



OPERA WP7: SCENARIO DEVELOPMENT AND PERFORMANCE ASSESSMENT

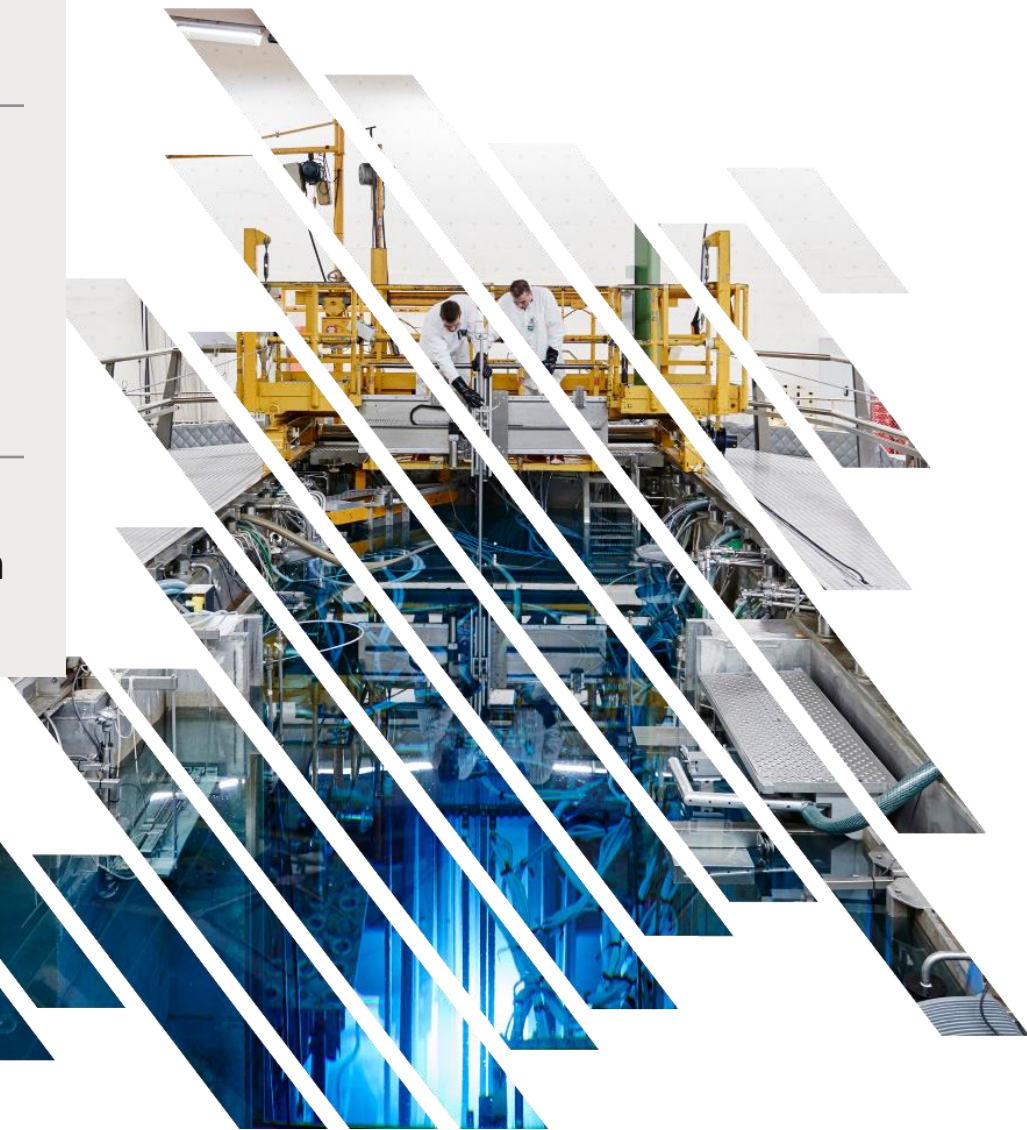
Zeer lange termijn prognose ten
behoefte van de veiligheidstoetsing van
de ondergrondse opbergfaciliteit

Jaap Hart , Jacques Grupa, Hans Meeussen,
Ecaterinca Rosca-Bocancea, Thomas Schröder
(NRG-RIA)

Ton Wildenborg (TNO)

Dirk-Alexander Becker, Dieter Buhmann,
Jens Wolf (GRS Braunschweig)

Eef Weetjens, Joan Govaerts (SCK·CEN)

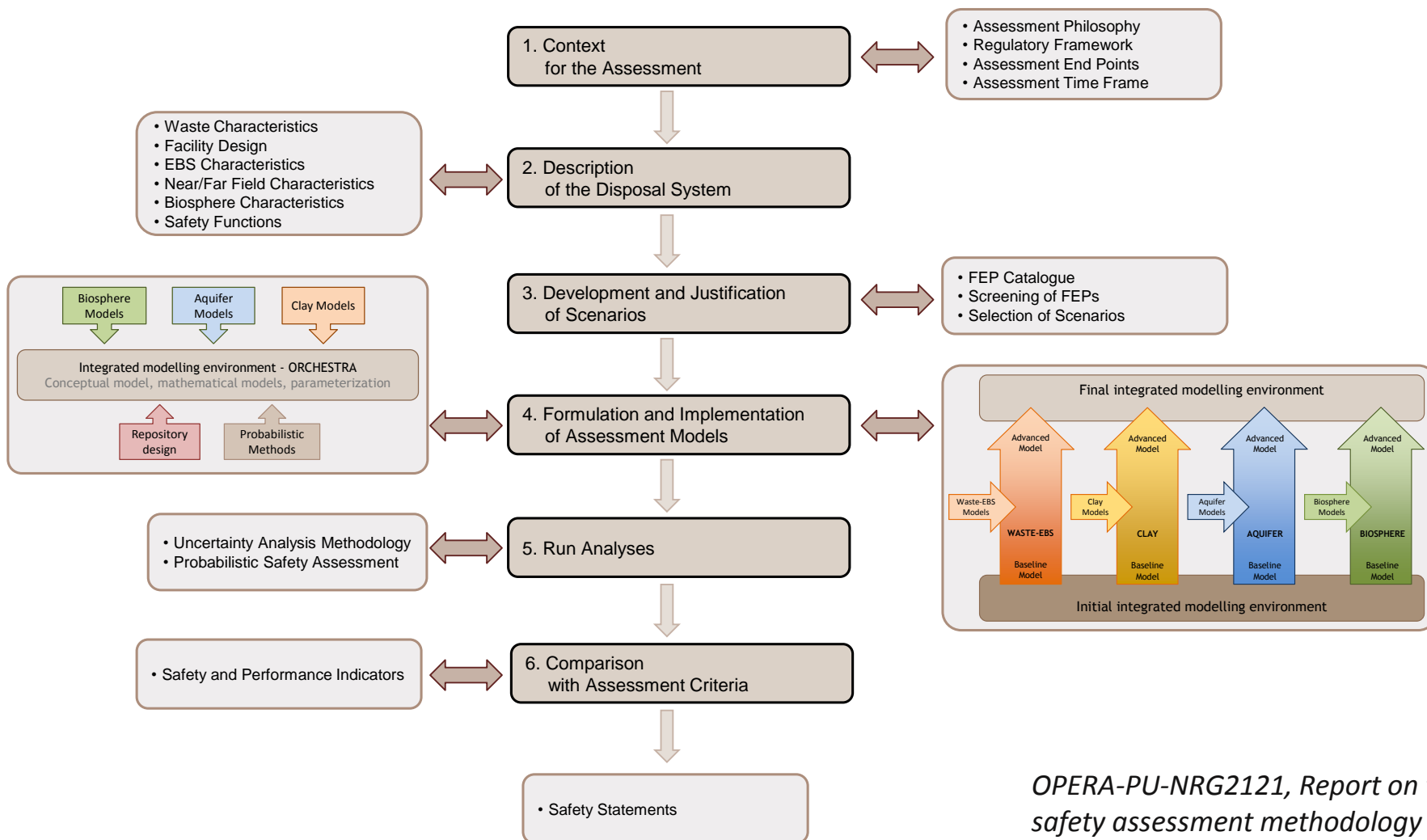


Inhoud

- De lange-termijn veiligheidstoetsing
- Scenario's – beschouwingen voor de (verre) toekomst
- Modelling van het OPERA eindbergingsysteem
- Resultaten van testberekeningen
- Conclusies

Methodologie van de veiligheidstoetsing

OPERA WP7 Scenario development and performance assessment



Rol van NRG in OPERA

OPERA WP	Omschrijving	CL	Partner
WP1 Safety Case context			
WP1.1	Waste characteristics	■	■
WP1.2	Political requirement and societal expectations	■	■
WP1.3	Communicating the Safety Case	■	■
WP2 Safety Case			
WP2.1	Definition of the Safety Case	■	■
WP2.2	Repository design in rock salt	■	■
WP3 Repository Design			
WP3.1	Feasibility studies	■	■
WP3.2	Design modification	■	■
WP4 Geology and Geohydrology			
WP4.1	Geology and geohydrological behaviour of the geosphere	■	■
WP4.2	Geohydrological boundary conditions for the near-field	■	■
WP5 Geochemistry and geomechanics			
WP5.1	Geochemical behaviour of EBS	■	■
WP5.2	Properties, evolution and interactions of the Boom Clay	■	■
WP6 Radionuclide migration			
WP6.1	Radionuclide migration in Boom Clay	■	■
WP6.2	Radionuclide migration in an aquifer	■	■
WP6.3	Radionuclide migration and uptake in the biosphere	■	■
WP7 Scenario development and performance assessment			
WP7.1	Scenario	■	■
WP7.2	PA model development and parameterization	■	■
WP7.3	Safety assessment	■	■



OPERA

Context van de veiligheidstoetsing

De veiligheidstoetsing - *Safety Assessment* - is een essentieel en integraal onderdeel van de Safety Case

Doel van de OPERA veiligheidstoetsing

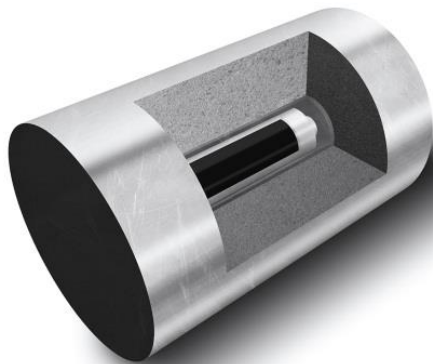
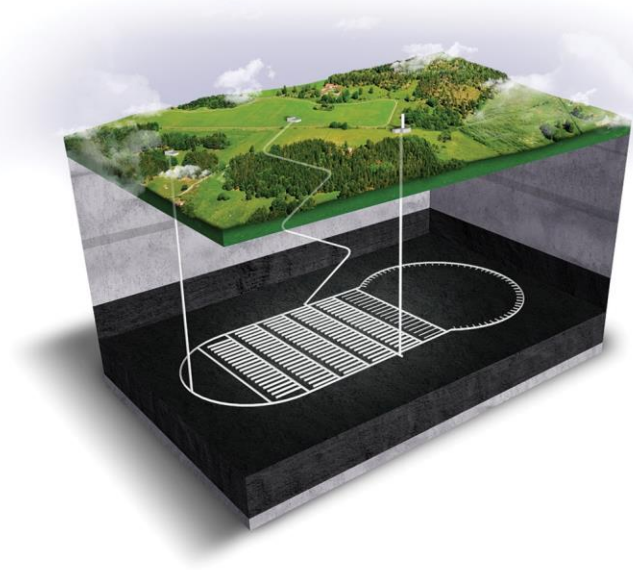
- Evalueren van de langetermijnveiligheid van diepe eindberging van radioactief afval in **Boomse Klei** in de **Nederlandse context**
 - Beschouwen en modelleren van processen relevant voor het transport van radionucliden vanuit de eindberging naar de biosfeer

Kader van de OPERA veiligheidstoetsing

- **Verkennend** onderzoek
- Bestaande **onzekerheden** in kaart brengen

Beschrijving van het eindbergingsconcept

- Ontwerp van de eindberging
- Karakteristieken van:
 - het afval
 - de barrières
 - het gastgesteente
 - de bovenliggende aardlagen
 - de biosfeer



Ontwikkeling van Scenario's

- Veiligheidsbeoordeling: beschouwing van de isolerende werking van de eindberging onder huidige **en toekomstige** omstandigheden
- Vele, diverse factoren kunnen de isolerende werking van de eindberging beïnvloeden: menselijke indringing, klimaatveranderingen, ...
 - **Formulering en analyse van scenario's**
- Bestaande informatie - ONDRAF/NIRAS *Safir-2* study, *CORA*-rapporten
- Toetsing van consistentie - *OPERA* concept
 - **Referentiescenario**
 - **Alternatieve scenario's**
 - **Scenario's van menselijke indringing**

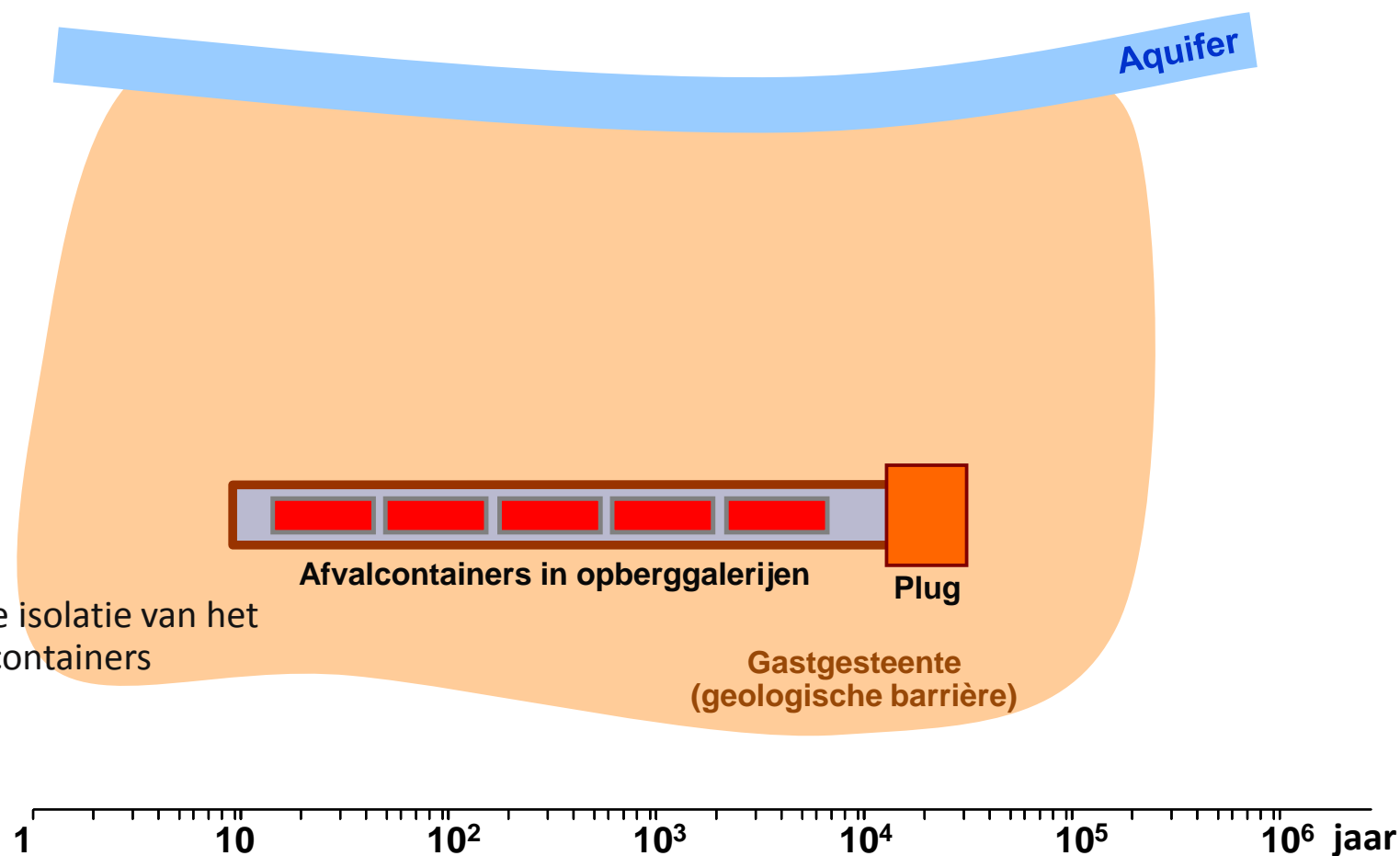
Ontwikkeling van Scenario's

Onderscheid van klassen van scenario's

- **Referentiescenario**; de meest waarschijnlijke ontwikkeling van het bergingssysteem en de radiologische gevolgen voor mens en milieu op de lange termijn
 - **Alternatieve scenario's**, b.v.:
 - Verlating van de faciliteit zonder goede afsluiting
 - Voortijdig falen van afdichtingen (opbergcellen, galerijen, schacht)
 - Onvoorziene fracturen in het gastgesteente
 - Intense ijstijden met grootschalige ijsbedekking en overvloedig smeltwater
 - **Scenario's van menselijke indringing**; boor- en mijnactiviteiten, extractie of injectie van fluïda, ...
- **In totaal zijn 24 verschillende scenario's geïdentificeerd**

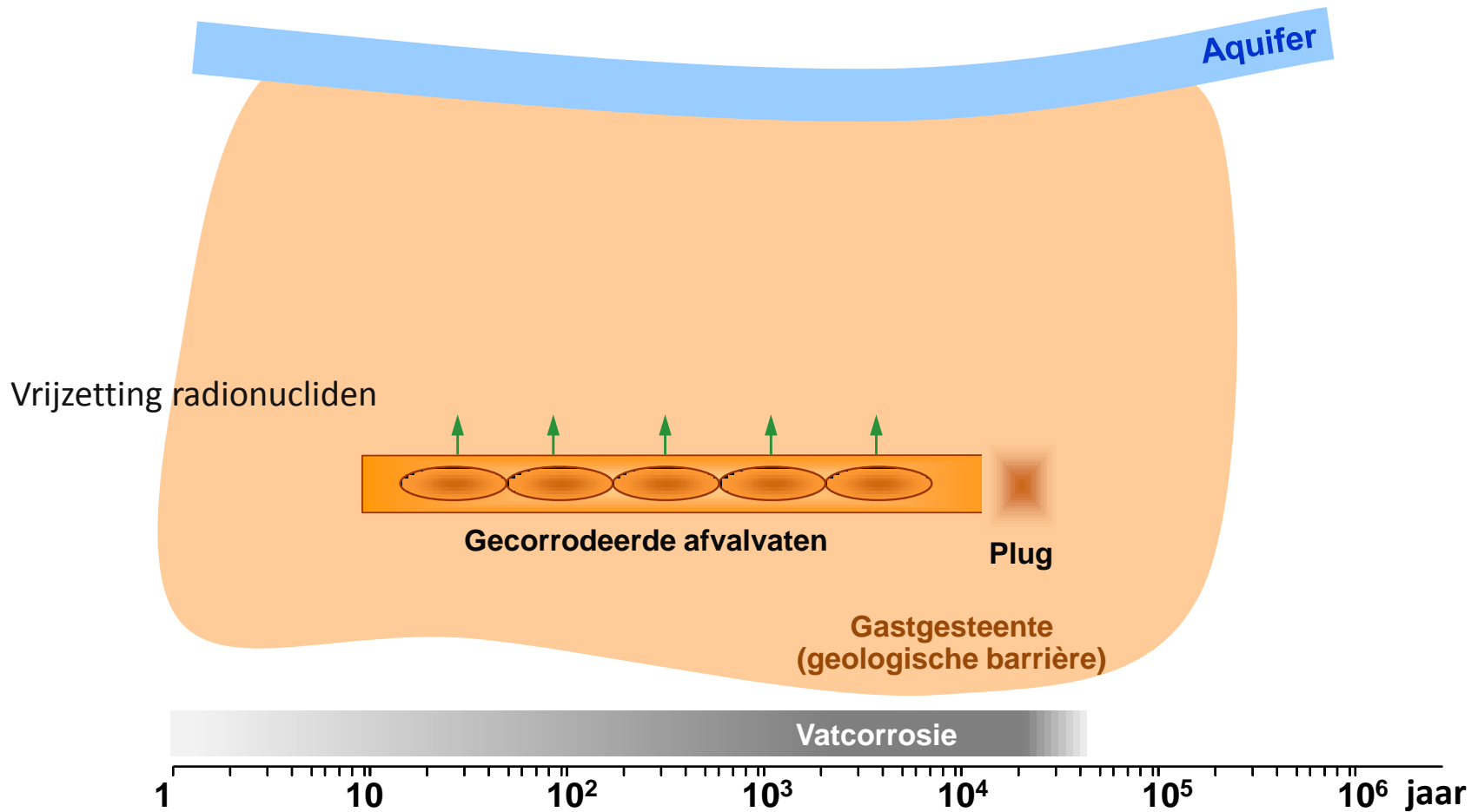
Referentiescenario

Initiële toestand – na plaatsing van de afvalvaten



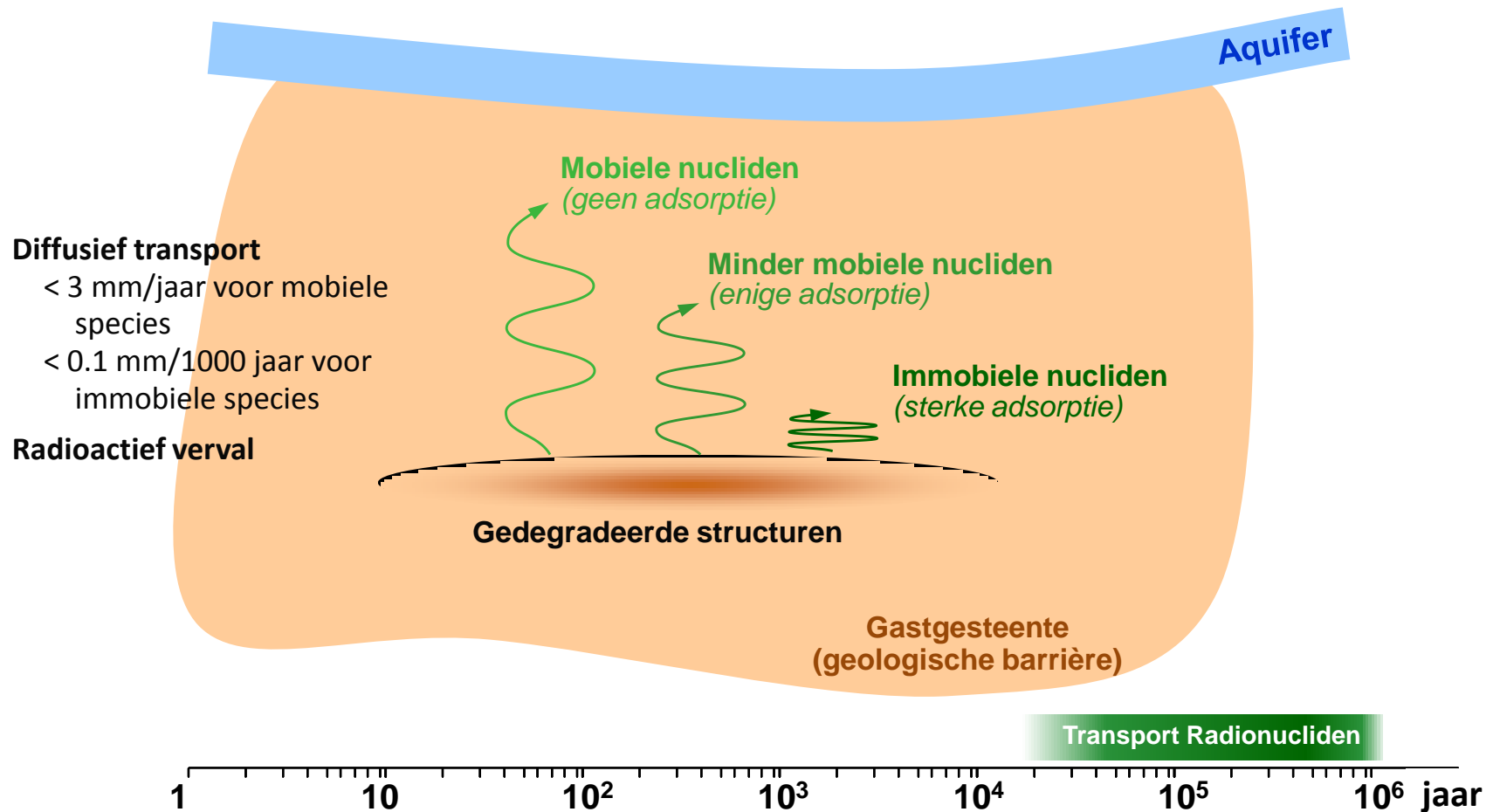
Referentiescenario

Enkele duizenden jaren na plaatsing



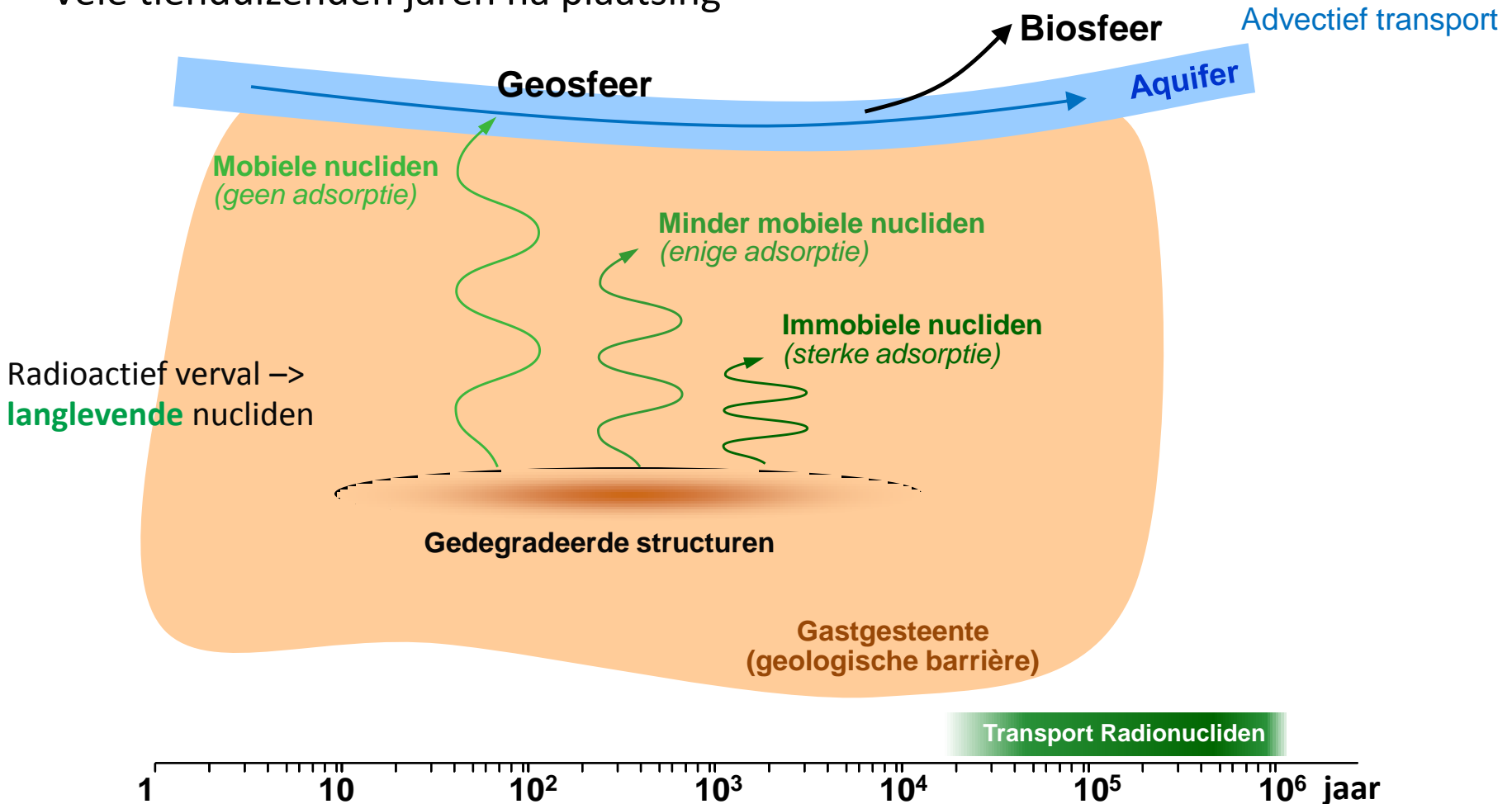
Referentiescenario

Enkele tienduizenden jaren na plaatsing



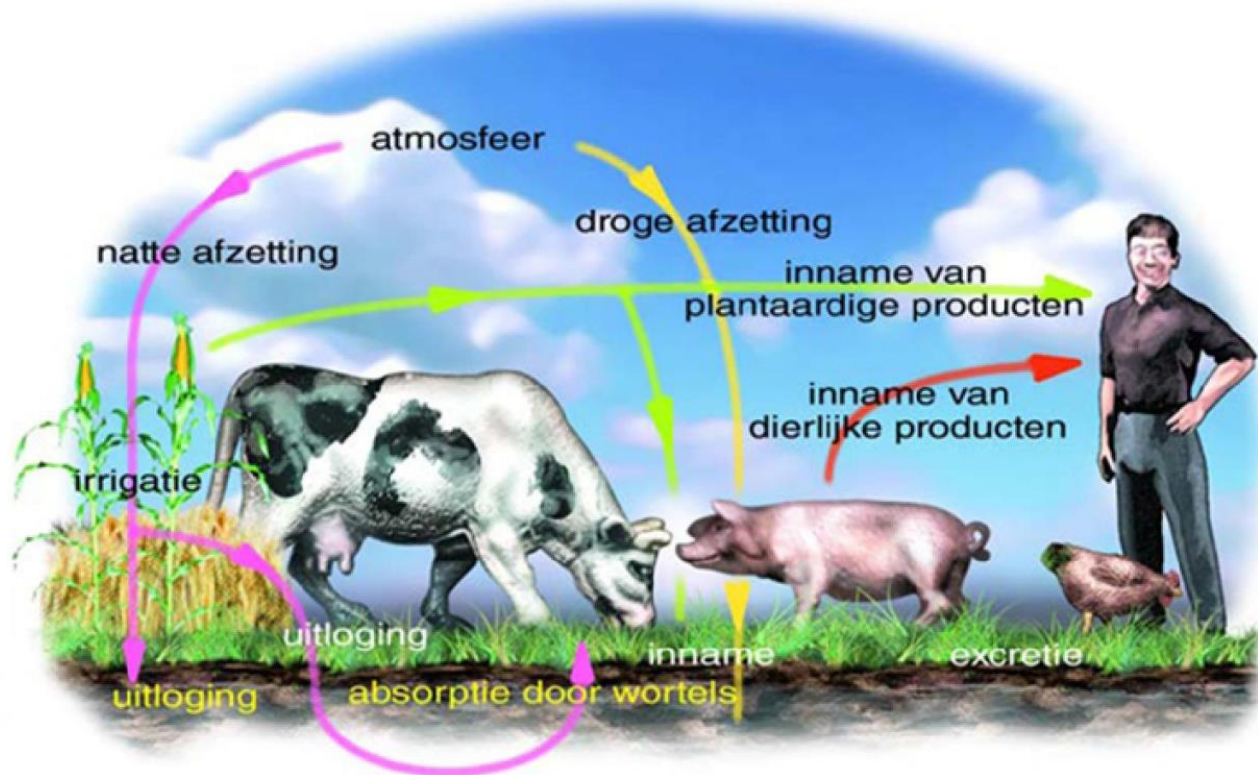
Referentiescenario

Vele tienduizenden jaren na plaatsing

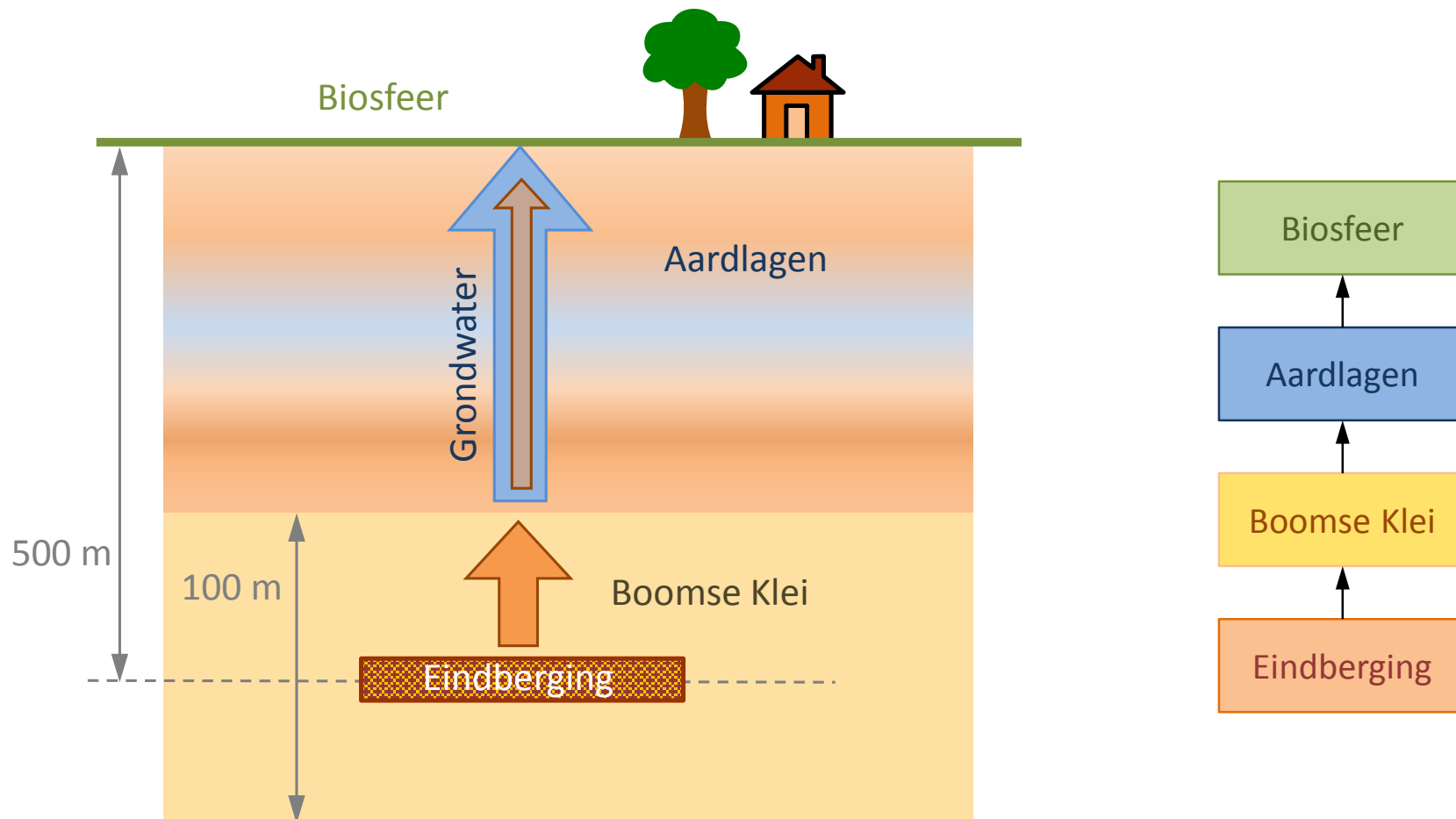


Referentiescenario - Biosfeer

- Radionucliden kunnen de biosfeer via het grondwater bereiken
- Een klein deel van het grondwater komt terecht in de voedselketen
- Radionucliden kunnen blootstelling veroorzaken door inname
- Veranderingen in de biosfeer (klimaat, etc) hebben invloed op de blootstelling

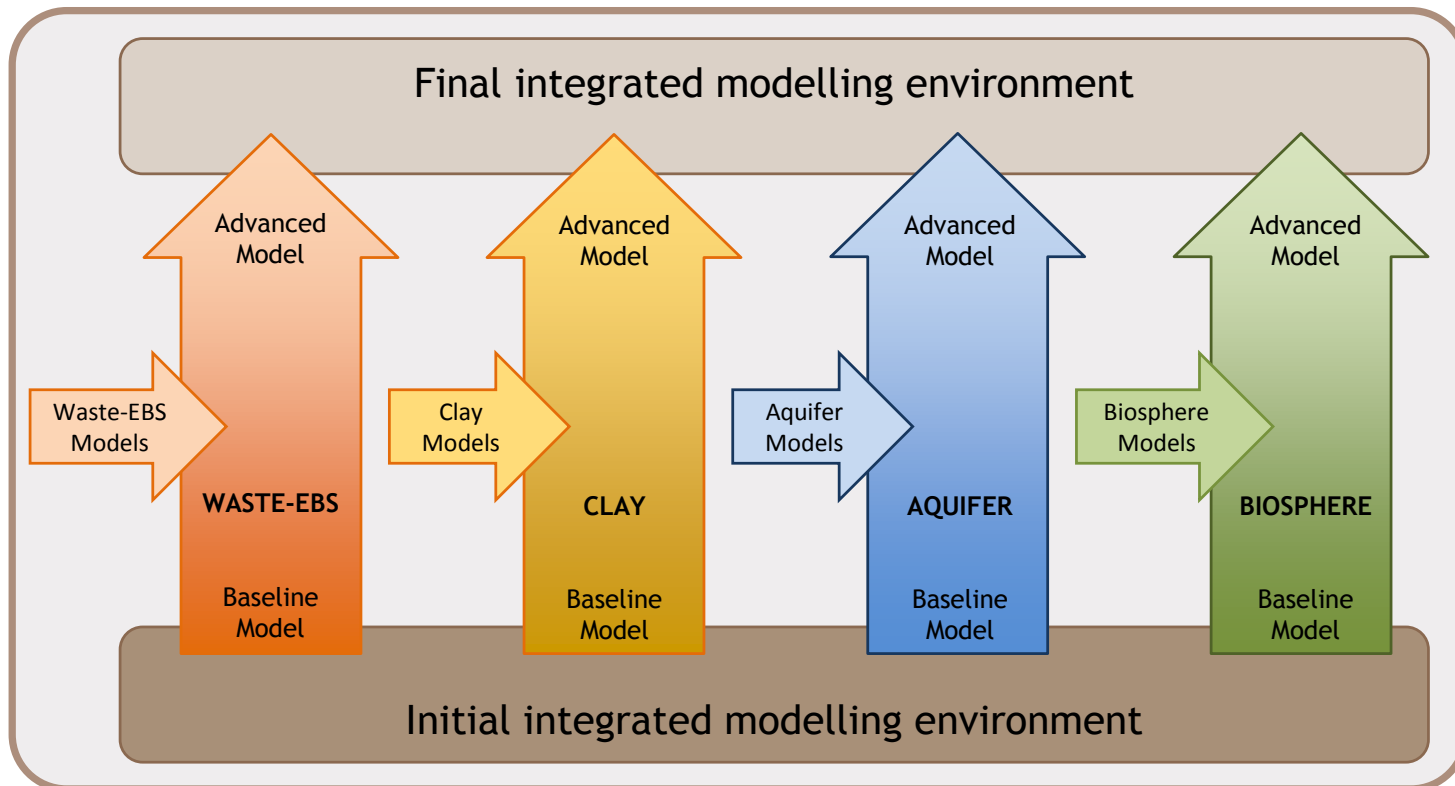


Referentiescenario - OPERA

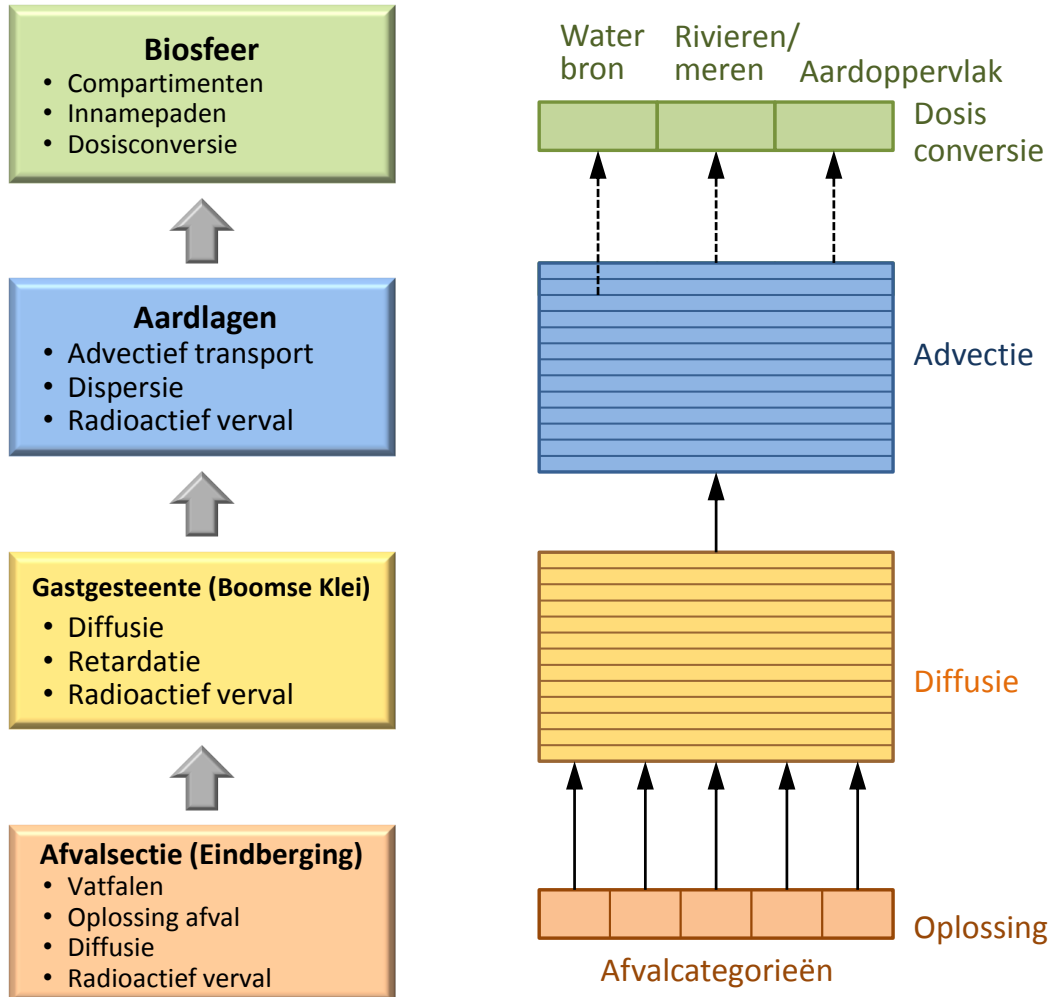


Formulering en implementatie van rekenmodel

Vertaling van informatie vanuit OPERA Taken naar een integraal conceptueel rekenmodel



ORCHESTRA Integraal Conceptueel Model



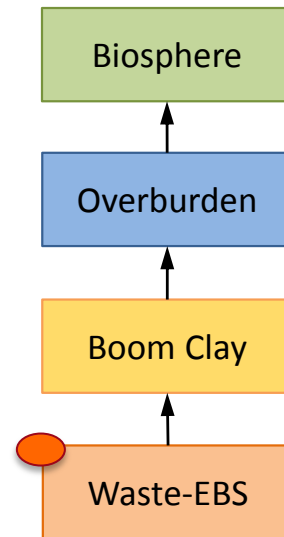
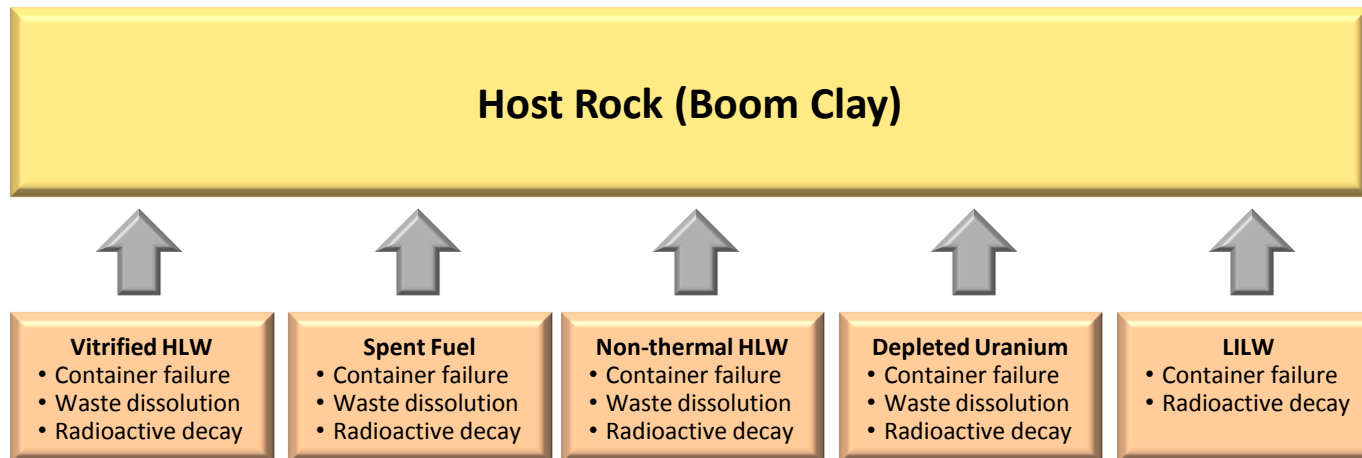
ORCHESTRA: Objects Representing CHEmical Speciation and TRANsport

- Open source code
- Modelling van meest relevante processen die het radionuclidetransport beïnvloeden

www.orchestra.meeussen.nl

Compartment *Waste-EBS*

- RN inventarissen – OPERA afvalcategorieën (“*Waste Families*”)
- Onderscheid volgens:
 - Conditionering van het afval – Supercontainer vs gecompacteerd
 - Vrijzetting – instantaan vs lange-termijn congruent



OPERA-PG-COV023: Waste families in OPERA

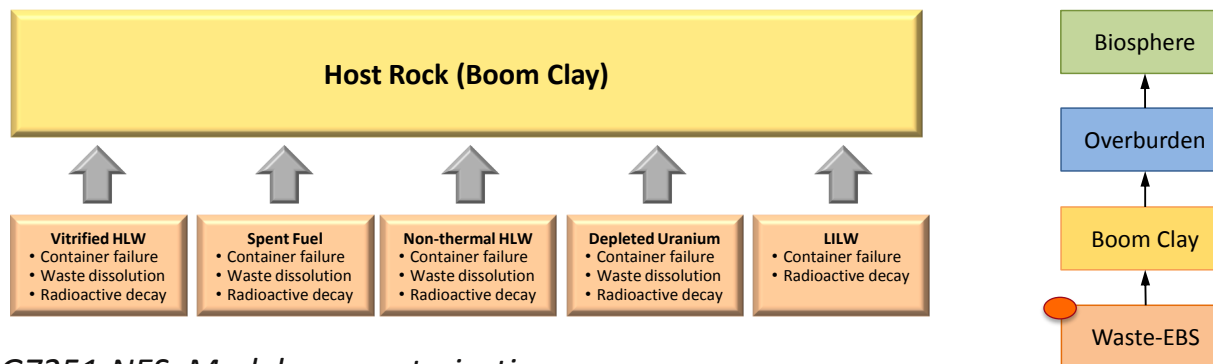
OPERA-PU-IBR511A: HLW glass dissolution

OPERA-PU-IBR511B: Corrosion of spent research reactor fuels

Compartment *Waste-EBS*

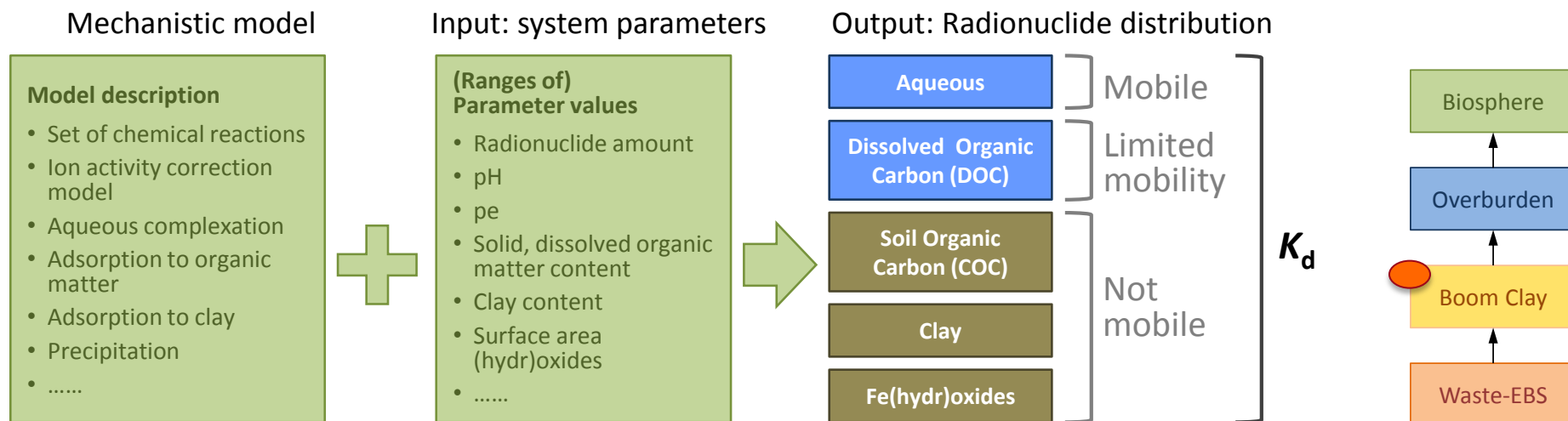
- In OPERA worden vijf compartimenten / afvalcategorieën onderscheiden
- N.B.: Tijdstap van container falen en vrijzettingssnelheid zijn **voorlopige** data

Afvalsectie	Conditionering	Tijdstip van container falen [jaar]	Vrijzetting [1/jaar]
Vitrified HLW	OPERA Supercontainer	15'000	$1.54 \cdot 10^{-4}$
Spent Fuel	OPERA Supercontainer	15'000	∞
Non heat producing HLW	OPERA Supercontainer	15'000	∞
Depleted uranium	KONRAD-II container	1500	∞
LILW	Beton	0	∞



Compartment Boomse Klei

- Mechanistisch ORCHESTRA model berekent op basis van thermodynamische data en de fysisch-chemische eigenschappen van Boomse Klei de opgeloste fractie van radionucliden
 - **Mobiliteit** (adsorptiecoëfficiënt, retardatiefactor) van alle betrokken species

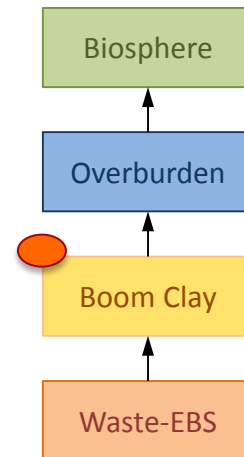
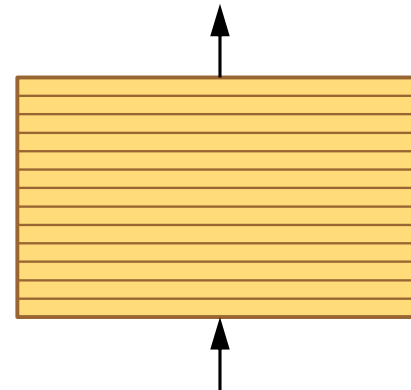
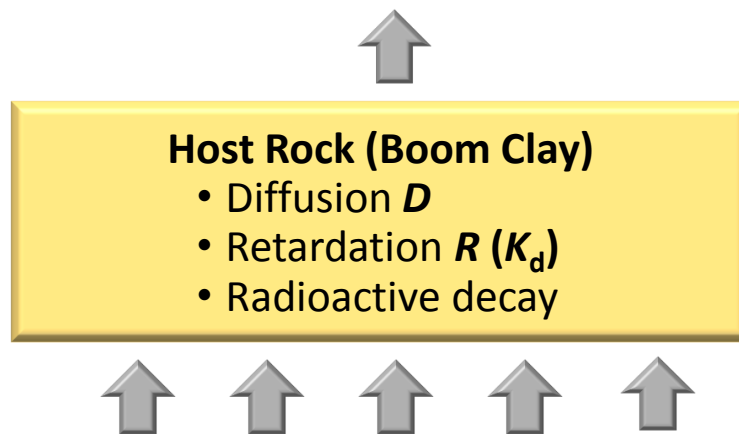


$$\text{Adsorptiecoëfficiënt } K_d = \frac{\text{Hoeveelheid van een nuclide geadsorbeerd aan de vaste fase [mol/kg]}}{\text{Concentratie van een nuclide in oplossing [mol/m}^3\text{]}}$$

Compartment Boomse Klei

Belangrijkste processen:

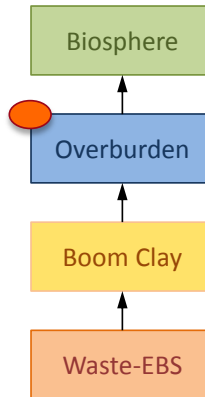
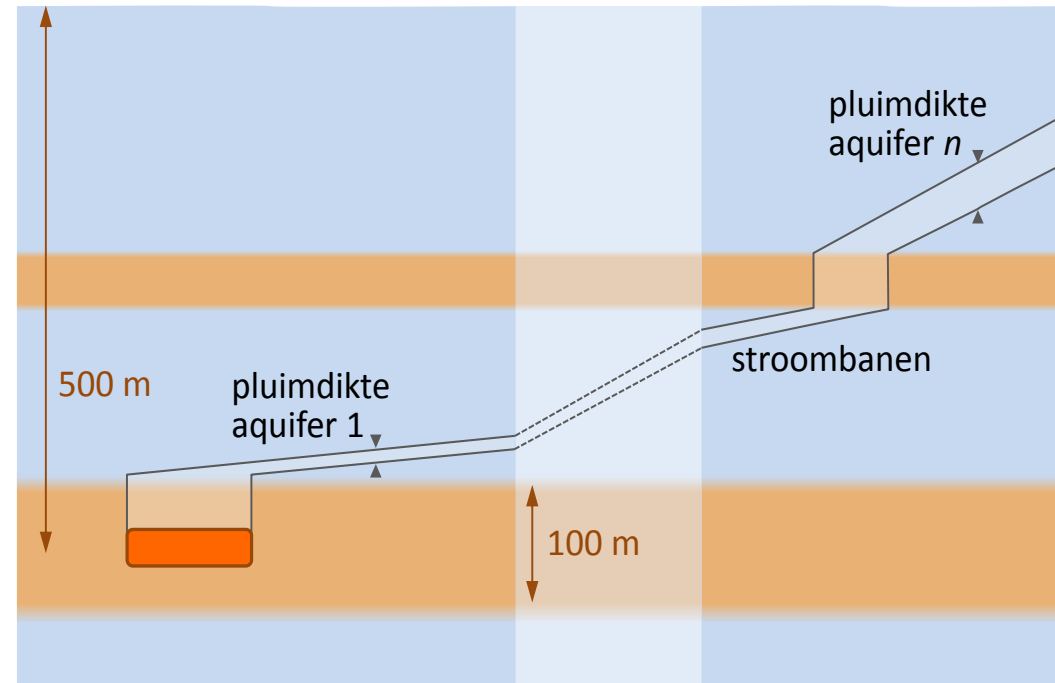
- Diffusie
- Retardatie (adsorptie) voor elk radionuclide
- Radioactief verval en ingroei



Compartiment Overburden

Hydrologisch model

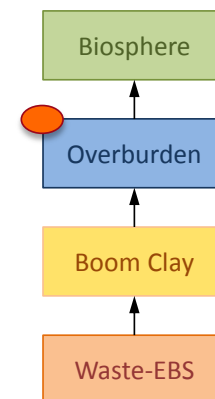
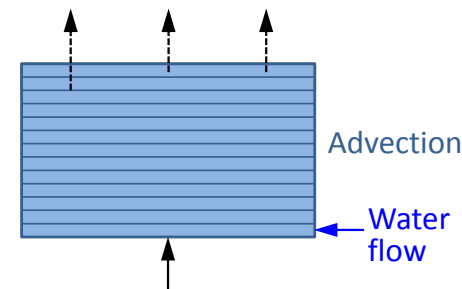
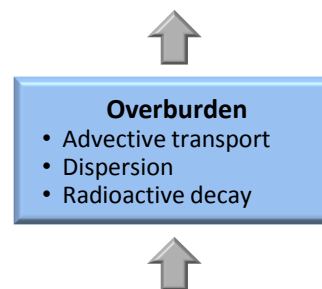
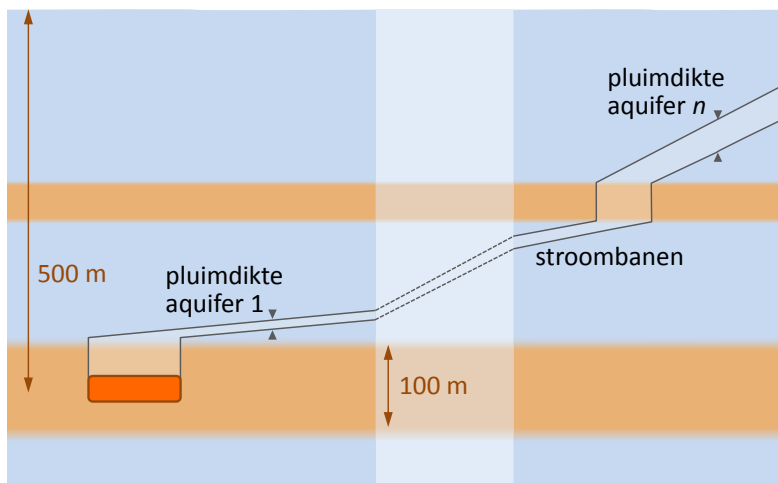
- Geohydrologisch model op basis van het bestaande nationale model NHI (Netherlands Hydrological Instrument)
- **Stroombaan** analyse
- Belangrijkste processen/parameters:
 - Advectieve stroming
 - Padlengte
 - Effectieve stroomsnelheid
- Beschouwde scenario's
 - gematigd klimaat
 - koud klimaat zonder ijsbedekking (permafrost)
 - koud klimaat met ijsbedekking
 - warm klimaat



Compartiment Overburden

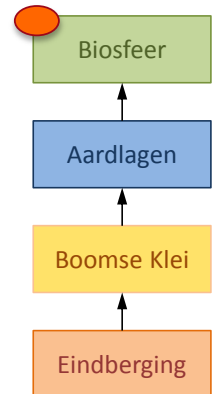
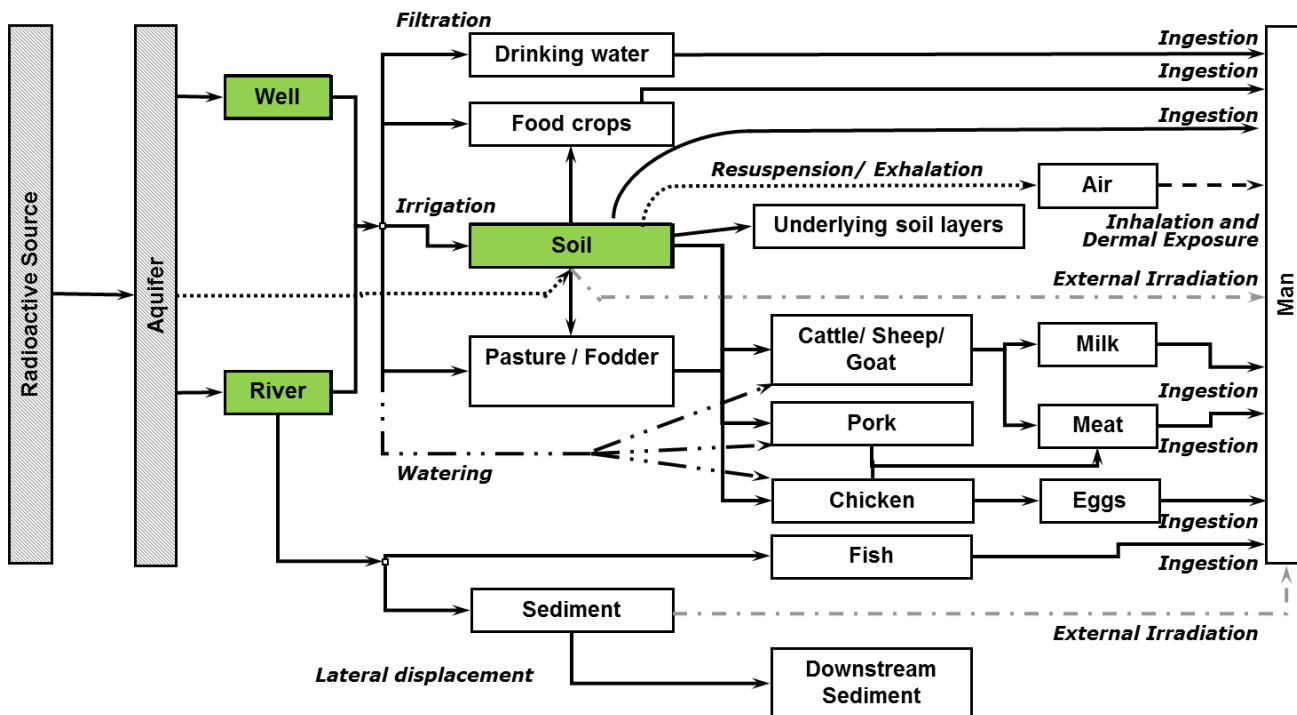
- Hydrologische model stroomlijnen
- **Grote spreiding** in padlengte en verblijftijden

Stroomlijn	Verblijftijd [jaar]	Padlengte [km]	Effectieve snelheid [m/jaar]
Snel	30'700	23.3	0.288
Gemiddeld	164'000	14.0	0.0239
Langzaam	853'000	28.2	0.0993



Compartment Biosfeer

- Radionuclide concentraties in de waterbronnen
 - Verdunning
- Wateropname vanuit de bronnen door de biosfeer
 - Waterbron
 - Rivieren/meren
 - Aardoppervlak



➤ Blootstelling aan radionucliden
Dosis Conversie Coefficient DCC

OPERA-PU-SCK631:
Radionuclide migration and uptake in the biosphere

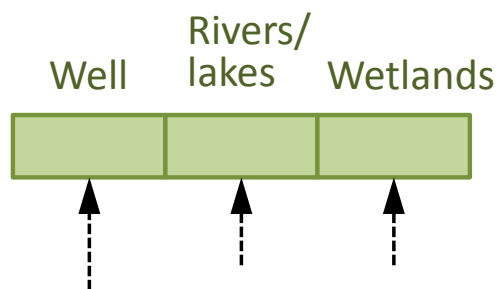
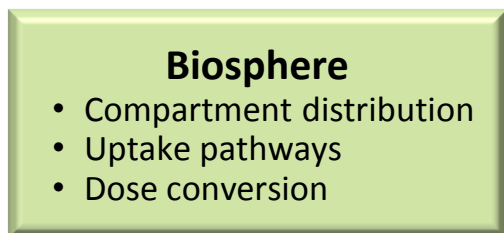
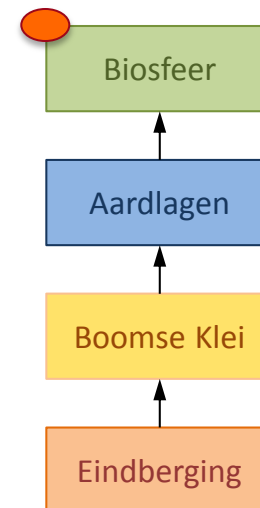
Compartment Biosfeer

5 Klimaattoestanden:

- Gematigd
- Warmer (mediterraan)
- Kouder (boreaal)
- Periglaciaal (polaire toendra)
- Glaciaal (polaire vorst)

➤ Beïnvloedt:

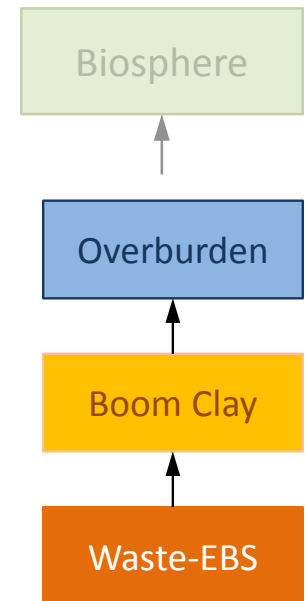
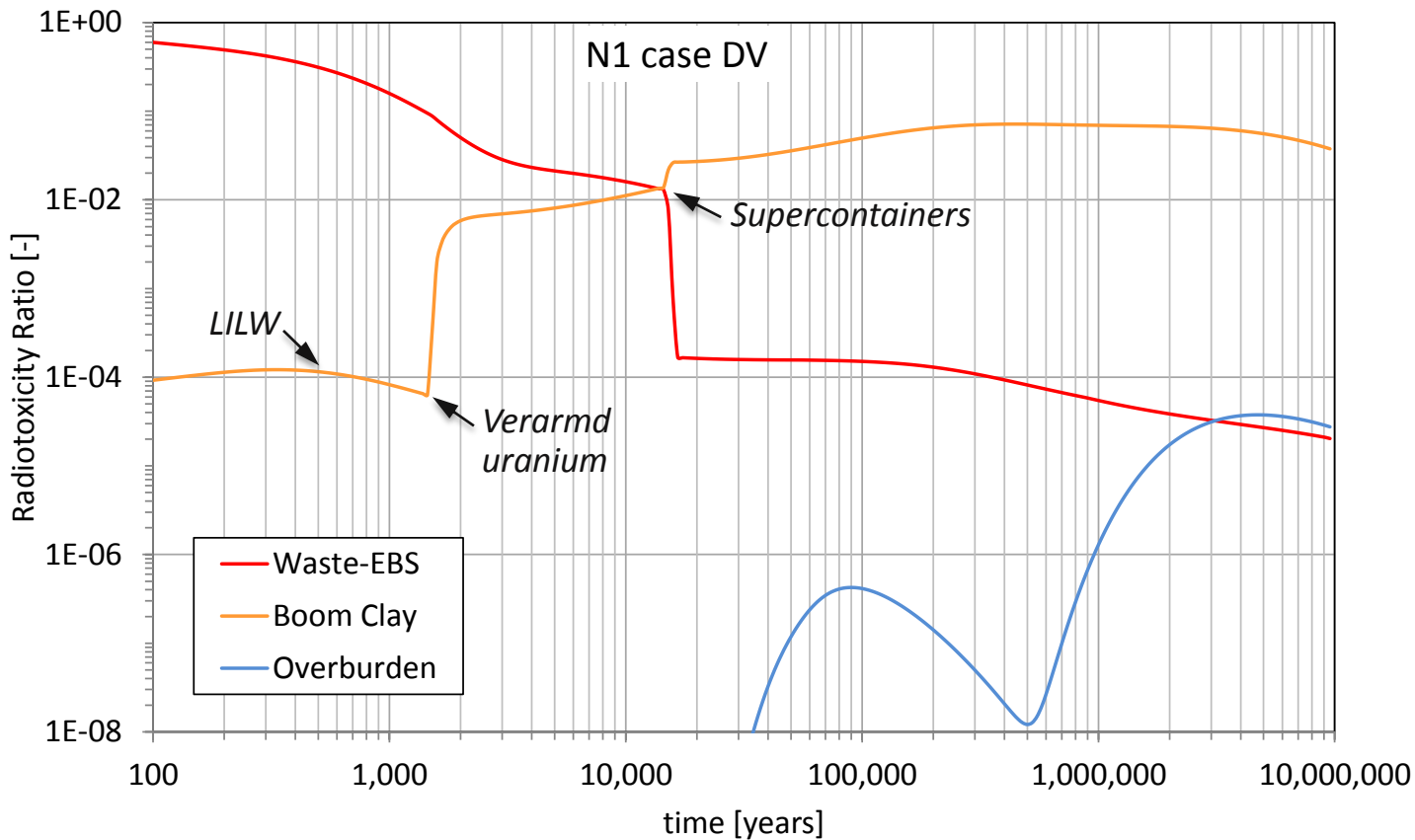
- Opname door planten, dieren
- Menselijke gebruiken, consumptie
- **Dosis Conversie Coefficient (DCC)** voor elk nuclide



Veiligheidsberekeningen

Voorlopige resultaten

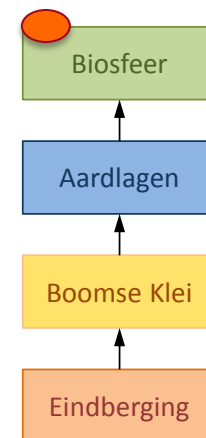
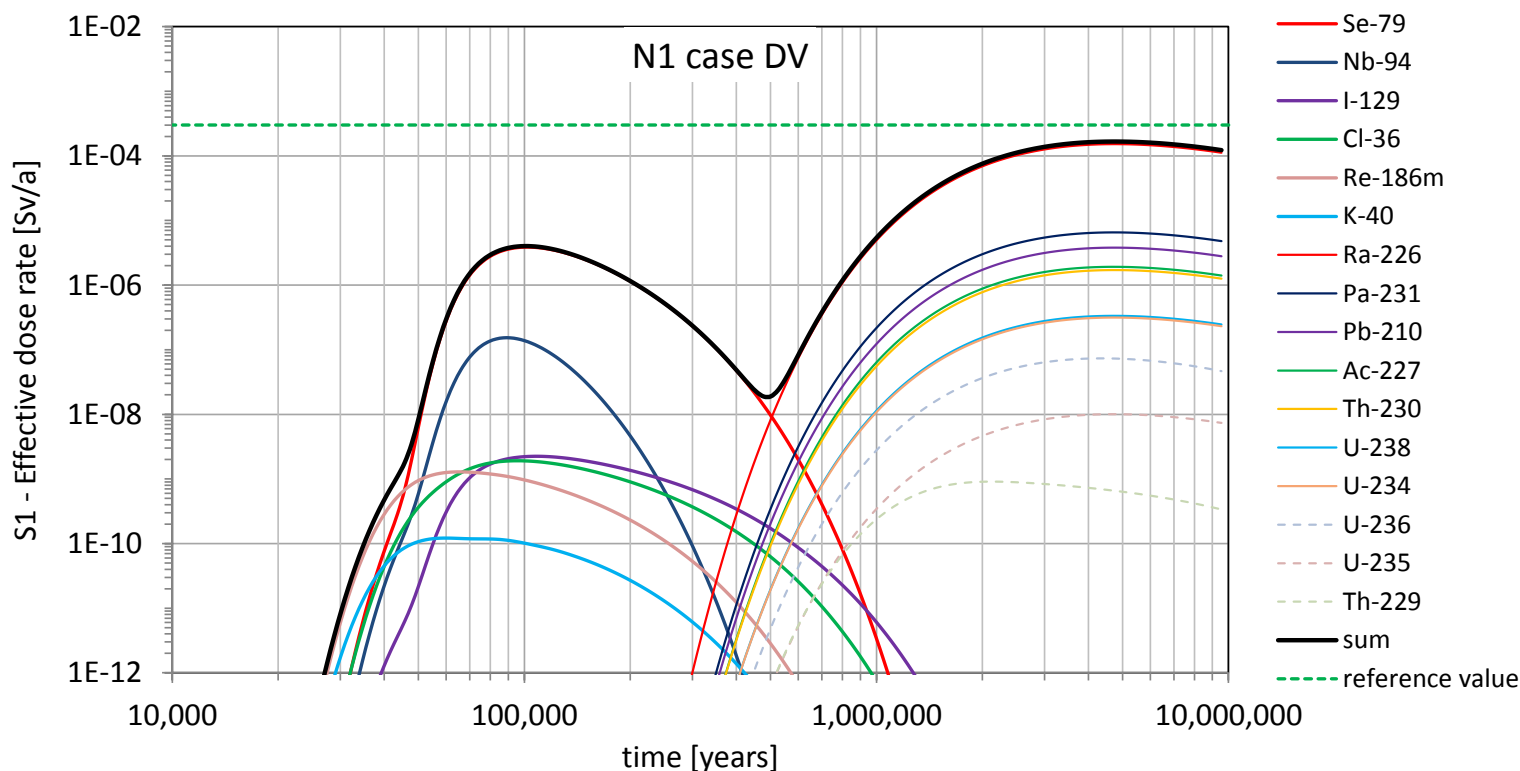
Ratio: $\frac{\text{Radiotoxiciiteit in compartimenten [Sievert]}}{\text{Initiële radiotoxiciiteit in afval [Sievert]}}$



Veiligheidsberekeningen

Voorlopige resultaten

- Effectieve Dosis in de biosfeer [Sv/a] – maat voor de radiologische blootstelling
- Meest blootgestelde persoon; meest ongunstige waarden van modelparameters (transport in Boomse Klei en Overburden, dosisconversiecoëfficiënt, consumptiegedrag, ...)



Beschouwingen vanuit de Testberekeningen

- Slechts **enkele** (langlevende) radionucliden dragen bij tot de dosis in de biosfeer
- Berekeningen geven twee pieken aan voor de effectieve dosis:
 - Voor mobiele nucliden (vnl. anionen) $\sim 70'000 - 200'000$ jaar
 - Voor langlevende ketens en hun dochters (verarmd uranium) > 1 miljoen jaar; adsorptie aan de Boomse Klei
- Voor de afvalcategorieën anders dan verarmd uranium blijft de effectieve dosis in de biosfeer ruimschoots beneden referentiewaarden
- Op de zeer lange termijn (> 1 miljoen jaar) wordt de effectieve dosis in de biosfeer bepaald door de ingroei van dochternucliden uit de afvalcategorie verarmd uranium

Conclusies

- Op basis de opgebouwde kennis in OPERA is een consistente modelweergave ontwikkeld voor de lange-termijn veiligheidstoetsing van het OPERA eindbergingsconcept
- De waarden van modelparameters zijn vergaand gebaseerd op de resultaten van de diverse OPERA projecten
- Bestaande onzekerheden zijn expliciet meegenomen en hun invloed op de lange-termijn veiligheid kan worden getoetst

Acknowledgement

The research leading to these results has received funding from:

- The Dutch research programme on geological disposal OPERA. OPERA is financed by the Dutch Ministry of Economic Affairs and the public limited liability company Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid-Nederland (EPZ) and coordinated by COVRA
- The Dutch Ministry of Economic Affairs as part of the Research Programme EZS – Economische Zaken Subsidie