regelstaaf of regelstaafgroep met falen van de begrenzingssystemen – Veiligheidsniveau 3a.
3. Na het optreden van een ongeval met toename van de reactiviteit is het hoofddoel de controle van de reactiviteit te waarborgen. Wanneer dit voldoende verzekerd is door middel van het afschakelen van de reactor, dan wordt de warmteafvoer uit zowel de kern als de bestralingsfaciliteiten verzekerd door de geforceerde circulatie of de natuurlijke circulatie van het koelwater, afhankelijk van de toestand van het systeem vóór het optreden van de gebeurtenis.
4. De geselecteerde PIE's betreffen PIE-039, PIE-041 en PIE-PT-001 omdat deze representatief zijn met betrekking tot de installatierespons en voor deze PIE's de acceptatiecriteria het meest op de proef worden gesteld.

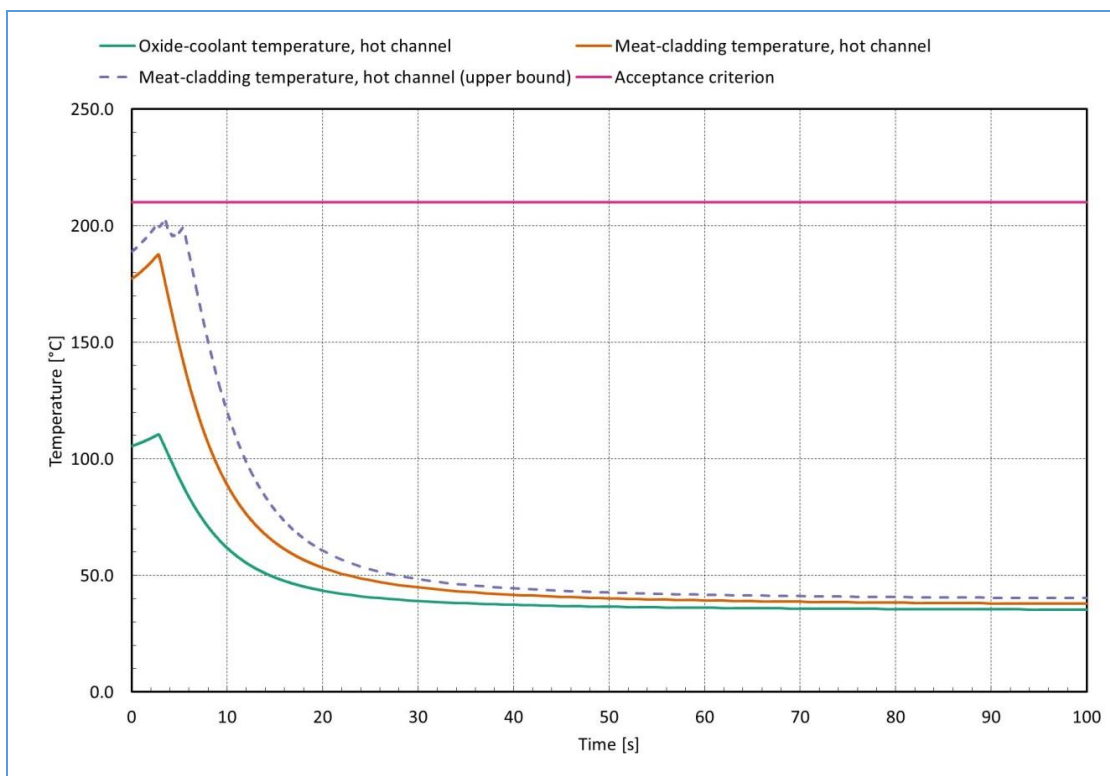
### 16.4.8.2 PIE-039: Storing in automatische regeling van het vermogen (veiligheidsniveau 2)

1. De begingebuurtenis PIE-039 beschouwt het falen van de automatische vermogensregeling om de reactiviteit in de kern te reguleren. Als gevolg hiervan wordt verondersteld dat een regelstaaf onbedoeld met nominale snelheid uit de kern wordt getrokken, waardoor de reactiviteit toeneemt.
2. Het ongeval begint met het uit de kern bewegen van een regelstaaf. Hierdoor gaat het reactorvermogen stijgen (zie Figuur 16-20). Het setpoint van het Reactor Control and Monitoring System wordt na enige seconden bereikt en de reactor wordt afgeschakeld. Het setpoint van het First Reactor Protection System wordt niet bereikt. Het PCS en het POCS blijven in bedrijf zodat de reactor wordt gekoeld. De splijstofbekledingstemperatuur stijgt iets (zie Figuur 16-21), maar daalt weer als de reactor afgeschakeld wordt. De kritische warmtefluxratio daalt kortstondig, maar stijgt weer na afschakelen.
3. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling met behulp van de PCS- en POCS-pompen en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
4. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 2 (zie paragraaf 16.2) wordt hiermee voldaan.
5. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
6. Deze begingebuurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-20: Reactorvermogen - PIE-039**



Figuur 16-21: Temperatuur van de bekleding van de splijstofelementen - PIE-039

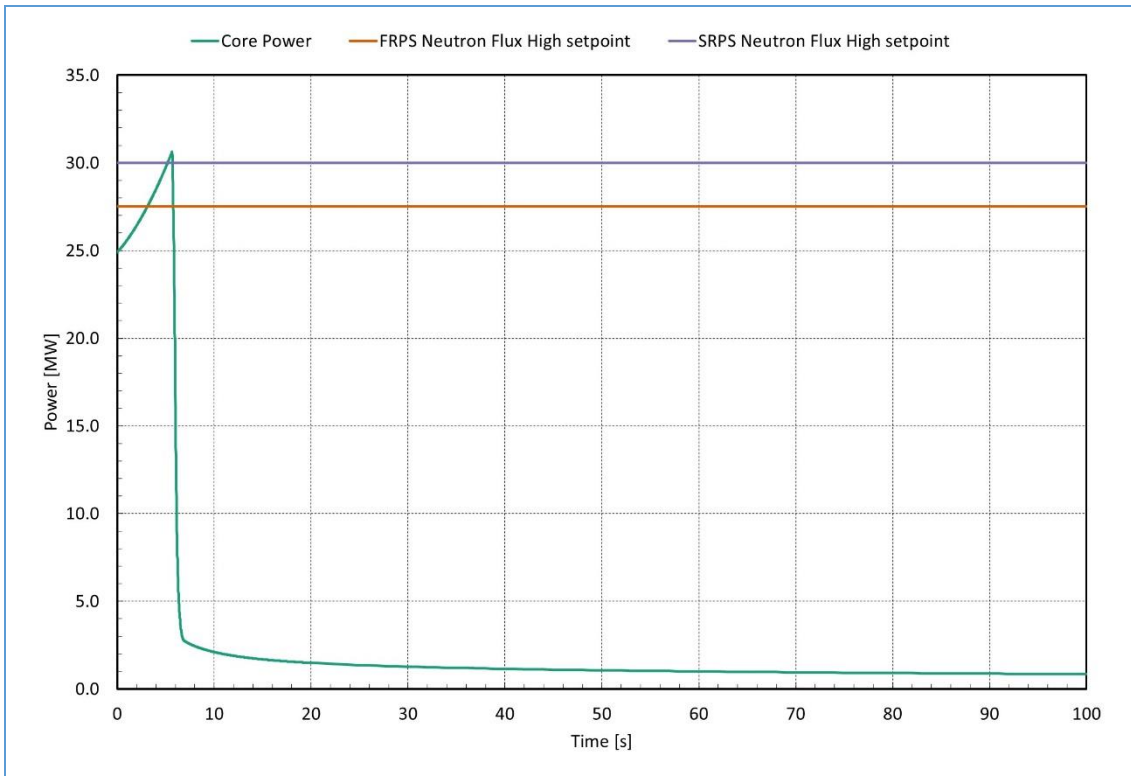


### 16.4.8.3 PIE-041: Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaf met falen van het Reactor Control and Monitoring System (veiligheidsniveau 3a)

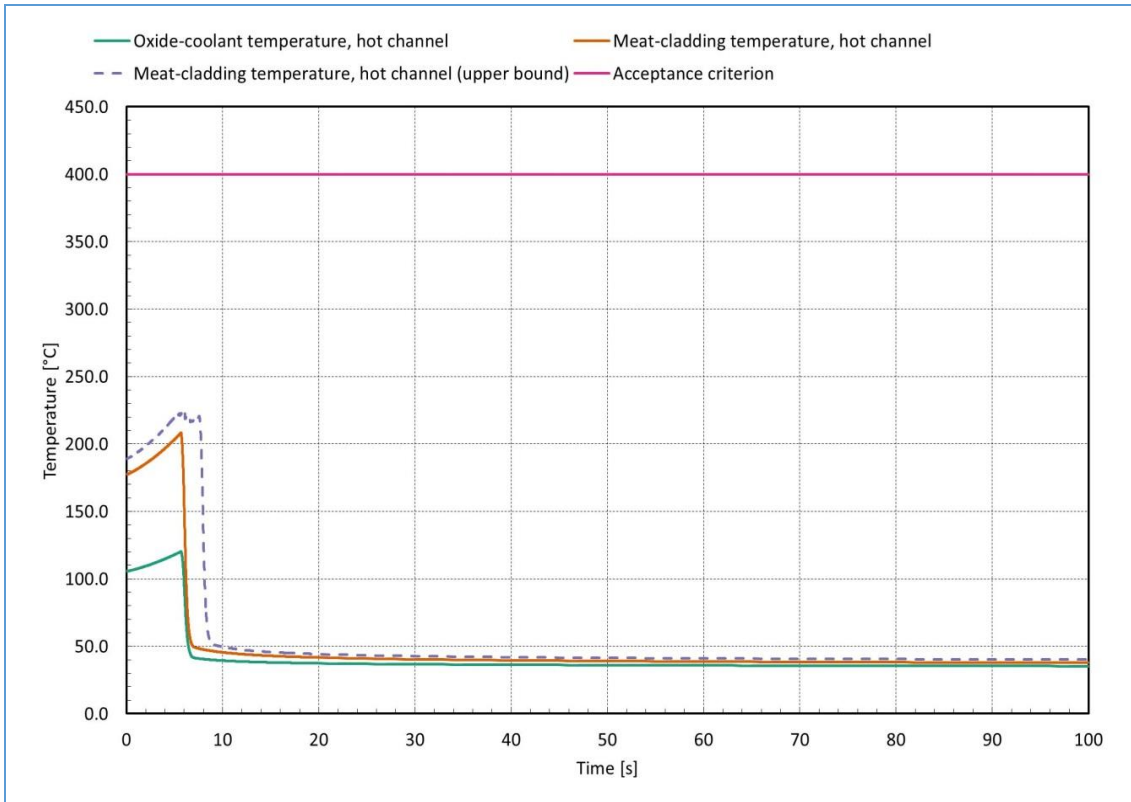
1. Deze gebeurtenis is omhullend voor gebeurtenissen met toename van de reactiviteit tijdens vermogensbedrijf van de reactor. De gebeurtenis veronderstelt een onbedoeld, continu uit de kern bewegen van de meest effectieve regelstaaf met de reactor op vol vermogen gecombineerd met het falen van het Reactor Control and Monitoring System. Door het falen van de Reactor Control and Monitoring System blijft de regelstaaf uit de kern bewegen totdat het setpoint voor maximaal vermogen wordt bereikt.
2. Uitgangssituatie is vol vermogen, waarna de meest effectieve regelstaaf met maximale snelheid uit de kern wordt bewogen. Het vermogen van de reactor neemt toe (zie Figuur 16-22). Het setpoint van het First Reactor Protection System voor maximaal vermogen (ca. 27,5 MW) wordt bereikt, maar dit wordt verondersteld niet te functioneren. Vervolgens wordt het setpoint voor maximaal vermogen (ca. 30 MW) bereikt, waarop het Second Reactor Protection System de reactor afschakelt door de regelstaven in de kern te laten vallen. Onmiddellijk hierna wordt de maximale splijstofbekledingstemperatuur bereikt (zie Figuur 16-23) en de laagste kritische warmtefluxratio.
3. De reactor bereikt de beheerste toestand doordat aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling met behulp van de PCS- en POCS-pompen en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
4. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3a (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
5. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.

6. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

Figuur 16-22: Reactorvermogen - PIE 041



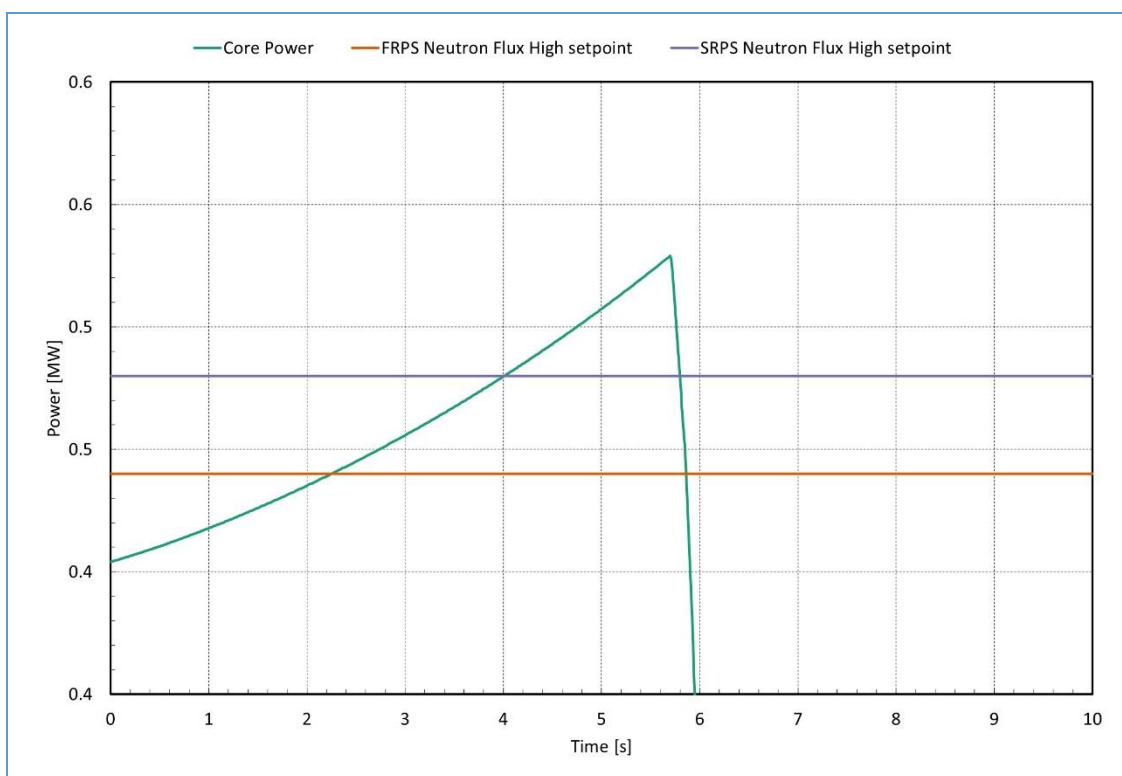
Figuur 16-23: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE 041



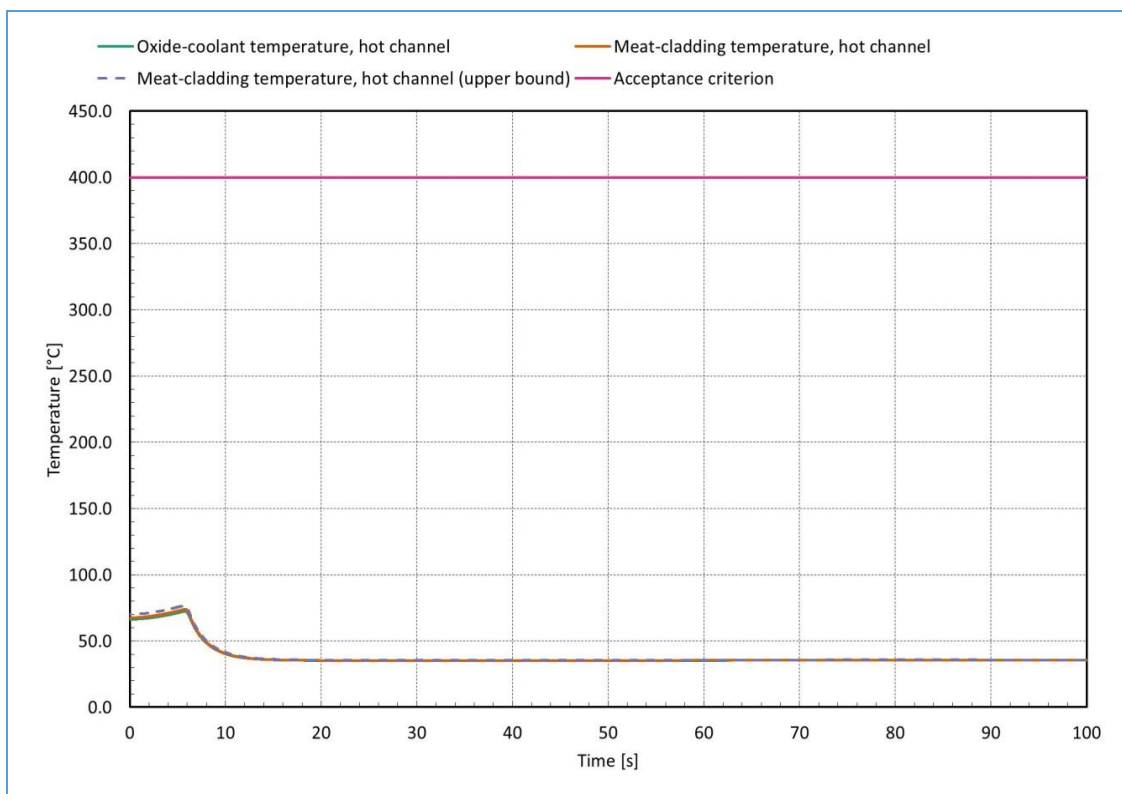
#### 16.4.8.4 PIE-PT-001: Onbedoeld uitbewegen van de meest effectieve regelstaaf of regelstaafgroep met falen van de begrenzingssystemen – (veiligheidsniveau 3a)

1. Deze gebeurtenis is omhullend voor gebeurtenissen met toename van de reactiviteit tijdens testbedrijf van de reactor. De gebeurtenis veronderstelt een onbedoeld, continu uit de kern bewegen van de meest effectieve regelstaaf gecombineerd met het falen van het Reactor Control and Monitoring System. Door het falen van de Reactor Control and Monitoring System blijft de regelstaaf uit de kern bewegen totdat het setpoint voor maximaal vermogen of maximale fluxtoename wordt bereikt.
2. Uitgangssituatie is reactorbedrijf bij 400 kW vermogen waarbij de reactor wordt gekoeld door natuurlijke circulatie. De meest effectieve regelstaaf wordt met maximale snelheid uit de kern bewogen. Het vermogen van de reactor neemt toe (zie Figuur 16-24). Het setpoint van het First Reactor Protection System voor maximale neutronenflux wordt bereikt, maar dit wordt verondersteld niet te functioneren. Vervolgens wordt het setpoint voor maximale fluxtoename bereikt, waarop het First Reactor Protection System de reactor afschakelt door de regelstaven in de kern te laten vallen. Onmiddellijk hierna wordt de maximale splijtstofbekledingstemperatuur bereikt (zie Figuur 16-25) en de laagste kritische warmtefluxratio.
3. De reactor bereikt de beheerste toestand doordat aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern is verzekerd door natuurlijke circulatie.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
4. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3a (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
5. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
6. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

Figuur 16-24: Reactorvermogen - PIE-PT-001



Figuur 16-25: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE-PT-001



## 16.4.9 Foutieve hantering of falen van apparatuur of onderdelen

### 16.4.9.1 Geselecteerde begingebourtenissen

1. In de groep "Foutieve hantering of falen van apparatuur of onderdelen" worden storingen, afwijkingen en fouten behandeld, die worden veroorzaakt door een foutieve hantering van structuren, systemen en componenten van de reactor, zoals kleppen, bestralingsfaciliteiten en splijtstofelementen. Deze begingebourtenissen zijn voornamelijk veroorzaakt door een menselijke fout, alsmede door het uitvallen van apparatuur of onderdelen.
2. De volgende omhullende begingebourtenissen zijn geïdentificeerd:
  - PIE-048: Falen splijtstofelementbekleding door fabricagefout - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-051: Splijtstofelement buiten de kern geraakt door een vallend object - Veiligheidsniveau 3b;
  - PIE-052: Mo-99 targethouder buiten de Reflector Vessel, geraakt door een vallend object - Veiligheidsniveau 3b;
  - PIE-054: Mo-99 targethouder in de Reflector Vessel, geraakt door een vallend object - Veiligheidsniveau 3b;
  - PIE-055: Val van een transportcontainer voor Mo-99 targethouders - Veiligheidsniveau 3b.
3. PIE-048 gaat uit van een plaatselijk falen van de splijtstofbekleding als gevolg van fabricagefouten. De reactor bevindt zich in de bedrijfstoestand Vermogensbedrijf. Gezien het ontwerp en het fabricageproces van splijtstofelementen is de veronderstelde fout een betrekkelijk kleine porie of scheur die tot een geringe vrijgave zou leiden.
4. PIE-051 veronderstelt een falen dat de fysische integriteit van een splijtstofelement aantast, veroorzaakt door de inslag van een voorwerp, terwijl het splijtstofelement zich buiten de reactorkern bevindt. De reactor bevindt zich in de bedrijfstoestand Splijtstofwisseling.

5. PIE-052 postuleert een storing die de fysische integriteit van een Mo-99 target aantast, veroorzaakt door de inslag van een voorwerp, terwijl de Mo-99 targetherouder zich buiten de Reflector Vessel bevindt.
6. PIE-054 postuleert een storing die de fysische integriteit van een Mo-99 target aantast, veroorzaakt door de inslag van een voorwerp wanneer de Mo-99 targetherouder zich in de Reflector Vessel bevindt.
7. PIE-055 postuleert het vallen van een Mo-99-target transportcontainer tijdens het beladen van natte Mo-99 targets.
8. Op het moment van basisontwerp zijn de procedures en de administratieve stappen voor het gebruik van de reactor nog niet gedefinieerd. Daarom wordt een hypothetische gebeurtenis met conservatieve aannamen geanalyseerd. Op basis van de ontwerp-voorzieningen ter voorkoming van het optreden van deze voorvallen of ter beperking van de gevolgen ervan, wordt het beschadigen van een splijtstofelement na het raken van een andere structuur tijdens het beladen gedefinieerd als de ongunstigste geloofwaardige gebeurtenis, die derhalve de radiologische gevolgen van de gebeurtenissen in deze groep omhult.

#### 16.4.9.2 Beschadiging van een splijtstofelement na het raken van een andere structuur (veiligheidsniveau 3b)

1. Deze gebeurtenis betreft het beschadigen of falen van een splijtstofelement na het raken van een andere structuur tijdens het uitvoeren van de procedure van het splijtstofwisselen in de reactor.
2. Het ontladen van een bestraald splijtstofelement uit de reactorkern wordt uitgevoerd door een goed opgeleide operator die zich op de Operation Bridge bevindt. De ervaring van het personeel en de opleiding voor de handelingen verkleinen de kans op een ongeval tijdens de procedure.
3. Als het splijtstofelement tijdens het manoeuvreren per ongeluk beschadigd raakt, wordt het defecte splijtstofelement naar de Service Pool getransporteerd en in een korf voor defecte splijtstofelementen in de opslagrekken geplaatst.
4. De berekende effectieve dosis voor de operator tijdens deze gebeurtenis bedraagt maximaal ca. 10 mSv. Deze dosis, geanalyseerd met conservatieve aannames voldoet aan het acceptatiecriterium voor blootgestelde werknemers bij normaal bedrijf van 20 mSv/j. Voor de bewoners in de omgeving bedraagt de effectieve dosis 0,02 mSv. De kans van optreden ligt in het bereik van  $10^{-2}$  tot  $10^{-4}$ /jaar, en de effectieve dosis voor de bevolking voldoet ruimschoots aan het bijbehorende acceptatiecriterium van 4 mSv (zie paragraaf 16.2). De schildklierdosis voor het reactorpersoneel bedraagt 77 mSv en voor de bewoners in de omgeving 0,01 mSv. De dosis voor de bevolking voldoet ruimschoots aan het acceptatiecriterium van 500 mSv.

### 16.4.10 Foutieve reactorbenutting

#### 16.4.10.1 Geselecteerde begingeburtenissen

1. Met de PALLAS-reactor wordt een breed scala aan bestralingsactiviteiten uitgevoerd. Zo worden er targetmaterialen bestraald waarmee radio-isotopen geproduceerd worden die in andere installaties worden omgezet naar medische radiofarmaca voor diagnose en therapie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de productie van Mo-99 en de productie van andere radio-isotopen (ook wel ORI, Other Radioisotopes genoemd). Ook worden materialen bestraald ten behoeve van industriële toepassingen en onderzoek, waaronder R&D-studies naar het gedrag van materialen onder bedrijfscondities in kerncentrales. De PALLAS-reactor beschikt hiervoor over een reeks In-Core Irradiation Facilities en Out-of-Core Irradiation Facilities.
2. In de groep "Foutieve reactorbenutting" zijn de volgende omhullende begingeburtenissen geïdentificeerd:

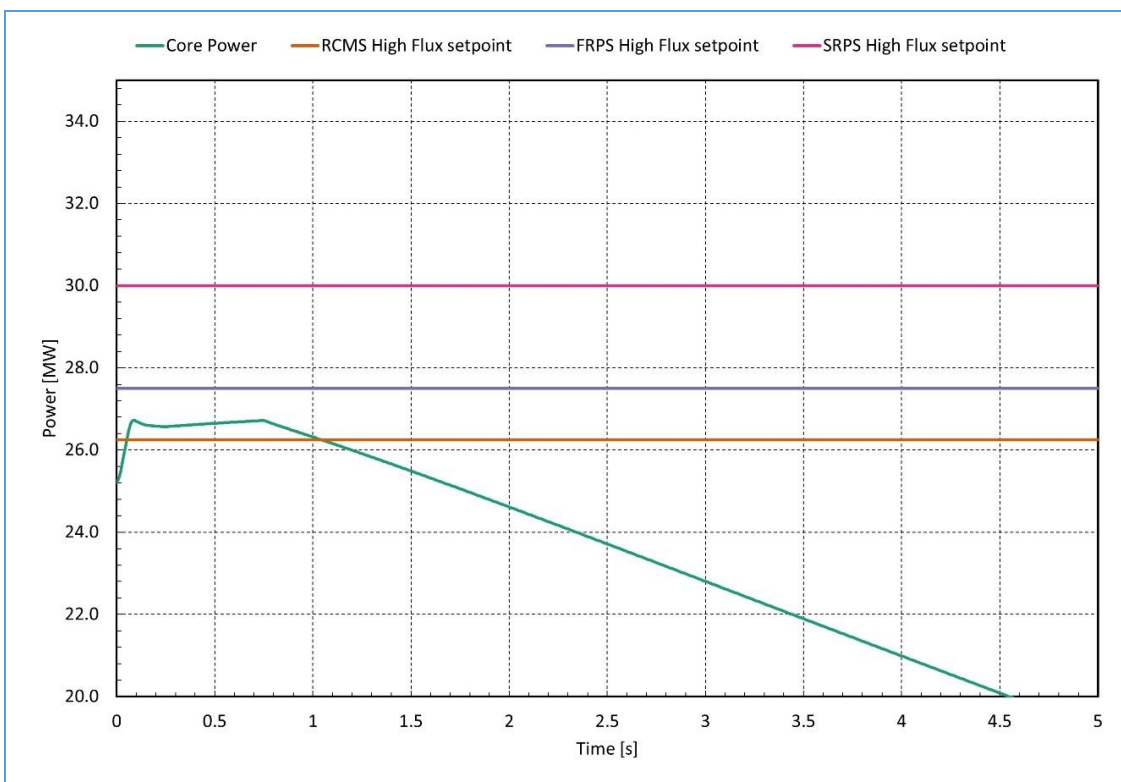


- PIE-076: Foutieve bediening van het Pneumatic Transport and Cooling System - Veiligheidsniveau 2;
  - PIE-037: Fout bij plaatsing van een Mo-99 targethouder in een bestralingspositie - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-046: Foutieve hantering van een Mo-99 targethouder - Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-045: Vroegtijdige blootstelling aan luchtkoeling van een Mo-99 targethouder - Veiligheidsniveau 3b.
3. PIE-037 betreft een menselijke fout die wordt voorkomen door fysieke beperkingen, zoals de beschikbaarheid van gereedschappen, de beschikbaarheid van pneumatische connectoren, verschillen in koppelingsuiteinden.

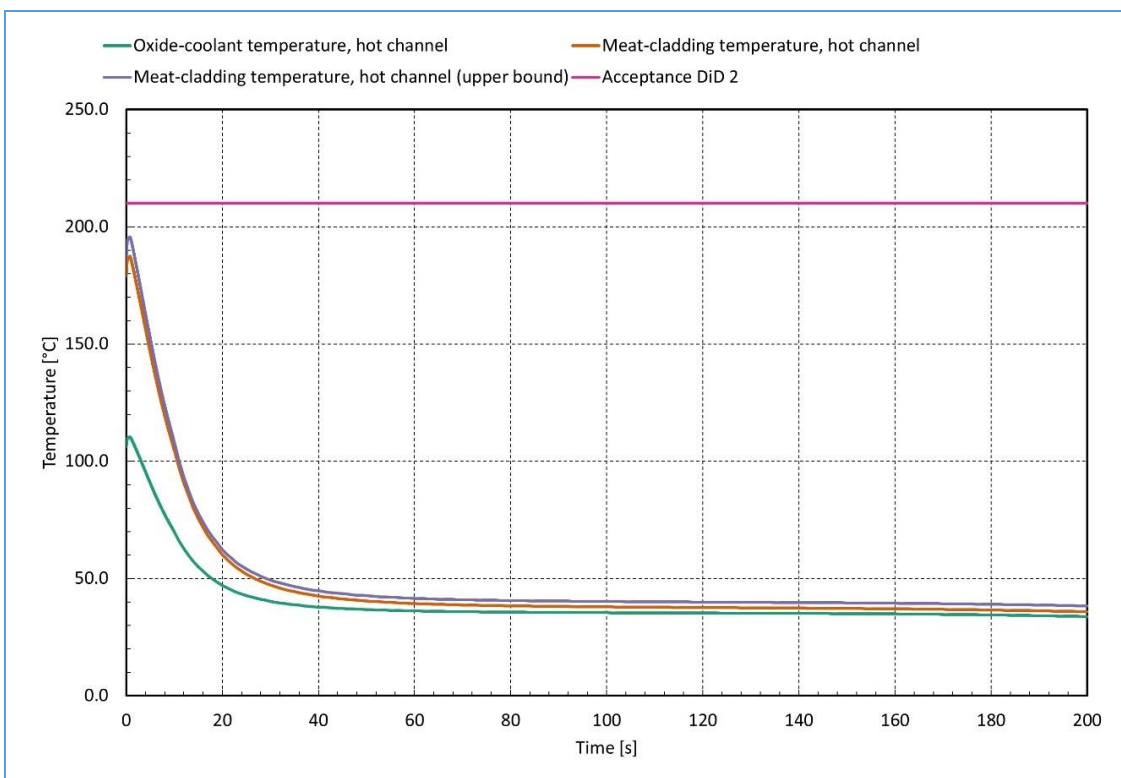
#### 16.4.10.2 PIE-076: Foutieve bediening van het Pneumatic Transport and Cooling System (veiligheidsniveau 2)

1. PIE-076 veronderstelt de extractie van een targethouder met een hoge reactiviteitswaarde, terwijl de reactor op 100% van het nominale vermogen in bedrijf is. Dit leidt tot een reactiviteitstoename van 48 pcm hetgeen 20% hoger is dan de waarde die is gedefinieerd als de maximale reactiviteit voor een niet-vast experiment bij de maximale extractiesnelheid volgens het ontwerpcriterium (40 pcm).
2. Als gevolg van de extractie van de targethouder neemt de reactiviteit toe en daarmee het vermogen in de kern (zie Figuur 16-26) en in de Mo-99 bestralingsfaciliteiten. Het RCMS stuurt 5 van de 6 regelstaven in de kern als gevolg van het signaal "Hoge neutronenflux", waardoor de reactor afschakelt. De instellingen van het FRPS en SRPS worden niet bereikt. De splijtstofbekledingstemperatuur stijgt iets (zie Figuur 16-27), maar daalt weer als de reactor afgeschakeld wordt. De kritisch warmtefluxratio daalt kortstondig, maar stijgt weer na afschakelen.
3. De reactor blijft gekoeld door geforceerde circulatie aangezien de PCS- en POCS-pompen blijven werken.
4. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling met behulp van de PCS- en POCS-pompen en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
5. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 2 (zie paragraaf 16.2) wordt hiermee voldaan.
6. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
7. Deze begingebuurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

Figuur 16-26: Reactorvermogen - PIE 076



Figuur 16-27: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE 076



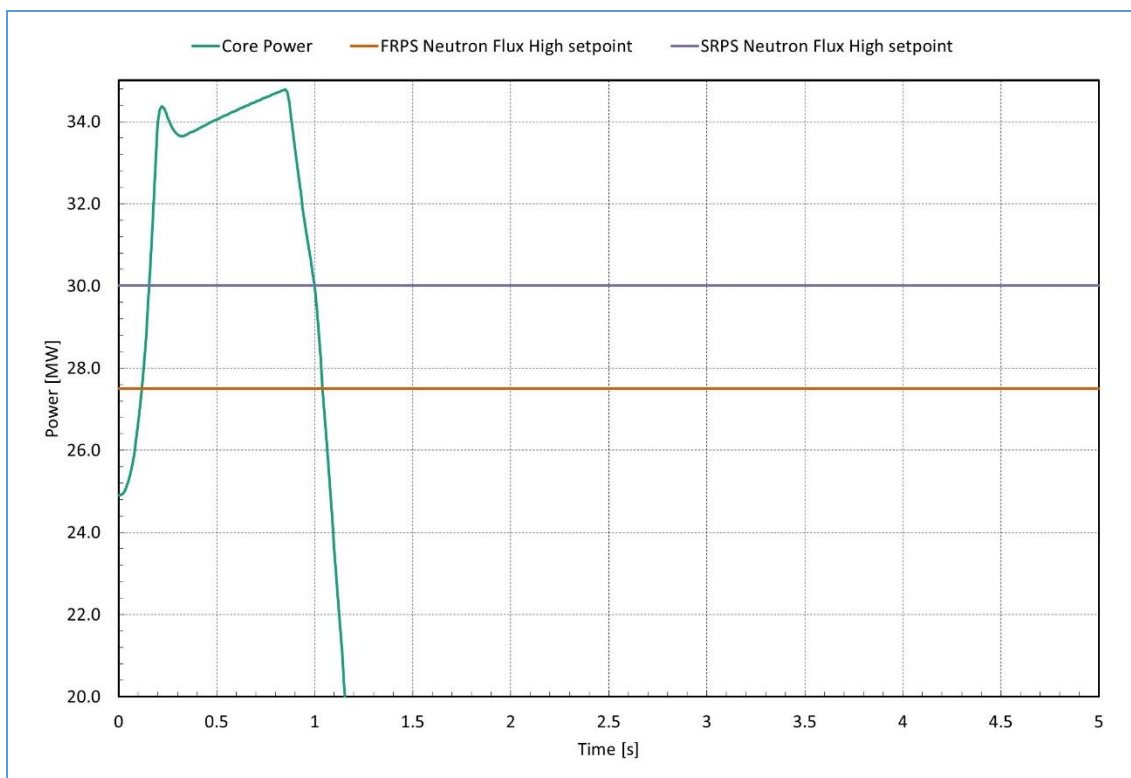
#### 16.4.10.3 PIE-046: Foutieve hantering van een Mo-99 targethouder (veiligheidsniveau 3a)

1. PIE-046 veronderstelt een fout in de hanteringsprocedure van een Mo-99 targethouder die ertoe leidt dat deze in zeer korte tijd plotseling in zijn bestralingspositie wordt gebracht door de koelmiddelstroom, terwijl de reactor op 100% van het nominale vermogen in bedrijf is. Dit leidt tot

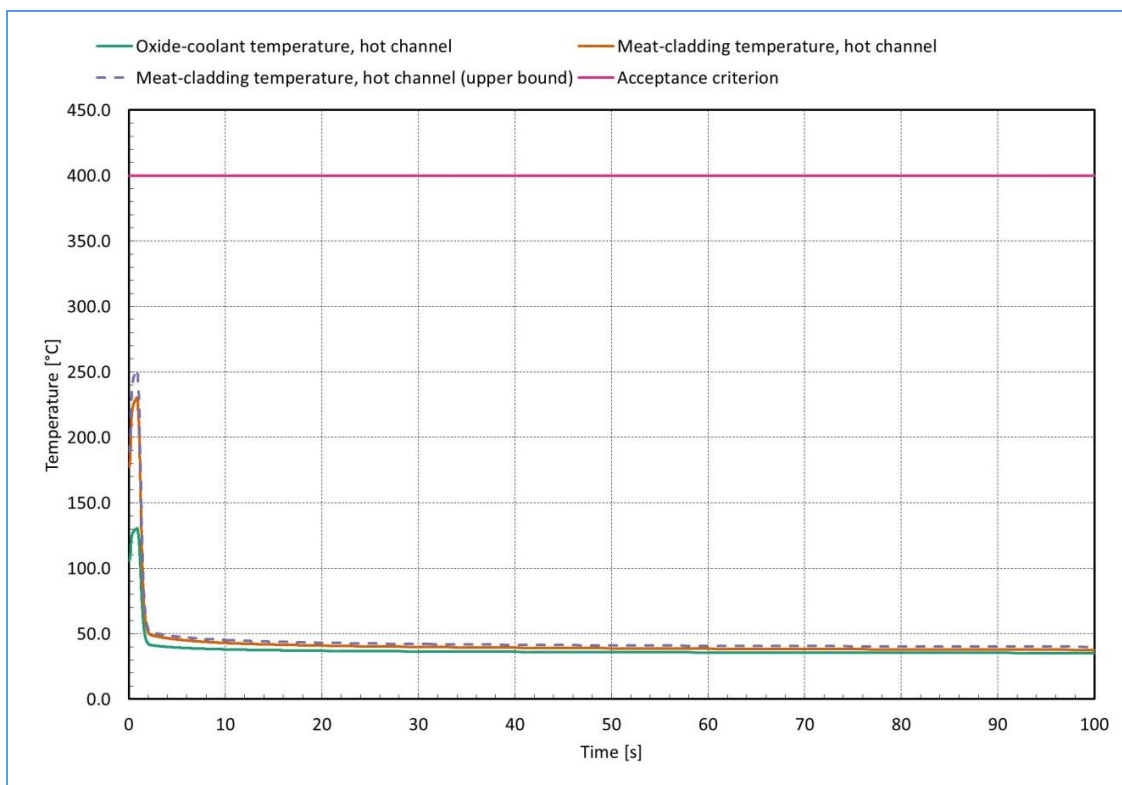
een reactiviteitstoename (240 pcm) waardoor het vermogen in de kern (zie Figuur 16-28) en in de Mo-99 bestralingsfaciliteiten toeneemt.

2. Het FRPS krijgt het signaal "Hoge neutronenflux" maar er wordt veronderstelt dat deze niet functioneert. Vervolgens krijgt het SRPS het signaal "Hoge neutronenflux", die ervoor zorgt dat de reactor afschakelt door het laten vallen van de regelstaven.
3. De splijtstofbekledingstemperatuur stijgt (zie Figuur 16-29), maar daalt weer als de reactor afgeschakeld wordt. De kritisch warmtefluxratio daalt kortstondig, maar stijgt weer na afschakelen.
4. De reactor blijft gekoeld door geforceerde circulatie aangezien de PCS- en POCS-pompen blijven werken.
5. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling met behulp van de PCS- en POCS-pompen en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
6. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3a (zie paragraaf 16.2) wordt hiermee voldaan.
7. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
8. Deze begingebuurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-28: Reactorvermogen - PIE 046**



Figuur 16-29: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE 046



#### 16.4.10.4 PIE-045: Vroegtijdige blootstelling aan luchtcooling van een Mo-99 targethouder (veiligheidsniveau 3b)

1. PIE-045 veronderstelt een storing in de verplaatsing van een bestraalde Mo-99 targethouder waarbij de targethouder aan luchtcooling wordt blootgesteld voordat een voldoende vervaltijd is verstreken. Deze vervaltijd is nodig om de targethouder voldoende afkoeling te laten ondergaan om veilig te kunnen worden gehanteerd in de luchtgekoelde Transfer Hot Cells.
2. Er zijn verschillende voorzieningen aanwezig die ervoor zorgen dat deze gebeurtenis niet kan optreden. Deze worden verondersteld niet te functioneren.
3. Omdat de Mo-99 targethouder wordt overgebracht naar een Transfer Hot Cell voordat voldoende vervaltijd is verstreken, wordt ervan uitgegaan dat schade aan de platen optreedt en een fractie van de radioactieve inventaris in de lucht van de Transfer Hot Cell vrijkomt.
4. Het Ventilation Reconfiguration System brengt en schakelt het ventilatiecircuit van de Hot Cells naar gefilterde afvoer via de ventilatieschacht.
5. De radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel zijn verwaarloosbaar omdat het vrijgekomen radioactieve materiaal wordt afgevoerd via de filters en de ventilatieschacht. De radiologische gevolgen voor de bewoners in de omgeving betreffen een effectieve dosis van 0,8 mSv bij een kans van optreden van ca.  $1,4 \cdot 10^{-3}$ /jaar. De dosis voor de bevolking voldoet aan het acceptatiecriterium van 4 mSv (zie paragraaf 16.2). De schildklierdosis voor de bewoners in de omgeving bedraagt 2 mSv, en voldoet ruimschoots aan het acceptatiecriterium van 500 mSv.

#### 16.4.11 Verlies van zwaar water

##### 16.4.11.1 Geselecteerde begingebourtenissen

1. In de groep "Verlies van zwaar water" worden ongevallen behandeld, die worden veroorzaakt door het verlies van zwaar water.
2. De volgende twee omhullende begingebourtenissen zijn geïdentificeerd:

- PIE-056: Lekkage van de warmtewisselaar tussen het zwaar water-koelcircuit en het tussenkoelcircuit - Veiligheidsniveau 3b;
  - PIE-057: Lekkage in de leidingen van het Heavy Water Cooling and Purification System (HWCPs) en storing in moleculaire filters - Veiligheidsniveau 3b.
3. Door het reactorontwerp heeft verlies van zwaar water geen invloed op de koeling van de kern en de Mo-99 bestralingsfaciliteiten en op de neutronenflux.
  4. Verlies van zwaar water is een mogelijke bron van stralingsincidenten vanwege het radioactieve tritium dat zich in het zware water bevindt. Daarom is het Heavy Water Cooling and Purification System ontworpen om blootstelling aan straling van het operationele personeel te voorkomen en lekken naar het milieu tot een minimum te beperken.

#### 16.4.11.2 PIE-056: Lekkage van de warmtewisselaar tussen het zwaar water-koelcircuit en het tussenkoelcircuit (veiligheidsniveau 3b)

1. Deze gebeurtenis beschouwt het optreden van een lek in de warmtewisselaar tussen het zwaar water-koelcircuit en het tussenkoelcircuit van het Heavy Water Cooling and Purification System. Om vervolgens het Secondary Cooling System te bereiken zal een extra lekkage in de bijbehorende warmtewisselaar tussen het tussenkoelcircuit en het Secondary Cooling System nodig zijn.
2. Periodiek worden monsters van het water in het tussenkoelcircuit genomen, zodat een vroege opsporing van een dergelijke lekkage mogelijk is.
3. Het Intermediate Cooling Circuit vormt een extra barrière om lekkage van zwaar water naar de omgeving te voorkomen.
4. Een activiteitsmeting is in het Secondary Cooling System geplaatst voor het meten van de totale gamma-activiteitsconcentratie. Wanneer er sporen van gamma-activiteitsconcentratie worden gedetecteerd, wordt er lokaal en op het RCMS een alarm geactiveerd. Hiermee wordt de aanwezigheid van zwaar water activeringsproducten, zoals Stikstof-16, gedetecteerd.
5. Vanwege de bovengenoemde voorzieningen hoeft een significante lekkage van zwaar water naar de omgeving, die niet op tijd wordt gedetecteerd, niet te worden verondersteld. Deze gebeurtenis heeft daarom verwaarloosbare radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving.

#### 16.4.11.3 PIE-057: Lekkage in de leidingen van het Heavy Water Cooling and Purification System (HWCPs) en storing in moleculaire filters (veiligheidsniveau 3b)

1. Deze gebeurtenis beschouwt het optreden van een lek in het onafhankelijke systeem voor het koelen en zuiveren van zwaar water en een bijkomend defect in de moleculaire zeven die in de ventilatiekanalen zijn geplaatst om het vrijgekomen tritium vast te houden.
2. Het koelen en zuiveren van zwaar water gebeurt in een onafhankelijk, gesloten circuit, het Heavy Water Cooling and Purification System, dat ontworpen is om mogelijke lekkages van zwaar water en dus tritium tot een minimum te beperken. Voor deze gebeurtenis is meervoudig falen nodig.
3. Tritium wordt bewaakt met een monitor in de ventilatielucht. Als er een hoger dan normaal tritiumniveau wordt gedetecteerd, wordt de luchtcirculatie handmatig omgeleid via moleculaire filters die zich in dezelfde ruimte bevinden en die de tritium houdende waterdamp vasthouden voordat de lucht wordt afgevoerd via het Reactor Building Ventilation System. Een alarm wordt gegeven in het RCMS.
4. De aanwezigheid van tritium wordt ook gemonitord in de afgevoerde gassen van de ventilatieschacht en bewaakt door het RCMS.
5. Een kleine hoeveelheid tritium kan vrijkomen door de ventilatieschacht als de moleculaire filters falen. De radiologische gevolgen zullen, voordat de gebeurtenis wordt opgemerkt en ingeperkt, gering zullen zijn als gevolg van de geringe inventaris.

## 16.4.12 Verlies van elektriciteitsvoorziening

### 16.4.12.1 Geselecteerde begingebourtenissen

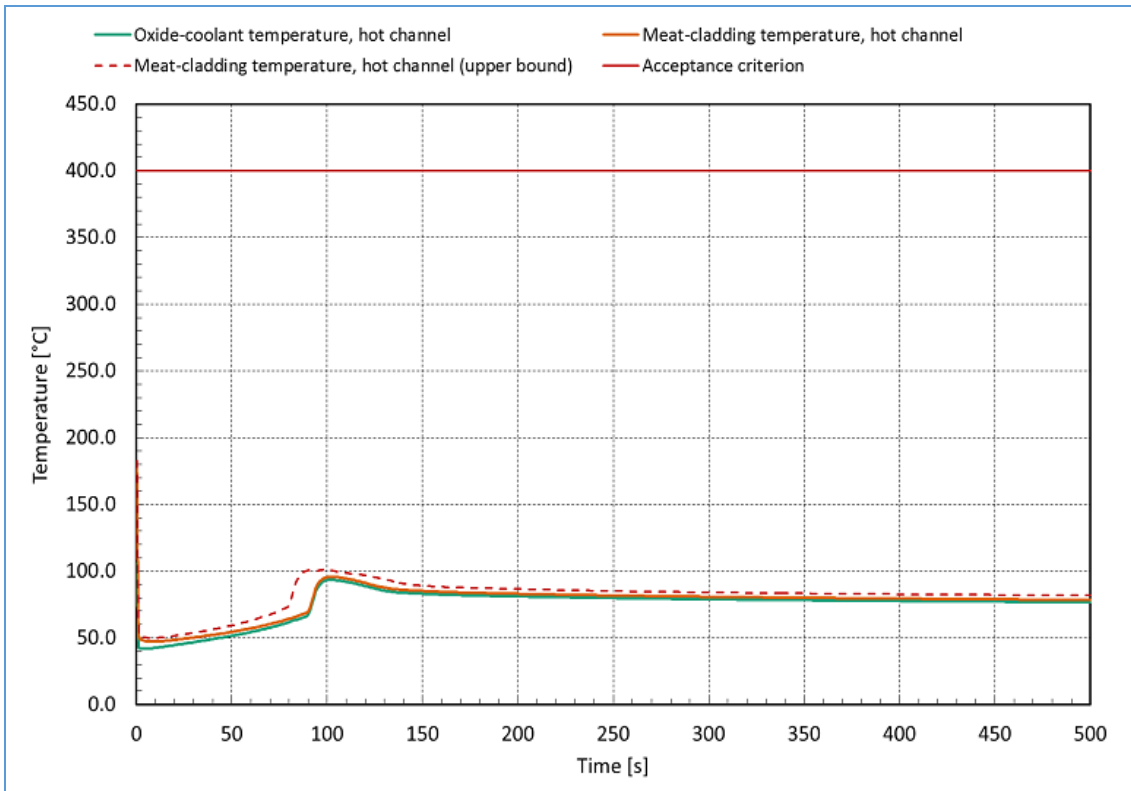
1. In de groep "Verlies van elektriciteitsvoorziening" worden drie omhullende begingebourtenissen beschouwd:
  - PIE-058: Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende 10 uur of minder – Veiligheidsniveau 2;
  - PIE-059: Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende meer dan 10 uur – Veiligheidsniveau 3a;
  - PIE-062: Verlies van het externe elektriciteitsnet en falen van de dieselgeneratoren – Veiligheidsniveau 3b.
2. Het verlies van het externe elektriciteitsnet resulteert onvermijdelijk in het verlies van de Normal Power Supply. Als tevens de Stand-by Power Supply uitvalt (uitval dieselgeneratoren), is er geen elektrische wisselspanning meer beschikbaar (PIE-062). De Uninterruptible Power Supply blijft wel beschikbaar waardoor de voeding van de Reactor Pool en het Reactor Control and Monitoring System gewaarborgd is. Representatief voor de begingebourtenissen van deze groep is PIE-062, waarbij voldaan moet worden aan de acceptatiecriteria van Veiligheidsniveau 2 en 3.
3. Als gevolg van deze gebeurtenis vallen de volgende koelsystemen uit: Primary Cooling System, Pools Cooling System, Long-term Pools Cooling System en Alternative Secondary Cooling System.

### 16.4.12.2 PIE-062: Verlies van het externe elektriciteitsnet en falen van de dieselgeneratoren (Veiligheidsniveau 3b)

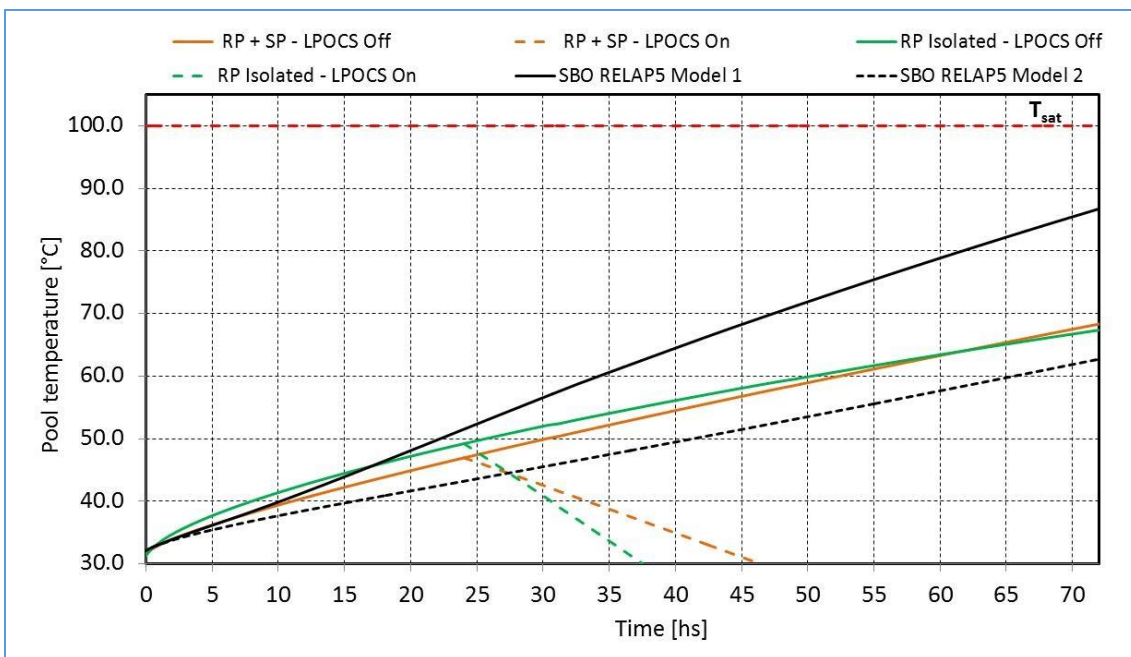
1. Op het moment dat het externe elektriciteitsnet uitvalt gaat, de Normal Power Supply verloren en worden de elektromagneten van de regelstaven spanningsloos. Hierdoor vallen de regelstaven in de kern en schakelt de reactor af. Het First Reactor Protection System geeft bij uitval van de Normal Power Supply ook een afschakelsignaal.
2. Door de uitval van de Normal Power Supply vallen ook de pompen van het Primary en Pools Cooling System uit. Deze pompen lopen dankzij het vliegwiel vertraagd uit. Door het afnemen van de koeldebieten, zullen op een gegeven moment de convectieafsluiters van het Primary en Pools Cooling System opengaan. De pompen van het SCS vallen tevens uit. De vervalwarmte van de kern en de bestralingsposities wordt dan afgevoerd door natuurlijke circulatie van het water in de Reactor Pool, waarbij het poolwater de warmte opneemt. Gedurende het ongeval blijft de temperatuur van de splijstofbekleding beneden het acceptatiecriterium (zie Figuur 16-30) en blijft de kritische warmtefluxratio boven het acceptatiecriterium van Veiligheidsniveau 2.
3. Als enkelvoudig falen is aangenomen dat een convectieafsluiter van het Primary Cooling System en een convectieafsluiter van het Pools Cooling System niet-openen.
4. Door het falen van de Standby Power Supply (dieselgeneratoren) zijn het Long-term Pools Cooling System en het Alternative Secondary Cooling System niet beschikbaar, waardoor de warmte in de pools niet afgevoerd kan worden naar de omgeving.
5. De temperatuur van het water in de Reactor Pool en de Service Pool begint langzaam te stijgen. Na 72 uur is de watertemperatuur nog altijd ruim onder de kooktemperatuur van 100 °C (zie Figuur 16-31).
6. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door natuurlijke circulatie en de afvoer van de vervalwarmte naar de Reactor en Service Pools.
  - De temperatuur van het poolwater wordt onder de verzadigingsgrens gehouden en als gevolg daarvan blijft het waterpeil binnen het operationele niveau.
7. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveaus 2, 3a en 3b (zie paragraaf 16.2) wordt hiermee voldaan.

8. Gedurende 72 uur na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Er is voldoende tijd voor de operator om het LPOCS en ASCS te starten zo gauw de Normal Power Supply of de Stand-by Power Supply (dieselgeneratoren) weer beschikbaar komen, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
9. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

Figuur 16-30: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 062



Figuur 16-31: Waterniveau in de Reactor Pool – PIE 062



## 16.4.13 "Anticipated Transient Without Scram" ongevallen

### 16.4.13.1 Geselecteerde begingebourtenissen

1. De groep "Anticipated Transient Without Scram (ATWS)" betreft Veiligheidsniveau 3b gebeurtenissen. Dit betreft gebeurtenissen waarbij voor Veiligheidsniveau 3a gebeurtenissen tevens falen van het First Shutdown System wordt aangenomen.
2. In deze paragraaf worden de volgende omhullende gebeurtenissen behandeld:
  - PIE-061: Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende meer dan 10 uur met falen van het First Shutdown System;
  - PIE-065: Falen van de PCS-pompen met falen van het First Shutdown System;
  - PIE-068: Middelgrote lekkage in de PCS-persleiding met falen van het First Shutdown System;
  - PIE-071: Falen van de POCS-pompen met falen van het First Shutdown System;
  - PIE-073: Fout bij hanteren Mo-99 targethouder met falen van het First Shutdown System;
  - PIE-074: Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaaf met falen van het First Shutdown System;
  - PIE-079: Middelgrote lekkage in de POCS-persleiding met falen van het First Shutdown System.
3. Het verloop van deze gebeurtenissen wordt in de volgende paragrafen beschreven.

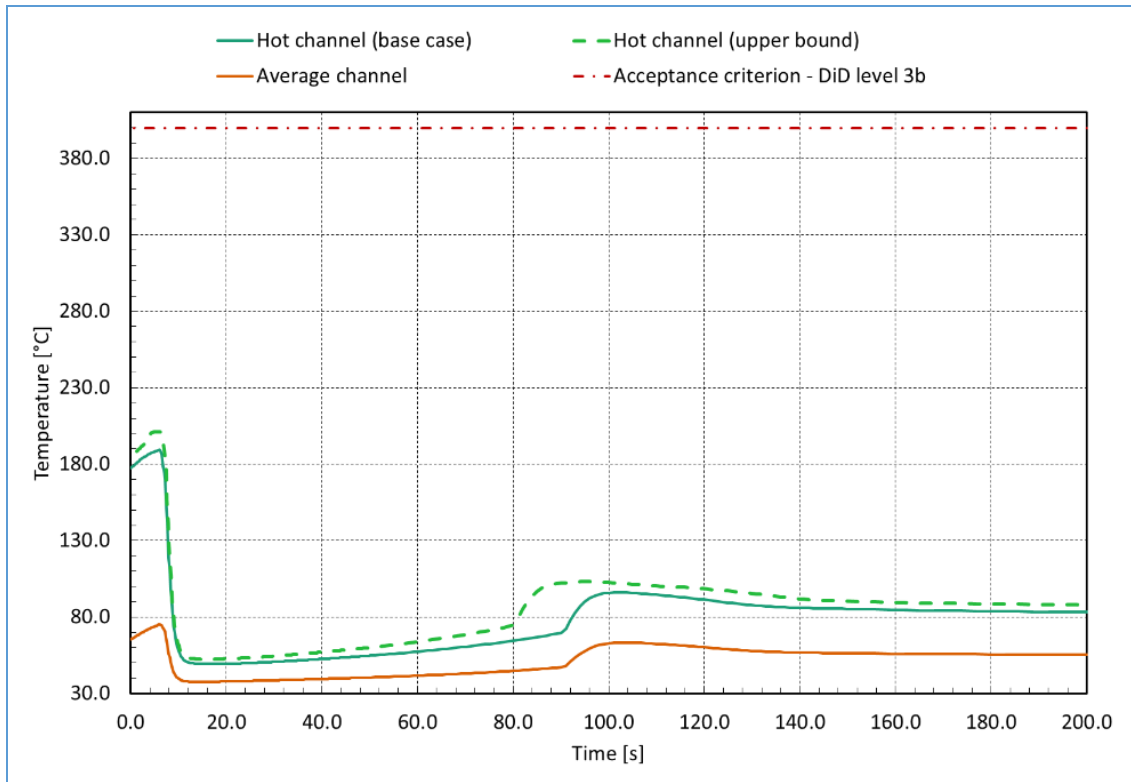
### 16.4.13.2 PIE-061: Verlies van het externe elektriciteitsnet gedurende meer dan 10 uur met falen van het First Shutdown System (Veiligheidsniveau 3b)

1. Op het moment dat het externe elektriciteitsnet uitvalt, gaat de Normal Power Supply verloren en worden de elektromagneten van de regelstaven spanningsloos. Aangenomen wordt dat de regelstaven niet in de kern vallen ten gevolge van falen van het First Shutdown System. De reactor schakelt derhalve niet af.
2. Ten gevolge van het falen van het First Shutdown System wordt het Second Shutdown System geactiveerd. Activering van dit systeem zorgt voor daling van het zwaar waterniveau in de Reflector Vessel, waardoor de reactor sub-kritisch wordt en wordt afgeschakeld na ca. 6 seconden na aanvang van het ongeval. Daarbij is als enkelvoudig falen aangenomen dat één van de kleppen voor afvoer van zwaar water uit de Reflector Vessel niet opent.
3. Door de uitval van de Normal Power Supply vallen ook de pompen van het Primary en Pools Cooling System uit. Deze pompen lopen dankzij het vliegwiél vertraagd uit. Door het afnemen van de koeldebieten, zullen op een gegeven moment de convectieafsluiters van het Pools Cooling System en het Primary Cooling System open gaan (ca. 100 sec.). De vervalwarmte van de kern en de bestralingsposities wordt dan verwijderd door natuurlijke circulatie van het water in de Reactor Pool, waarbij het poolwater de warmte opneemt.
4. Daarbij is aangenomen dat één van de convectieafsluiters van het Primary Cooling System en van het Pools Cooling System niet opent.
5. Voor afvoer van de warmte uit de pools naar de omgeving zijn het Long-term Pools Cooling System en het Alternative Secondary Cooling System beschikbaar. De watertemperatuur van de pools blijft ruim onder de kooktemperatuur van 100 °C.
6. Ten gevolge van het afschakelen van de reactor door het Second Shutdown System neemt het reactorvermogen sterk af en daarmee de temperatuur van de splijtstofbekleding. Door de uitloop van de pompen van het Primary en Pools Cooling System is er nog enige tijd geforceerde koeling. Na korte tijd openen de convectieafsluiters van het Pools Cooling System en het Primary Cooling System en stelt zich een koeling door natuurlijke convectie in. Gedurende het ongeval blijft de conservatief bepaalde temperatuur van de splijtstofbekleding beneden het acceptatiecriterium en blijft de kritische warmtefluxratio boven de veiligheidsdoelstelling van Veiligheidsniveau 3b (zie Figuur 16-32 en Figuur 16-33).
7. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.

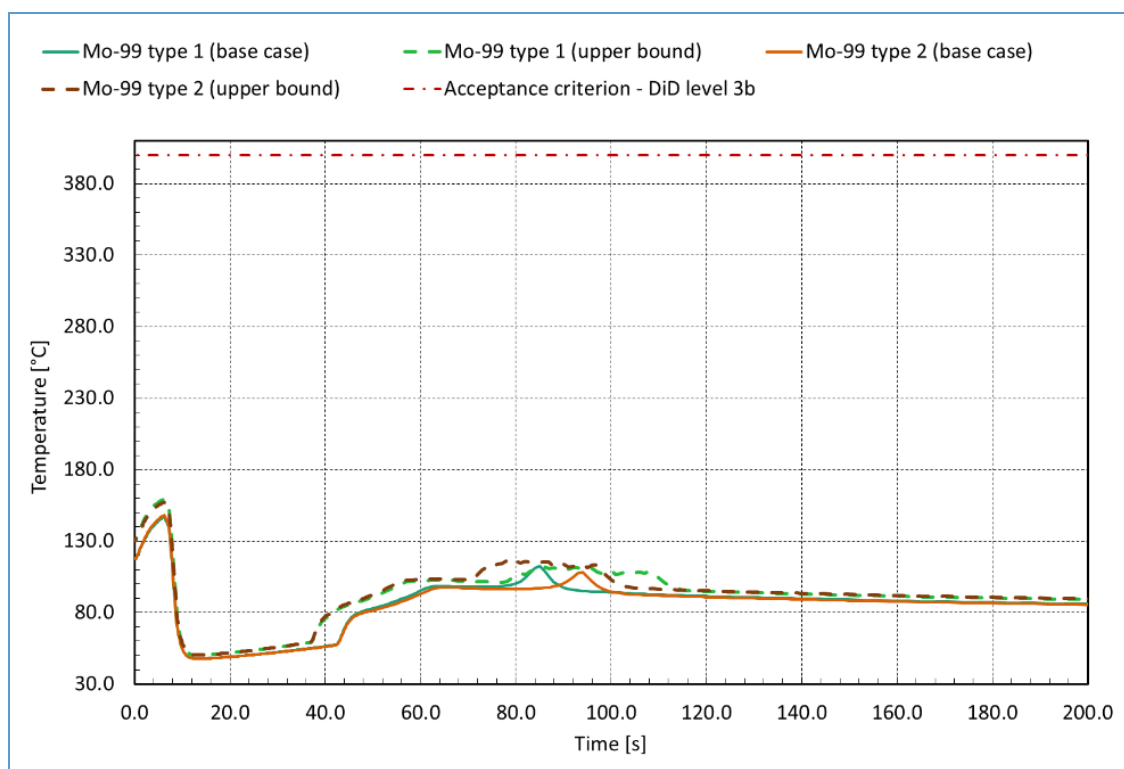


- De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door natuurlijke circulatie en de afvoer van de vervalwarmte naar de Reactor en Service Pools.
  - De temperatuur van het poolwater wordt onder de verzadigingsgrens gehouden en als gevolg daarvan blijft het waterpeil binnen het operationele niveau.
8. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt hiermee voldaan.
9. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het LPOCS en ASCS te starten.
10. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-32: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 061**



Figuur 16-33: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets – PIE-061

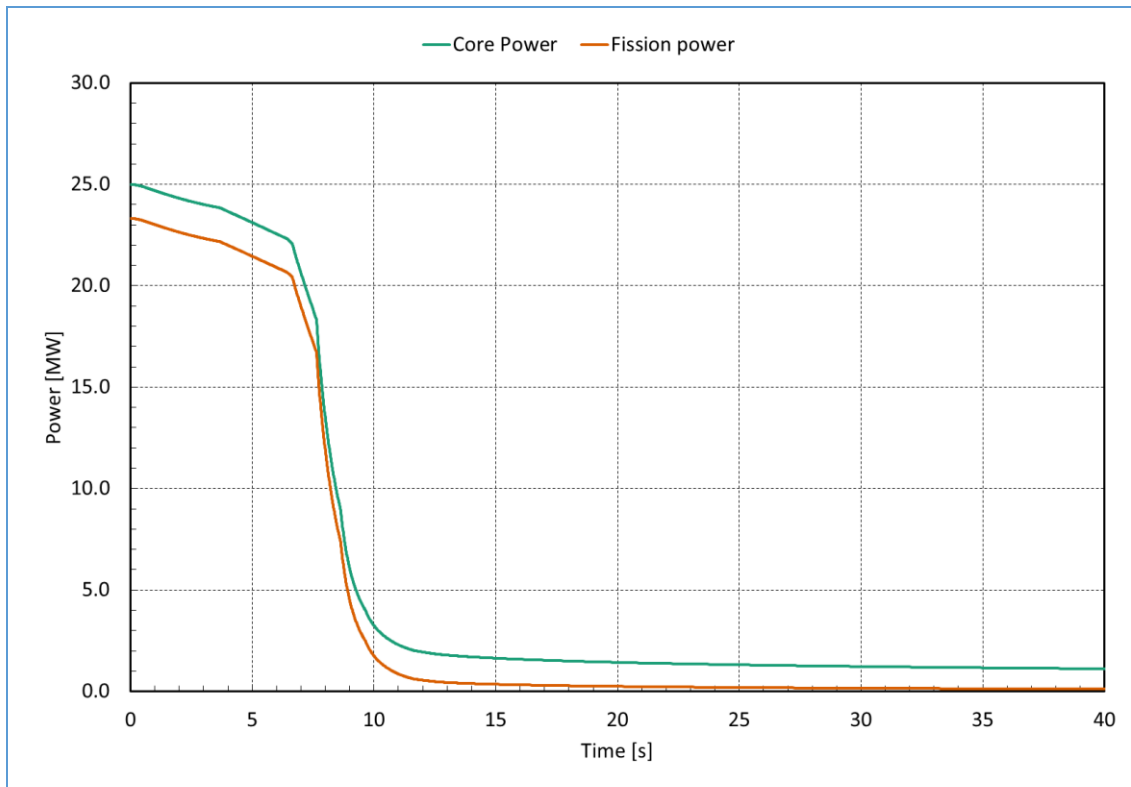


#### 16.4.13.3 PIE-065: Falen van de PCS-pompen met falen van het First Shutdown System (Veiligheidsniveau 3b)

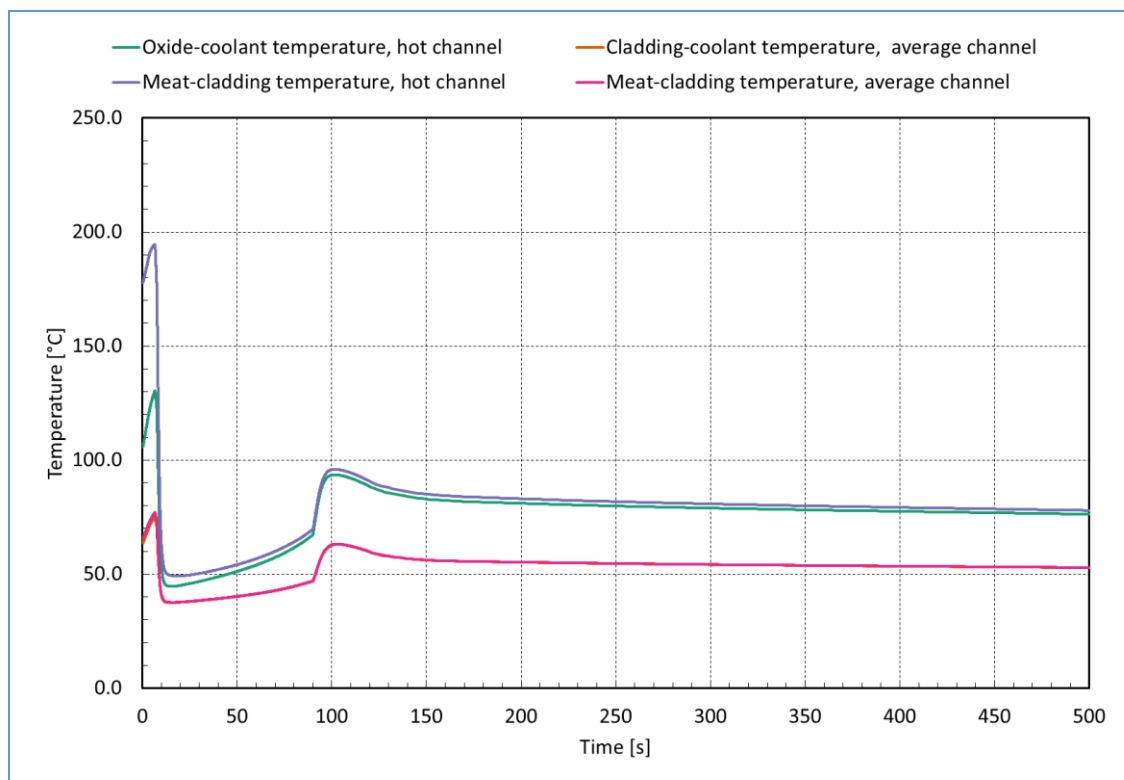
1. Deze gebeurtenis betreft het uitvallen van de beide in bedrijf zijnde PCS-pompen met het falen van het First Shutdown System. Door de uitval van de PCS-pompen neemt de PCS-koelwaterstroom geleidelijk af dankzij het vliegwiel van de pompen.
2. Het setpoint van het First Shutdown System voor 'laag drukverschil over de kern' wordt snel na aanvang van het ongeval bereikt. Aangenomen wordt echter dat het First Shutdown System faalt.
3. Ten gevolge van het falen van het First Shutdown System wordt het Second Shutdown System geactiveerd. Hierna wordt de reactor afgeschakeld na ca. 6 seconden na aanvang van het ongeval. Daarbij is aangenomen dat één van de kleppen voor afvoer van zwaar water uit de Reflector Vessel niet opent. Ten gevolge van het afschakelen van de reactor daalt het reactorvermogen (zie Figuur 16-34).
4. Door de uitloop van de pompen van het Primary Cooling System is er nog enige tijd geforceerde koeling. Ten gevolge van het verminderde koelwaterdebiet zal de temperatuur van het koelwater uit de kern stijgen. Er treedt een geringe temperatuurstijging op van het koelwater en van de splijtstofbekleding (zie Figuur 16-35), terwijl de kritische warmtefluxratio licht daalt.
5. Na enige tijd (ca. 100 sec.) openen de convectieafsluiters van het Primary Cooling System waarbij aangenomen is dat één van de twee bovenste convectieafsluiters niet opent. Hierna stelt zich een koeling door natuurlijke convectie in waardoor de kern voldoende gekoeld wordt.
6. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern is verzekerd door natuurlijke convectie en de koeling van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling. De afvoer van de vervalwarmte verloopt via het POCS en het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.

7. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
8. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om de POCS- en SCS-pompen handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling is gewaarborgd.
9. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

Figuur 16-34: Reactorvermogen - PIE-065



Figuur 16-35: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 065

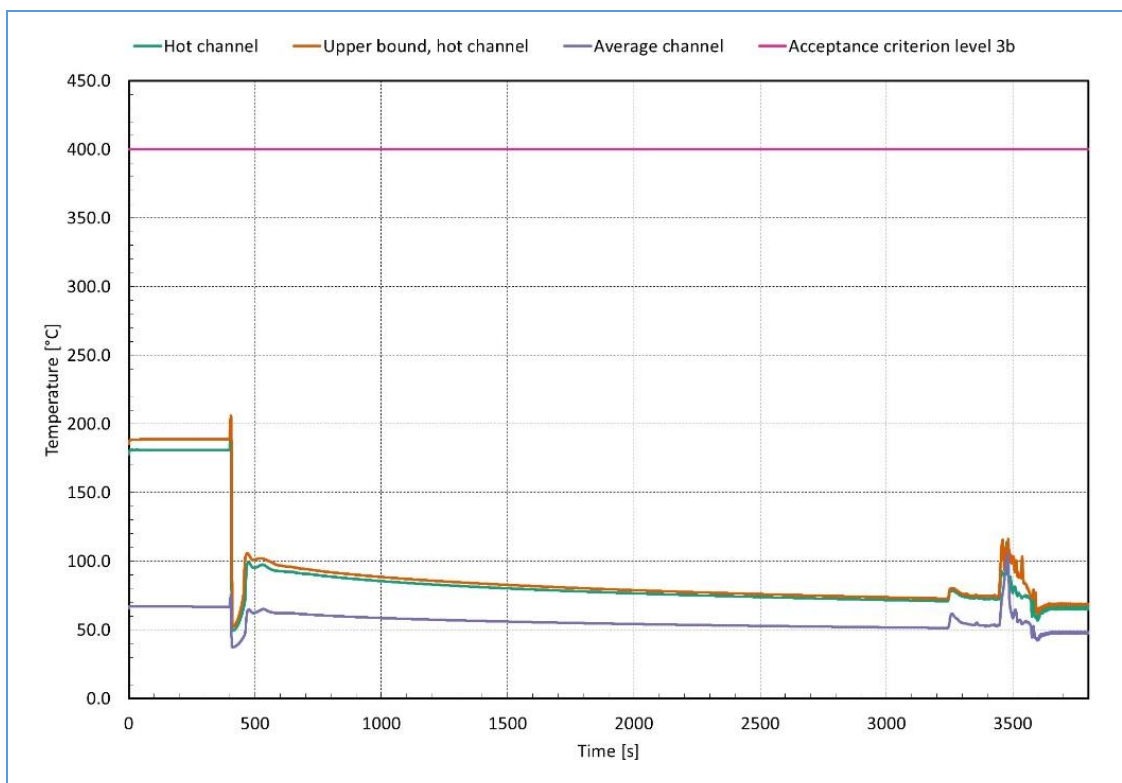


#### 16.4.13.4 PIE-068: Middelgrote lekkage in de PCS-persleiding met falen van het First Shutdown System (Veiligheidsniveau 3b)

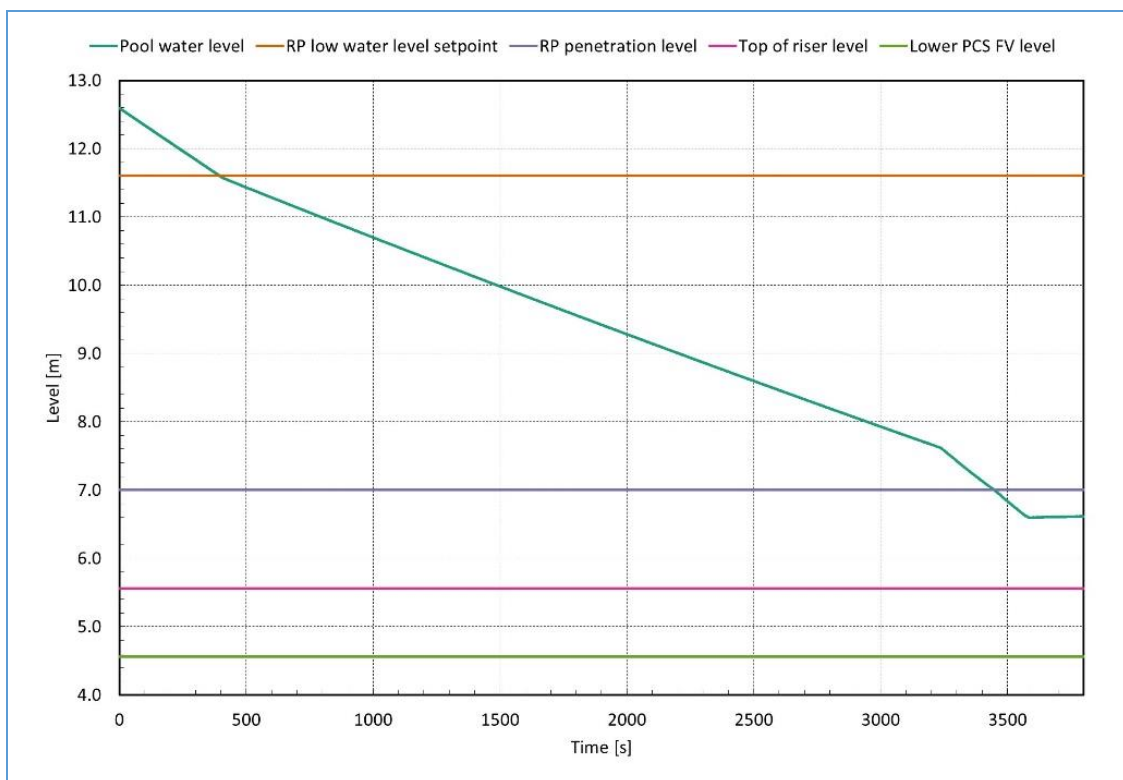
1. Deze gebeurtenis heeft betrekking op lekkage in de persleiding van een PCS-pomp. De lekkage bestaat uit een lekopening van 50 cm<sup>2</sup>tussen de PCS-pomp en de warmtewisselaar.
2. Aangenomen is dat één van de twee bovenste convectieafsluiters van het PCS niet opent. Daarnaast is aangenomen dat het First Shutdown System faalt en van het Second Shutdown System één van de kleppen voor afvoer van zwaar water uit de Reflector Vessel niet opent.
3. Het ongeval begint met de reactor op vol vermogen, waarna de lekkage optreedt. Het waterniveau in de Reactor Pool en de Service Pool begint te dalen. De druk in het PCS neemt af door de lekkage waardoor het koelwaterdebiet door de kern daalt, waardoor de temperatuur van het uitgaande koelwater toeneemt. Het niveau in de Reactor Pool neemt zodanig af dat het signaal 'laag waterniveau' komt. Hierop worden de PCS en POCS pompen automatisch uitgeschakeld. Aangenomen wordt dat het First Shutdown System faalt. Derhalve wordt de reactor niet afgeschakeld. De temperatuur van het koelwater en van de splijtstofbekleding (zie Figuur 16-36) nemen door het afgenomen koeldebiet toe.
4. Ten gevolge van het falen van het First Shutdown System wordt het Second Shutdown System geactiveerd. Kort hierna wordt de reactor afgeschakeld (na ca. 400 sec.).
5. Ten gevolge van het verder verlagen van de druk in het PCS en het POCS openen uiteindelijk de PCS-convectieafsluiters en de POCS-convectieafsluiters, en stelt zich natuurlijke circulatie in, naast de uitstroom door het lek, waardoor de kern de Mo-99 targets gekoeld worden. Na enige tijd bereikt het waterniveau in de Reactor Pool de hevelbrekers (7 meter, zie Figuur 16-37). Een paar minuten later stopt de lekkage, omdat de onderzijde van de hevelbrekers is bereikt en het bassinwater niet meer kan wegstromen. De watertemperatuur in de Reactor Pool stijgt langzaam en bereikt bijna de verzadigingstemperatuur van 100 °C na ongeveer 72 uur.
6. Kort voordat de reactor afgeschakeld wordt stijgt de temperatuur van de splijtstofbekleding licht en daalt de kritische warmtefluxratio licht.

7. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld door het Second Shutdown System en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door natuurlijke circulatie en de afvoer van de vervalwarmte naar de Reactor en Service Pools.
  - De temperatuur van het poolwater wordt onder de verzadigingsgrens gehouden.
  - Het waterpeil blijft boven de reactorkern en de bestralingsfaciliteiten waardoor er voldoende water aanwezig is voor het in standhouden van de natuurlijke circulatie.
8. Vanwege het waterniveau in de Reactor Pool na 72 uur is er voldoende tijd beschikbaar voor de operator om een veilige toestand te waarborgen.
9. Omdat het waterpeil uiteindelijk onder het niveau van de leidingen van het koelsysteem zakt, moet water worden bijgevuld naar de Reactor Pool om de koelsystemen op lange termijn te kunnen starten. Deze actie gebeurt automatisch wanneer het Hot Water Layer System normaal werkt, en kan ook worden uitgevoerd via additionele systemen voor watertoevoer die de operator kan starten. Nadat het waterpeil zich boven de LPOCS-zuigleiding bevindt, kan de operator het LPOCS en het ASCS starten voor lange termijn koeling om de veilige toestand te bereiken.
10. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
11. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-36: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 068**



Figuur 16-37: Waterniveau in de Reactor Pool – PIE 068

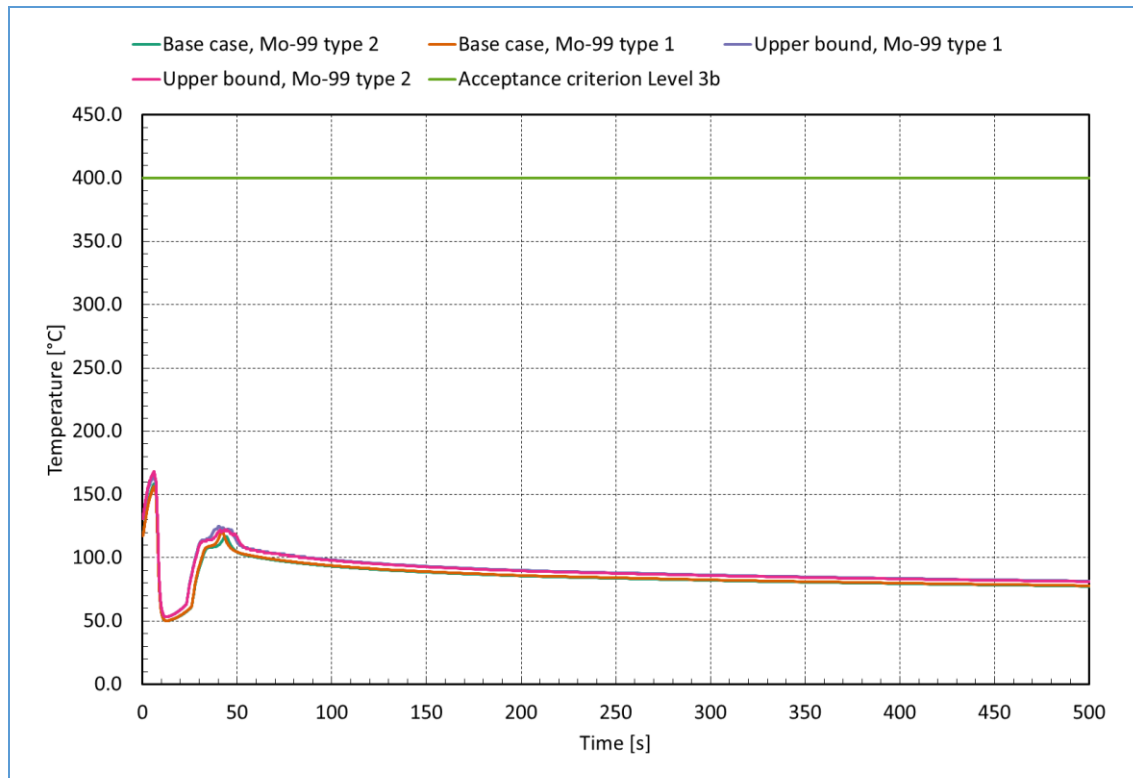


#### 16.4.13.5 PIE-071: Falen van de POCS-pompen met falen van het First Shutdown System (Veiligheidsniveau 3b)

1. Deze gebeurtenis betreft het uitvallen van de beide in bedrijf zijnde POCS-pompen met het falen van het First Shutdown System. Door de uitval van de POCS-pompen neemt de POCS-koelwaterstroom geleidelijk af dankzij het vliegwiel van de pompen.
2. Het setpoint van het First Shutdown System voor 'laag drukverschil over de Out of Core Irradiation Facilities' wordt snel na aanvang van het ongeval bereikt. Aangenomen wordt echter dat het First Shutdown System faalt.
3. Ten gevolge van het falen van het First Shutdown System wordt het Second Shutdown System geactiveerd. Hierna wordt de reactor afgeschakeld na ca. 6 seconden na aanvang van het ongeval. Daarbij is aangenomen dat één van de kleppen voor afvoer van zwaar water uit de Reflector Vessel niet opent. Ten gevolge van het afschakelen van de reactor daalt het reactorvermogen.
4. Door de uitloop van de POCS-pompen is er nog enige tijd geforceerde koeling. Ten gevolge van het verminderde koelwaterdebiet zal de temperatuur van het koelwater vanuit de Mo-99 targets stijgen. Er treedt een geringe temperatuurstijging op van de bekleding van de Mo-99 targets (zie Figuur 16-38), terwijl de kritische warmtefluxratio daalt.
5. Na enige tijd opent één convectieafsluiter van het Pools Cooling System, aangenomen is namelijk dat één van beide convectieafsluiters niet opent. Hierna stelt zich een koeling door natuurlijke convectie in waardoor de Mo-99 targets voldoende gekoeld worden.
6. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern is verzekerd door geforceerde koeling en de afvoer van de vervalwarmte verloopt via het SCS. De koeling van de Mo-99 targets is verzekerd door natuurlijke convectie.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.

7. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
8. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om de PCS- en SCS-pompen handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
9. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-38: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets – PIE-071**

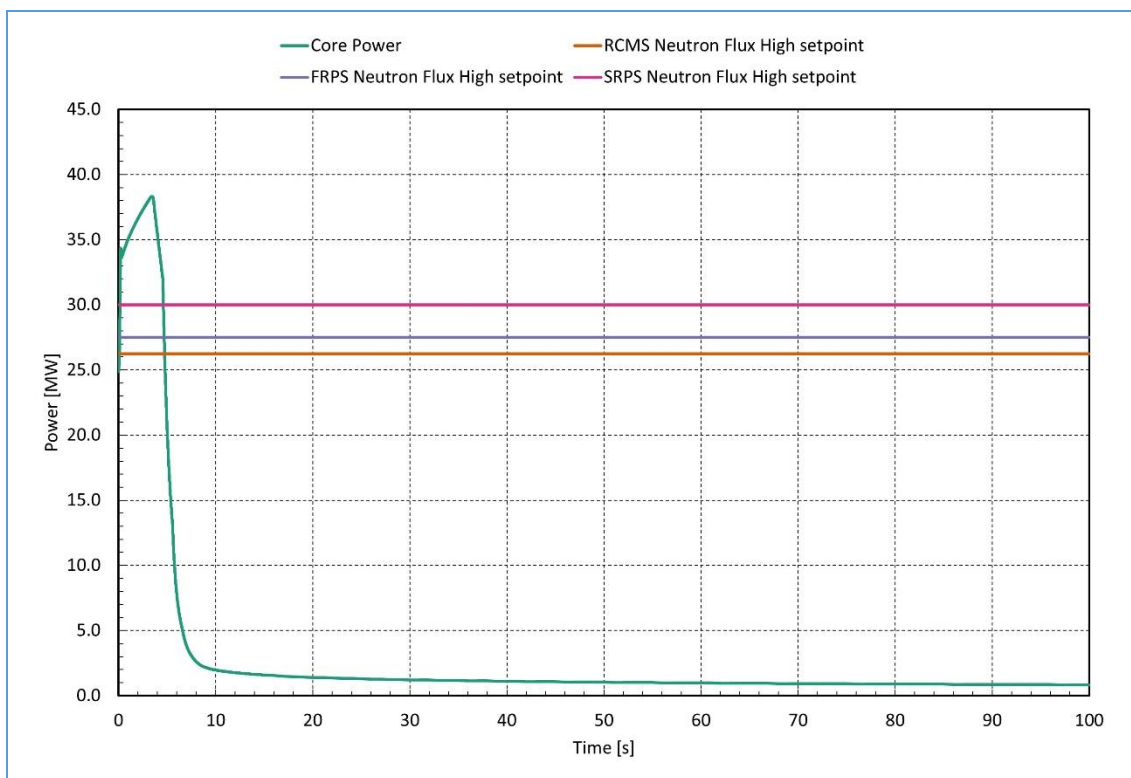


#### 16.4.13.6 PIE-073: Fout bij hanteren Mo-99 targethouder met falen van het First Shutdown System (Veiligheidsniveau 3b)

1. Deze gebeurtenis veronderstelt een fout bij het hanteren van een Mo-99 targethouder gecombineerd met het falen van het First Shutdown System.
2. Uitgangssituatie is vol vermogen, waarna aangenomen wordt dat een Mo-99 targethouder binnen 0,2 seconde naar de bestralingspositie bewogen wordt en de reactiviteit toeneemt met 240 pcm. Deze toename komt overeen met de maximale reactiviteitswaarde van een Mo-99 targethouder plus 20 %.
3. Ten gevolge van de reactiviteitstoename neemt het vermogen van de reactor toe (zie Figuur 16-39). Het setpoint van het First Reactor Protection System voor maximaal vermogen (ca. 27,5 MW) wordt bereikt, maar dit wordt verondersteld niet te functioneren.
4. Vervolgens wordt het setpoint van het Second Reactor Protection System voor maximaal vermogen (ca. 30,0 MW) bereikt, maar aangenomen wordt dat het First Shutdown System faalt. Ten gevolge van het falen van het First Shutdown System wordt het Second Shutdown System geactiveerd, waarbij aangenomen is dat één van de kleppen voor afvoer van zwaar water uit de Reflector Vessel niet opent. Hierna wordt de reactor afgeschakeld na ca. 3 seconden na aanvang van het ongeval. Onmiddellijk hierna wordt de maximale splijfstofbekledingstemperatuur bereikt (zie Figuur 16-40) en de laagste kritische warmtefluxratio.
5. De reactor bereikt de beheerste toestand doordat aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

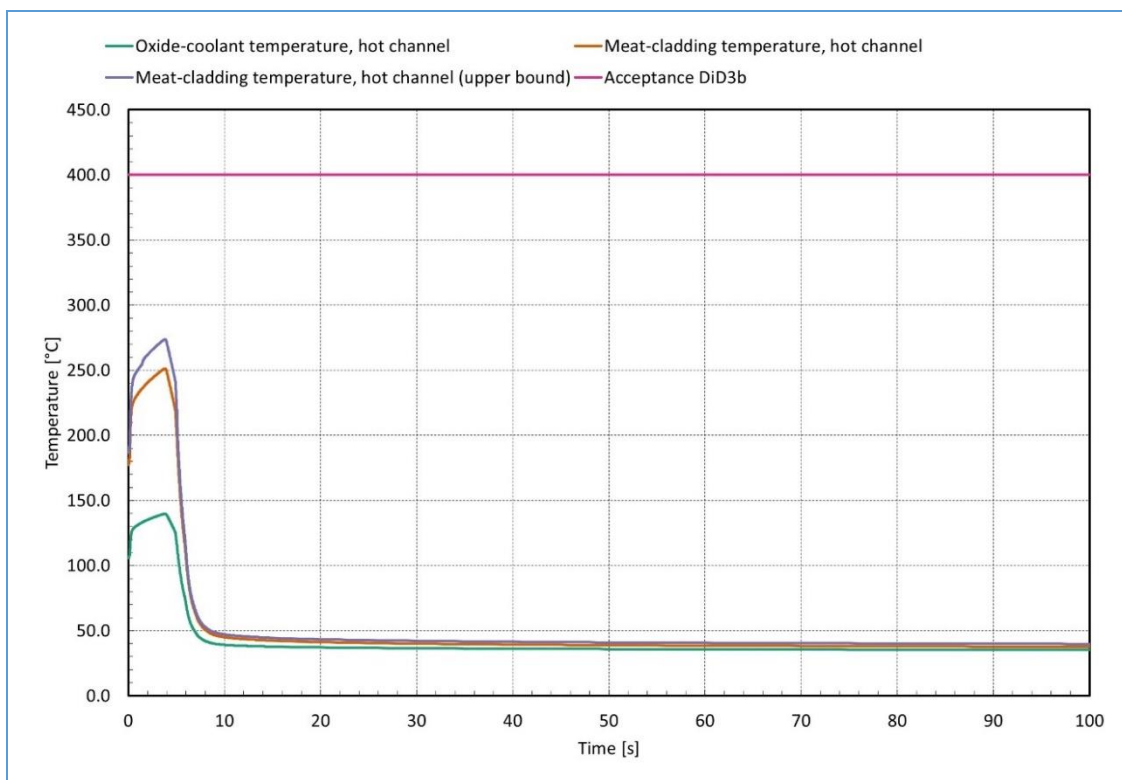
- De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling met behulp van de PCS- en POCS-pompen en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
6. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
7. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.
8. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-39: Reactorvermogen - PIE-073**





Figuur 16-40: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen – PIE 073



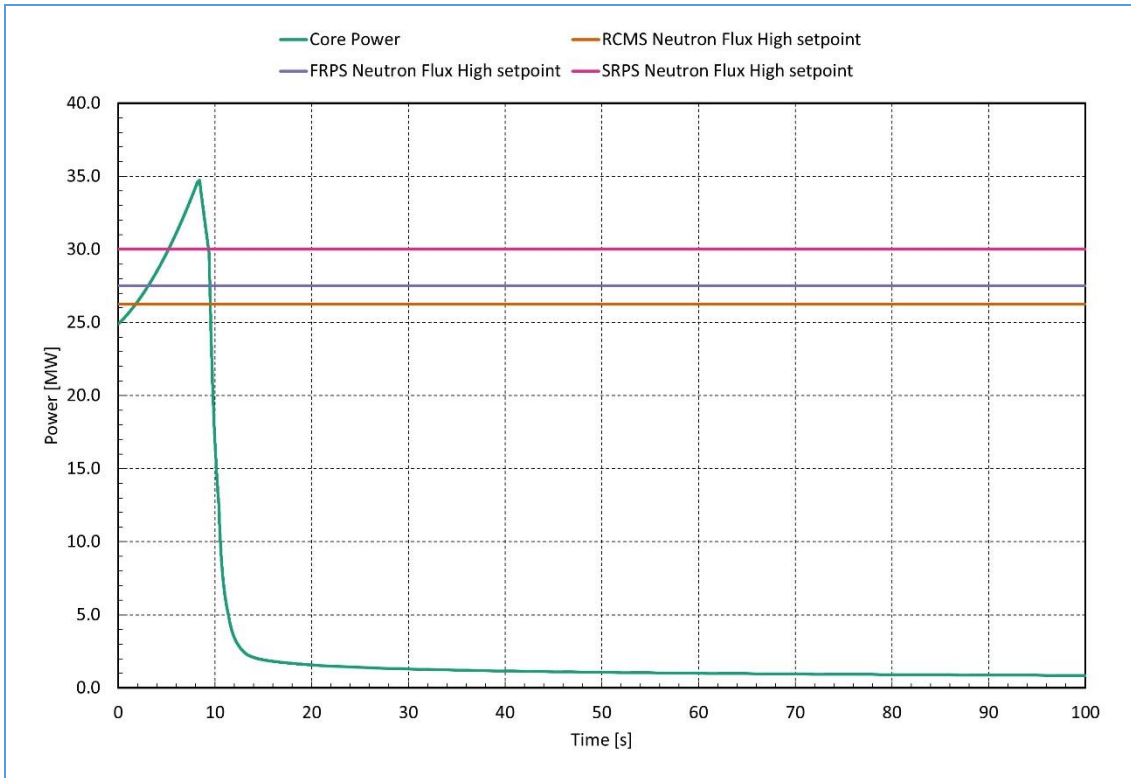
#### 16.4.13.7 PIE-074: Onbedoeld uitbewegen van een regelstaaf met falen van het First Shutdown System (Veiligheidsniveau 3b)

1. Deze gebeurtenis veronderstelt een onbedoeld, continu uit de kern bewegen van de meest effectieve regelstaaf met de reactor op vol vermogen gecombineerd met het falen van het Reactor Control and Monitoring System en het falen van het First Shutdown System. Ten gevolge hiervan blijft de meest effectieve regelstaaf uit de kern bewegen totdat deze volledig uitbewogen is.
2. Uitgangssituatie is vol vermogen, waarna de meest effectieve regelstaaf met maximale snelheid uit de kern wordt bewogen. Het vermogen van de reactor neemt toe. Het setpoint van het First Reactor Protection System voor maximaal vermogen (ca. 27,5 MW) wordt bereikt, maar aangenomen wordt dat het First Shutdown System faalt.
3. Vervolgens wordt het setpoint van het Second Reactor Protection System voor maximaal vermogen (ca. 30,0 MW) bereikt (zie Figuur 16-41). Ten gevolge van het falen van het First Shutdown System wordt het Second Shutdown System geactiveerd, waarbij aangenomen is dat één van de kleppen voor afvoer van zwaar water uit de Reflector Vessel niet opent. Hierna wordt de reactor afgeschakeld na ca. 8 seconden na aanvang van het ongeval. Onmiddellijk hierna wordt de maximale splijtstofbekledingstemperatuur bereikt (zie Figuur 16-42) en de laagste kritische warmtefluxratio.
4. De reactor bereikt de beheerste toestand doordat aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door geforceerde koeling met behulp van de PCS- en POCS-pompen en de afvoer van de vervalwarmte via het SCS.
  - De temperatuur van het poolwater wordt binnen het operationele bereik gehouden door de in bedrijf zijnde koelsystemen. Ook het waterpeil blijft binnen het operationele niveau.
5. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
6. Gedurende 60 minuten na het optreden van de gebeurtenis is geen handeling van de operator verondersteld. Vervolgens is er voldoende tijd voor de operator om het PCS, POCS en SCS

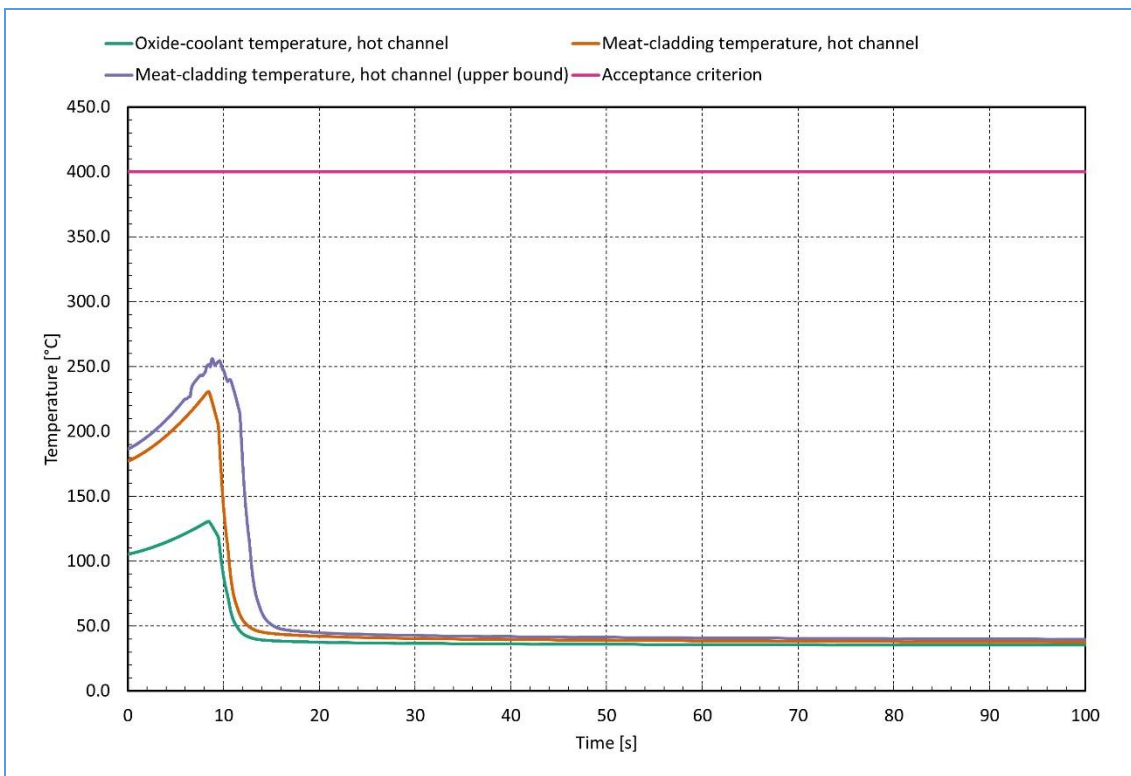
handmatig volgens de procedures uit te schakelen en het LPOCS en ASCS te starten, waarmee langdurige koeling van de kern is gewaarborgd.

7. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

**Figuur 16-41: Reactorvermogen - PIE-074**



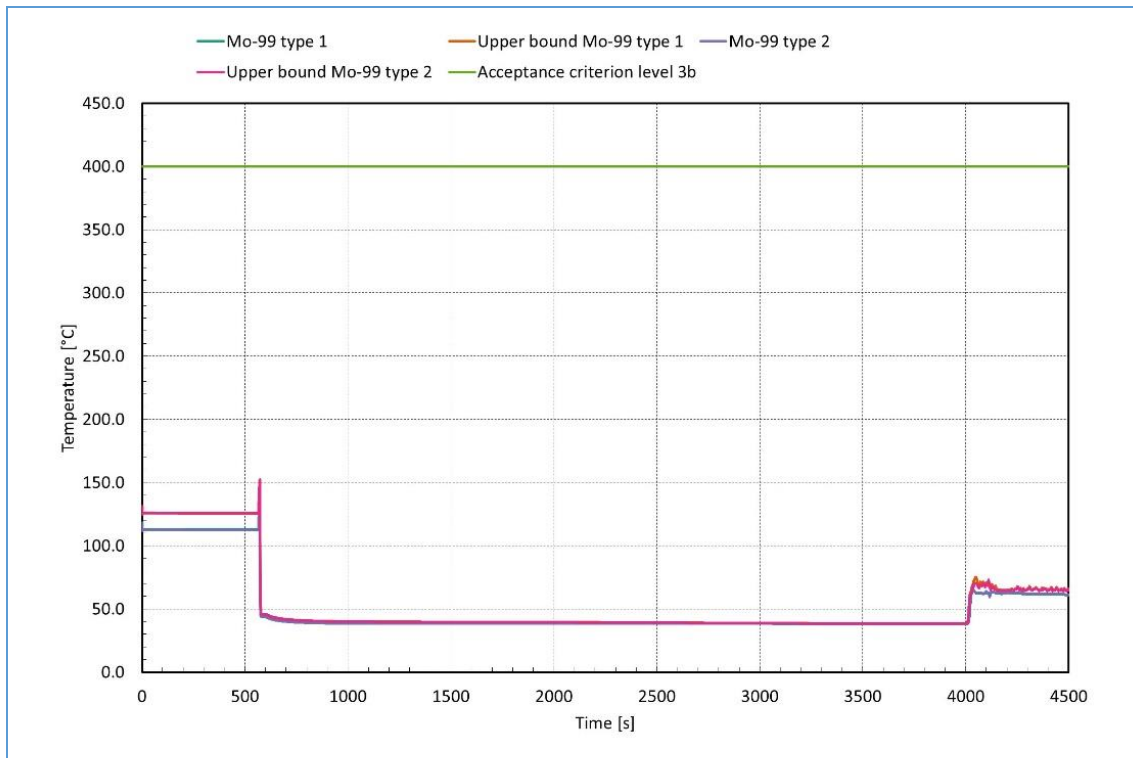
**Figuur 16-42: Temperatuur van de bekleding van de splijtstofelementen - PIE 074**



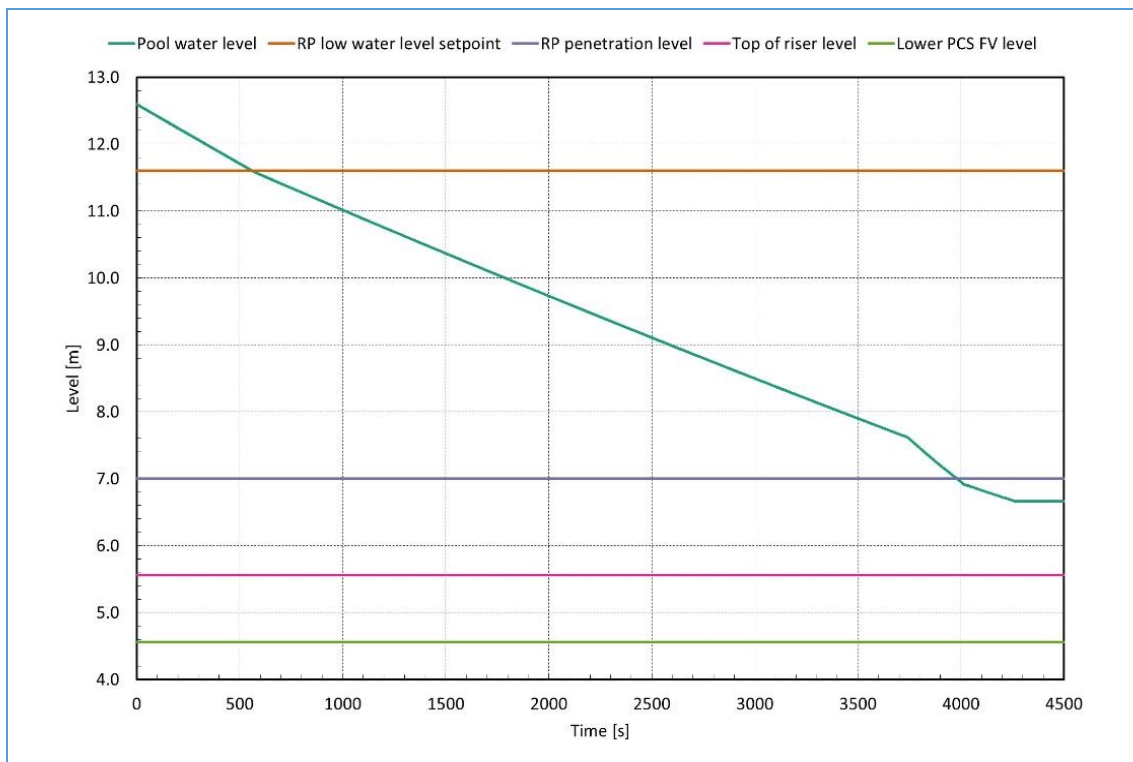
#### 16.4.13.8 PIE-079: Middelgrote lekkage in de POCS-persleiding met falen van het First Shutdown System (Veiligheidsniveau 3b)

1. Deze gebeurtenis heeft betrekking op lekkage in de persleiding van een POCS-pomp. De lekkage bestaat uit een lekopening van 50 cm<sup>2</sup>, tussen de POCS-pomp en de warmtewisselaar.
2. Aangenomen is dat één van de twee convectieafsluiters van het POCS niet opent. Daarnaast is aangenomen dat het First Shutdown System faalt en van het Second Shutdown System één van de kleppen voor afvoer van zwaar water uit de Reflector Vessel niet opent.
3. Het ongeval begint met de reactor op vol vermogen, waarna de lekkage optreedt. Het waterniveau in het Reactor Pool en de Service Pool begint te dalen. Door de breuk daalt de druk in het POCS, wat leidt tot een verhoging van het waterdebiet in de Mo-99 bestralingsfaciliteiten. Het waterdebiet in de kern blijft tijdens de eerste periode na aanvang van het ongeval nagenoeg dezelfde als bij normaal bedrijf.
4. Het waterniveau in het Reactor Pool bereikt het FRPS-instelpunt. Hierop schakelt de reactor niet af omdat het First Shutdown System faalt. De PCS en POCS pompen worden automatisch uitgeschakeld. De temperatuur van het koelwater en van de bekleding van de Mo-99 targets (zie Figuur 16-43) nemen door het afgenomen koeldebiet toe.
5. Ten gevolge van het falen van het First Shutdown System wordt onmiddellijk hierna het Second Shutdown System geactiveerd. Hierna wordt de reactor afgeschakeld.
6. Kort daarop openen de PCS-convectieafsluiters en stelt zich natuurlijke circulatie in waardoor de kern wordt gekoeld en de warmte wordt afgevoerd naar de Reactor Pool.
7. Na verdere daling van het waterniveau in de Reactor Pool tot de hevelbrekers (7 meter, zie Figuur 16-44) stopt de lekkage, omdat de onderzijde van de hevelbrekers is bereikt en het bassinwater niet meer kan wegstromen. Kort daarop opent één van de twee POCS-convectieafsluiters en stelt zich natuurlijke circulatie in waardoor de Mo-99 bestralingsfaciliteiten worden gekoeld en de warmte wordt afgevoerd naar de Reactor Pool.
8. Het waterniveau in het Reactor Pool is gedaald tot ongeveer 6,7 meter en blijft constant (zie Figuur 16-44).
9. De reactor bereikt de beheerste toestand als volgt:
  - De reactor is met succes afgeschakeld en bevindt zich in een subkritische toestand.
  - De koeling van de kern en van de Mo-99 targets is verzekerd door natuurlijke circulatie en de afvoer van de vervalwarmte naar de Reactor en Service Pools.
  - De temperatuur van het poolwater wordt onder de verzadigingsgrens gehouden.
  - Het waterpeil blijft boven de reactorkern en de bestralingsfaciliteiten waardoor er voldoende water aanwezig is voor het in standhouden van de natuurlijke circulatie.
10. Vanwege het waterniveau en de watertemperatuur in de Reactor Pool na 72 uur is er voldoende tijd beschikbaar voor de operator om een veilige toestand te waarborgen.
11. Omdat het waterpeil uiteindelijk onder het niveau van de leidingen van het koelsysteem zakt, moet water worden bijgevuld naar de Reactor Pool om de koelsystemen op lange termijn te kunnen starten. Deze actie gebeurt automatisch wanneer het Hot Water Layer System normaal werkt, en kan ook worden uitgevoerd via additionele systemen voor watertoevoer die de operator kan starten. Nadat het waterpeil zich boven de LPOCS-zuigleiding bevindt, kan de operator het LPOCS en het ASCS starten voor lange termijn koeling om de veilige toestand te bereiken.
12. Aan de acceptatiecriteria voor Veiligheidsniveau 3b (zie paragraaf 16.2) wordt voldaan.
13. Deze gebeurtenis heeft geen radiologische gevolgen voor het reactorpersoneel of de bewoners in de omgeving omdat er geen schade aan de barrières optreedt.

Figuur 16-43: Temperatuur van de bekleding van de Mo-99 targets - PIE-079



Figuur 16-44: Waterniveau in de Reactor Pool - PIE 079



## 16.4.14 Interne gevaren

### 16.4.14.1 Algemeen

1. Deze paragraaf beschrijft incidenten in de PALLAS-reactor die niet het gevolg zijn van defecten in de reactorkern maar die de veiligheid van de reactor kunnen beïnvloeden. Ze worden samengevat in de volgende lijst met interne gevaren:
  - interne brand;
  - interne overstroming;
  - Falen van componenten met mogelijke invloed voor veiligheidsrelevante systemen of componenten;
  - val van een zware last;
  - elektromagnetische storingen;
  - Botsing van voertuigen op het reactorterrein met veiligheidsrelevante structuren, systemen of componenten;
  - interne explosies in de reactorinstallatie;
2. Voor elk van de interne gevaren wordt gekeken naar hun impact op de reactorveiligheid en de prestaties van de veiligheidssystemen. Ook in het geval van interne gevaren moeten de drie fundamentele veiligheidsfuncties worden gegarandeerd; beheersing van reactiviteit, afvoer van warmte en insluiting van radioactief materiaal (zie hoofdstuk 2).
3. De interne gevaren worden door de PALLAS-reactor allen beheerst op het veiligheidsniveau 1, door conservatief ontwerp van de systemen, zoals ruimtelijke scheiding van redundante systeemonderdelen. De toelichting op de interne gevaren is daarom hierop gericht en bevat geen analyse van ongevalsscenario's als gevolg ervan.

### 16.4.14.2 Interne brand

1. De potentiële bronnen voor een interne brand, de brandbelasting en de locatie van systemen en componenten die belangrijk zijn voor de veiligheid van de reactor, zijn bepaald met een brandrisicoanalyse. Op grond hiervan zijn adequate brandbeveiligings- en mitigatiemaatregelen ontworpen waaronder brandcompartimenten, branddetectie- en brandbestrijdingssystemen. De beoordeling van brandbeveiligingsmaatregelen is gedaan vanuit het oogpunt van nucleaire veiligheid, waarbij is gekeken naar mogelijke gevolgen van een interne brand voor de nucleaire veiligheid en het personeel in het Reactor Building.
2. De brandcompartimentering is vastgesteld op basis van de veiligheidsclassificatie van de systemen die zich in elke ruimte bevinden. Ruimtes met systemen of componenten van Veiligheidsklasse 1 hebben een nucleaire veiligheidsfunctie en zijn daarom aparte brandcompartimenten.
3. Per ruimte is de brandbelasting bepaald en de brandduur wordt berekend. De brandwerendheid van de scheidingen wordt bepaald op basis van de brandduur.
4. Een interne brand kan de volgende oorzaken hebben:
  - Uitval van elektrische systemen. De elektrische systemen zijn ontworpen volgens normen voor elektrische bescherming voor apparatuur. De toepassing van brandvertragende materialen vertragen het ontstaan en de verspreiding van een brand na kortsluiting.
  - Brandbare vloeistoffen binnen het nucleaire eiland: Brandbare vloeistoffen worden niet permanent opgeslagen in het Reactor Building. Er zijn kleine hoeveelheden brandbare vloeistoffen in het Nuclear Island Building voor reiniging en onderhoud. De inventaris, het gebruik en de toegang tot deze materialen worden strikt gecontroleerd.
  - De dieselgeneratoren. Deze bevinden zich niet in het Nuclear Island Building. De dieselgeneratoren worden gescheiden van items die belangrijk zijn voor de veiligheid. Bovendien is elke dieselgenerator voorzien van zijn eigen geschikte brandbeveiliging.
  - Ongevallen tijdens onderhoud of reparatie: het snijden, bewerken en lassen van metaal kan tot ontsteking leiden. Deze activiteiten worden uitgevoerd onder strikte procedures.

Handmatige brandslangen en brandblussers zijn overal in de reactor beschikbaar. Bovendien worden automatische brandbestrijdingssystemen en brandcompartimenten door ontwerp geïmplementeerd met specifieke aandacht om schade aan items die belangrijk zijn voor de veiligheid te voorkomen.

5. Uit de brandrisicoanalyses blijkt dat de drie fundamentele veiligheidsfuncties niet door een interne brand in gevaar worden gebracht. Het First en Second Reactor Protection System zijn ontworpen volgens het veilig falen principe. Storingen in deze voorziening of hun stroomvoorziening leiden tot acties die geen negatieve invloed op de veiligheid van de reactor hebben. Wanneer door een interne brand bepaalde signalen verloren gaan, zullen deze systemen de reactor automatisch afschakelen. De koeling wordt voor lange tijd gegarandeerd door het water in de Reactor Pool en Service Pool. Aparte brandcompartimenten voor de opslag van radioactief materiaal zijn voorzien van een brandblussysteem die een brand in deze ruimten en het als gevolg daarvan vrijkomen van radioactief materiaal voorkomen.

#### 16.4.14.3 Interne overstroming

1. Een analyse is uitgevoerd naar de mogelijke oorzaken van een interne overstroming. Hierbij is gekeken naar bronnen voor een overstroming, de paden waarlangs een overstroming zich kan verplaatsen en de mogelijke gevolgen van een overstroming op veiligheidsklasse 1 systemen. Er is onderscheid gemaakt tussen mogelijke oorzaken binnen in en buiten het Reactor Containment.
2. Door de milde operationele condities (lage temperaturen en drukken) en de hoge waterkwaliteit wordt een breuk in leidingen of een falende afsluiter binnen het Reactor Containment als zeer onwaarschijnlijk beschouwd. Alle ruimtes die systemen herbergen, die water bevatten, zijn waar nodig uitgerust met opvangbakken met afvoeren en putten, die eventueel gelekt water afvoeren naar de LOCA-Pools in de kelder. Elektrische componenten zijn waar nodig op een verhoging geplaatst.
3. Een lekkage wordt gedetecteerd zodra deze in de opvangbak komt, waarbij een alarm wordt gegenereerd in de Main Control Room. De leidingen en componenten zijn gemaakt van materiaal van hoge kwaliteit, geleverd door gekwalificeerde leveranciers. Voor het lassen van de onderdelen worden strikte procedures gevolgd om de kwaliteit te borgen.
4. Zowel binnen als buiten het Reactor Containment zijn de brandbestrijdingssystemen een mogelijke bron voor interne overstroming. Ruimtes met brandbestrijdingssystemen die gebruik maken van water zijn waar nodig voorzien van waterafvoer.

#### 16.4.14.4 Falen van componenten met mogelijke invloed voor veiligheidsrelevante systemen of componenten

1. De systemen van de PALLAS-reactor opereren bij drukken die overeenkomen met de atmosferische druk en bij lage temperaturen. Er zijn daarom geen ongevallen denkbaar met hoogenergetische leidingsystemen (stoom).
2. Interne gevaren door het falen van componenten is slechts denkbaar voor de vliegwielen van de pompen van het Primary Cooling System. Dit zijn de enige componenten die in staat zijn om, wanneer de as breekt, componenten van het Primary Cooling System in gevaar te brengen. De gevolgen hiervan zijn echter beperkt omdat de pompen zijn ontworpen volgens aardbevingsklasse 1. Verder worden de pompen afgeschakeld in het geval van te veel vibratie, en bevinden zij zich in afzonderlijke ruimtes waardoor ze elkaar niet kunnen beschadigen. De gevolgen van een eventuele pijpbreuk worden afgedekt door de analyse van een interne overstroming.

#### 16.4.14.5 Val van een zware last

1. De items die belangrijk zijn voor de veiligheid en die beschadigd kunnen raken bij een val van een zware last, bevinden zich met name in de reactorhal in de Reactor Pool en de Service Pool. Hierbij zijn de Reactorhalkraan en de Operation Bridge (zie hoofdstuk 4) van belang.

2. De Reactorhalkraan heeft een vergrendeling die de beweging van de haak boven de reactorkern en de splijststofopslagrekken in de Reactor en Service Pool beperkt (no go-gebieden) en daarmee het laten vallen van lasten op de kern en opslag van verbruikte splijststof te vermijdt.
3. Deze bewegingsbeperking kan worden uitgeschakeld indien nodig voor specifieke onderhoudswerkzaamheden. Hiervoor moet een specifieke procedure worden gevolgd. Het ontwerp van de Reactorhalkraan heeft meerdere voorzieningen om te voorkomen dat (een deel van) de getransporteerde lading of van de kraan zelf schade kan toebrengen aan structuren, systemen en componenten die belangrijk zijn in de Reactor en Service Pool.
4. De Operation Bridge bevindt zich boven de Reactor en Service Pool en het Transfer Canal en maakt het operators mogelijk om handelingen uit te voeren in de Pools, middels een beweegbare trolley dwars op het hoofdplatform. Een hijswerktuig op de trolley wordt gebruikt om gereedschap en lasten te hanteren. Het ontwerp van de Operation Bridge, de trolley en het hijswerktuig zijn voorzien van veiligheidsvoorzieningen om te voorkomen dat voorwerpen in de Pools kunnen vallen, wat de veiligheidssystemen in de Reactor Pool en Service Pool zou kunnen beschadigen.

#### 16.4.14.6 Elektromagnetische storingen

1. Het ontwerp van structuren, systemen en componenten zorgt ervoor dat elektrische en elektronische apparaten en apparatuur niet worden beïnvloed door elektromagnetische interferentie veroorzaakt door onder andere elektromagnetische inductie, elektrostatische opname, kortsluiting en aardfouten.
2. De volgende ontwerpmaatregelen zijn geïmplementeerd om interferenties te voorkomen:
  - kabels en apparatuur zijn voorzien van aarding en atmosferische beveiliging.
  - Kabels (elektriciteitskabels en kabels van instrumentatie- en regelsystemen) van verschillende veiligheidsklassen en verschillende spanningsklassen zijn gemonteerd in gescheiden kabelgoten. De kabelgoten zijn op voldoende afstand van elkaar geplaatst om interferentie-effecten tussen voeding en controlesystemen tot een minimum te beperken;
  - Het versterkte staal in de structuur van het gebouw fungeert als "kooi van Faraday" rond het Reactor Building en biedt een gemeenschappelijk 'aardpotentieel' voor de hele faciliteit. Waar nodig wordt extra aarding aangebracht in ruimtes;
  - Stroomkabels bevinden zich op een geschikte afstand van elektronische apparatuur;
  - Apparatuur die belangrijk is voor de veiligheid is ontworpen en gekwalificeerd tegen onder andere elektromagnetische interferentie en radiofrequentie-interferentie;
  - Elektrische isolatie tussen systemen en redundancies.

#### 16.4.14.7 Botsing van voertuigen op het reactorterrein met veiligheidsrelevante structuren, systemen of componenten

1. Transportincidenten kunnen plaatsvinden buiten het Reactor Building en vormen daarmee geen risico voor de veiligheidssystemen binnen het Reactor Building en daarmee niet voor de veiligheid van de reactor.
2. Van transportmiddelen binnen het Reactor Building wordt verzekerd dat deze geen toegang hebben tot ruimtes met veiligheidsrelevante systeemonderdelen of wordt voorkomen dat zij deze onderdelen kunnen beschadigen.
  -

#### 16.4.14.8 Interne explosies in de reactorinstallatie

1. De potentiële bronnen voor een interne explosie en de locatie van systemen en componenten die belangrijk zijn voor de veiligheid van de reactor, zijn bepaald met een brandrisicoanalyse. Op grond hiervan zijn twee systemen geïdentificeerd die brandbare gassen kunnen produceren, het deuterium-recombinatiecircuit van het Heavy Water Cooling and Purification System en de batterijen van de Uninterrupted Power Supply.

2. Wanneer zwaar water wordt bestraald in de Reflector Vessel, vindt er een ontledingsreactie (radiolyse) plaats. Als gevolg hiervan worden deuterium- en zuurstofgassen geproduceerd. Het deuterium-recombinationcircuit combineert zuurstof en deuterium tot water en handhaaft de deuteriumconcentratie onder het brandbaarheidsniveau. Bovendien handhaaft het de temperatuur onder het vlampunt en voorkomt ophoping van zuurstof / deuterium.
3. De accubanken en bijbehorende Uninterrupted Power Supply systemen bevinden zich in verschillende brandcompartimenten die fysieke scheiding garanderen. Batterijkamers zijn uitgerust met een ventilatiesysteem om ophoping van waterstof te voorkomen. De lucht wordt rechtstreeks uit het gebouw afgevoerd door een apart en redundant systeem. Zo wordt het waterstofniveau onder het vlampunt gehouden.

#### 16.4.14.9 Conclusie

1. De interne gevaren zijn bij de PALLAS-reactor allen beheerst op het veiligheidsniveau 1 door conservatief ontwerp van de systemen. De interne gevaren kunnen niet leiden tot het niet voldoen aan de acceptatiecriteria uit paragraaf 16.2.

### 16.4.15 Externe gevaren

#### 16.4.15.1 Algemeen

1. De locatie van de PALLAS-reactor is onderzocht, op basis waarvan de menselijke en natuurlijke externe gevaren en combinaties daarvan zijn geïdentificeerd (zie hoofdstuk 3).
2. Het uitgangspunt van het ontwerp van de PALLAS-reactor gebouwen is dat voldoende bescherming tegen deze externe gevaren geboden kan worden, zodat de veiligheidssystemen, die zich in de gebouwen bevinden, geen nadelige gevolgen van deze gevaren kunnen ondervinden. Hierbij wordt ook voorkomen dat een extern gevaar zich op enigerlei wijze kan verspreiden en daarmee andere storings van systemen en componenten kan veroorzaken die tot interne gebeurtenissen of gevaren kunnen leiden.
3. De veiligheidskenmerken voor bescherming tegen externe gevaren worden geleverd op basis van de volgende criteria:
  - het voorkomen van het gevaar;
  - het ontwerp van structuren, systemen en componenten om de effecten van het gevaar te weerstaan;
  - de scheiding tussen redundante apparatuur;
  - de onafhankelijkheid tussen systemen die nodig zijn voor normaal gebruik en veiligheidssystemen;
  - de redundantie van veiligheidssystemen;
  - de locatie van structuren, systemen en componenten die voor de veiligheid belangrijk zijn, zorgt voor een adequate bescherming tegen externe gevaren.
4. Bij de beoordeling van de bestendigheid van de gebouwen is rekening gehouden met:
  - de afstand van het gevaar tot de gebouwen;
  - de noodmaatregelen die bij vroegtijdige waarschuwing genomen kunnen worden;
  - de mogelijke combinaties van externe gevaren die de ernst van de situatie kunnen vergroten.
5. De externe gevaren zijn geïdentificeerd op basis van de mogelijke schade die zij aan het de PALLAS-reactor kunnen veroorzaken en op de kans van voorkomen van een gevaar. Dit heeft geresulteerd in de volgende externe gevaren waartegen voorzieningen zijn opgenomen in het ontwerp:
  - vliegtuigongeval;
  - externe explosies;
  - aardbeving;
  - externe overstroming;



- extreme meteorologische omstandigheden;
  - elektromagnetische interferentie;
  - blokkering van waterinlaat / -uitlaat van SCS.
6. In het ontwerp van het Reactor Building en de Aircraft Protective Shell zijn de belastingen als gevolg van een vliegtuigongeval, interne en externe explosies, seismische gebeurtenissen, extreme weersomstandigheden en brandgevaaren meegenomen.

#### 16.4.15.2 Vliegtuigongeval

1. Er wordt rekening gehouden met de directe impact van een vliegtuigongeval op de PALLAS-reactor. PALLAS is uitgerust met een Aircraft Protective Shell om de bescherming van de structuren, systemen en componenten te waarborgen die benodigd zijn om de drie fundamentele veiligheidsfuncties te garanderen.
2. Voor de evaluatie van de gevolgen van een vliegtuigongeval is gekeken naar lokale schade aan de gebouwen als gevolg van de impact. Daarnaast is de impact op structuren, systemen en componenten geëvalueerd op globale schaal, waarbij is gekeken naar grote vervormingen, verplaatsingen en de effecten van trillingen en een bijkomende brand.
3. Uit de analyse van de gevolgen van een vliegtuigongeval is gebleken dat de Aircraft Protective Shell in staat is alle belastingen als gevolg van de impact en de bijkomende brand voldoende te weerstaan om het functioneren van de benodigde veiligheidssystemen te garanderen.

#### 16.4.15.3 Externe explosies

1. Voor de analyse van externe explosies is rekening gehouden met de risico's afkomstig van de opslag van gevaarlijke stoffen, industriële installaties, militaire sites en transport via de lucht, land of water in de omgeving van de PALLAS-reactor.
2. Uit de analyses is gebleken dat de Aircraft Protective Shell voldoende bescherming biedt tegen de impact van een externe explosie, waarbij de gevolgen zijn afgedekt door die van een vliegtuigongeval.
- 3.

#### 16.4.15.4 Aardbeving

1. De structuren, systemen en componenten van de PALLAS-reactor zijn seismisch geklasseerd overeenkomstig hun belang voor de veiligheid voor de reactor (zie hoofdstuk 2). Deze seismische klasse bepaalt de aardbevingsbelasting waartegen zij bestand zijn om tijdens en na deze aardbeving hun functie te kunnen vervullen.
2. De gevolgen van een aardbeving zijn onder te verdeling in grondbeweging, liquefactie en verticale verplaatsing van het grondoppervlak. Liquefactie is een toestand van de grond, waarbij deze zich als zijnde een vloeistof gaat gedragen.
3. De gevolgen hiervan op de PALLAS-reactor zijn geanalyseerd, waarbij is gekeken naar het falen van veiligheidssystemen, het vallen van voorwerpen (met name in de pools) die kunnen leiden tot een ongevalsconditie, interne brand en overstroming.
4. In het ontwerp van de PALLAS-reactor is hier vervolgens rekening mee gehouden, onder meer door stabilisatie, keuze van de diepte van de fundering en van de soort fundering, lokale verbeteringen van de grond, versterkingen in muren en vloeren en het toepassen van ondersteunende structurele componenten.
5. De analyse van het ontwerp van het Nuclear Island Building laat zien dat deze tegen de ontwerpbasis aardbeving bestand is.

#### 16.4.15.5 Externe overstroming

1. Het omhullende scenario bepalend voor het overstromingsniveau voor het Nuclear Island Building is gebaseerd op het scenario van de stormvloed op de Noordzee en lokaal intensieve neerslag.

2. Er zijn twee overstromingsniveaus gedefinieerd op basis van een kans van 1 op respectievelijk 10.000 jaar en 1.000.000 jaar (zie hoofdstuk 3). Bij deze overstromingsniveaus is rekening gehouden met de effecten van zetting van het gebouw na de bouw en bodemdaling.
3. De mogelijke effecten veroorzaakt door externe overstromingen zijn:
  - verlies van elektriciteitsvoorziening;
  - infiltratie van water of binnendringend water door openingen in interne delen van het Reactor Building waarbij structuren, systemen en componenten beschadigd kunnen worden;
  - falen van structuren, systemen en componenten;
4. Het ontwerp van de PALLAS-reactor beschermt op een conservatieve manier tegen externe overstromingen. Dit is gedaan door structuren, systemen en componenten die nodig zijn om de reactor in een veilige toestand te brengen, te ontwerpen tegen een overstromingsniveau met een kans van voorkomen van 1 op 1.000.000 jaar. Voor de overige structuren, systemen en componenten wordt ontworpen voor een overstromingsniveau met een kans van voorkomen van 1 op 10.000 jaar. Dit wordt verzekerd door de lay-out van het Nuclear Island Building en de hoogte van structuren, systemen en componenten. Bovendien kan tijdig op een stormvloed op de Noordzee worden geanticipeerd, zodat de installatie tijdig in een veilige staat gebracht kan worden.

#### 16.4.15.6 Extreme meteorologische omstandigheden

1. Het ontwerp van de PALLAS-reactor tegen extreme meteorologische omstandigheden garandeert dat de werking van veiligheidssystemen niet negatief wordt beïnvloed.
2. De extreme meteorologische omstandigheden die een relevante bedreiging kunnen vormen zijn extreme wind, neerslag, sneeuwval, zand/stofstorm, hagelstorm, en tornado's.
3. Voor extreme wind zijn de gevolgen van rondvliegende lichte en zware voorwerpen geanalyseerd, waaronder:
  - verlies van elektriciteitsvoorziening;
  - globale schade aan externe betonstructuren;
  - effecten op het ventilatiesysteem;
  - schade aan hulpsystemen (zie hoofdstuk 10);
  - schade aan beveiligingssystemen.
4. Extreme neerslag kan leiden tot statische belasting van muren en fundering en tot externe overstroming. In het ontwerp is rekening gehouden met voldoende afvoer van water en de additionele belastingen.
5. Extreme sneeuwval kan leiden tot een grote belasting van het dak van het Nuclear Island Building. Bij het ontwerp van het dak is hier rekening mee gehouden, zodat eventuele sneeuwophoping geen negatieve gevolgen kan hebben.
6. De gevolgen van extreme meteorologische omstandigheden worden afgedekt door de gevolgen van een vliegtuigongeval en externe explosies. De Aircraft Protective Shell biedt derhalve ook voldoende bescherming voor extreme meteorologische omstandigheden, om de werking van de veiligheidssystemen te garanderen. Extreme meteorologische omstandigheden kunnen bovendien tijdig worden gesignaleerd zodat preventieve maatregelen kunnen worden genomen.

#### 16.4.15.7 Elektromagnetische interferentie

1. Externe elektromagnetische interferentie kan veroorzaakt worden door:
  - bliksemgevaar;
  - draadloze communicatie;
  - opstarten van elektromotoren;
  - elektrostatische oplading;
  - kortsluitingen in open circuits;
  - aardingsfouten;
  - hoogspanningscircuits.

2. Elektromagnetische interferentie kan directe en indirecte gevolgen hebben waaronder:
  - storingen in elektrische en elektronische systemen;
  - spanningspieken of dalen in de voeding;
  - schade aan elektrische, elektronische en mechanische apparatuur;
  - schade aan niet-geleidende constructies;
  - foutieve activering van systemen;
  - niet beschikbaar zijn van systemen.
3. Om dit tegen te gaan zijn in het ontwerp van de PALLAS-reactor maatregelen genomen om de systemen te beschermen tegen elektromagnetische interferentie (zie paragraaf 16.4.14.6).

#### 16.4.15.8 Blokkade van de waterinlaat van het SCS

1. De Secondary Cooling System neemt koelwater in uit het Noordhollandsch Kanaal en verzorgt hiermee de uiteindelijke afvoer van de warmte afkomstig van de reactor naar de Noordzee. De beschikbaarheid van dit systeem kan in gevaar komen door blokkades van de inname of uitlaat door biologisch materiaal, drijvende materialen/afval in het kanaalwater en ijsvorming in de winter.
2. Het water uit het Noordhollandsch Kanaal loopt onder natuurlijk verval naar een pompput nabij de PALLAS-reactor, van waaruit het water naar de reactor wordt gepompt. De dubbele, redundante innamepunten bij het kanaal zijn voorzien van een filter en chlorering om de aanslag van algen in de koelwaterleiding tegen te gaan. Bovendien is de instroomsnelheid bij het innamepunt laag genoeg om te voorkomen dat grotere diersoorten in het kanaalwater mee worden gezogen en vast komen te zitten in de filters.
3. De innamepunten bevinden zich onder het waterniveau waardoor ijsvorming slechts beperkte invloed zal hebben.
4. Naast deze maatregelen, zal middels onderhoud een blokkade worden voorkomen en er zijn instrumenten aangebracht die een onverhoopte blokkade tijdig detecteren. Om voldoende koeling te waarborgen is het mogelijk om het reactorvermogen te verlagen of de reactor af te schakelen.

#### 16.4.15.9 Conclusie

1. De externe gevaren zijn bij de PALLAS-reactor beheerst doordat de redundante veiligheidssystemen in de PALLAS-reactor zijn voorzien van voldoende fysieke scheiding om bescherming te bieden tegen plaatselijke nadelige effecten als gevolg van externe gevaren (belastingen, trillingen, rondvliegende objecten, brand en overstromingen). De Aircraft Protective Shell en het Nuclear Island Building bieden bescherming tegen externe gevaren.

## 16.5 Probabilistische veiligheidsanalyse

### 16.5.1 Inleiding

1. Deze paragraaf behandelt het doel, de scope, de methodiek en de resultaten van de probabilistische veiligheidsanalyses van de PALLAS-reactor.
2. Probabilistische veiligheidsanalyses wordt in veel landen steeds vaker gebruikt als aanvulling op de deterministische veiligheidsanalyses en als onderdeel van het besluitvormingsproces om het veiligheidsniveau van nucleaire installaties te beoordelen en om verschillende risico-geïnformeerde toepassingen te ondersteunen.
3. Probabilistische analyses zijn gericht op het identificeren en analyseren van mogelijke scenario's waarbij schade aan de kern of andere radioactieve bronnen kan optreden met een lozing naar de omgeving. De (kern)schade en lozingen ten gevolge hiervan, kunnen het resultaat zijn van allerlei verschillende interne en externe begingebourtenissen (procesverstoringen) waarbij het falen van (meerdere) bedrijfs- en veiligheidssystemen en/of het falen van menselijk handelen wordt

verondersteld. Het probabilistisch karakter van de analyses ligt in het beschouwen van de frequentie van optreden van de begingebourtenissen en de afzonderlijke faalkansen van systemen en/of menselijk handelen.

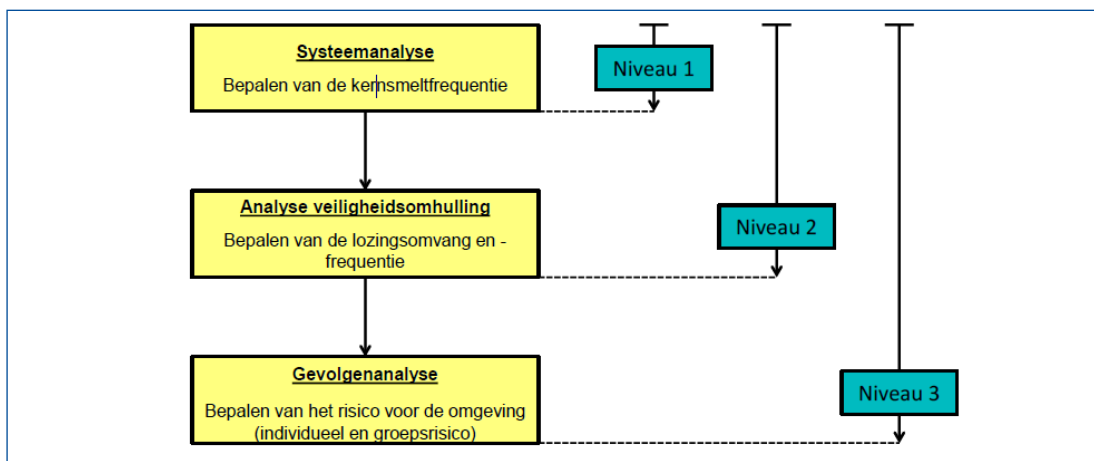
### 16.5.2 Doel en Scope van de PSA

1. Het doel van de probabilistische veiligheidsanalyses is tweeledig. Enerzijds wordt aangetoond dat de veiligheid van het ontwerp van de PALLAS-reactor evenwichtig en robuust is. Dit wordt gedaan door potentiële risico's te identificeren, kwantificeren en onderling te vergelijken, waarmee wordt aangetoond dat er geen begingebourtenis, falen van een veiligheidssysteem of menselijk falen is, met een disproportioneel grote of onzekere bijdrage aan het totale risico. Anderzijds kunnen de resultaten van de analyses worden getoetst aan de wettelijke eisen met betrekking tot stralingsrisico's voor ernstige ongevallen, zoals onder andere vastgelegd in het Besluit kerninstallatie, splijtstoffen en ertsen en de ANVS Handreiking VOBK (een Veilig Ontwerp en het veilig Bedrijven van Kernreactoren).
2. PALLAS zal alle niveaus van de probabilistische veiligheidsanalyse uitvoeren, voor alle interne gebeurtenissen, alle, interne en externe gevaren en voor alle bedrijfstoestanden. De analyse wordt ontwikkeld in overeenstemming met de mate van detail van het ontwerp.
3. Op basis van het huidige ontwerp zijn begingebourtenissen beschouwd die behoren tot de zogenaamde interne gebeurtenissen, zoals het falen van componenten of menselijk falen. De bedrijfstoestanden die beschouwd zijn betreffen vermogensbedrijf en niet-vermogensbedrijf (reactor afgeschakeld).
4. In een later stadium worden hieraan de interne, externe gevaren en begingebourtenissen bij andere bedrijfstoestanden toegevoegd.
5. De probabilistische veiligheidsanalyse wordt verder ontwikkeld tijdens het detailontwerp, de bouw, inbedrijfstelling en het bedrijven van de reactor.

### 16.5.3 Analysemethodiek

1. In een probabilistische veiligheidsanalyse worden drie niveaus onderscheiden (zie Figuur 16-45):
  - In niveau 1 worden de begingebourtenissen vastgesteld en ontwikkeld tot ongevalsscenario's die tot kernschade kunnen leiden op basis van het ontwerp en het gebruik van de installatie. Het resultaat van dit analiseniveau is de kernschadefrequentie oftewel de kans per jaar dat er grootschalige schade aan de splijtstofelementen in de reactorkern optreedt;
  - In niveau 2 wordt, uitgaande van de in niveau 1 bepaalde ongevalsscenario's, de verdere ontwikkeling van deze scenario's tot lozingen vastgesteld. Hierbij worden de mechanismen voor het falen van de veiligheidsomhulling geanalyseerd, evenals de kans hierop. Het resultaat van niveau 2 is voor elk representatief ongevalsscenario een beschrijving van de (eventuele) lozing van activiteit naar de omgeving (lozingscategorie) en de bijbehorende frequentie;
  - Het uit niveau 2 volgende spectrum van mogelijke lozingen naar de omgeving wordt in de niveau 3 gebruikt om de gevolgen voor de omgeving te analyseren, waarbij het individueel en het groepsrisico worden bepaald.

Figuur 16-45: probabilistische veiligheidsanalyse-niveaus



## 16.5.4 Model voor probabilistische veiligheidsanalyse

### 16.5.4.1 Rekenprogramma's

1. Voor de PALLAS-reactor zijn de modellen voor niveaus 1 en 2 gemaakt met het software programma SAPHIRE. Deze software is ontwikkeld door het Idaho National Laboratory in opdracht van de Amerikaanse overheid (US-NRC). SAPHIRE is geschikt om de reactie van een complex systeem op begingebourtenissen te modelleren en de bijbehorende waarschijnlijkheden te kwantificeren. SAPHIRE kan belangrijke begingebourtenissen, ongevalsscenario's en bijdrages aan de kernschadefrequentie identificeren. Voor de brontermanalyse voor niveau 2 worden daarnaast verschillende analytische modellen gebruikt.
2. Voor de dosis en risicoberekeningen in niveau 3 is een Atmosferisch Transport Model gebruikt dat is ontwikkeld door de ontwerper van de reactor, INVAP. Dit model maakt gebruik van een Gaussisch pluimmodel voor de verspreiding van luchtlozingen, overeenkomstig het Nieuw Nationaal Model (NNM) zoals benoemd in de ANVS-richtlijnen. Het model is middels een benchmark vergeleken met het in Nederland door NRG ontwikkelde model NUDOS2 dat voor het vaststellen van de gevolgen van de lozingen van gevaarlijke stoffen van het NNM gebruik maakt.

### 16.5.4.2 Niveau 1

1. Niveau 1 beschouwt begingebourtenissen die behoren tot de zogenaamde interne gebeurtenissen, zoals het falen van componenten of menselijk falen, uitgaande van vermogensbedrijf.
2. In totaal zijn enkele tientallen verschillende begingebourtenissen geïdentificeerd als relevant voor de PALLAS-reactor. Lijsten met begingebourtenissen uit (inter-)nationale regelgeving en probabilistische veiligheidsanalyses van andere reactoren hebben hiervoor als basis gediend. De lijst van geselecteerde begingebourtenissen is onderverdeeld in de volgende groepen:
  - uitval van elektriciteitsvoorziening (LOES - Loss of energy supply);
  - onbedoelde verandering van reactiviteit (RIA - Reactivity insertion accident);
  - verlies van koelwaterdebiet (LOFA - Loss of flow accident);
  - verlies van de mogelijkheid om warmte af te voeren (LOHS - Loss of heat sink);
  - verlies van koelwater (LOCA Loss of coolant accident).
3. Voor elk van de groepen zijn ongevalsscenario's uitgewerkt. Hierbij wordt het al dan niet functioneren van de veiligheidssystemen, die nodig zijn om de procesverstoring als gevolg van de begingebourtenis te beheersen, uitgewerkt.
4. Voor wat betreft het menselijk handelen worden zowel handelingen voor als na het optreden van een begingebourtenis beschouwd. Voor de evaluatie van deze handelingen, waarbij eveneens rekening wordt gehouden met afhankelijkheden van de menselijke acties, wordt gebruik gemaakt

van de internationale richtlijn ASEP (Accident Sequence Evaluation Program) van de Amerikaanse overheid (US-NRC).

#### 16.5.4.3 Niveau 2

1. Voor niveau 2 is de methodiek vereenvoudigd, zonder de gebruikelijke complexe analyses die gebruikt worden om onder andere het verloop, de ontwikkeling, het massatransport en de uiteindelijke omvang van het ongeval na het begin van kernschade vast te stellen.
2. Voor de radioactieve inventaris en de uiteindelijke brontermen zijn conservatieve criteria gehanteerd, wat leidt tot een omhullende veiligheidsanalyse.
3. Complexe sterkteberekeningen zijn niet nodig om het faalgedrag van het Reactor Containment te beoordelen, omdat
  - alle ongevalsscenario's gepaard gaan met de vrijgave van een lage hoeveelheid energie (druk, temperatuur);
  - er geen significante hoeveelheden waterstof worden gevormd;
  - de vervalwarmte van de reactorkern niet groot genoeg is om sterke reacties van de gesmolten kern met het beton te veroorzaken.
4. Het enige bezwijkmechanisme van het Reactor Containment waar rekening mee gehouden moet worden is het falen van het Reactor Building Ventilation System (hoofdstuk 4).
5. In niveau 2 zijn ongevalsscenario's geanalyseerd met schade aan de reactorkern en de bestralingsposities in de kern, en schade aan bestralingsfaciliteiten in de Reflector Vessel.
6. Voor de bepaling van de brontermen zijn niet alle ongevalsscenario's afzonderlijk geanalyseerd, maar heeft een groepering plaatsgevonden op basis van de eigenschappen van ongevalsscenario's en de lozingskarakteristieken: de zogenaamde Plant Damage States. Voor iedere Plant Damage State zijn een aantal lozingscategorieën vastgesteld. De lozingscategorieën dienen als input voor de dosisberekeningen van de niveau 3 analyse.

#### 16.5.4.4 Niveau 3

1. De niveau 3 analyse is uitgevoerd conform de Level-3 PSA handreiking van de ANVS.
2. Voor elke lozingscategorie is de atmosferische verspreiding en de externe straling berekend.
3. Bij de atmosferische verspreiding wordt uitgegaan van de volgende belastingspaden:
  - Stralingsbelasting van materialen in de overtrekkende pluim;
  - Stralingsbelasting van materialen die op de bodem terechtkomen;
  - Stralingsbelasting van materialen die op de huid en kleding terechtkomen;
  - Stralingsbelasting van materialen die in het lichaam komen door inhalatie of via het voedsel.
4. Tijdens een ongeval kan de reactorhal gevuld zijn met radioactieve gassen en aerosolen. Hierdoor zal er een verhoogd extern stralingsniveau aanwezig zijn.
5. De gezondheidseffecten die leiden tot het resulterende risico worden bepaald op basis van deterministische effecten zoals overlijden als gevolg van het ongeval en stochastische effecten zoals de toename van de kans op het op termijn overlijden aan kanker.
6. Als gevolg van conservatieve aannames zullen de berekende voor de omgeving hoger zijn dan de werkelijke waarde.

### 16.5.5 Resultaten

#### 16.5.5.1 Niveau 1

1. Als resultaat uit niveau 1 is de kernschadefrequentie bepaald. Deze is voor interne begingebourtenissen  $7 \times 10^{-9}$  per jaar. Deze frequentie is ruim 100 maal kleiner dan de limiet van  $1 \times 10^{-6}$  per jaar.

2. Twee groepen begingebourtenissen, namelijk de RIA-groep (onbedoelde verandering van reactiviteit) en de LOCA-groep (koelmiddellekkage), leveren beide ca. 45%, dus samen ongeveer 90% bijdrage aan de totale kernschadefrequentie.

#### 16.5.5.2 Niveau 2

1. Als resultaat van de niveau 2 analyses zijn verschillende lozingscategorieuën vastgesteld en is de bijbehorende lozingsfrequentie bepaald.
2. De lozingen hebben een zeer lage frequentie, namelijk beneden de  $1 \times 10^{-8}$  per jaar, met een hoge mate van betrouwbaarheid, voor de lozingen gerelateerd aan de reactorkern en beneden de  $1 \times 10^{-7}$  per jaar, met een hoge mate van betrouwbaarheid, voor de lozingen gerelateerd aan de bestralingsfaciliteiten buiten de reactorkern. In beide gevallen vindt 95% van de lozingen met correcte filtering plaats. Vanwege de lage frequentie van de lozingen zijn alle scenario's die leiden tot vroege en/of grote lozing praktisch gezien geëlimineerd (zie paragraaf 16.2).

#### 16.5.5.3 Niveau 3

1. Voor de in niveau 2 bepaalde lozingscategorieuën en frequenties is het individueel en groepsrisico bepaald voor personen die zich buiten de PALLAS-site bevinden.
2. De resultaten voor het individueel risico voor de meest kritieke groep (kinderen) op overlijden als gevolg van een ernstig ongeval voldoen met een waarde van  $1,9 \times 10^{-10}$  per jaar ruimschoots aan de limiet van  $10^{-6}$  per jaar conform Bkse art. 18-3a.
3. Het individueel risico wordt voor ca. 75% bepaald door ongevallen met schade aan de bestralingsfaciliteiten buiten de reactorkern, en voor ca. 25% door ongevallen met schade aan de reactorkern. Ongeveer 65% van het risico is het gevolg van ongevallen waarbij het containment is geïsoleerd en er een ongefilterde lekkage plaatsvindt.
4. Voor het groepsrisico geldt dat deterministische gevolgen met mogelijk directe slachtoffers alleen kunnen optreden bij ernstige ongevallen met een zeer lage kans van optreden. Uit berekeningen blijkt dat bij dergelijke ongevallen het mogelijk is dat de drempelwaarde voor huiddosis (conform de Level-3 PSA handreiking van de ANVS) wordt overschreden binnen een straal van 5 km tot de PALLAS-reactor. De berekening van het aantal slachtoffers gaat daarbij uit van het maximale aantal personen dat in het gebied rond de PALLAS-reactor aanwezig kan zijn (werknemers, omwonenden en toeristen). De kans waarbij het mogelijk is dat er directe slachtoffers (10 of meer) kunnen optreden bedraagt daarbij minder dan  $1,6 \cdot 10^{-10}$ /jaar. Hiermee wordt ruimschoots voldaan aan het criterium voor groepsrisico dat stelt dat de kans dat buiten de inrichting een groep van ten minste 10 personen direct dodelijk slachtoffer wordt kleiner moet zijn dan  $10^{-5}$  per jaar (conform Bkse art. 18-3b). Het maximale aantal directe slachtoffers dat bij een ongeval kan optreden is kleiner dan 300 bij een veel lagere kans van  $1,6 \cdot 10^{-12}$ /jaar. Ook hierbij wordt ruimschoots voldaan aan het criterium voor het groepsrisico omdat de toegestane kans op dit aantal slachtoffers  $1,1 \cdot 10^{-8}$ /jaar bedraagt. Een overzicht hiervan is gegeven in onderstaande tabel.

**Tabel 16-9: Resultaten voor toetsing van het groepsrisico**

Aantal slachtoffers	Kans van optreden	Toegestane kans conform Bkse, art. 18-3b
≥ 10	$1,6 \cdot 10^{-10}$ /jaar	$1 \cdot 10^{-5}$ /jaar
300	$1,6 \cdot 10^{-12}$ /jaar	$1,1 \cdot 10^{-8}$ /jaar

## 16.6 Conclusie

### 16.6.1 Deterministische veiligheidsanalyse

1. De resultaten van de uitgevoerde deterministische veiligheidsanalyse tonen aan dat het ontwerp van de PALLAS-reactor voldoet aan de gestelde acceptatiecriteria.
2. Er zijn analyses uitgevoerd voor 28 representatieve en omhullende begingebourtenissen waarbij een thermohydraulische en radiologische beschouwing heeft plaatsgevonden. Van deze gebeurtenissen is aangetoond dat deze worden beheerst door de ontwerpvoorzieningen waarbij de reactor veilig wordt afgeschakeld en de geproduceerde warmte wordt afgevoerd. Voor 3 begingebourtenissen zijn de doses voor werknemers en de omgeving bepaald, als gevolg van de mogelijke vrijgave van radioactieve stoffen.
3. De gebeurtenissen met mogelijke radiologische gevolgen zijn weergegeven in Tabel 16-10 en Tabel 16-11.

Tabel 16-10: Begingebourtenissen met mogelijke radiologische gevolgen - Effectieve dosis

Begin-gebeurtenis	Omschrijving	Effectieve dosis werknemers	Effectieve dosis omgeving	Criterium dosis omgeving
PIE-077	Grote lekkage in het PCS	2 mSv	0,02 mSv	4 mSv
PIE- 047-055	Beschadiging van een splijstofelement na het raken van een andere structuur	10 mSv	0,02 mSv	4 mSv
PIE-045	Vroegtijdige blootstelling aan luchtkoeling van een Mo-99 targethouder	-	0,8 mSv	4 mSv

Tabel 16-11: Begingebourtenissen met mogelijke radiologische gevolgen - Schildklierdosis

Begin-gebeurtenis	Omschrijving	Schildklier-dosis werknemers	Schildklier-dosis omgeving	Criterium dosis omgeving
PIE-077	Grote lekkage in het PCS	13 mSv	0,01 mSv	500 mSv
PIE- 047-055	Beschadiging van een splijstofelement na het raken van een andere structuur	77 mSv	0,01 mSv	
PIE-045	Vroegtijdige blootstelling aan luchtkoeling van een Mo-99 targethouder	-	2 mSv	

5. Voor de omgeving is daarmee aangetoond dat voldaan wordt aan de radiologische acceptatiecriteria voor effectieve dosis en schildklierdosis. De in de tabellen genoemde effectieve doses voor werknemers liggen ruim onder het criterium voor blootgestelde werknemers bij normaal bedrijf van 20 mSv/j. De schildklierdoses voor werknemers liggen ruim onder het omgevingscriterium voor de schildklierdosis.

### 16.6.2 Probabilistische veiligheidsanalyse

1. De resultaten van de uitgevoerde probabilistische veiligheidsanalyse tonen aan dat het ontwerp van de PALLAS-reactor voldoet aan de gestelde risicocriteria.
2. De kernschadefrequentie voor interne begingebourtenissen is  $7 \times 10^{-9}$  per jaar. Deze waarde voldoet ruimschoots aan de limiet van  $1 \times 10^{-6}$  per jaar uit de ANVS Handreiking VOBK.
3. Alle scenario's die kunnen leiden tot een vroege en/of een grote lozing zijn praktisch gezien geëlimineerd.



4. Het individuele risico voor de meest kritische groep (kinderen), voldoet met een waarde van  $1,9 \times 10^{-10}$  per jaar ruimschoots aan de limiet van het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen van  $10^{-6}$  per jaar.
5. Aan het criterium voor het groepsrisico wordt ruimschoots voldaan.
6. De marges tot deze criteria samen met de conservatieve uitgangspunten van de analyses zijn voldoende om de bijdragen van de interne en externe gevaren te accommoderen.

# 17

---

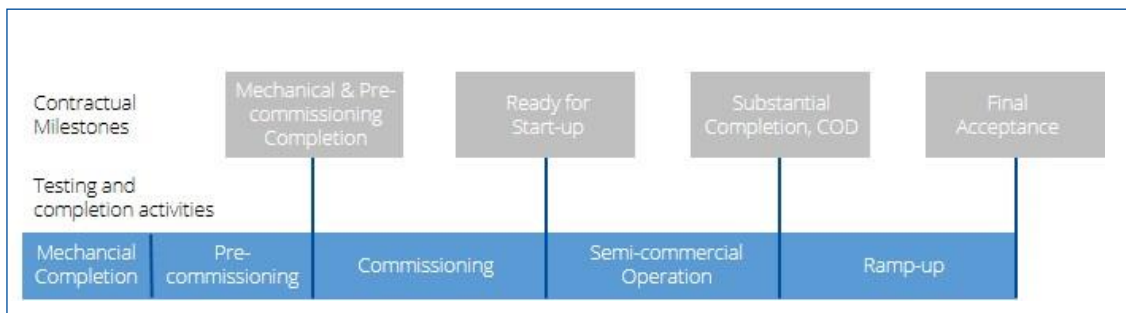
Inbedrijfstelling



## 17.1 Inleiding

1. Inbedrijfstelling wordt gedefinieerd als het proces waarbij structuren, systemen en componenten, nadat ze gebouwd zijn, operationeel worden gemaakt en op overeenstemming met het ontwerp en het voldoen aan de vereiste veiligheids- en prestatiecriteria gecontroleerd worden.
2. De inbedrijfstelling vormt de meest kritische activiteit vanuit het oogpunt van veiligheid. De testactiviteiten dragen bij aan de voorbereiding van de PALLAS-reactor op een veilige en betrouwbare inbedrijfstelling en werking.
3. Onder de Kernenergiewet oprichtingsvergunning vindt slechts de inbedrijfstelling plaats voorafgaand aan het laden van de splijtstof (tot en met fase A zoals gedefinieerd in paragraaf 17.2.2).
4. Voor het laden van de splijtstof, de overige fasen van inbedrijfsstelling en bedrijfsvoering is een operationele vergunning nodig (Kernenergiewet art. 15 onder b voor het inwerking brengen en houden van de inrichting).
5. Het proces van testen en afronden bevat voor de PALLAS-reactor de activiteiten en mijlpalen zoals weergegeven in Figuur 17-1.

**Figuur 17-1: Proces van testen en afronden van de PALLAS-reactor**



6. De in dit hoofdstuk beschreven voorzieningen voor de inbedrijfstelling zijn nog niet volledig in detail uitgewerkt. Het doel van de presentatie ervan in dit stadium is om aan te tonen dat PALLAS de eisen voor de inbedrijfstelling begrijpt en een geloofwaardig plan heeft om hieraan te voldoen;
7. De ontwikkeling van de voorzieningen voor de inbedrijfstelling zal in overeenstemming zijn met de ontwikkeling van de organisatie en zal onder meer inhouden dat er wordt geleerd van de ervaring die met andere soortgelijke faciliteiten opgedaan is.

## 17.2 Inbedrijfstellingsprogramma

1. Het inbedrijfstellingsprogramma toont met behulp van testen aan dat de gebouwde installatie voldoet aan de eisen en de uitgangspunten van het ontwerp.
2. Het inbedrijfstellingsprogramma is gebaseerd op de verificatie & validatieplannen (V&V) die voor elk van de systemen zijn ontwikkeld. In deze plannen wordt de verificatiebehoefte geïdentificeerd en wordt vastgesteld in welke fase deze moet worden geverifieerd, welke specifieke testmethode zal worden gebruikt en wat de acceptatiecriteria zijn. V&V kan plaatsvinden tijdens het ontwerp (bv. ontwerpberoeeningen), tijdens de bouw of tijdens de inbedrijfstelling. In het inbedrijfstellingsprogramma is er een duidelijke link tussen de klassering van het betreffende systeem of component en de inbedrijfstellingseisen waaraan moet worden voldaan.
3. De verificatie-eisen uit alle V&V-plannen die tijdens inbedrijfstelling plaatsvinden, vormen het inbedrijfstellingsprogramma. Een belangrijk onderdeel van het inbedrijfstellingsprogramma is het valideren van de Veiligheidstechnische Specificaties (VTS, zie hoofdstuk 18). Alle bedrijfstoestanden van de reactor, inclusief de geplande kernconfiguraties, worden beschouwd tijdens de inbedrijfstelling.

4. Bij de uitvoering van het inbedrijfstellingsprogramma wordt gebruik gemaakt van het inbedrijfstellingsschema. Dit is een geïntegreerde database met alle eisen die aan de inbedrijfstelling worden gesteld, de manier waarop deze wordt getest, de status van de testen en de testresultaten.
5. Indien testresultaten niet voldoen aan de acceptatiecriteria zullen de consequenties daarvan voor veiligheid en bedrijfsvoering worden bepaald en worden zo nodig wijzigingen in het ontwerp aangebracht.

### 17.2.1 Voorwaarden voor inbedrijfstelling

1. Voordat de inbedrijfstellingstesten worden uitgevoerd hebben verschillende verificatieactiviteiten en testen plaatsgevonden:
  - Fabrieksacceptatietesten (FAT): testen en inspecties die in de fabriek van de fabrikant worden uitgevoerd, voorafgaand aan de verzending, om te controleren of het systeem in de fabriek volgens de specificaties is gefabriceerd en geassembleerd.
  - Ontvangstcontroles die bij aflevering op de bouwplaats worden uitgevoerd om te bevestigen dat de fysieke levering overeenkomt met hetgeen op papier vastligt en dat er geen schade is van het transport.
  - Site-acceptatietesten (SAT): testen die op de PALLAS-site worden uitgevoerd wanneer het systeem op de operationele positie is geïnstalleerd. Hiermee wordt de functionaliteit en de interfaces met andere systemen op de site getest en gecontroleerd.
  - Mechanische inspectie: aan het einde van de constructie worden alle constructies en systemen onderworpen aan een mechanische voltooiingsinspectie om een as-built controle uit te voeren vóór de inbedrijfstelling.
  - Pre-commissioning activiteiten: als voorbereiding op de inbedrijfstelling van nieuwgebouwde systemen worden activiteiten uitgevoerd zoals het vullen, spoelen en hydrostatisch testen van leiding en tanks, controles van de elektrische integriteit, controle op de werking van pompen en andere mechanische apparaten, het controleren van de lekkage van de kleppen, het kalibreren van veiligheidsvoorzieningen en overige instrumentatie. Voorafgaand aan de inbedrijfstelling wordt ook de bedrijfsdocumentatie gecontroleerd.

### 17.2.2 Inbedrijfstellingsfasen

1. Het inbedrijfstellingsprogramma is gefaseerd opgebouwd. Elke fase definieert een meer belastend operationeel regime in termen van nucleaire, radiologische en/of arbeidsveiligheid. De fasen maken een doeltreffende controle en toezicht mogelijk doordat de resultaten van de ene fase moeten zijn geëvalueerd en aanvaard voordat kan worden overgegaan tot de volgende fase. De volgende fasen worden onderscheiden:
  - Fase A - testen voorafgaand aan het laden van de splijtstof. Deze fase begint aan het einde van de pre-commissioning en toont aan dat de systemen van de reactor werken in overeenstemming met hun ontwerpintentie. Na de succesvolle afronding van fase A zal er voldoende vertrouwen zijn in het ontwerp, de bouw en de integratie van de PALLAS-reactor om het laden van de splijtstof mogelijk te maken.
  - Fase B1 – splijtstofbelastingstesten, initiële criticiteitstesten en testen van veilige en betrouwbare afschakeling van de reactor. Bij het succesvol afsluiten van Fase B1 zal zijn vastgesteld dat de PALLAS-reactor veilig kan worden beladen, kritisch kan worden gemaakt en binnen de verwachte marges kan worden afgeschakeld.
  - Fase B2 – laagvermogen testen. Deze fase dient om te bevestigen dat de fysica van de reactorkern en de gerelateerde parameters, zoals de reactiviteit van de regelplaten, zijn zoals verwacht. Bij de succesvolle afronding van fase B2 zal zijn vastgesteld dat de PALLAS-reactorkern presteert volgens het ontwerp.
  - Fase C – vermogenstesten. In deze fase zal het vermogen stapsgewijs worden verhoogd naar 100% nominaal vermogen. Bij elke stap wordt de kalibratie van de instrumentatie uitgevoerd

en worden de prestaties van alle systemen onder toenemende belasting gecontroleerd. Bij het succesvol afsluiten van fase C zal zijn aangetoond dat de PALLAS-reactor veilig kan worden opgestart, op vol vermogen kan worden gebracht en op vol vermogen kan worden gebruikt in overeenstemming met de VTS.

### 17.2.3 Procedures voor inbedrijfstelling

1. Voor elke inbedrijfstellingstest worden schriftelijke procedures opgesteld. Een inbedrijfstellingsprocedure geeft stap voor stap instructies voor het veilig en effectief uitvoeren van de test. Tijdens de inbedrijfstelling wordt de PALLAS-reactor zoveel mogelijk volgens de normale operationele procedures bediend, waar nodig aangepast aan de omstandigheden van de inbedrijfstelling.

### 17.2.4 Evaluatie en beoordeling

1. De resultaten van elke inbedrijfstellingsfase worden gerapporteerd, beoordeeld en goedgekeurd. Aan het einde van elke inbedrijfstellingsfase wordt een samenvattend verslag aan de toezichthoudende instantie verstrekt. Aan het einde van de gehele inbedrijfstelling wordt een eindverslag over de inbedrijfstelling van de PALLAS-reactor opgesteld.
2. Bij de beoordeling wordt gebruik gemaakt van "hold points" en "witness points":
  - Een "hold point" is een punt waarbij de inbedrijfstelling niet verder mag gaan zonder de goedkeuring (of verklaring van geen bezwaar) van de toezichthoudende instantie of een derde partij.
  - Een "witness point" is een punt is waar de toezichthoudende instantie of een derde partij wordt uitgenodigd om getuige te zijn van een specifieke test.
  - De "hold points" worden globaal vastgesteld door de verdeling van het inbedrijfstellingsprogramma in fasen (zie paragraaf 17.2.2). De "hold points" en/of "witness points" op het niveau van de afzonderlijke testen zijn in het inbedrijfstellingsschema vastgelegd.

### 17.2.5 Activiteiten na inbedrijfstelling

1. De activiteiten die na de inbedrijfstelling plaatsvinden, hebben betrekking op het voorbereiden van de installatie op de commerciële bedrijfsvoering. Hiervoor zal de demonstratie van de veiligheid (inclusief de beoordeling van de organisatie) worden geactualiseerd. De volgende activiteiten zullen hiervan deel uitmaken:
  - Prestatietesten, om de prestatie-eisen van de PALLAS-reactor aan te tonen. Dit omvat geen veiligheidsgerelateerde testen, aangezien die zijn afgerond gedurende de inbedrijfstelling.
  - Continue bedrijfsvoeringstesten van minimaal drie volledige reactorcycli na de inbedrijfstelling vóór de contractuele voltooiing.
  - Overgang naar commerciële bedrijfsvoering. Tijdens de opstartfase van de commerciële bedrijfsvoering zullen de bestalingsfaciliteiten in de PALLAS-reactor worden geïntroduceerd. Sommige van deze faciliteiten worden parallel aan het reactor inbedrijfstellingsprogramma getest en in bedrijf genomen, andere worden na inbedrijfstelling van de reactor getest en geaccepteerd voor inbedrijfstelling.

## 17.3 Managementsysteem voor inbedrijfstelling

1. Het in hoofdstuk 14 beschreven geïntegreerde managementsysteem is van toepassing op de inbedrijfstelling van de PALLAS-reactor. Het inbedrijfstellingsprogramma is afgestemd met verschillende andere processen waarmee het raakvlakken heeft:
  - De inbedrijfstellingseisen worden op een iteratieve manier teruggekoppeld naar het ontwerpproces totdat een bevredigend en compatibel ontwerp- en inbedrijfstellingsprogramma is gerealiseerd.

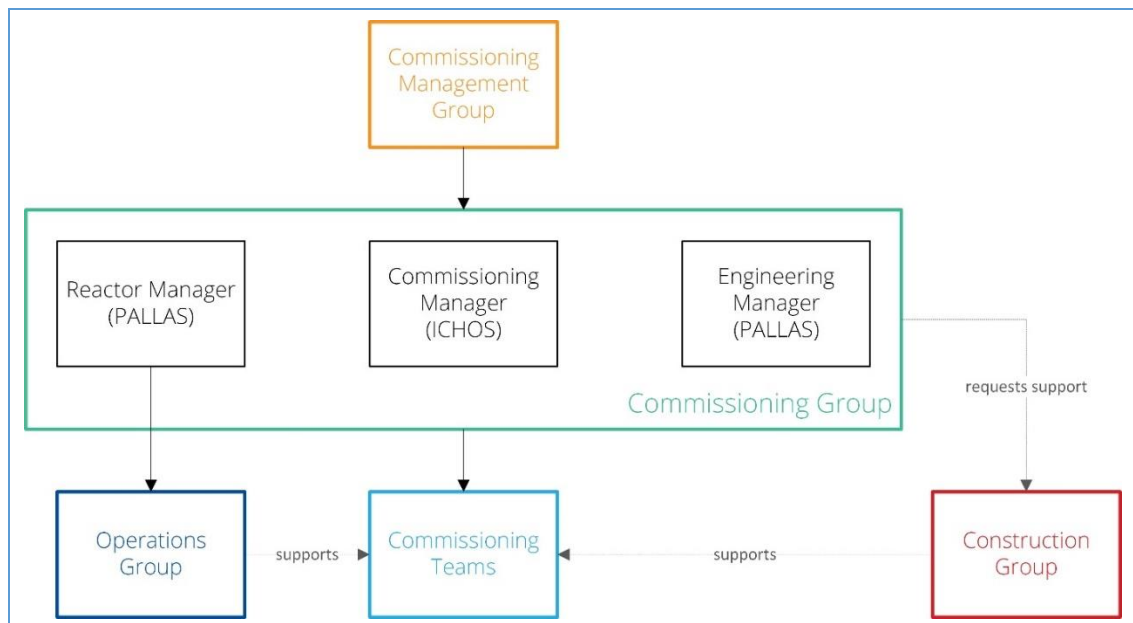
- In afstemming met het veiligheidsdemonstratieproces wordt tijdens het inbedrijfstellingsprogramma de veiligheid gegarandeerd.
- In het raakvlak met het bouwproces worden de planning voor de bouw en de inbedrijfstelling op elkaar afgestemd met betrekking tot afronding en overdracht van systemen.
- In afstemming met het configuratiemanagementproces wordt elke wijziging in een aspect van het ontwerp, de veiligheidsdemonstratie, de bouw- of de inbedrijfstellingsprogramma's doorgevoerd in de andere processen.

## 17.4 Organisatie van de inbedrijfstelling

1. Een veilige en effectieve inbedrijfstelling is afhankelijk van een duidelijke en effectieve organisatiestructuur waarin de rollen en verantwoordelijkheden van elk teamlid goed zijn vastgelegd en worden begrepen, zowel door de teamleden zelf als door de bredere organisatie, ondersteund door een sterke organisatiecultuur.
2. De in hoofdstuk 14 beschreven nucleaire veiligheidsorganisatie is van toepassing op de inbedrijfstelling van de PALLAS-reactor. De in dit hoofdstuk beschreven organisatie is ontwikkeld in overeenstemming met de eisen aan en wordt beschouwd als een onderdeel van de totale nucleaire veiligheidsorganisatie.
3. PALLAS is als vergunninghouder verantwoordelijk voor de veilige en effectieve inbedrijfstelling van de PALLAS-reactor en zal onder haar leiding een geïntegreerde inbedrijfstellingsorganisatie opzetten. In deze organisatie zullen medewerkers van PALLAS, ICHOS en, indien nodig, andere specialisten zitting hebben. De inbedrijfstellingsorganisatie wordt voor aanvang van de inbedrijfstellingsactiviteiten geïmplementeerd.
4. De pre-commissioning is aan ICHOS gedelegeerd en zal worden uitgevoerd in een door ICHOS te bepalen organisatiestructuur. PALLAS behoudt de verantwoordelijkheid om ervoor te zorgen dat dit volgens de eisen wordt uitgevoerd.
5. PALLAS zal ervoor zorgen dat de reactoroperatoren in de pre-commissioning periode worden betrokken, inclusief de deelname aan mechanische voltooiingsinspecties en de uitvoering van pre-commissioning testen. Dit draagt ertoe bij dat de operators vertrouwd raken met de installatie voordat zij de verantwoordelijkheid voor de installatie op zich nemen.
6. Tijdens de inbedrijfstelling ligt de operationele controle van alle systemen bij PALLAS. Dit betekent dat de activiteiten door PALLAS-personeel worden uitgevoerd. ICHOS-personeel ondersteunt door begeleiding van de tests. Dit stelt PALLAS in staat om zijn verantwoordelijkheden voor de veiligheid op de meest effectieve manier te vervullen en ervoor te zorgen dat de mogelijkheden om te leren maximaal worden benut.

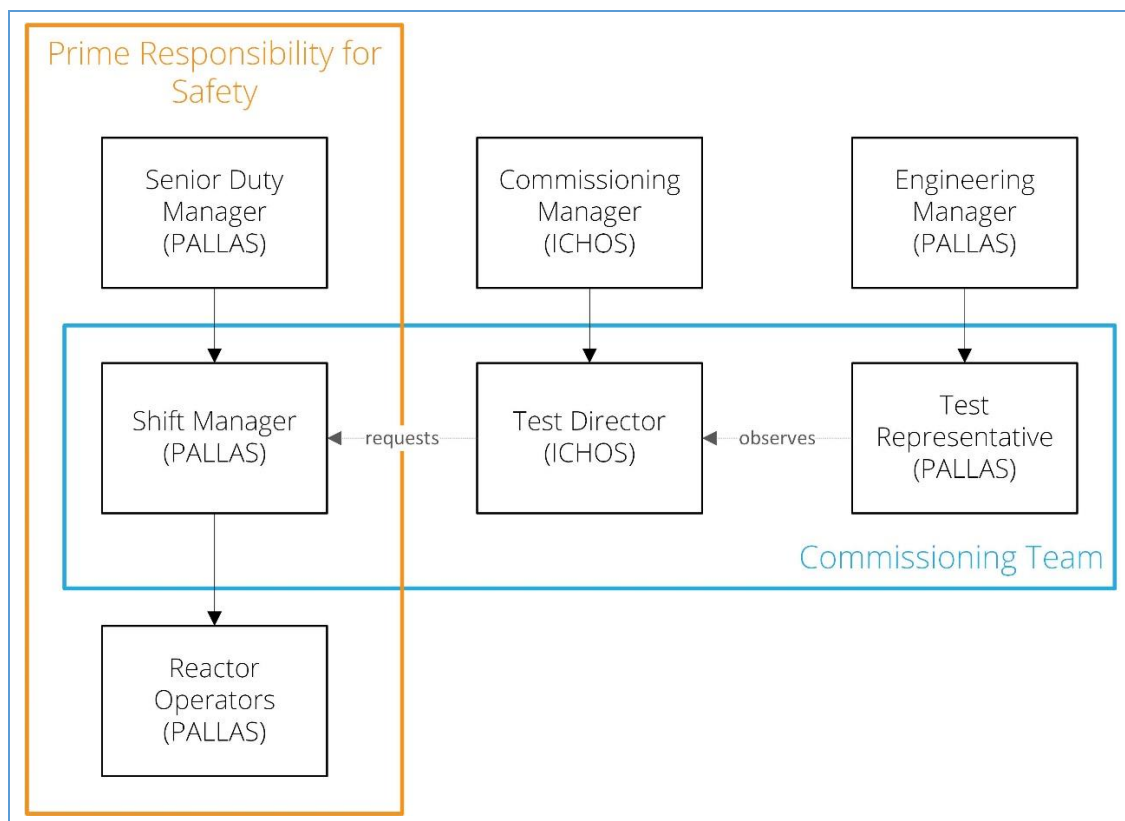
## 17.4.1 Organisatiestructuur voor inbedrijfstelling

Figuur 17-2: Organisatie van de inbedrijfstelling



1. De globale organisatiestructuur van de inbedrijfstelling is weergegeven in Figuur 17-2. De managementgroep voor de inbedrijfstelling ("Commissioning Management Group") wordt gevormd door senior vertegenwoordigers van PALLAS en ICHOS. Zij zijn, als stuurgroep, verantwoordelijk voor het opstellen, de goedkeuring en het toezicht op de correcte uitvoering van het inbedrijfstellingsprogramma. Zij moeten toestemming geven voor de start van elke fase van de inbedrijfstelling en ervoor zorgen dat de doelstellingen van het programma zijn bereikt.
2. De groep voor de inbedrijfstelling ("Commissioning Group") is verantwoordelijk voor de dagelijkse uitvoering van het inbedrijfstellingsprogramma van de PALLAS-reactor en bestaat uit de reactor manager (zie hoofdstuk 15), de engineering manager (zie hoofdstuk 15) en de inbedrijfstellingsmanager. Zij moeten toestemming geven voor elke uit te voeren test.
3. De operationele groep ("Operations Group") bestaat uit de in hoofdstuk 15 beschreven organisatie voor reactorbedrijf onder leiding van de operations manager, die rapporteert aan de reactor manager. Tijdens de inbedrijfstelling ligt de operationele controle van alle PALLAS-reactorsystemen bij de operationele groep (zie Figuur 17-3, oranje verticale balk) die alle bedrijfsfacties uitvoert op verzoek van de groep voor de inbedrijfstelling.

Figuur 17-3: Organisatie van de inbedrijfstellingsteams



4. De inbedrijfstellingsteams (zie Figuur 17-3 blauwe horizontale balk) bestaan uit de PALLAS shiftmanager, een ICHOS-ingenieur en een vertegenwoordiger namens PALLAS. De Shift Manager is verantwoordelijk voor de veilige werking van de PALLAS-reactor tijdens een bepaalde dienst (zie Hoofdstuk 15) en daarmee voor de veilige uitvoering van de tests. De ICHOS-ingenieur organiseert de uitvoering van de tests. De vertegenwoordiger namens PALLAS observeert de uitvoering en moet bevestigen dat de testen zijn uitgevoerd volgens de goedgekeurde procedure, dat de resultaten correct zijn geregistreerd en voldoen aan de verwachtingen.
5. Tijdens de inbedrijfstelling blijft de Construction Group, die de bouw en installatie van de PALLAS-reactor heeft begeleid, beschikbaar om de Commissioning Group te ondersteunen.

#### 17.4.2 Kwalificatie en opleiding voor inbedrijfstelling

1. Kwalificatie en opleiding voor de inbedrijfstelling is een specifieke uitvoering van de in hoofdstuk 14 beschreven aanpak voor kwalificatie, ervaring en opleiding van het personeel.
2. De reactor operators voor de inbedrijfstelling zullen in principe worden gecertificeerd zoals beschreven in hoofdstuk 15. Het zal echter niet mogelijk zijn om het volledige operatoropleidingsprogramma voor het begin van de inbedrijfstelling uit te voeren, omdat de PALLAS-reactor zelf niet beschikbaar is voor praktische training in de normale bedrijfsvoering. Daarom zal een aangepaste versie van de training voor het eerste operationele team worden geïmplementeerd. Voor elke fase van de inbedrijfstelling zal een speciale trainingsmodule voor de operators worden ontwikkeld, waarin de vereiste operatoractiviteiten worden behandeld.

#### 17.4.3 Organisatie na inbedrijfstelling

1. Na succesvolle afronding van fase C wordt de PALLAS-reactor als veilig beschouwd om te werken, in overeenstemming met de programma's voor de normale bedrijfsvoering (zie hoofdstuk 15). Door het inbedrijfstellingsprogramma te organiseren zoals hiervoor beschreven, met inbegrip van



het maximale gebruik van PALLAS-personeel en de normale operationele procedures, zal het mogelijk zijn om met zo min mogelijk verstoring over te gaan tot de normale bedrijfsvoering.

# 18

Veiligheids-  
technische  
specificaties



## 18.1 Inleiding

1. De Veiligheidstechnische Specificaties (VTS) zijn een set regels waarvan is aangetoond dat wanneer hieraan wordt voldaan, de werking van de PALLAS-reactor veilig is en het personeel, de bevolking en het milieu tegen de gevaren van ioniserende straling beschermd worden. De VTS dragen daarmee bij aan het voorkomen van ongevallen en het beperken van de gevolgen van eventuele ongevallen.
2. De VTS die van belang zijn voor de reactorveiligheid, met inbegrip van de veiligheidslimieten, de Safety System Settings, de begrenzende voorwaarden voor veilig bedrijf, de functionele controles, alsmede de administratieve vereisten, worden voor de inbedrijfstelling vastgesteld en ter toetsing, beoordeling en goedkeuring aan het bevoegd gezag voorgelegd. De basis van de VTS wordt gevormd door de fundamentele veiligheidsdoelstellingen (zie hoofdstuk 2).
3. De VTS bestaan uit:
  - veiligheidslimieten voor reactorparameters, waarbinnen de installatie aangetoond veilig is en de integriteit van fysieke barrières voor insluiting van radioactief materiaal gegarandeerd is (paragraaf 18.2);
  - Safety System Settings: dit zijn de instellingen waarbij, na overschrijding, veiligheidssystemen worden geactiveerd om te voorkomen dat de veiligheidslimieten worden overschreden (paragraaf 18.3);
  - begrenzende voorwaarden voor veilig bedrijf: operationele beperkingen die marges bieden tussen de normale bedrijfswaarden en de Safety System Settings. Naleving ervan voorkomt dat het veiligheidssysteem wordt aangesproken (paragraaf 18.4);
  - functionele controles specificeren de tests om aan te tonen dat aan de begrenzende voorwaarden voor veilig bedrijf wordt voldaan (paragraaf 18.5);
  - administratieve eisen met voorwaarden op het gebied van management en organisatie (paragraaf 18.6).
4. Bij het vaststellen van de veiligheidslimieten en de instellingen van veiligheidssystemen wordt rekening gehouden met onzekerheden, waaronder fouten van het meetkanaal.
5. De VTS worden vastgesteld tijdens het ontwerpproces en de ontwikkeling van de ondersteunende veiligheidsanalyses. In de veiligheidsanalyses wordt vervolgens gecontroleerd of de gedefinieerde VTS toereikend zijn.
6. De ontwikkeling, het gebruik en het management van de VTS wordt geregeld als onderdeel van het PALLAS geïntegreerd managementsysteem (IMS) (zie hoofdstuk 14) en specifiek binnen dat deel van het IMS dat gericht is op de bedrijfsvoering (zie hoofdstuk 15).
7. De VTS zijn geïmplementeerd voorafgaand aan het moment dat er splijtstofelementen in de reactorkern worden geladen.
8. Voor de nucleaire inbedrijfstelling zullen specifieke VTS van toepassing zijn, die niet gelden voor normaal bedrijf. Tijdens inbedrijfstelling zal de noodzaak, volledigheid en juistheid van de VTS worden nagegaan, als gevolg waarvan wijzigingen in de VTS voor het normaal bedrijf van de reactor kunnen worden aangebracht.

## 18.2 Veiligheidslimieten

1. Veiligheidslimieten worden vastgesteld voor meetbare procesvariabelen om de fundamentele veiligheidsfuncties te garanderen. Hierdoor kan de integriteit van de fysieke barrière, gevormd door de bekleding van het splijtstofmateriaal in de reactorkern of de bestralingsfaciliteiten, bewaakt worden. Het voldoen aan de veiligheidslimiet voorkomt oververhitting en daardoor beschadiging van de bekleding. Aldus biedt dit bescherming tegen het ongecontroleerd vrijkomen van radioactieve stoffen, waaronder splijtingsproducten, in het koelwater.

2. Indien een veiligheidslimiet wordt overschreden, dan moet de reactor worden stilgelegd en in een veilige toestand worden gehouden. Vervolgens dienen inspecties te worden verricht op de betreffende onderdelen die van belang zijn voor de veiligheid.
3. Er is geen voorziening die de bekledingstemperatuur kan meten. Bijgevolg wordt de veiligheidslimiet uitgedrukt in eenvoudig meetbare en controleerbare procesvariabelen die een indicator zijn voor de temperatuur en daarmee de integriteit van de barrière.
4. De procesvariabelen voor de reactor zijn weergegeven in Tabel 18-1.

**Tabel 18-1: Belangrijkste variabelen voor de Reactorveiligheidslimieten per bedrijfstoestand**

Procesvariabele	Bedrijfstoestanden			
	Vermogens-bedrijf	Testbedrijf	Afgeschakelde reactor	Splijstof-wisseling
Kernvermogen	X	X		
PCS-stroomsnelheid	X			
Waterpeil in de Reactor Pool	X	X	X	X
Temperatuur aan de kerninlaat	X			
Temperatuur aan de kernuitlaat	X			
Drukval over de kern	X			

5. De procesvariabelen voor de bestralingsfaciliteiten zijn weergegeven in Tabel 18-2.

**Tabel 18-2: Belangrijkste variabelen voor de veiligheidslimieten van de bestralingsfaciliteiten per bedrijfstoestand**

Procesvariabele	Bedrijfstoestanden			
	Vermogens-bedrijf	Testbedrijf	Afgeschakelde reactor	Splijstof-wisseling
POCS-stroomsnelheid	X			
Reactorwaterpeil in de pool	X	X	X	X
Drukval over de bestralingsfaciliteit	X			

6. De veiligheidslimieten uitgedrukt in termen van de bovengenoemde procesvariabelen, zorgen ervoor dat potentieel schadelijke thermohydraulische fenomenen worden vermeden voor alle bedrijfstoestanden, kernconfiguraties en ongevalscondities die in de veiligheidsanalyses (zie hoofdstuk 16) geanalyseerd zijn.
7. De veiligheidslimieten zijn afgeleid van de kernfysische en thermohydraulische randvoorwaarden (zie hoofdstuk 5). De in hoofdstuk 16 gepresenteerde veiligheidsanalyses tonen aan dat de barrières intact blijven indien passende maatregelen worden genomen om de veiligheidslimieten niet te overschrijden.
8. Afhankelijk van het thermische vermogen van de reactor, kan de kern in geforceerde circulatie of in natuurlijke circulatie gekoeld worden. Voor elke bedrijfstoestand zijn er verschillende veiligheidslimieten gedefinieerd.

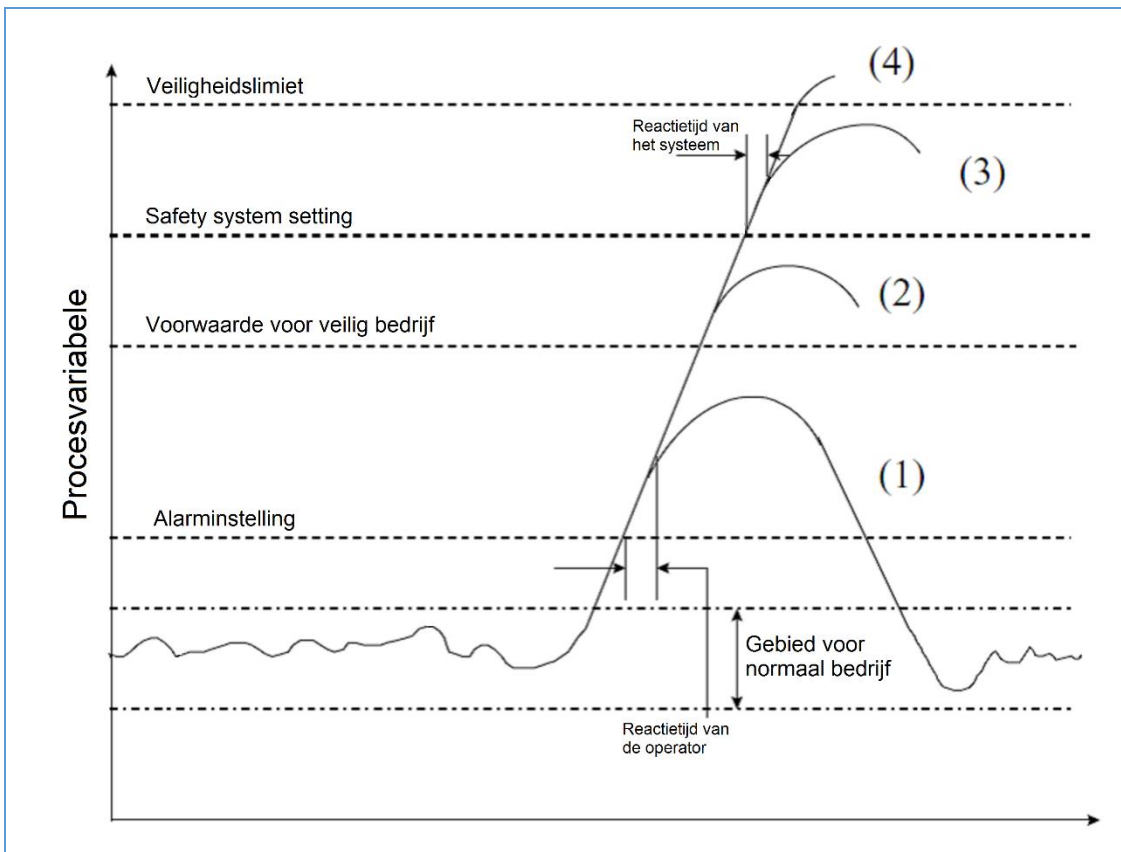
## 18.3 Safety System Settings

1. Om te garanderen dat de veiligheidslimieten (zie vorige paragraaf) niet worden overschreden, wordt rekening gehouden met onder andere vertragingen van de processystemen

(instrumentvertraging, mechanische systeemvertraging, etc.), looptijden van de regelplaten, reactiviteitsveranderingen en reactietijden van het instrument.

2. De Safety System Settings zijn de instellingen van een veiligheidssysteem waarbij deze wordt geactiveerd. In de Safety System Settings is rekening gehouden met proces-, kalibratie- en instrumentfouten.
3. De Safety System Settings zijn gedefinieerd voor alle bedrijfstoestanden van de Reactor.
4. Figuur 18-1 illustreert de relaties tussen een veiligheidslimiet, een analytische limiet, een Safety System Setting en de Normale Toestand. Deze figuur geeft ook de veiligheidsniveaus (zie hoofdstuk 2) die corresponderen met deze limieten.

**Figuur 18-1: Schema van veiligheidslimieten en instellingen van de veiligheidssystemen (Safety system settings)**



- Alarminstelling overschreden (Curve nr. 1): De bewaakte procesvariabele kan het normale bereik overschrijden als gevolg van bijvoorbeeld veranderingen aan het koelsysteem of onbalans van het regelsysteem. Als de procesvariabele een alarminstelling bereikt, wordt de operator gewaarschuwd en zal hij actie ondernemen om deze tot de normale waarde terug te brengen zonder dat de voorwaarde voor veilig bedrijf wordt bereikt. De reactietijd van de operator moet hierbij in aanmerking worden genomen.
- Voorwaarde voor veilig bedrijf overschreden (Curve nr. 2): Voorwaarden voor veilig bedrijf worden op basis van de resultaten van de veiligheidsanalyse vastgesteld tussen het bereik voor normaal bedrijf en de activeringsinstelling voor het veiligheidssysteem. Het is normaal dat er marges zijn tussen de alarminstelling en de voorwaarde voor veilig bedrijf om rekening te houden met eventuele fluctuaties. De marge tussen de voorwaarde voor veilig bedrijf en de instelling van het veiligheidssysteem dient om een transiënt te beheersen zonder het veiligheidssysteem in bedrijf te stellen.
- Overschrijding van de instelling van het veiligheidssysteem (Safety system setting, curve nr. 3): Bij een storing in het besturingssysteem of een fout van de operator of om andere

redenen kan de bewaakte procesvariabele de instelling van het veiligheidssysteem bereiken, met als gevolg dat het veiligheidssysteem in werking treedt. Deze corrigerende maatregel treedt pas na een reactietijd in werking als gevolg van inherente vertragingen in de instrumentatie en apparatuur van het veiligheidssysteem. De reactie moet voldoende zijn om te voorkomen dat de veiligheidslimiet wordt bereikt.

- Veiligheidslimiet overschreden (Curve nr. 4): In geval van een storing die groter is dan de ernstigste storing waarvoor de installatie is ontworpen, of een storing of meerdere storingen in een veiligheidssysteem, zou het mogelijk zijn dat de procesvariabele de veiligheidslimiet overschrijdt. Aanvullende veiligheidssystemen kunnen door andere parameters in werking worden gesteld om andere veiligheidsvoorzieningen in werking te stellen om de gevolgen te beperken, en maatregelen voor ongevallenbeheersing kunnen worden geactiveerd.

## 18.4 Begrenzende voorwaarden voor veilige bedrijf

1. De begrenzende voorwaarden voor veilig bedrijf (Limiting Conditions for Operation, LCO) zijn beperkingen voor systemen en operationele parameters die in de betreffende bedrijfstoestand nageleefd dienen te worden.
2. De LCO zijn vastgesteld om aanvaardbare marges te bieden tussen de normale bedrijfswaarden en de instellingen van het veiligheidssysteem tijdens de verschillende bedrijfstoestanden. Naleving van de LCO voorkomt dat het veiligheidssysteem wordt aangesproken.
3. De LCO bevatten:
  - limieten voor bedrijfsparameters;
  - eisen voor minimaal beschikbare apparatuur met regels voor het niet beschikbaar zijn van het systeem;
  - de tijd die toegestaan is om een veilige toestand te bereiken, of de voorgeschreven acties die moeten worden ondernomen in het geval dat niet aan deze regels wordt voldaan.
4. In sommige gevallen initiëren procesvariabelen of parameters die een LCO bereiken, alarmen om het bedienend personeel in staat te stellen de juiste actie te ondernemen om te voorkomen dat de Safety System Settings worden overschreden en een veiligheidssysteem wordt geactiveerd.

## 18.5 Functionele controles

1. De functionele controles specificeren de frequentie en de reikwijdte van de tests en inspecties die nodig zijn om aan te tonen dat aan de safety system settings en de begrenzende voorwaarden voor veilig bedrijf wordt voldaan.
2. Aan de hand van de functionele controles wordt een programma opgesteld voor het testen, kalibreren of inspecteren, om te garanderen dat de systemen, structuren en componenten in staat zijn de beoogde veiligheidsfunctie uit te voeren. De functionele controles moeten uitgevoerd worden conform de eisen zoals vastgelegd in de VTS.
3. Onder functionele controles kan worden verstaan:
  - functionele testen die aantonen dat het systeem of onderdeel daadwerkelijk werkt zoals vereist;
  - kalibratie van de gemeten en weergegeven waarde op meetinstrumenten voor het initiëren van een afschakeling of alarm op het gewenste instelpunt;
  - inspecties die kunnen variëren van een eenvoudige visuele inspectie tot een gedetailleerde meting;
  - in-service inspecties die met een bepaalde frequentie tijdens het bedrijf van de PALLAS-reactor uitgevoerd worden.
4. Functionele controles worden uitgevoerd in overeenstemming met schriftelijke procedures en instructies die in het IMS zijn opgenomen.

## 18.6 Administratieve vereisten

1. In de VTS zijn administratieve vereisten vastgelegd die betrekking hebben op de volgende gebieden:
  - organisatie;
  - personeel;
  - opleiding en training;
  - review;
  - gebruik en aanpassing;
  - registratie en rapportage.
2. In de VTS worden taken en verantwoordelijkheden gedefinieerd en worden minimumkwalificatie- en opleidingseisen vastgesteld. De VTS geeft ook de minimale personeelsbezetting aan voor elke bedrijfstoestand.
3. Overtredingen van de VTS zullen, wanneer en waar van toepassing, aan de ANVS en/of andere regelgevende instanties worden gerapporteerd. De rapportage en informatie zal worden georganiseerd in overeenstemming met de reglementaire vereisten.

# 19

## Ergonomie





## 19.1 Inleiding

1. De mens speelt een belangrijke rol in de veilige bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor, vooral gezien de frequente (handmatige) handelingen met radioactief materiaal. Naast de positieve bijdrage die de mens op de veiligheid heeft, kan deze ook fouten maken die tot bedrijfsstoringen, beschadigingen, onveilige situaties en ongevallen kunnen leiden.
2. Onder ergonomie wordt door PALLAS enerzijds het technische ontwerp criterium voor een goede bedienbaarheid verstaan waarbij het ontwerp rekening houdt met de menselijke mogelijkheden en beperkingen, en anderzijds het rekening houden met menselijk gedrag en falen en de processen binnen de organisatie (de menselijke factor).
3. Het ergonomie-programma van PALLAS streeft naar het zodanig ontwerpen van gebruiksvoorwerpen, technische systemen en het raakvlak tussen mens en systeem met als doelstellingen:
  - de veiligheid, de gezondheid, het comfort en het doeltreffend functioneren van mensen te optimaliseren;
  - de veiligheid van de reactor te waarborgen.
4. Ergonomie houdt hierbij rekening met wat mensen wel en niet kunnen op zowel fysisch als psychisch vlak.
5. De ergonomie is systematisch meegenomen in het ontwerp van alle structuren, systemen en componenten van de PALLAS-reactor, waarbij zowel de positieve bijdrage van de mens aan de veiligheid als de mogelijkheid van menselijk falen is meegenomen. Hierbij is gekeken naar de volgende factoren die het functioneren van mensen kunnen beïnvloeden:
  - mens-gerelateerde factoren – deze corresponderen met één enkele persoon in een gegeven werksituatie en de interactie met andere mensen bij het uitvoeren van de werkzaamheden;
  - technologie-gerelateerde factoren – deze corresponderen met de eigenschappen, bruikbaarheid en geschiktheid van de structuren, systemen en componenten voor hun doel;
  - organisatie-gerelateerde factoren – deze corresponderen met alle relevante processen binnen de organisatie om haar doelen te bereiken, te voldoen aan wet- en regelgeving, productief, duurzaam en een lerende organisatie te zijn.
6. Ergonomie speelt een effectieve rol in het optimaliseren van menselijk handelingen als deze al vanaf het prille begin volop in het ontwerpproces wordt meegenomen. PALLAS heeft daarom een ergonomie-programma geïmplementeerd om zeker te stellen dat de ergonomie voldoende wordt geïmplementeerd in het ontwerp en gedurende de hele levensduur van de reactor.
7. Dit hoofdstuk gaat achtereenvolgens in op het beschrijven van de ergonomische aspecten die meegenomen zijn in het ontwerp van de PALLAS-reactor. Hierbij is gebruik gemaakt van de ervaring die is opgedaan in ontwerp, constructie en bedrijfsvoering van vergelijkbare multi-purpose reactoren. De PALLAS-reactor is een evolutie van eerdere reactoren waarbij internationale normen, technische ontwikkelingen en bedrijfservaring zijn toegepast. Voor het basisontwerp van de ergonomie dient de OPAL reactor daarbij als referentiefaciliteit.
8. In het ontwerp van de reactor is rekening gehouden met menselijke factoren om het risico op menselijke fouten te verminderen, om de acties van de operator te vergemakkelijken en om stress voor de operator te minimaliseren. Verbeteringen als gevolg van lessen uit bedrijfservaring worden toegepast en het ontwerp wordt continu verbeterd.
9. Om ergonomie systematisch mee te nemen in het ontwerp van de PALLAS-reactor, heeft Pallas als doel om de huidige stand van normen, richtlijnen en technieken te gebruiken, en daarmee ergonomische eisen en ontwerpcriteria voor het ontwerp van PALLAS vast te stellen.
10. Het proces en de systematiek voor het toepassen en implementeren van ergonomie zijn beschreven in het ergonomie-programma. De analysemethoden (paragraaf 19.6) om ergonomische voorschriften te identificeren (paragraaf 19.7) en de verificatie en validatie hiervan (paragraaf 19.8) van eisen en voorschriften in het “as built” ontwerp en bedrijfsvoering van de faciliteit.

11. De volgende sub paragrafen beschrijven:
  - evolutie van ergonomie in het ontwerp van de PALLAS-reactor (paragraaf 19.2);
  - bedrijfservaring meegenomen in het ontwerp van de PALLAS-reactor (paragraaf 19.3);
  - ontwerp-eisen en -principes voor de implementatie van ergonomie bij PALLAS (paragraaf 19.4);
  - ergonomie-programma (paragraaf 19.5);
  - analysemethoden om ergonomische voorschriften te identificeren (paragraaf 19.6);
  - ergonomische voorschriften (paragraaf 19.7);
  - verificatie en validatie van ergonomische eisen en voorschriften (paragraaf 19.8).

## 19.2 Evolutie van ergonomie in het ontwerp

1. De PALLAS-reactor is gebaseerd op eerdere reactoren waarbij technische ontwikkelingen en bedrijfservaring zijn toegepast en het ontwerp continue is verbeterd (zie paragraaf 1.6.2). Omdat de systemen van de PALLAS-reactor sterk op elkaar lijken op die van de Australische OPAL-reactor dient deze als basis voor het ergonomische ontwerp om de volgende redenen:
  - De OPAL-reactor is in vele opzichten vergelijkbaar met de PALLAS-reactor zodat deze voor ergonomische eigenschappen van het ontwerp als referentie kan dienen.
  - Bij het ontwerp van de OPAL-reactor zijn gangbare internationale normen voor de ergonomische ontwerpprincipes en -criteria toegepast.
  - Analyse van menselijke handelen heeft aangetoond dat de veiligheid van de OPAL reactor niet als gevolg van menselijk handelen in gevaar wordt gebracht. De consequenties van fouten van operators zijn geanalyseerd om zeker te stellen dat er voldoende maatregelen zijn om een ongeval te voorkomen en indien nodig voldoende bescherming aanwezig is om de reactor in een veilig toestand te brengen.
2. Als gevolg van de evolutie van het ontwerp zijn ontwikkelingen en bewuste keuzes gemaakt van acties die geïnitieerd moeten worden door het bedienend personeel of dat deze automatisch door een systeem moeten gebeuren. Een optimale verdeling van menselijk handelen en automatisering om de fundamentele veiligheidsfuncties te waarborgen zijn grotendeels uitgewerkt en toegepast in de PALLAS-reactor.
3. De oplossingen voor het beveiligen en veilig beheren van de reactor (reactorsnelafschakeling, beheer van reactiviteit, procedures voor inbedrijfname etc.) en die ontwerpprincipes (bijv. passieve veiligheidsvoorzieningen, veilig falen, automatisch schakelen van veiligheidssystemen na een storing die geen actie eisen van een operator, etc. (zie paragraaf 2.2.6)) zijn uitgewerkt in het OPAL reactor. De veiligheidsprincipes die bij OPAL toegepast zijn ook van toepassing voor PALLAS.
4. Een optimale verdeling van menselijk handelen en automatisering om de fundamentele veiligheidsfuncties te waarborgen zijn grotendeels uitgewerkt en van toepassing in de PALLAS-reactor.
5. In de OPAL reactor ontwerp zijn de consequenties van mogelijke foutieve menselijke handelingen beschouwd. Fouten door productie operators en regelzaal operators zijn geanalyseerd om zeker te stellen dat er voldoende maatregelen zijn om een ongeval te voorkomen en indien nodig voldoende bescherming aanwezig is om de reactor in een veilig bedrijfstoestand te brengen.
6. De productie operators zijn verantwoordelijk voor de menselijke handelingen van de bestralingsfaciliteiten die nodig zijn om de isotopen te bestralen. Deze activiteiten bestaan uit het hanteren van de tools, het laden en ontladen van de targethouders waarin de isotopen/targets zich bevinden en ook het hanteren van splijtstofelementen voor en na ieder bestralingscyclus. De tools, de bestralingsfaciliteiten en de verwijderbare reactorcomponenten zijn ergonomisch ontworpen om foute handelingen te vermijden, en om te voorkomen dat handelingen leiden tot het vallen van een targethouder, splijtstofelement of reactorcomponent of tot beschadigingen aan die componenten. Het ontwerp van speciaal gereedschap, goede opleiding en duidelijke procedures verminderen de kans op foute handelingen.

7. Voor de OPAL-reactor zijn de gevolgen van mogelijke incorrect menselijke handelingen die en gepostuleerde begin gebeurtenissen kunnen veroorzaken geanalyseerd op nucleaire veiligheid en ongewenste straling van medewerkers beschouwd. Maatregelen te voorkomen van menselijke fouten of de veiligheid van de reactor zeker te stellen zijn geïdentificeerd. Deze maatregelen zijn opgenomen in het basisontwerp van de PALLAS reactor.

## 19.3 Bedrijfservaring in het ergonomisch ontwerp

1. Gedurende de basisontwerp fase zijn analyses uitgevoerd die bedrijfservaring hebben geëvalueerd om mogelijke verbeteringen in het reactorontwerp en de ergonomie van de OPAL reactor te identificeren.
2. Tijdens de verschillende projectfasen zijn de volgende onderwerpen beschouwd:
  - Concept van bedrijfsvoering
  - Ontwerp procesbenaderingen en -technieken
  - Ontwerptools
  - Ontwerp Test en evaluatie
  - Ontwerp implementatie
  - Verificatie en validatie van het ergonomisch ontwerp
  - Veiligheidsevaluaties
  - Demonstratie dat het ergonomisch ontwerp toereikend is
  - Automatisering van personeelsrollen
  - Werkpraktijken en taakindeling
  - Personeel, kwalificatie en taakverdeling
  - Teamwork, coördinatie van de bemanning,
  - Communicatie en controle
  - Toezicht en overzicht
  - Taaklocatie, bijv. hoofdcontrolekamer vs. lokale acties
  - Opleiding
  - Alarmsysteem ontwerp
  - Ontwerp van weergave- en informatie voorziening
  - Ontwerp van Beheer systemen
  - Bedieningshulpmiddelen en bemanning ondersteuningssystemen
  - Ontwerp van procedures
  - Indeling controlekamer en omgeving.

## 19.4 Ergonomische eisen en ontwerpprincipes

1. Een drietal uitgangspunten zijn belangrijk om te vermelden in het kader van de ergonomie in het ontwerp:
  - De veiligheidssystemen van de PALLAS-reactor zijn ontworpen volgens het principe van veilig falen (zie paragraaf 2.2.6).
  - De veiligheidssystemen worden automatisch geïnitieerd; in de eerste 30 minuten na een storing is er geen actie van een operator benodigd. Hiermee wordt voorkomen dat de operator overhaaste beslissingen zou moeten nemen.
  - Een groot deel van de systemen van de PALLAS-reactor is reeds geïmplementeerd in andere reactoren en faciliteiten, waarin de ergonomie ook al is meegenomen. Een groot voordeel hiervan is dat er ervaring is met het gebruik van deze systemen, waaruit ten behoeve van het PALLAS-ontwerp geleerd is. In deze gevallen is getoetst of de ergonomische oplossing/implementatie voldoet aan de voor PALLAS-reactor gestelde eisen ten aanzien van de ergonomie.

2. Vooral het voorziene gebruik van de PALLAS-reactor is uniek en vraagt om een aanpak op maat voor wat betreft een deel van de interfaces tussen de mens, technologie en organisatie. De eerdergenoemde analyse-activiteiten worden gebruikt om deze specifieke aspecten te identificeren voor de PALLAS-reactor, op basis waarvan eisen aan het ontwerp zijn ontwikkeld.
3. De volgende subparagrafen beschrijven de ergonomische ontwerpeisen en principes.

#### 19.4.1 Ergonomische ontwerpeisen

1. Voor de PALLAS-reactor worden moderne ergonomische ontwerpmethodieken toegepast. Dit leidt tot een ontwerp van structuren, systemen en componenten die zijn ergonomisch ontworpen voor alle interfaces met de mens, inclusief:
  - bediening van regelingen;
  - waarnemen van instrumenten;
  - tillen en andere faciliteiten voor handelingen;
  - trappen;
  - vangrails etc.
2. Voor de mens-machine-interface staat de regelzaal centraal. Deze is ontworpen voor:
  - optimale weergave van informatie;
  - het voorzien van operators van uitgebreide, maar eenvoudig te gebruiken informatie;
  - tijdige en geschikte informatie met de tijd die nodig is voor besluitvorming en uitvoering van handelingen;
  - informatie met voldoende overzicht van de toestand van de reactor en productie-installatie.
3. De selectie en samenhang van instrumenten en de weergave van de informatie zijn systematisch beschouwd en nemen ergonomische principes in acht om de juiste informatie aan de operators weer te geven zodat deze de juiste handelingen kunnen uitvoeren om een ongeval te beheersen.
4. Antropometrische eisen worden meegenomen om de fysieke afmetingen van beheerpanelen en gereedschappen te bepalen.
5. Handelingen die de reactiviteit van de reactor kunnen beïnvloeden worden uitgevoerd met voldoende beheer en controle en alleen als de beheer en informatie systemen in bedrijf zijn.
6. Het ontwerp van de systemen en de vergrendelingen voorkomt niet toegestane en niet voldoende ondersteunde handelingen (bijvoorbeeld het trekken van de regelstaven).

#### 19.4.2 Ergonomische principes

1. Hieronder worden de ergonomische principes beschreven die bij de PALLAS-reactor zijn toegepast.
2. Algemene ontwerp principes:
  - Het totale ontwerp is robuust een bestendig tegen menselijke fouten, met voldoende veiligheidsmarges om afwijkingen van normaal bedrijfsvoering op te vangen.
  - Best beschikbare stand van de techniek wordt toegepast op de mens-machine-interface van de Main Control Room, Supplementary Control Room, Emergency Control Centre en lokale bedieningspanelen.
  - Beveiligingsfuncties zijn zo ontworpen dat personeel deze niet kunnen verstoren of belemmeren.
  - Optimale benutting van automatisering voor het hanteren van bestraald of radiologisch materiaal.
  - Het ontwerp van systemen en de benodigde procedures voor bediening en onderhoud van componenten moet de kans van menselijk falen minimaliseren.
  - Betrouwbare systemen en componenten wordt toegepast met voldoende redundantie en scheiding tussen systemen zodat voldoende informatie en beheersfuncties in de Main Control Room en de Supplementary Control Room beschikbaar zijn om de reactor veilig uit bedrijf te nemen, ook in geval van gemeenschappelijke falen van een systeem of het voortdoen van interne of externe gevaren (bijvoorbeeld, brand of overstroming).

- Het ontwerp van de Reactor Pool zal streven om goede zichtbaarheid te bieden aan zo veel mogelijk reactorkern componenten.
3. Principes bij het opstellen van procedures:
    - Bedrijfshandleidingen, procedures en instructies zijn beschikbaar voor alle voorziene scenario's tijdens de bedrijfscyclus en met heldere instructies en acties om het personeel stapsgewijs te begeleiden in die situaties.
    - Bij het opstellen van procedures is rekening gehouden met de invloed van de omgeving op het uitvoeren van taken.
    - Het personeel te begeleiden in ongevalssituaties die niet met specifieke procedure zijn af te handelen.
    - Opstartprocedures met verificatie van de configuratie van de systemen.
  4. Principes bij het opstellen van Training programma:
    - Het personeel wordt opgeleid met voldoende kennis van de reactorsystemen en ongevalsscenario's.
    - Een training programma waar personeel abnormale en ongeval scenario's moet beheersen.
    - Training met een simulator waar personeel abnormale en ongevalsscenario's moet beheersen en waar de terugkoppeling met de reactor in "realtime" optreedt in een omgeving die (bijna) gelijk is als de Main Control Room.
  5. Principes voor het Bedrijfsvoering:
    - De bezettingsgraad van personeel is voldoende om de bedrijfsvoering veilig te kunnen uitvoeren, en ongevalsscenario's te kunnen beheersen.
    - Maatregelen worden genomen zodat extra technische en management personeel beschikbaar zijn om opgeroepen te worden ter ondersteuning van abnormale of ongevalssituaties.

## 19.5 Ergonomie-programma

### 19.5.1 Algemeen

1. Het ergonomie-programma maakt integraal deel uit van het PALLAS Integrated Management System (zie Hoofdstuk 14), waarin de managementstructuur, het beleid, de procedures en de organisatorische regelingen zijn vastgelegd.
2. Het ergonomie-programma beschrijft alle administratieve en organisatorische regelingen die zorgen dat de ergonomie bij alle activiteiten in de PALLAS-reactor gedurende de gehele levensduur van de reactor is geborgd. Het schetst de systemen en processen waarmee de normen en wettelijke voorschriften inzake de ergonomie worden nageleefd.
3. De volgende sub paragrafen beschrijven:
  - de doelstelling (paragraaf 19.5.2);
  - ergonomie en het managementsysteem (paragraaf 19.5.3).

### 19.5.2 Doelstelling

1. Het hoofddoel van het ergonomie-programma is om de PALLAS-reactor veilig, effectief en efficiënt door operators kan worden bedreven. Daarnaast is het een doel om de kans op menselijk falen tijdens commissioning en tijdens bedrijf te minimaliseren en de menselijke prestatie daarbij te optimaliseren.
2. Het ergonomie-programma zorgt ervoor dat ergonomie een integraal onderdeel uitmaakt van het ontwerp van de PALLAS-reactor, en op een systematische en evenwichtige manier in het ontwerp wordt geadresseerd. Systemen worden vanuit het standpunt van de gebruiker bekeken en ontworpen met het oogpunt op bedienbaarheid, werkbaarheid, efficiëntie, bereikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid. Hierbij wordt zowel naar het fysische als het cognitieve aspect

gekeken. Dit alles met als doel om de kans op menselijk falen en/of de gevolgen daarvan te minimaliseren.

3. Het ergonomie-programma concentreert zich op de interactie tussen mens en systeem en het identificeren van de middelen die hiervoor nodig zijn. De belangrijkste voorbeelden hiervan zijn alarm-, informatie- en bedieningspanelen en procedures. Alle operationele bedrijfstoestanden en ongevalscondities worden hierbij meegenomen, evenals de locaties waar en de condities waaronder de menselijke handelingen (moeten) worden uitgevoerd.
4. Hiernaast levert het ergonomie-programma belangrijke informatie die nodig is om de omvang van het personeel en de eisen en kwalificaties waaraan het personeel moet voldoen vast te stellen. Het programma ondersteunt ook de ontwikkeling van het trainingsprogramma voor het personeel. Deze aspecten zijn nader besproken in hoofdstukken 14 en 15.
5. Het ergonomie-programma focust op systemen waarbij een potentiële menselijke fout een negatieve impact kan hebben op de veiligheid en integriteit van de reactor. Dit zijn de systemen die bediend worden vanuit de Main Control Room, Supplementary Control Room, Hot Cells en Pools (in het bijzonder de gereedschappen die in de pools worden gebruikt).
6. In de Control Rooms hebben de volgende systemen interactie met de operators: Reactor Control and Monitoring System, Reactor Protection System, Irradiation Control and Monitoring System, Irradiation Protection System en Post Accident Monitoring System. De kritische menselijke handelingen die nodig zijn om deze systemen te gebruiken, zijn geanalyseerd, waarbij gekeken is naar operationele ervaringen, analyse van de functionele eisen, taakanalyse en de bevindingen vanuit de PSA. De resultaten van de analyse zijn verwerkt in het ontwerp.
7. Naast de normale operationele activiteiten worden er analyses uitgevoerd voor onderhouds-, inspectie- en logistieke taken en onderlinge afhankelijkheden.
8. Een Human Performance Monitoring programma zal worden geïnitieerd voorafgaand aan de ingebruikname van de reactor. Dit programma draagt zorg voor het behoud van goede ergonomie tijdens de inbedrijfstellings- en operationele fase en borgt dat, wanneer in de toekomst wijzigingen in de installatie worden aangebracht, deze geen negatieve gevolgen hebben op de interactie tussen mens en systeem.

### 19.5.3 Ergonomie en het managementsysteem

1. Het PALLAS-management beschouwt veiligheid en veilige (werk)omstandigheden van alle personen die in of nabij de PALLAS-reactor aanwezig zijn als hoogste prioriteit.
2. Het PALLAS Integrated Management System (IMS) beschrijft alle processen die PALLAS moet hebben om haar missie, visie en veiligheidsdoelstelling te realiseren. Voor elk proces is een beschrijving gegeven, waaronder definities van de scope, procedures en verantwoordelijkheden binnen de organisatie. Het IMS kent een aantal processen die van toepassing zijn op de ergonomie.
3. Met vastgestelde procedures wordt geborgd dat alle PALLAS-medewerkers voldoende worden getraind voor de door hen uit te voeren taken. Bovendien worden alle taken uitgevoerd volgens vastgestelde procedures, waarmee veilig, effectief en efficiënt werken wordt geborgd.
4. Voorafgaand aan de inbedrijfstelling van de reactor worden procedures opgesteld voor het bedrijven en onderhouden van de reactor en voor het omgaan met storingen en ongevalssituaties. Het ergonomie-programma zal mede input geven aan de ontwikkeling van deze procedures.
5. Het PALLAS IMS is beschreven in hoofdstuk 14.

## 19.6 Analyses

1. Als onderdeel van het ergonomie-programma wordt iteratief met gebruik van de opeenvolgende analyse-activiteiten geborgd dat de ergonomie in het ontwerp wordt meegenomen:

- Evaluatie van operationele ervaring (inclusief storingen en ongevallen)  
Relevante operationele ervaring en “good practices” op het gebied van de ergonomie zijn verzameld en vervolgens gebruikt in het ontwerp van de PALLAS-reactor. De evaluatie heeft zich geconcentreerd op de controlekamers, de hot cells, de bedieningstoelen in de bassins en de logistiek.
  - Analyse van de functionele eisen en toewijzing van functies en taken  
Deze analyse is gebruikt om veiligheidsrelevante taken vast te stellen en deze vervolgens toe te wijzen aan personeel en of systemen. Bij het toewijzen is rekening gehouden met de sterke en zwakke kanten van zowel mens als machine, om tot een zo veilig mogelijk ontwerp te komen. Alle hoofdfuncties en systemen van de PALLAS-reactor worden geanalyseerd met deze methode.
  - Taakanalyse  
De taakanalyse splitst functies op in taken die moeten worden uitgevoerd. De beschrijving van deze taken levert een bijdrage aan de eisen voor het ontwerp van systemen, de interfaces en de eisen aan en de kwalificatiecriteria voor het personeel. De taakanalyse maakt het mogelijk om de kans op menselijke fouten bij het uitvoeren van de taken vast te stellen.
  - Personeel & Kwalificatie  
De eisen aan en kwalificatiecriteria voor het personeel zijn een belangrijk resultaat van de ergonomie-analyse.
  - Analyse van de menselijke betrouwbaarheid  
Deze analyse heeft tot doel de kans op menselijke fouten bij het uitvoeren van een taak te analyseren en de factoren die falen beïnvloeden te identificeren. Verbeteringen in het ontwerp of organisatie en de definitie van herstelacties kan leiden dat de prestatie van de personeel wordt verhoogd.
2. De resultaten van de analyse-activiteiten worden gebruikt om eisen te formuleren voor het ergonomisch ontwerp van de PALLAS-reactor. Daarnaast zijn er ook bevindingen die zullen worden gebruikt bij het opstellen van procedures en werkinstructies.

## 19.7 Ergonomische voorschriften

1. De mens-machine-interface biedt de middelen die het personeel nodig heeft om te communiceren met fabrieksfuncties, systemen en componenten. De basisbouwstenen van computer gebaseerde mens-machine-interfaces zijn de informatiedisplay en gebruikersinterface-interactie en beheerfuncties. Met deze bouwstenen kunnen middelen worden ontwikkeld ter ondersteuning van andere functies, zoals monitoring en detectie (alarmen), situatiebeoordeling (geautomatiseerde ondersteuningssystemen voor operators), responsplanning (computer gebaseerde procedures) en responsimplementatie (soft controls).
2. Het ontwerpproces van HSI vertegenwoordigt de vertaling van taak- en personeelsvereisten naar HSI kenmerken en functies en uiteindelijk de voorschriften voor leveranciers. De HSI moet worden ontworpen met behulp van een gestructureerde methodologie die ontwerpers begeleiden bij het identificeren en selecteren van kandidaat HSI-benaderingen, en definieert de ontwerp details, integreren van mens-machine-interfaces en uitvoeren van tests en evaluaties. Hoewel de nadruk vooral op mens-machine-interfaces ligt, worden ook procedures behandeld omdat ze een integraal onderdeel uitmaken van de taakuitvoering van de operators.
3. Een mens-machine-interface stijlgids definieert de gedetailleerde ontwerpcriteria voor de HSI-elementen. De stijlgids biedt gedetailleerde specificaties of regels die de kenmerken en functies van ieder type mens-machine-interface, zoals de algehele indeling van de Main Control Room, beeldschermorganisatie, de manier waarop kenmerken en functies aan gebruikers worden gepresenteerd, de navigatiekenmerken en functies, en specifieke ontwerpkenmerken zoals display-lettertypen en kleurgebruik.

4. Gebruik van een stijlgids zal zorgen voor een consistent ontwerp voor alle mens-machine-interfaces, ook al zijn de ontwerpen door verschillende ontwerpers gemaakt.

## 19.8 Verificatie en validatie

1. Verificatie en validatie wordt uitgevoerd om ervoor te zorgen dat het PALLAS-reactor ontwerp voldoet aan erkende ergonomie-ontwerpprincipes en dat het personeel in staat is zijn taken succesvol en veilig uit te voeren om de veiligheid te waarborgen en de operationele doelen te bereiken.
2. Tijdens de ontwerpfases vindt de volgende verificatie plaats:
  - verificatie van het ergonomisch ontwerp, waarbij wordt gecontroleerd of het ontwerp voldoende rekening houdt met de menselijke mogelijkheden en beperkingen;
  - taak-ondersteunende verificatie, waarbij wordt gecontroleerd of het ontwerp voldoende ondersteuning geeft om te voldoen aan de eisen die gesteld zijn aan de personele taken (welke gedefinieerd zijn in de taakanalyse).
3. Tijdens de inbedrijfstellings- en pre-operationele fasen zal een geïntegreerde systeemvalidatie worden uitgevoerd met prestatiegerichte tests die aantonen dat het geïntegreerde ontwerp een veilige en betrouwbare werking van de reactor ondersteunt.



# 20

Noodorganisatie



## 20.1 Inleiding

1. Voorafgaand aan de inbedrijfstelling van de reactor zal PALLAS over een toereikende noodorganisatie en noodvoorzieningen beschikken om doeltreffend de acties te kunnen uitvoeren die nodig zijn om mens en milieu voor de gevolgen van een ongeval te kunnen beschermen.
2. Gelet op de huidige stand van de realisatie van de PALLAS-reactor, is de noodorganisatie nog niet volledig geïmplementeerd. De beschrijving in dit hoofdstuk toont aan dat PALLAS de vereisten voor de operationele fase begrijpt en een geloofwaardig plan heeft om hieraan te voldoen.
3. Bij de ontwikkeling van het noodplan en de noodprocedures voor PALLAS zullen specifieke afspraken worden gemaakt met de overige bedrijven op de Energy and Health Campus, waarbij rekening zal worden gehouden met bestaande plannen en waarbij op de ervaringen van deze bedrijven wordt voortgebouwd.
4. Het noodplan en de noodprocedures voor PALLAS worden afgestemd met deze bedrijven. Daarnaast moeten deze zijn goedgekeurd door de ANVS en Veiligheidsregio Noord-Holland Noord, die een verantwoordelijkheid hebben in de voorbereidingen en respons op noodsituaties. PALLAS zal aantonen en garanderen dat het noodplan en de noodprocedures doeltreffend zijn.
5. Het noodplan en de noodprocedures worden opgesteld binnen het kader van het PALLAS geïntegreerde managementsysteem (IMS, zie hoofdstuk 14). Het IMS integreert alle elementen van de organisatie in één samenhangend systeem om de doelstellingen van de organisatie te kunnen bereiken.

## 20.2 Noodplan

1. Het noodplan beschrijft onder andere de doelstellingen, het beleid, de organisatie van de noodhulpverlening, de verantwoordelijkheden en bevoegdheden en de wijze van de respons op een noodsituatie. Het noodplan dient als uitgangspunt voor de ontwikkeling van andere plannen, de noodprocedures en instructies.
2. Noodplannen worden op verschillende niveaus opgesteld: internationaal, nationaal, regionaal, lokaal en per faciliteit. Deze omvatten alle activiteiten die door alle relevante organisaties en autoriteiten moeten worden uitgevoerd. Details betreffende de uitvoering van specifieke taken die in een noodplan zijn beschreven, zijn opgenomen in noodprocedures.
3. De PALLAS-noodorganisatie, noodplannen en -procedures worden gebaseerd op de gevolgen van alle gepostuleerde en geanalyseerde ongevalscondities (hoofdstuk 16) en andere relevante gebeurtenissen.
4. Als onderdeel van de noodplannen en procedures, zijn de volgende aspecten van belang:
  - identificeren en klasseren van noodsituaties (paragraaf 20.2.1);
  - afspraken met instanties buiten het terrein (paragraaf 20.2.2);
  - kennisgeving aan personeel op en buiten het terrein (paragraaf 20.2.3);
  - kennisgeving aan de overheid en lokale autoriteiten (paragraaf 20.2.4);
  - betrouwbaarheid van communicatie (paragraaf 20.2.5);
  - beschermende maatregelen (paragraaf 20.2.6);
  - uitrusting (paragraaf 20.2.7);
  - afspraken met zorgverleners (paragraaf 20.2.8);
  - opleiding en training van personeel (paragraaf 20.2.9);
  - middelen voor uitvoering van het noodplan (paragraaf 20.2.10).
5. Deze aspecten worden in overeenstemming gebracht met alle relevante noodplannen en noodprocedures waaronder die op nationaal en regionaal niveau, maar ook de noodplannen en noodprocedures geldend op de Energy and Health Campus.

6. Vanaf het moment dat de splijtstof voor het eerst naar het terrein wordt gebracht en met laden van splijtstof wordt begonnen, zullen de betreffende aspecten, voor zover van toepassing, gedefinieerd en uitgewerkt zijn en zullen zij geoefend en getest zijn.

### 20.2.1 Identificeren en klasseren van noodsituaties

1. PALLAS treft voorzieningen en maatregelen om nucleaire of radiologische noodsituaties te herkennen.
2. Om snel een noodsituatie te herkennen (op en buiten het terrein) zal PALLAS uitgerust worden met verschillende (geautomatiseerde) monitoring- en detectiesystemen die helpen bij het opsporen en identificeren van ongevallen of incidenten. Een algemeen noodnummer kan door iedereen ter plaatse worden gebruikt om noodgevallen te melden. Personeel zal worden opgeleid om een (potentiële) noodsituatie te herkennen, te interpreteren, te identificeren en te klasseren.
3. In geval van een noodsituatie dient PALLAS de eerste klassering te geven. Het klasseringssysteem voor noodsituaties houdt rekening met alle gepostuleerde noodsituaties, met inbegrip van de gevolgen van gebeurtenissen met zeer geringe waarschijnlijkheid. Het klasseringssysteem voor noodsituaties is opgezet met het oog op een snelle en doeltreffende respons, waarbij rekening wordt gehouden met de onzekerheid van beschikbare informatie. Het systeem klasseert een noodsituatie in één van de volgende vijf categorieën:
  - algemene noodsituatie die beschermende maatregelen en acties op en buiten het terrein vereisen;
  - noodsituatie op het terrein die beschermende maatregelen en acties op en buiten het terrein vereisen;
  - noodsituatie in de faciliteit die beschermende maatregelen en acties op de faciliteit en op het terrein vereisen, maar niet buiten het terrein;
  - waarschuwing die actie vereist om mogelijke gevolgen in de faciliteit te beoordelen en te beperken;
  - andere nucleaire of radiologische noodsituatie die beschermende maatregelen en acties op andere locaties vereisen.
4. PALLAS zal zorg dragen voor initiatie van een gecoördineerde en vooraf geplande respons, inclusief het op de hoogte stellen en voldoende informatie verstrekken voor een doeltreffende respons buiten het terrein.

### 20.2.2 Afspraken met instanties buiten het PALLAS terrein

1. PALLAS zal regelingen treffen met instanties met betrekking tot ieders verantwoordelijkheid, paraatheid en respons bij noodsituaties. PALLAS zal zich op de hoogte stellen van de bestaande regionale en nationale noodplannen en de activiteiten van de openbare hulpdiensten met betrekking tot hulpverlening in noodsituaties. Het betreft bijvoorbeeld:
  - Regionaal crisisplan veiligheidsregio Noord-Holland Noord;
  - Rampenbestrijdingsplan nucleaire installatie PALLAS-reactor;
  - Incidentenbeheersplan van de Energy and Health Campus;
  - Gecoördineerde regionale incidentenbestrijdingsprocedure (GRIP);
  - Nationaal handboek crisisbesluitvorming;
  - Landelijk Crisisplan Straling.
2. De meest voor de hand liggende (primaire) partner voor hulpverlening en voorbereiding bij/van calamiteiten is de Veiligheidsregio Noord-Holland Noord. De veiligheidsregio omvat de brandweerzorg, de ambulancezorg en de multidisciplinaire voorbereiding op crises/rampen. Andere relevante partijen zijn de politie en medische zorg (na PALLAS) in de ambulance en een ziekenhuis. Afspraken met externe partners/hulpdiensten zijn afgerond voordat splijtstof voor het eerst naar de locatie wordt gebracht.

### 20.2.3 Kennisgeving aan personeel op en buiten het terrein

1. Het noodplan, de noodprocedures en de aanwezige voorzieningen van PALLAS zullen zorgdragen voor een snelle melding van een noodsituatie aan alle personen op en buiten het terrein. Met de aanwezige communicatiesystemen zullen zowel waarschuwingen als instructies gegeven kunnen worden.
2. Melding van een noodsituatie is een expliciete taak van de PALLAS-noodorganisatie. In een procedure zal worden aangegeven onder welke omstandigheden welke meldingen nodig zijn, met welke middelen en welke informatie verstrekt dient te worden.

### 20.2.4 Kennisgeving aan de overheid en lokale autoriteiten

1. Het op de hoogte brengen van lokale, regionale en nationale autoriteiten is een expliciete taak van de PALLAS-noodorganisatie. In een procedure zal worden aangegeven onder welke omstandigheden kennisgevingen nodig zijn, welke autoriteiten moeten worden geïnformeerd, binnen welke termijn, op welke wijze en welke informatie moet worden verstrekt.

### 20.2.5 Betrouwbaarheid van communicatie

1. De communicatiesystemen die bedoeld zijn voor gebruik in noodsituaties worden in goede conditie gehouden zodat het onwaarschijnlijk wordt dat zij door een ongeval of initiërende gebeurtenis niet beschikbaar zullen zijn of beïnvloed worden.
2. In het geïntegreerde managementsysteem van PALLAS zal een programma worden opgenomen om de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van alle communicatiesystemen en -faciliteiten die nodig zijn voor het uitvoeren van functies bij noodsituaties, te kunnen waarborgen.

### 20.2.6 Beschermende maatregelen

1. PALLAS zal voorzien in regelingen ter voorkoming van (ernstig) letsel bij reddingsacties en specifiek in het geval van aanwezig radioactief materiaal. Hierbij zijn regelingen voorzien voor het tijdig monitoren en beoordelen van besmetting, het vrijkomen van radioactief materiaal en blootstelling aan straling.
2. PALLAS zal voorzien in geschikte verzamelpunten, voorzien van een continue stralingsmonitoring en een toereikend aantal vluchtwegen. De aangewezen vluchtwegen zullen duidelijk en duurzaam gemarkeerd zijn en voorzien van betrouwbare noodverlichting, ventilatie en andere bouwkundige voorzieningen die essentieel zijn voor veilig gebruik.

### 20.2.7 Uitrusting

1. PALLAS voorziet in de benodigde uitrusting om (de mogelijke gevolgen van) een noodsituatie op te kunnen vangen. Hierbij zijn alternatieve voorzieningen inbegrepen, zoals alternatieve water- en stroomvoorziening.
2. Alle hulpmiddelen en apparatuur worden zo opgeslagen dat deze functioneel en eenvoudig toegankelijk zijn wanneer dat nodig is. De uitrusting is gekwalificeerd om operationeel te zijn onder de omstandigheden die zich in noodsituaties kunnen voordoen en is compatibel met andere procedures en uitrustingen die ten behoeve van noodsituaties worden ingezet.
3. Naast de Main Control Room en Supplementary Control Room kunnen de volgende faciliteiten ondersteuning bieden aan de noodrespons:
  - Emergency Control Centre, voor het managen van de noodrespons op het terrein;
  - Strategic room, voor technische en operationele ondersteuning tijdens noodsituaties aan operators in de Main Control Room en Supplementary Control Room en voor operationele ondersteuning in of bij de installatie.
4. Daarnaast zal PALLAS voorzien in een Emergency Control Centre (ECC) in een gebouw op de locatie en een off-site ECC bij de Veiligheidsregio.

5. De beschikbaarheid van de communicatiemiddelen benodigd voor noodsituaties wordt te allen tijde gewaarborgd, door deze te ontwerpen tegen de condities die zich kunnen voordoen als gevolg van mogelijke ongevallen.

### 20.2.8 Afspraken met zorgverleners

1. PALLAS zal ter plaatse voorzien in een snelle behandeling van blootgestelde en/of besmette personen. De nabehandeling zal worden uitgevoerd door ziekenhuizen of gespecialiseerde instellingen en zal verder gefaciliteerd worden door betrokken instanties zoals de veiligheidsregio Noord-Holland Noord. Ten behoeve van een goede aansluiting op de activiteiten van de openbare hulpdiensten zal PALLAS voorzien in een procedure die de overdracht van de slachtoffers aan de ambulancediensten beschrijft.

### 20.2.9 Opleiding en training van personeel

1. Alle PALLAS-medewerkers en andere aanwezige personen zullen instructies krijgen over het noodplan, de noodprocedures en noodvoorzieningen van PALLAS en hoe te handelen bij noodsituaties. In de gebouwen zullen alarminstructies bij noodsituaties duidelijk zichtbaar worden weergegeven.
2. Personeel dat in noodsituaties wordt ingezet zal gekwalificeerd en (medisch) geschikt zijn. Voor alle aangewezen hulpverleningsrollen worden de vereiste kwalificatie, ervaring en training gespecificeerd. Een (periodieke) medische beoordeling wordt vereist voor die noodhulpverleningsrollen die zware fysieke arbeid kunnen vergen (onder zware omstandigheden), zoals het gebruik van ademhalingsapparatuur.
3. Ten behoeve van periodieke oefeningen van alle specifieke functies wordt een integraal plan opgesteld waarin alle trainingsactiviteiten per trainingscyclus zijn gespecificeerd. De oefeningen omvatten, waar nodig en voor zover mogelijk, alle externe organisaties en personen die bij noodsituaties betrokken kunnen zijn, in het bijzonder regionale hulpdiensten.
4. Alle oefeningen zullen systematisch geëvalueerd worden aan de hand van vooraf vastgestelde doelstellingen. Indien nodig wordt het noodplan en de noodprocedures hierop aangepast.

### 20.2.10 Middelen voor uitvoering van het noodplan

1. PALLAS draagt zorg voor de benodigde menselijke, financiële en overige middelen om invulling te kunnen geven aan haar verantwoordelijkheden met betrekking tot de gevolgen van een noodsituatie. Dit wordt verzorgd via het geïntegreerde managementsysteem (zie Hoofdstuk 14).

## 20.3 Noodprocedures

### 20.3.1 Algemeen

1. In de noodprocedures worden de methoden en taken van elke noodhulpactie gespecificeerd, evenals de noodmaatregelen die nodig zijn om mogelijke gevolgen te beperken. De noodprocedures zullen hiertoe duidelijke en gedetailleerde instructies bevatten over de acties die van elke hulpverlener worden verwacht.
2. De noodprocedures zullen ook de acties omvatten die door externe hulpdiensten moeten worden ondernomen. Hiertoe zullen afspraken worden gemaakt met betrokken organisaties.
3. Het noodplan, de noodprocedures en instructies maken onderdeel uit van het PALLAS IMS. Hiermee wordt ervoor gezorgd dat alle documenten met betrekking tot de noodrespons actueel en toepasbaar blijven. Daarnaast zullen lessen geleerd uit trainingen, oefeningen, daadwerkelijke noodsituaties, andere operationele ervaringen, alsmede lessen uit onderzoek en technologische ontwikkelingen input zijn voor de periodieke evaluatie van de documentatie.

### 20.3.2 Dosislimieten hulpverleners

1. De noodprocedures zullen richtlijnen bevatten voor het beperken van de stralingsdoses voor (externe) hulpverleners.
2. Conform het 'Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming' zal de effectieve stralingsdosislimiet van 20 mSv voor blootgestelde werknemers zoveel mogelijk voor hulpverleners worden toegepast.
3. In de gevallen waarbij niet aan deze limiet kan worden voldaan, wordt een referentieniveau van 100 mSv voor de effectieve dosis gehanteerd.
4. In uitzonderlijke gevallen kan een hoger referentieniveau worden gebruikt:
  - 250 mSv effectieve stralingsdosis door blootstelling aan externe straling, voor hulpverleners die uiterst belangrijke materiële belangen veiligstellen en
  - 500 mSv effectieve stralingsdosis door blootstelling aan externe straling, relevant voor hulpverleners die levensreddende reddingswerkzaamheden uitvoeren, voor het voorkomen van ernstige gezondheidseffecten door straling, of om de ontwikkeling van catastrofale gebeurtenissen te voorkomen.
5. PALLAS draagt zorg voor duidelijke en uitgebreide instructies en informatie over mogelijke gezondheidsrisico's voor elke werknemer die als hulpverlener kan optreden en die een effectieve stralingsdosis van meer dan 100 mSv kan krijgen.
6. Medewerkers voeren de taken van hulpverlener op vrijwillige basis uit.

# 21

Milieu-aspecten



## 21.1 Inleiding

1. PALLAS is primair verantwoordelijk voor de bescherming van de milieuwaarden op en rond de locatie van de PALLAS-reactor.
2. Dit hoofdstuk beschrijft de verwachte radiologische en niet-radiologische impact op het milieu als gevolg van het normaal bedrijf van de PALLAS-reactor.

## 21.2 Radiologische milieueffecten

### 21.2.1 Algemeen

1. De radiologische milieueffecten als gevolg van het normaal bedrijf van de PALLAS-reactor zijn volledig toe te wijzen aan de emissie van luchtgedragen radioactieve elementen (gassen en aerosolen) via de ventilatieschacht.
2. In het ontwerp van de PALLAS-reactor zijn voorzieningen getroffen om te zorgen dat deze emissie naar het milieu zo laag als redelijkerwijs is en dat deze goed wordt gecontroleerd.
3. De volgende hoofdstukken van dit veiligheidsrapport behandelen de genoemde relevante aspecten voor stralingsbescherming:
  - Hoofdstuk 12 beschrijft de behandeling en afvoer van vaste en vloeibare afvalstromen.
  - Hoofdstuk 13 beschrijft de wettelijke dosislimieten en de door PALLAS gehanteerde dosisbeperkingen voor de beroepsmatige blootstelling en de blootstelling van leden van de bevolking. Daarnaast worden de relevante bronnen benoemd en de voorzieningen die in het ontwerp zijn getroffen om de dosis voor werknemers en publiek als gevolg van normale bedrijfsvoering te optimaliseren.
  - Hoofdstukken 4, 12 en 13 beschrijven de behandeling, monitoring en controle van de luchtgedragen emissies via de ventilatieschacht.
  - Hoofdstuk 16 beschrijft de beoordeling van de stralingsbescherming en de nucleaire veiligheid en de naleving van de acceptatiecriteria tijdens transiënten en ongevalscondities.
  - Hoofdstuk 20 beschrijft de noodorganisatie in geval van ongeplande lozingen van radioactieve stoffen en de maatregelen om passende gegevens ter beschikking te stellen aan autoriteiten en publiek.

### 21.2.2 Vergelijking van criteria uit besluiten of richtlijnen

1. De radiologische doses buiten het terrein voor de bevolking blijven onder de wettelijke grenswaarden van het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming (Bbs) en zijn geoptimaliseerd zoals gedefinieerd in de ANVS 'Handreiking Veilig Ontwerp en het veilig Bedrijven van Kernreactoren' (VOBK).
2. De beoordeling van de stralingsbescherming en de nucleaire veiligheid resulteert in de naleving van de acceptatiecriteria met betrekking tot transiënten en ongevalscondities.

## 21.3 Niet-radiologische milieueffecten

1. Paragrafen 21.3.1 tot en met 21.3.16 geven een beschrijving van de niet-radiologische (conventionele) milieueffecten als gevolg van het normaal bedrijf van de PALLAS-reactor.
2. De activiteiten die tot deze milieueffecten kunnen leiden, zijn kort beschreven in paragraaf 21.3.1.

### 21.3.1 Activiteiten

1. Binnen PALLAS worden de hieronder beschreven conventionele activiteiten uitgevoerd, die per activiteit nader omschreven worden. Het gaat om activiteiten in de operationele fase.



### **Pompgebouw**

2. Tijdens de operationele fase wordt het kanaalwater gebruikt voor het koelen van de reactor en het is daarmee opgewarmd alvorens het wordt geloosd in de Noordzee.
3. De dieseltanks worden gevuld met diesel. De diesel aangedreven systemen, waaronder de bluswaterpompen, worden getest en in gebruik genomen.

### **Opslag gevaarlijke stoffen**

4. Tabel 21-2 (paragraaf 21.3.14) geeft een overzicht van de kenmerken van de voorziene gevaarlijke stoffen opslagen, waaronder de stikstoftank in het Liandergebouw.

### **Security checks**

5. De beveiligingschecks om toegang te krijgen tot het Reactorgebouw worden uitgevoerd in het Supportgebouw.

### **Noodstroomgeneratoren (Supportgebouw en Logistiek gebouw)**

6. De dieseltanks worden gevuld met diesel. De dieselgeneratoren zullen maandelijks worden getest. Deze tests zijn meegenomen in het akoestisch onderzoek. Tabel 21-2 (paragraaf 21.3.14) geeft een overzicht van de kenmerken van de dieseltanks.

### **Werkplaats (Logistiek gebouw)**

7. Binnen het Logistiek gebouw bevindt zich een kleine werkplaats. In deze werkplaats worden kleine onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd en wordt gelast.

### **Laboratorium (Logistiek gebouw)**

8. De laboratoria worden tijdens de operationele fase gebruikt voor controle van de kwaliteit van het koelwater.

### **Vrachtwagens laden en lossen**

9. Vrachtwagens worden geladen en gelost in het Supportgebouw of in het Logistiek gebouw. Voor het laden en lossen en controleren van vrachtwagens is een specifieke ruimte in het Supportgebouw ingericht.

### **Buitenterrein**

10. Binnen de PALLAS inrichting is ook een buitenterrein aanwezig waar ondersteunende activiteiten plaatsvinden, zoals interne transport bewegingen.

## **21.3.2 Toetsing aan best beschikbare technieken**

1. De activiteiten voldoen aan de best beschikbare technieken (BBT), waaronder voor de koelsystemen en de opslag van gevaarlijke stoffen.
2. Uit de toetsing aan de BREF Koelsystemen blijkt dat wordt voldaan aan de BBT-nummers en de bijhorende maatregelen die relevant zijn voor de ontwikkeling van de PALLAS-reactor.
3. Voor de opslag van gevaarlijke stoffen zal worden voldaan aan BBT (PGS 9, 15 en 30 en de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB)).

## **21.3.3 Elektrische installaties**

1. De elektrische installaties zullen voldoen aan de daarvoor geldende normen.

## **21.3.4 Bijzondere bedrijfsomstandigheden**

1. Bijzondere bedrijfsomstandigheden worden gedefinieerd als onverwacht en onvoorziene gebeurtenissen maar ook als bijzondere omstandigheden in verband met onderhoud of proefnemingen. Onderstaand worden enkele bijzondere bedrijfsomstandigheden beschreven.
2. De onvoorziene bedrijfsomstandigheden betreffen voornamelijk:
  - Het morsen/lekker van olie bij het vullen van een tank;
  - Het morsen/lekker van olie door een incident met transportvoertuigen;

- Het loskomen van een brandstof- of olieleiding op een machine of pomp.
3. Binnen de inrichting van de PALLAS-reactor zijn geen voorziene bedrijfsomstandigheden die leiden tot een hogere milieu impact.
  4. De bovengenoemde risico's zijn geminimaliseerd door de NRB 2012 integraal toe te passen. Binnen de inrichting zijn voldoende middelen beschikbaar om eventuele morsingen en lekkages op te ruimen. Eveneens is er middels processen, goede housekeeping en aandacht voor bodembescherming een relatief laag risico op milieu impact als gevolg van een dergelijk incident.

### 21.3.5 Lichthinder

1. Met betrekking tot het voorkomen van lichthinder heeft de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV) een richtlijn uitgegeven. In deze richtlijn zijn enkele visuele effecten beschreven die tot lichthinder kunnen leiden. Eén van deze effecten is de directe lichtinval. Als parameter ter bepaling van dit effect wordt de verticale verlichtingssterkte in een punt in een relevant oppervlak (Ev in lux) gehanteerd. Bij woningen zijn dit meestal de verticale (gevel-) oppervlakken, vooral de ramen. In de NSVV-richtlijn zijn gebieds- en periodeafhankelijke normen opgenomen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een viertal gebiedstyperingen/zones met elk een eigen norm (zie Tabel 21-1).

**Tabel 21-1: Maximale lichtinstraling**

Periode	E1: natuurgebied	E2: landelijk gebied	E3: stedelijk gebied	E4: stadscentrum/ industriegebied
07:00 – 23.00 uur	2 lux	5 lux	10 lux	25 lux
23.00 – 07.00 uur	1 lux	1 lux	2 lux	4 lux

2. Het gebied direct ten noorden, westen en zuiden van de PALLAS-reactor kan worden gekarakteriseerd als een omgevingszone E1 (natuurgebied). Voor de omgevingszone E1 geldt op de gevels van de woningen een richtwaarde van 1 lux in de nachtperiode. De nachtperiode is maatgevend voor de beoordeling van lichthinder.
3. De woningen in het buitengebied, ten oosten van het plangebied, kunnen worden gekarakteriseerd als omgevingszone E2 (landelijk gebied). Voor de omgevingszone E2 geldt op de gevels van de woningen een richtwaarde van 1 lux in de nachtperiode.
4. In het ontwerp van de PALLAS-reactor wordt rekening gehouden met de lichtuitstraling naar gevels van woningen en de natuur, om aan deze eis te voldoen.

### 21.3.6 Buisleidingen

1. De niet nucleaire buisleidingen worden aangelegd conform de dan geldende normen.

### 21.3.7 Verkeer en vervoer

1. In de operationele fase zijn de verkeersbewegingen van en naar de PALLAS-reactor is in te delen in de volgende categorieën;
  - Woon- en werkverkeer;
  - Grondstoffen transport;
  - Afvalstoffen transport.

#### 21.3.7.1 Woon- en werkverkeer:

1. Bij PALLAS werken er 250 medewerkers. Bij PALLAS is het mogelijk om met de fiets naar het werk te komen, de elektrische fiets kan worden opgeladen en er is een douche aanwezig. Ook biedt PALLAS de mogelijkheid om met een elektrische auto naar het werk te komen, deze auto's kunnen worden opgeladen op de parkeerplaats.

### 21.3.7.2 Grondstoffen en afvalstoffen transport

1. Bij het transport van grondstoffen en afvalstoffen wordt gekeken hoe dit zo efficiënt mogelijk kan worden uitgevoerd.

### 21.3.7.3 Verkeerbewegingen op het terrein

1. In de ontwerpfase van de PALLAS-reactor is rekening gehouden met de meest efficiënte route van goederen (grond en afvalstoffen) over het terrein.

## 21.3.8 Geluid & Trillingen

1. De PALLAS-reactor is gelegen op de Energy & Health Campus, dat geen gezoneerd industrieterrein is. Hierdoor moet er aan de gevel van het dichtstbijzijnde geluidsgevoelige object, zoals een woning worden getoetst. De dichtstbijzijnde woning van derden ligt op 280 meter afstand van de inrichting. Op de gevel van deze woning moet worden getoetst aan het langtijdgemiddelde beoordelingsniveau en het maximale geluidsniveau L<sub>max</sub> voor de dagperiode (7:00 uur tot 19:00 uur), avondperiode (19:00 uur tot 23:00 uur) en nachtperiode (23:00 uur tot 07:00 uur). Uit toetsing aan de hand van de 'Handleiding meten en rekenen Industrielawaai 1998' is gebleken dat aan de gestelde geluidseisen wordt voldaan.
2. Binnen de operationele fase van de PALLAS-reactor vinden geen activiteiten plaats en zijn geen installaties gepland, die tot trillingen in en naar de omgeving aanleiding geven.

## 21.3.9 Afvalstoffen

1. Als gevolg van de processen en activiteiten worden er niet-radioactieve en radioactieve afvalstoffen bij de PALLAS-reactor geproduceerd. De radioactieve afvalstoffen zijn behandeld in hoofdstuk 12. Bij de niet-radioactieve afvalstoffen wordt waar nodig rekening gehouden met de eisen waaraan de opslagvoorzieningen moeten voldoen.

## 21.3.10 Water

### 21.3.10.1 Waterverbruik

1. De geschatte hoeveelheid drinkwaterverbruik is 28.500 m<sup>3</sup> per jaar. Dit wordt gebruikt in de laboratoria als proceswater en voor het sanitair en de kantine/keukens.
2. Oppervlaktewater uit het Noordhollandsch Kanaal wordt gebruikt voor koeling van de reactor (zie paragraaf 6.6).

### 21.3.10.2 Directe Lozingen

1. De directe lozingen van de PALLAS-reactor betreffen alleen het secundaire koelwater uit de reactor en hemelwaterafvoer van gebouwen. Als secundair koelwater voor de reactor wordt kanaalwater gebruikt, dat wordt geloosd op de Noordzee. Omdat deze lozing alleen opgewarmd kanaalwater betreft, dat niet wordt blootgesteld aan radioactiviteit, valt deze lozing niet onder de Kew-aanvraag, maar onder de Waterwet aanvraag.
2. De lozing van hemelwater afkomstig van gebouwen valt wel onder de Kew-aanvraag. Hemelwater van gebouwen wordt gescheiden afgevoerd en direct of indirect geïnfilterd in de bodem. Geschat wordt dat het hier gaat om 5.200 m<sup>3</sup> per jaar. Omdat het een lozing direct op de bodem betreft is er sprake van een directe lozing.

### 21.3.10.3 Indirecte lozingen

1. Afvalwater dat ontstaat bij de PALLAS-reactor bestaat uit sanitair afvalwater, proceswater en hemelwater van verhardingen. De totale hoeveelheid afvalwater, die vrijkomt binnen de PALLAS-reactor (sanitair, hemelwater van verhardingen) is geschat op 32.000 m<sup>3</sup>. Hieronder wordt kort besproken waar het afvalwater ontstaat en op welk lozingspunt dit wordt geloosd:

- *Sanitair afvalwater*: dit afvalwater komt van de toiletten, douchevoorzieningen en kantine/keukens. Het volume sanitair afvalwater is op 11.000 m<sup>3</sup> per jaar geschat;
- *Proceswater*: dit afvalwater komt van laboratoria en processen. Het volume procesafvalwater wordt op 8.000 m<sup>3</sup> per jaar geschat;
- *Hemelwater van verhardingen*: Hemelwater van verhardingen wordt gescheiden via de vuilwaterriolering afgevoerd omdat er mogelijk sprake is van vervuiling, doordat er auto's rijden en geparkeerd staan. Geschat wordt dat het hierbij gaat om 13.000 m<sup>3</sup> per jaar.

### 21.3.11 Lucht

1. Uit de Luchtkwaliteitstoets blijkt dat de activiteiten van de PALLAS-reactor geen aanleiding geven tot significante negatieve effecten op de luchtkwaliteit.
2. De voornaamste uitstoot ontstaat door transportbewegingen, die een bron van zowel NO<sub>2</sub> emissies als PM10 en PM2,5 emissies zijn. De jaargemiddelde NO<sub>2</sub>-concentratietoename in het maatgevende bouwjaar 2024 ligt ver onder de „Niet In Betekende Mate” grens van 1,2 µg/m<sup>3</sup>. Ook de jaargemiddelde concentratie fijn stof (PM10 en PM2,5) ligt onder de 0,4 µg/m<sup>3</sup>.
3. Een tweede bron zijn de laboratoria. In het kader van haar handelingen zal de PALLAS-reactor enkele Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS stoffen) evenals ook enkele potentieel ZZS-stoffen (P-ZZS stoffen) gebruiken. PALLAS weert of beperkt hierbij de ZZS zoveel als mogelijk in haar processen. PALLAS stelt een ZZS beleid op waarin wordt aangegeven hoe nieuwe stoffen geïntroduceerd mogen worden en hoe de ZZS status van aanwezige stoffen wordt gecontroleerd. De emissies van zeer zorgwekkende stoffen naar de lucht worden zoveel mogelijk voorkomen dan wel, indien dat niet mogelijk is, tot een minimum beperkt. PALLAS zal het bevoegd gezag elke vijf jaar informeren over:
  - De mate waarin emissies van zeer zorgwekkende stoffen naar de lucht plaatsvinden;
  - De mogelijkheden om emissies van die stoffen te voorkomen dan wel, indien dat niet mogelijk is, te beperken.
4. Voor de beoordeling van luchtemissie van aggregaten is aangesloten bij de 500 uurregeling. De uitstoot van de aggregaten is gebaseerd op het regelmatige testen van de installaties, waarbij deze minder dan 500 uur per jaar in gebruik zijn. Bij het in gebruik hebben van een klein of middelgrote stookinstallatie die minder dan 500 uur per jaar in bedrijf is, gelden geen emissiegrenswaarden. De keuringsplicht geldt echter wel. De testen, de duur van de testen en wanneer uitgevoerd, worden geregistreerd. Deze registratie is in te zien door het bevoegd gezag. De draaiuren worden maandelijks geregistreerd om te voldoen aan de urencriterium.
5. De uitstoot van stikstof tijdens de exploitatie van de reactor is met een AERIUS-berekening gemodelleerd. Hieruit blijkt dat er geen significante negatieve impact op de Natura 2000 gebieden zal zijn.
6. De bedrijfsprocessen binnen de PALLAS-reactor leiden niet tot een geuremissie. Er zijn geen stoffen in gebruik die een relevante geuremissie hebben.

### 21.3.12 Energie

1. Bij het ontwerp van de gebouwen is aandacht geschonken aan energiebesparende maatregelen/installaties. De PALLAS-reactor heeft onder andere geen gasaansluiting en op de daken en aan de gevels (louvres) van het kantoorgebouw en het Support Building zullen zonnepanelen worden aangebracht. Naar verwachting zal de PALLAS-reactor, na aftrek van de opgewekte energie, voor de gehele inrichting 38,59 GWh per jaar aan elektriciteit verbruiken. Daarnaast heeft PALLAS tevens te maken met de EED Energie-audit. PALLAS zal voldoen aan de EED-criteria en hiermee geldt de EED-plicht.
2. Aangezien duurzaamheid één van de drivers is geweest in de ontwikkeling van de PALLAS-reactor is vanaf de ontwerpfase rekening gehouden met duurzaamheidsonderwerpen waarin energie een grote rol speelt. Dit zijn de belangrijkste uitgangspunten:
  - Het gebruik van zonnepanelen;

- Het gebruik van restwarmte;
  - Het gebruik van duurzame materialen;
  - Intelligente Heating, Ventilation and Aircondition (HVAC) en bediening daarvan.
3. Het kantoorgebouw wordt energiezuinig opgeleverd en is voorzien van een BREEAM-certificaat. Bij de andere gebouwen is dit vanwege veiligheidsprioritering niet van toepassing.
4. De toepassing van de energiezuinige principes, zoals beschreven in het BREEAM-certificaat, komt onder andere terug in de volgende besparingen in energiesystemen:
- Voor de verwarming van alle gebouwen wordt een warmtepompinstallatie geïnstalleerd (primaire proces uitgesloten);
  - De koude productie voor het Nuclear Island Building levert in grote mate de warmte voor de andere gebouwen;
  - In alle gebouwen wordt energiezuinige ledverlichting aangebracht;
  - Het verbruik van energie-intensieve processen wordt apart gemeten;
  - Liften worden energiezuinig uitgevoerd.

### 21.3.13 Milieuzorgsysteem

1. PALLAS is voornemens om binnen 1 jaar na inbedrijfstelling een milieuzorgsysteem te implementeren, overeenkomstig de principes verwoord in ISO 14001 en zal vervolgens op basis van deze norm gecertificeerd worden. Als onderdeel van dit zorgsysteem zal ieder jaar een jaarverslag en een managementreview opgesteld worden.

### 21.3.14 Externe Veiligheid

1. Op het terrein van de PALLAS-reactor vindt op diverse plaatsen en op verschillende wijze opslag van gevaarlijke stoffen plaats, zie Tabel 21-2.
2. Binnen PALLAS vindt de opslag van gevaarlijke stoffen plaats in:
- Brandwerende kasten met diverse chemicaliën, totaal 7 stuks van 150 kilogram/liter;
  - Gevaarlijke stoffenkluis met diverse chemicaliën en gassen.
  - Gasflessenopslag (brandwerend uitgevoerd) voor diverse gasflessen;
  - Ondergrondse horizontale opslagtanks voor de dieselopslag (in kelder, niet ingegraven, dubbelwandig);
  - Bovengrondse verticale opslagtank voor stikstof.
3. Tabel 21-2 geeft een overzicht per gebouw voor de hierboven genoemde stoffen. Alle beschreven opslaglocaties voldoen aan de normen van de betreffende PGS.

Tabel 21-2: Overzicht opslaglocaties gevaarlijke stoffen per gebouw.

Gebouw	Opslaglocatie	Stoffen	Maximale opslag per ruimte
Support Building	Gevaarlijke stoffenkuis lege verpakkingen	Diverse verpakkingen (ADR 3, 6.1, 8 en 9)	2.500 liter/kilogram
Support Building	Dieseltank (ondergrondse tank in kelder)	Diesel	25.000 liter
Logistic Building	Gevaarlijke stoffenkuis	Diverse verpakkingen (ADR 3, 6.1, 8 en 9)	2.500 liter/kilogram
Logistic Building	1 brandwerende kast per laboratorium, totaal: 3	Diverse verpakkingen (ADR 3, 6.1, 8 en 9)	150 liter per kast per ruimte
Logistic Building	Dieseltank (ondergrondse tank in gebouw)	Diesel	25.000 liter
Logistic Building	Brandwerende gasflessenopslag	Diverse verpakkingen (ADR 2.1 en 2.2)	2.500 liter/kilogram
Nitrogen Liander gebouw	Stikstof tank (N <sub>2</sub> )	Stikstof	5.000 liter
Supportgebouw	Brandwerende gasflessenopslag	Diverse verpakkingen (ADR 2.1 en 2.2, leeg = vol)	2.500 liter/kilogram
Nuclear Island Building	1 brandwerende kast per laboratorium, totaal: 3	Diverse verpakkingen (ADR 3, 6.1, 8 en 9)	150 liter/kilogram per kast per ruimte
Secondary Cooling System Building	1 brandwerende kast	Divers (ADR 3, 6.1, 8 en 9)	150 liter/kilogram
Filtergebouw	Gevaarlijke stoffenkuis	Divers (ADR 3, 6.1, 8 en 9)	2.500 liter/kilogram

### 21.3.15 Brandveiligheid

1. PALLAS zal voorafgaand aan de bedrijfsvoering beschikken over een door de ANVS en de plaatselijke brandweer goedgekeurd brandveiligheidsplan.
2. Binnen de gebouwen van de PALLAS-reactor zijn onder andere de volgende bouwkundige brandveiligheidsvoorzieningen aanwezig: brandcompartimentering, vluchtroutes en brandwerende constructies. Daarnaast is er een brandmeld- en brandblusinstallatie en zijn noodstroomvoorzieningen in de vorm van de UPS en dieselaggregaten aanwezig.
3. PALLAS zal voorafgaand aan de bedrijfsvoering een BHV-organisatie hebben die opgeleid wordt om de noodprocedures en het bedrijfsnoodplan uit te voeren.

### 21.3.16 Bodem

1. Het bodemrisico is vastgesteld aan de hand van de bodemrisicochecklist (BRCL) van de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming (NRB 2012). Op basis van analyse met behulp van de bodemrisicochecklist resulteren de genomen voorzieningen en maatregelen in een verwaarloosbaar bodemrisico. Hiermee wordt voldaan aan de NRB 2012.
2. De locaties van bodembedreigende activiteiten staan nog niet vast. Voorafgaand aan de uitvoering van bodembedreigende activiteiten, zal een bodemnulsituatieonderzoek worden uitgevoerd.

# 22

Ontmanteling



## 22.1 Inleiding

1. Ontmanteling omvat alle administratieve en technische handelingen die in het kader van de Kernenergiewet ontmantelingsvergunning worden uitgevoerd en leiden tot vrijgave van de PALLAS-reactor van het wettelijk toezicht.
2. Om tot een zo veilig en milieuvriendelijk mogelijk ontmantelingsresultaat te komen is al in de ontwerpfase met de toekomstige ontmanteling rekening gehouden.
3. Dit hoofdstuk behandelt:
  - de voorzieningen in het PALLAS-reactorontwerp om de toekomstige ontmanteling te faciliteren (paragraaf 22.2);
  - het documentatiemanagement tijdens de bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor, noodzakelijk voor een adequate organisatie en efficiënte uitvoering van de toekomstige ontmanteling (paragraaf 22.3);
  - de rol van het ontmantelingsplan in de vergunningverlening voor de PALLAS-reactor, inclusief een kort overzicht van de inhoud van het ontmantelingsplan (paragraaf 22.4).
4. Voor de toekomstige ontmanteling van de PALLAS-reactor zijn de volgende vigerende Nederlandse wetgeving (wet, besluit, regeling) en handreiking voor ontmanteling beschouwd:
  - Kernenergiewet (Kew) en bijbehorende besluiten en regelingen,
  - Handreiking voor een Veilig Ontwerp en het veilig Bedrijven van Kernreactoren (VOBK),
  - Besluit inzake kerninstallaties, splijtstof en ertsen (Bkse),
  - Regeling buitengebruikstelling en ontmanteling van nucleaire inrichtingen (Rboni).

## 22.2 Ontwerpkenmerken voor ontmanteling

1. In het PALLAS-reactorontwerp is rekening gehouden met de gehele bedrijfsduur van de installatie, inclusief de ontmantelingsfase. In het ontwerp komt veilige ontmanteling tot uitdrukking in de randvoorwaarde dat de drie fundamentele veiligheidsfuncties, te weten de beheersing van reactiviteit, de afvoer van warmte en de insluiting van radioactief materiaal, ook tijdens de ontmantelingsfase gewaarborgd moeten zijn. Daarnaast komt dit tot uitdrukking in het aanbrengen van voorzieningen waarmee zowel de radiologische als niet-radiologische risico's voor toekomstige ontmantelingswerkers beperkt kunnen worden.
2. De in het ontwerp toegepaste principes voor veilige ontmanteling baseren zich op ervaringen met het ontmantelen van andere nucleaire installaties en *best practices*, beschreven in richtlijnen en bijbehorende ondersteunende documenten van de IAEA. Daarmee faciliteert het ontwerp een veilige en milieuvriendelijke ontmanteling na beëindiging van de bedrijfsvoering van de reactor.
3. De ontmanteling-specifieke principes gebruikt bij het ontwerp van de PALLAS-reactor zijn:
  - Waarborgen van de drie fundamentele veiligheidsfuncties tijdens de ontmanteling (paragraaf 22.2.1),
  - Minimaliseren van activering en verontreinigingen tijdens bedrijf (paragraaf 13.4.3),
  - Beperken van verspreiding van verontreiniging bij ontmanteling (paragraaf 22.2.3),
  - Voorzieningen voor ontmantelingswerkzaamheden (paragraaf 22.2.4),
  - Beheersen van blootstelling aan straling tijdens ontmanteling (paragraaf 22.2.5).

### 22.2.1 Waarborgen van de fundamentele veiligheidsfuncties

1. De integriteit van de structuren, systemen en componenten van de PALLAS-reactor die nodig zijn om aan de drie fundamentele veiligheidsfuncties te voldoen, is ook tijdens de ontmantelingsfase gewaarborgd. Zolang er bij de PALLAS-reactor verbruikte splijtstofelementen zijn opgeslagen, wordt beheersing van de fundamentele veiligheidsfuncties gewaarborgd door het reactorontwerp en de integriteit van de structuren, systemen en componenten.



2. Voorafgaand aan de start van de ontmantelingsfase worden de verbruikte splijtstofelementen uit de PALLAS-reactor verwijderd. Daarna zijn beheersing van twee fundamentele veiligheidsfuncties, namelijk de beheersing van reactiviteit en de afvoer van warmte, niet langer relevant.
3. Gedurende de ontmantelingsfase (behoudens de conventionele sloop) blijft de fundamentele veiligheidsfunctie van insluiting van radioactief materiaal gewaarborgd. Hiertoe zullen de ventilatiesystemen, elektriciteitsvoorziening, het Radiation Monitoring System beschikbaar en operationeel zijn en juiste radiologische zonering worden geborgd. Het ventilatienetwerk is zo ontworpen dat het geleidelijk uit bedrijf kan worden genomen; gerelateerd aan het aantal buitengebruik gestelde ruimtes kunnen de luchtstromen aangepast worden, terwijl de andere ruimtes veilig blijven. Tijdens de ontmantelingsoperaties kan de inrichting van de ventilatiesystemen zo nodig worden aangepast om aan de specifieke behoeften van de buitengebruikstellings-, decontaminatie-, ontmantelings- of sloopactiviteiten te voldoen.

### 22.2.2 Minimaliseren van activering en verspreiding van besmetting tijdens bedrijf

1. Van bijzonder belang voor de ontmanteling zijn de omvang en de mate van activering en besmetting van de structuren, -systemen en -componenten van de PALLAS-reactor, daar deze direct van invloed zijn op de stralingsbeschermingsmaatregelen tijdens ontmanteling, en op de hoeveelheid en het activiteitsniveau van het radioactief afval dat daarbij ontstaat.
2. De materiaalkeuze voor de structuren, systemen en componenten waarborgt dat tijdens bedrijf aan de veiligheids-, betrouwbaarheids- en functionele eisen wordt voldaan. Waar mogelijk, is het materiaal ook zo gekozen dat neutronenactivering tot een minimum beperkt blijft en na beëindiging van de bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor de stralingsrelevantie van de aanwezige nuclideninventaris zo laag mogelijk blijft.
3. Structuren, systemen en componenten zijn zoveel als mogelijk op afstand van de kern geplaatst om activering te minimaliseren.
4. In ruimtes met een verhoogd risico op radioactieve verontreiniging zijn specifieke coatings en bekledingen toegepast, zodat de oppervlakken daarin eenvoudig te decontamineren zijn.
5. De juiste materiaalkeuze in combinatie met de borging van een goede waterkwaliteit in de koelsystemen minimaliseert corrosie en erosie daarin en voorkomt zo de opbouw van geactiveerde sludge in het reactorkoelsysteem en in de warmtewisselaars. In de koelsystemen worden filters en zuiveringsharsen gebruikt om de vereiste niveaus van (zwaar- en licht-) waterzuiverheid te handhaven.
6. Pompen, leidingen en andere structuren, systemen en componenten met oppervlakken waarop zich radioactieve stoffen kunnen afzetten, zijn ontworpen om eenvoudig gedecontamineerd te kunnen worden. In de PALLAS-reactor zijn ontoegankelijke ruimtes en spleten in gelaste constructies tot een minimum beperkt.
7. Leidingen zijn zo geconstrueerd dat zich daarin geen radioactieve stoffen kunnen ophopen, onder meer door overal in het leidingwerk lage stroomsnelheden te vermijden. Radioactieve vloeistoffen bevattende leidingen zijn zo geconstrueerd dat ze volledig kunnen worden afgetapt en gedecontamineerd mocht zich toch vuil hebben opgehoopt. Dit kan tijdens onderhoud worden gedaan, maar ook in voorbereiding op de ontmanteling.
8. De verspreiding van radioactieve vloeistoffen als gevolg van een lekkage van systemen met radioactief water wordt geminimaliseerd door tijdige lekdetectie en vloeren op afschot richting een afvoer en wateropvang.
9. In de PALLAS-reactor is het gebruik van materialen die chemisch gevaarlijk afval kunnen opleveren, tot een minimum beperkt. Dit geldt vooral voor toepassingen waarbij dergelijke materialen kunnen worden geactiveerd of besmet, omdat afvoer van afval dat zowel chemotoxisch is als radioactief bijzonder lastig is. De PALLAS-reactor kent een laag risico t.g.v. gevaarlijke stoffen door de kleine hoeveelheden die bij de bedrijfsvoering en het onderhoud van de installatie worden gebruikt.

### 22.2.3 Beperken van verspreiding van verontreiniging bij ontmanteling

1. Ter voorkoming van verspreiding van besmetting en kruisbesmetting wordt tijdens de ontmanteling gebruik gemaakt van compartimentering en indeling in radiologische zones.
2. Daarbij worden de ventilatiesystemen gebruikt om verspreiding van verontreiniging naar andere radiologische zones voorkomen door ruimtes met verhoogd risico op vrijkomen van radioactieve gassen of deeltjes op onderdruk te houden, waardoor de luchtstroom altijd van schonere naar mogelijk vervuilde ruimtes verloopt.
3. Bij de ontmanteling kunnen ook speciale lokale afzuigsystemen met flexibele slangen worden gebruikt om zo dicht mogelijk bij een verontreinigingsbron lucht af te zuigen.
4. Tijdens ontmanteling blijven de verschillende ventilatiesystemen met hun diverse filters operationeel zolang die nodig zijn. Dat betekent dat bij de ontmanteling van de radioactief verontreinigde systemen de opvang van eventueel daarbij vrijkomende activiteit gewaarborgd is en verspreiding van verontreiniging naar het milieu wordt voorkomen. Door ontwerp en materiaalkeuze laten de ventilatiesystemen zich goed decontamineren.
5. Tijdens de ontmantelingsfase blijft het systeem voor verzameling van vloeibaar afval met bijbehorende lekdetectoren operationeel zolang dat nodig is. Dat betekent dat bij de ontmanteling van alle radioactief water bevattende systemen de opvang van eventuele lekkages gewaarborgd is.
6. Binnen de reactorinsluiting, op de laagste niveaus van het Reactor Building, bevinden zich de wateropslag-reservoirs (bijvul- en LOCA-reservoirs). Tijdens de ontmanteling van de structuren, systemen en componenten zullen die worden gebruikt om eventuele waterlekage op te vangen.

### 22.2.4 Voorzieningen voor ontmantelingswerkzaamheden

1. In het ontwerp van de PALLAS-reactor is rekening gehouden met milieuomstandigheden en externe gevaren die tijdens de gehele bedrijfsduur van de faciliteit, inclusief de ontmantelingsfase, aanwezig kunnen zijn. De structuren, systemen en componenten van de PALLAS-reactor – inclusief de civiele structuren - zijn dan ook zo ontworpen dat zij tijdens deze gehele periode geschikt zijn voor hun beoogde functies.
2. Bij het ontwerp van de structuren, systemen en componenten is ook rekening gehouden met hun toekomstige gebruik tijdens de ontmantelingsfase. De diverse circuits en systemen zijn zo ontworpen, dat ze ook na definitieve afschakeling van de reactor in bedrijf kunnen blijven en periodiek kunnen worden getest en onderhouden. Verder zijn in alle delen van de installatie bovenloopkranen, monorails en hefwerktuigen aanwezig die ook geschikt zijn om in de ontmantelingsfase de apparatuur te verwijderen.
3. De werkplaatsen voor decontaminatie tijdens het bedrijf van de reactor, zijn mede ontworpen voor gebruik bij ontmantelingsoperaties. In de buurt van ruimtes en structuren, systemen en componenten met een verhoogde radioactiviteit of straling kan extra apparatuur worden geïnstalleerd zoals tijdelijke tenten, luchtbehandelingsunits en afscherming, waarmee de ontmantelingstaken veilig kunnen worden uitgevoerd. Dit geldt bijvoorbeeld voor de procesruimtes, waarin op die manier een groot deel van de demontage van leidingen en procesapparatuur kan worden uitgevoerd.
4. De indeling van de installatie is direct van invloed op de stralingsblootstelling van het personeel, de gereedschappen en technieken die tijdens ontmanteling kunnen worden gebruikt en de mogelijkheid om eenvoudig lokale afscherming te kunnen installeren. Daarom zijn de installatie en doorgangen zo ingedeeld dat werknemers voldoende ruimte en toegang hebben om apparatuur te vervangen en om eventueel additionele benodigde apparatuur te plaatsen om bijvoorbeeld te knippen, demonteren of te hijsen. Ruimtes met verhoogde stralingsniveaus zijn voorzien van een afgeschermd toegang, die ook bescherming biedt bij de latere ontmantelingswerkzaamheden.
5. De lay-out van de PALLAS-reactor is zo ontworpen dat radiologische zonering eenvoudig kan worden aangepast voor ontmantelingsdoeleinden van de installatie, zoals het inrichten van

specifieke ruimtes voor het meten en zo nodig decontamineren van mogelijk verontreinigde ontmantelingsgereedschappen. Ook is voorzien in het eenvoudig plaatsen van tijdelijke afscherming en zijn er geschikte ruimtes toe te wijzen om het tijdens ontmanteling ontstane afval tijdelijk op te slaan.

6. De reactorhal biedt voldoende ruimte om de interne structuren van de Reactor en Service Pool te kunnen decontamineren en demonteren. De bovenloopkraan in de reactorhal en andere takels en liften in de PALLAS-reactor hebben voldoende capaciteit om tijdens de ontmanteling de daarvoor benodigde apparatuur te hanteren. Het grote luik van de reactorhal is dusdanig gedimensioneerd dat hierdoor containers en alle structuren die zich in de Reactor en Service Pool bevinden kunnen worden afgevoerd.
7. Het draagvermogen van de vloeren is ruimschoots voldoende om tijdens het ontmantelingsproces het gewicht van de benodigde apparatuur te dragen en voor de eventuele doorvoer van zware onderdelen en transportvaten met radioactief materiaal.
8. De ruimtes waarin het Primary Cooling System (PCS), het Pools Cooling System (POCS) en de zwaar water systemen zijn ondergebracht, bieden voldoende ruimte om de decontaminatie, demontage en verkleining van die systemen uit te voeren en om het ontmantelingsafval te classificeren en af te voeren.
9. De interne componenten van de Reactor Pool en Service Pool zijn zo veel mogelijk met schroeven bevestigd en daarmee eenvoudig te demonteren. Daardoor wordt voor hun verwijdering het gebruik van speciaal snijgereedschap (mechanisch of met snijbranders) tot een minimum beperkt.
10. Veel apparatuur (bijv. pompen en warmtewisselaars) is ervoor ontworpen en zodanig gemonteerd dat het later eenvoudig weer gedemonteerd kan worden.
11. Bij het ontwerp van de PALLAS-reactor is het aantal leidingen, kanalen, reservoirs en apparatuur, dat in vloeren en wanden ingebed is, zoveel mogelijk beperkt. In plaats daarvan zijn de leidingen afgeschermd met betonnen wanden en toegankelijk gemaakt voor inspecties en demontage.
12. De meeste onderdelen van de reactor zijn na demontage in één stuk af te voeren, zodat ze niet ter plekke verkleind hoeven worden. Zo zijn voor hun demontage werkvoorschriften en procedures opgesteld en zijn de openingen en toegangen (deuren, luiken) tot die onderdelen voldoende groot.

### 22.2.5 Beheersen van blootstelling aan straling tijdens ontmanteling

1. De PALLAS-reactor is zo ontworpen dat het stralingsdosistempo in alle gecontroleerde zones zo laag mogelijk is. De mogelijk hoog-stralende componenten zijn steeds ingesloten in afschermende bunkers of van elkaar gescheiden door afschermende wanden, waardoor blootstelling aan straling ook tijdens ontmantelingswerkzaamheden tot een minimum beperkt kan blijven.
2. Verder zijn de voorzieningen die zijn aangebracht om eenvoudig toegang tot apparatuur te krijgen en om veilige werkruimtes te creëren tijdens de bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor ook tijdens de ontmantelingsfase effectief. Daarmee wordt de tijd die rond hoog-stralende componenten zou moeten worden doorgebracht en/of het stralingsdosistempo bij die werkzaamheden geminimaliseerd.

## 22.3 Documentatiebeheer voor ontmanteling

1. De beschikbaarheid van uitgebreide ontwerp-, bouw- en bedrijfsvoeringsdocumentatie is een belangrijke factor voor de ontmanteling. Het vormt de basis voor een goede planning en efficiënte uitvoering van de ontmantelingswerkzaamheden en leidt tot minder onverwachte situaties tijdens de ontmanteling.
2. De verzamelde documentatie uit de ontwerp- en de bouwfase beschrijft de status van de PALLAS-reactor aan het begin van de bedrijfsfase. Samen met de documentatie van de bedrijfsvoering vormt dit een volledig beeld van de installatiestatus aan het begin van de ontmantelingsfase.

3. Het PALLAS Integrated Management System (IMS) waarborgt dat deze documentatie tijdens de bedrijfsvoering van de PALLAS-reactor periodiek wordt bijgewerkt en daarmee de beschikbaarheid van adequate ontwerp-, constructie- en operationele gegevens voor een veilige ontmanteling.
4. Tijdens het bedrijf van de PALLAS-Reactor wordt de ontwerpdocumentatie periodiek bijgewerkt, inclusief details over de aangebrachte wijzigingen en aanpassingen en informatie over uitgevoerde experimenten en bedrijfsvoorvallen. De documentatie omvat ook het volledige scala van bedrijfs-, onderhouds-, stralingsbeschermings- en inspectieverslagen en informatie over gebeurtenissen betreffende besmette en bestraalde structuren, systemen en componenten.

## 22.4 Ontmantelingsplan

1. Voor de PALLAS-reactor is een ontmantelingsplan ontwikkeld. Goedkeuring van dit plan door de ANVS is een vereiste in het kader van de Kernenergielwet oprichtingsvergunning. Gedurende de levensduur van de PALLAS-reactor zal het ontmantelingsplan in ieder geval 5-jaarlijks worden herzien. De mate van detail is in overeenstemming met de levensfase waarin de installatie zich bevindt en zal toenemen naarmate de bedrijfsduur van de reactor toeneemt.
2. Het ontmantelingsplan bevat in ieder geval een beschrijving van:
  - de periode waarin de buitengebruikstelling en de ontmanteling plaatsvinden;
  - de planning van de buitengebruikstelling en de ontmanteling, waarbij onderscheid wordt gemaakt in de verschillende fasen waarin de buitengebruikstelling en de ontmanteling plaatsvinden;
  - de hoeveelheid en de activiteit van de splijtstoffen of radioactieve stoffen die zich in de verschillende fasen van de buitengebruikstelling en de ontmanteling in de inrichting zullen bevinden;
  - de bij de buitengebruikstelling en de ontmanteling betrokken medewerkers, hun deskundigheid en onderlinge taakverdeling;
  - de bij de buitengebruikstelling en de ontmanteling toe te passen technieken;
  - de relevante milieuaspecten, in het bijzonder het beheer van radioactieve afvalstoffen die bij de buitengebruikstelling en de ontmanteling vrijkomen.
  - een meting van de activiteit van de radionucliden op het terrein waarop de inrichting wordt gevestigd;
  - een beschrijving van de wijze waarop bij het ontwerp en de bouw van de inrichting wordt voorkomen dat de toekomstige buitengebruikstelling en ontmanteling van die inrichting wordt bemoeilijkt.
3. In overeenstemming met het Besluit inzake nucleaire installaties, splijtstoffen en ertsen gaat de ontmantelingsstrategie van de PALLAS-reactor uit van onmiddellijke ontmanteling na het beëindigen van de bedrijfsvoering, met als eindsituatie “groene weide”.
4. De ontmantelingsstrategie onderscheidt een post-operationele fase, een radiologische en een conventionele ontmantelingsfase. De werkzaamheden tijdens de post-operationele fase bestaan uit verwijdering en afvoer van de splijtstoffen en buitenbedrijfstelling van alle nucleaire systemen van de reactor. In de radiologische ontmantelingsfase worden de nucleaire systemen gedecontamineerd, gedemonteerd en als ontmantelingsafval afgevoerd. In de conventionele ontmantelingsfase vindt de conventionele sloop plaats en wordt het PALLAS-terrein in natuurlijke staat teruggebracht.
5. In het kader van de vergunning voor het in werking brengen en houden van de reactor is goedkeuring van een herziene versie van het ontmantelingsplan vereist. Daarnaast is goedkeuring nodig van de financiële zekerheid voor ontmanteling en de bijbehorende kostenraming.