



Taaie Dijken Klimaatrobust
Eind-symposium, SIA-RAAK project

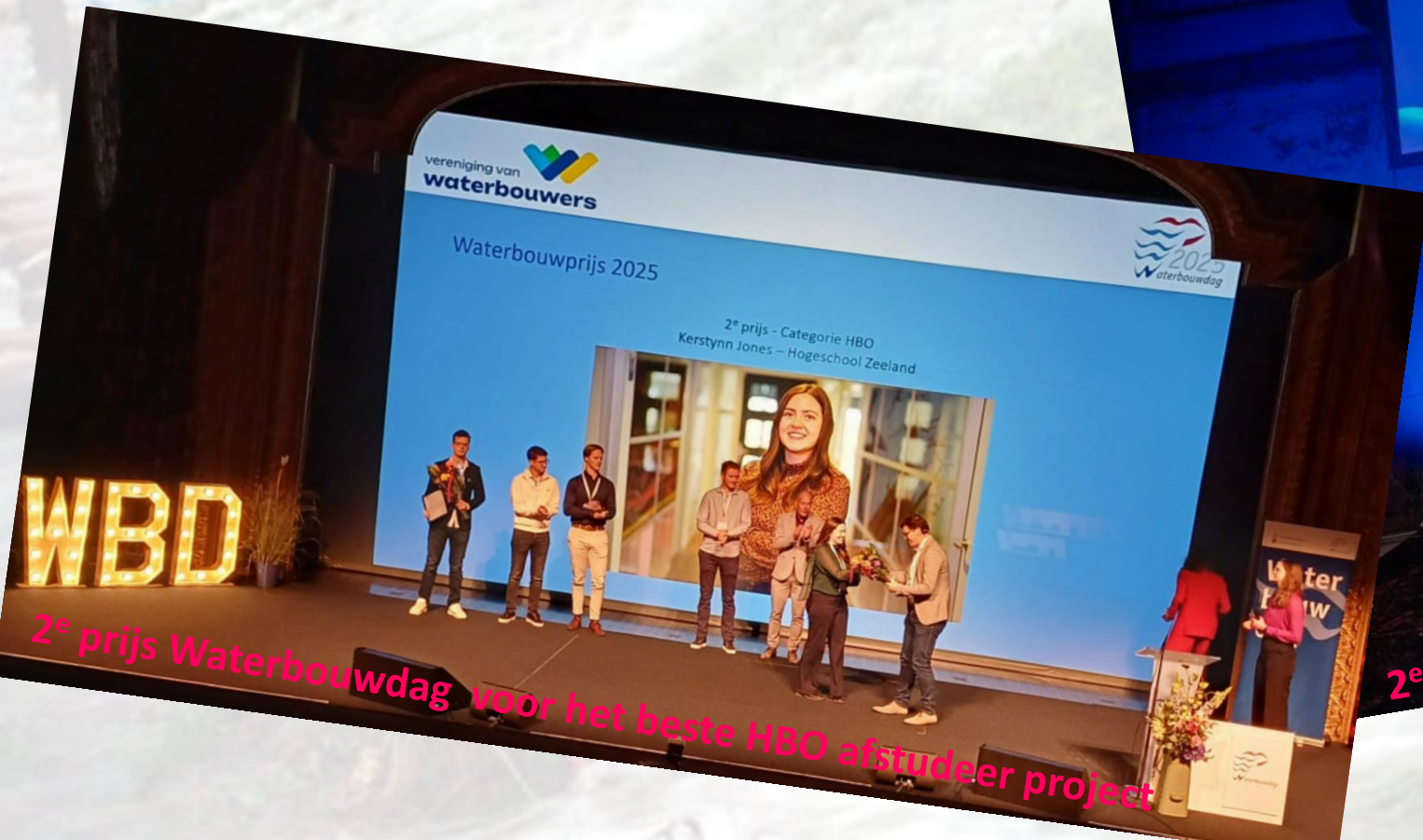
Taaie Dijken Klimaatrobuust

- Doel: een praktische verkenning
 - wat is het, hoe zien ze eruit, hebben we ze al?
 - kunnen we eraan rekenen, past het in ons waterveiligheidssysteem?
 - kunnen we ze maken, helpen ze ook op de lange termijn?

- Team



Prijzen voor projecten Taaie dijken



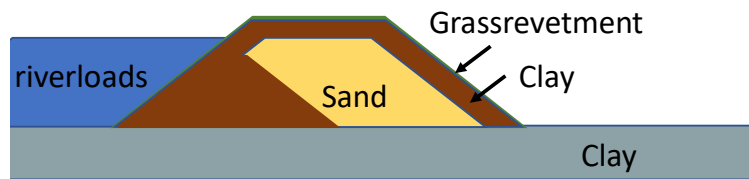
Agenda

13:00	Welkom, opening, agenda en doelen	Jan den Daas (HAN)
13:05	Inleiding Taaie Dijken Klimaatrobuust	Frank den Heijer
13:25	Waar zijn onze huidige dijken misschien al taaï?	Maarten Podt
13:55	Leveren taaie dijken veiligheidswinst?	Frank den Heijer
<i>14:25</i>	<i>Pauze</i>	
14:45	Wat is er nodig om taaie dijken te maken?	Hans Uit het Broek
15:15	Kunnen we ze inpassen in ons waterveiligheidssysteem?	o.l.v. Jan den Daas
	- Beoordelen	Herman-Jaap Lodder (HHSK)
	- Realisatie	Martin Egas (Dijkzone Alliantie)
	- Beheren	Jeroen Kooman (WSRL)
	- Klimaatrobuustheid	Martin van der Meer (Dijkzone Alliantie)
15:55	Wrap up	Frank den Heijer
<i>16:00</i>	<i>Borrel</i>	

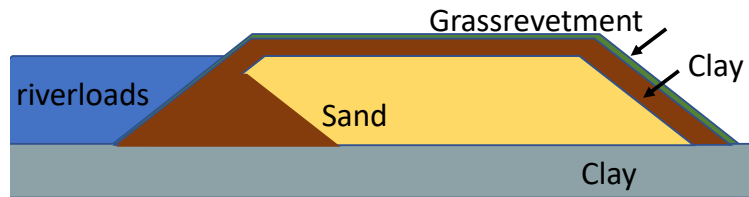
Inleiding Taaie Dijken Klimaatrobuust

Eind symposium, SIA-RAAK project

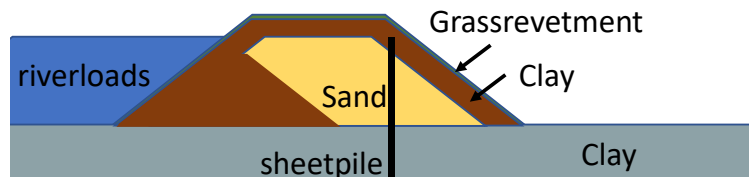
Taaie dijken



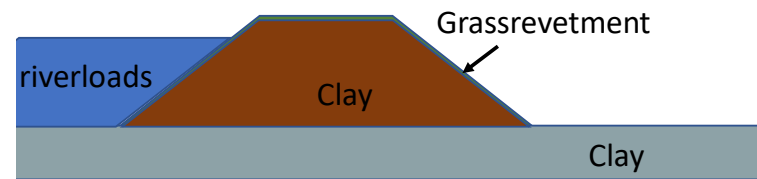
a) Present dutch sanddike



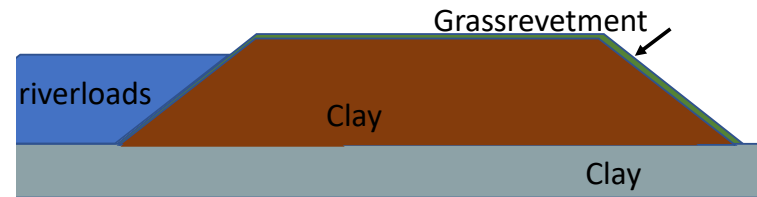
b) Delta sanddike



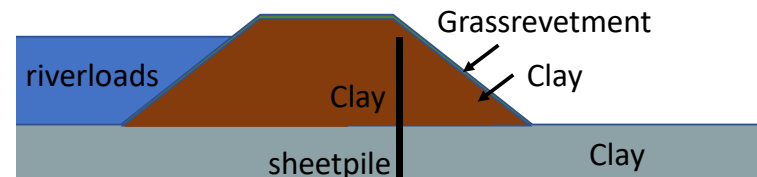
c) Ductile sanddike with sheetpile



d) Ductile dike with clay core



e) Delta dike with clay core



f) Ductile dike with clay core and sheetpile

Definitie taaie gedrag:
We definiëren **taai** of ductiel gedrag als het langzame bezwijkproces van een dijk en een relatief langzame of dieptebeperkte bresgroei, die beide leiden tot kleinere bresafmetingen en **kleinere overstromingseffecten**.
Het is het tegenovergestelde van **bros** gedrag, met een plotseling optreden van een bres, en **grotere overstromingseffecten**.

Wat als het toch misgaat?



Ondiep*

Langzaam



Diep

Snel

Eigenschappen taaie dijk

Beperkte gevolgen van overstromingen door:

- Langzaam faalproces tot aan bres
- Langzame en/of beperkte groei van de bres in breedte en diepte

Het vertraagde proces geeft:

- extra tijd voor noodmaatregelen, verder beperken kans op overstroming

En als de dijk uiteindelijk toch doorbreekt:

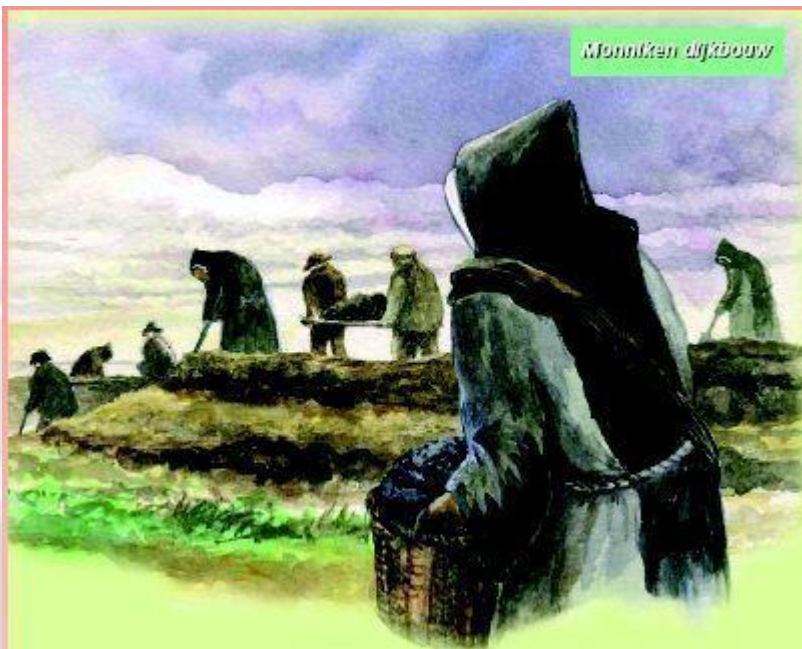
- heeft de vertraging de instroom beperkt, en daarmee de schade
- Is er meer evacuatie-tijd geweest, en dat beperkt het aantal slachtoffers

In 1598 werd de Emelissedijk aangelegd als eerste herdijking van Noord-Beveland na de stormvloed van 1530 en 1532.

<https://www.zeeuwseankers.nl/verhaal/een-dijk-met-een-verrassing#:~:text=Kleikist,constructie%20was%20nog%20nooit%20opgegraven.>



Monniken dijkbouw



Monniken en nonnen van het klooster Emelisse startten vroeg met het aanleggen van dijken



Monniken en werklui bouwen gezamenlijk een dijk. Afbeelding: Kloostermuseum Bernardushof

TRACTAET VAN DYCKAGIE

Fig. 24



Fig. 25



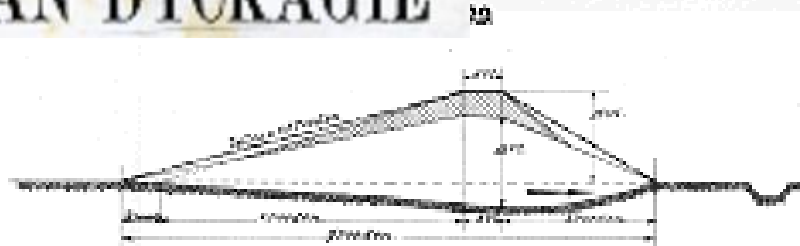
Fig. 26



Fig. 27



Fig. 28



===== goed afgeposchaard
 - - - - - toede dree.

Fig. 30



Fig. 31

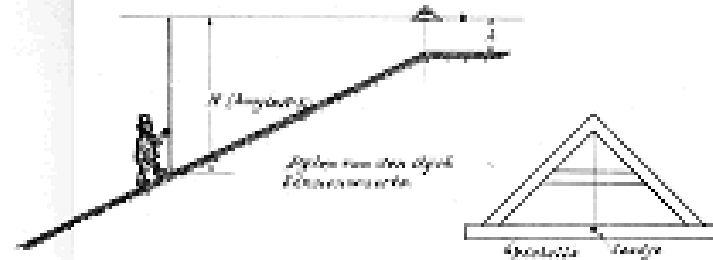


Fig. 32



Dyken van den dyck van bapten.

DE STORMVLOED van 1 Februari 1953



- Zeekeering
- Dijkbeveiliging
- Staanplaats, die strand heeft
- Ondergelopen land
- Droog land
- Stad, die gedeeltelijk overgespoeld geweest is
- 1-10 steden
- 10 steden
- Vlegveld, wanneer kulproltering door de lucht plaats vond
- Gehel of gedeeltelijk getraffeerde gemeente
- Weg
- Akroer
- Beekloop met schuiveren
- Spoorweg
- Tramweg
- Vaartoren
- Fluiteringens
- Kijkpost
- Duinen



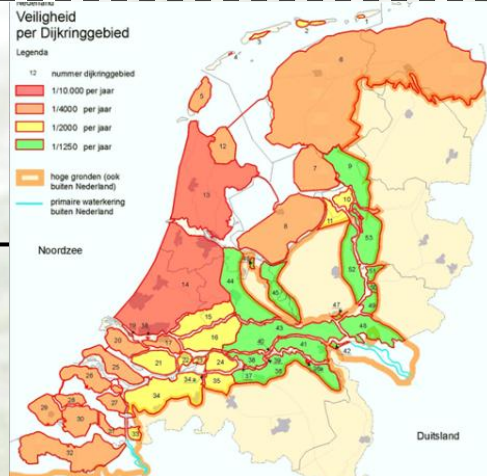
De ontwikkeling van het waterveiligheidsbeleid in vogelvlucht

Voor 1953



Ervaring, hoogst bekende waterstand +1 m

1953-1996



Groeiend normenstelsel per dijkkring
Groeiend toetsings/beoordelingskader

1996-2017

Wettelijke (waterstands)normen per dijkkring
Toetsing per dijkvak op waterstand + bijk. factoren
Faalmechanismen beoordelen op 'zeker veilig'

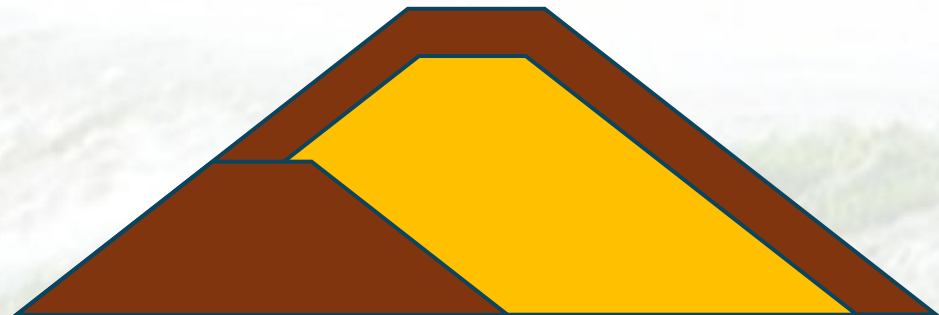
Na 2017



Wettelijke (overstromingskans)normen per dijktraject
Beoordeling op faalpaden mogelijk
In de praktijk: nog steeds 'zeker veilig'

Door de focus op de faalkans, vergeten we nu de gevolgen?

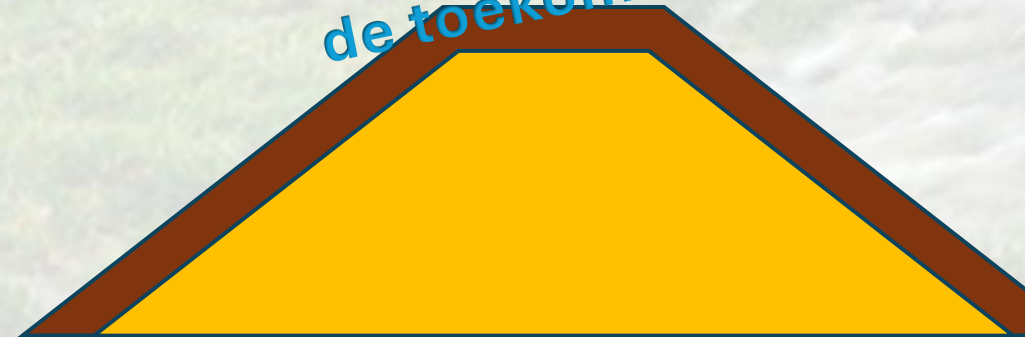
waterbouwers van vroeger



waterbouwers van de toekomst?



waterbouwers van nu ?



Hedwigepolder

Beoogde resultaten

- Globaal beeld of onze huidige dijken taai zouden kunnen zijn.
- Een beeld van de veiligheidswinst:
 - een praktische rekenmethode en toepassing op 5 cases
- Wat betekent dat voor de praktijk van ontwerp en uitvoering?

Waar zijn onze huidige dijken misschien al taai?

Maarten Podt

Eind-symposium, SIA-RAAK project

WAAR ZIJN ONZE HUIDIGE DIJKEN MISSCHIEN AL TAAI?!

SYMPOSIUM TAAIE DIJKEN KLIMAATROBUUST

Maarten Podt | Onderzoeker dijkdاتا

HAN University of Applied Sciences
Delft University of Technology



HAN UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

TAAI GEDRAG EN OORZAKEN

- Taai gedrag: het vertragen van bresvorming en bresgroei
- Sommige dikelementen hebben meer invloed op taai gedrag dan andere

Damwand



Klei



INVENTARISATIE VAN DIJKEN IN NEDERLAND

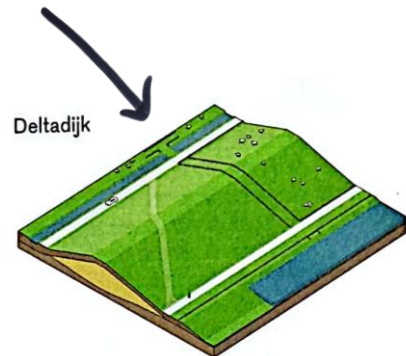
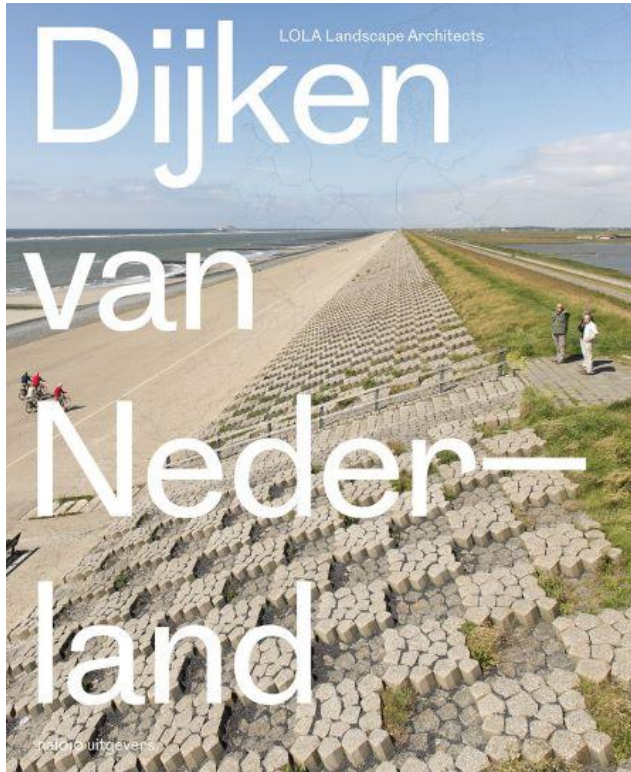


Grote variatie aan dijken

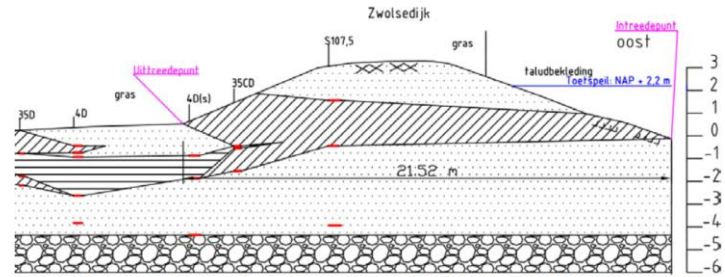


ITERATIES VAN AANPAK

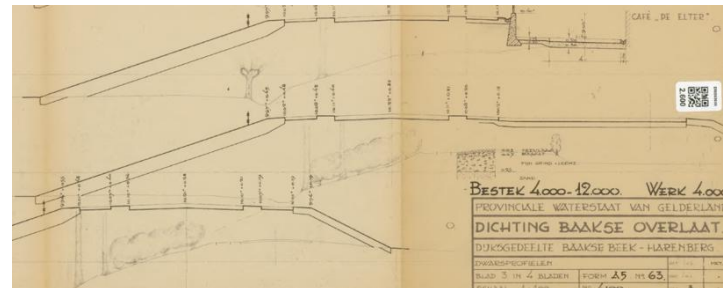
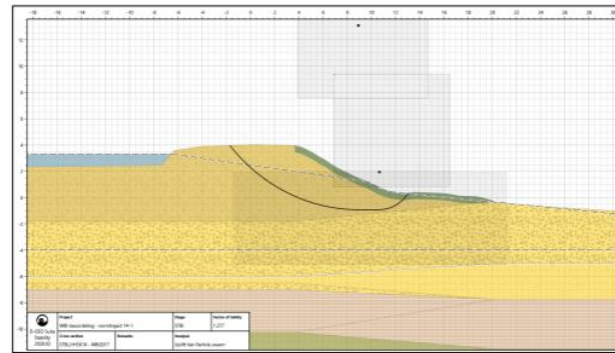
Ging enkel in op
ruimtelijke inpassing



Indicatieve profielen openbaar
vrijwel niet vindbaar



Figuur 19: Bodemschematisatie dwarsdoorsnede 10Z_401 t/m NAP -6 m diep (voor de gehele dwarsdoorsnede zie bijlage 8).



Zelf een dijkdataset bouwen
met openbare data



EEN DIJKDATASET VAN DRIE KERNCOMPONENTEN



Geometrie

Profielkniklijnen uit het AHN



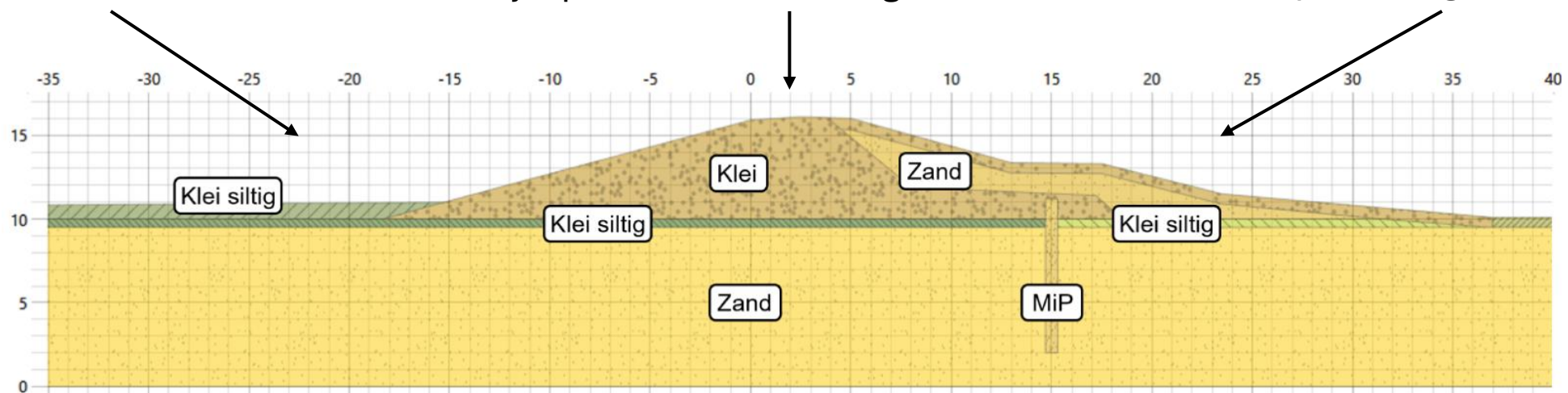
Constructie

Dijkopbouw uit sonderingen uit het BRO



Ondergrond

Ondiepe ondergrond uit het GeoTOP



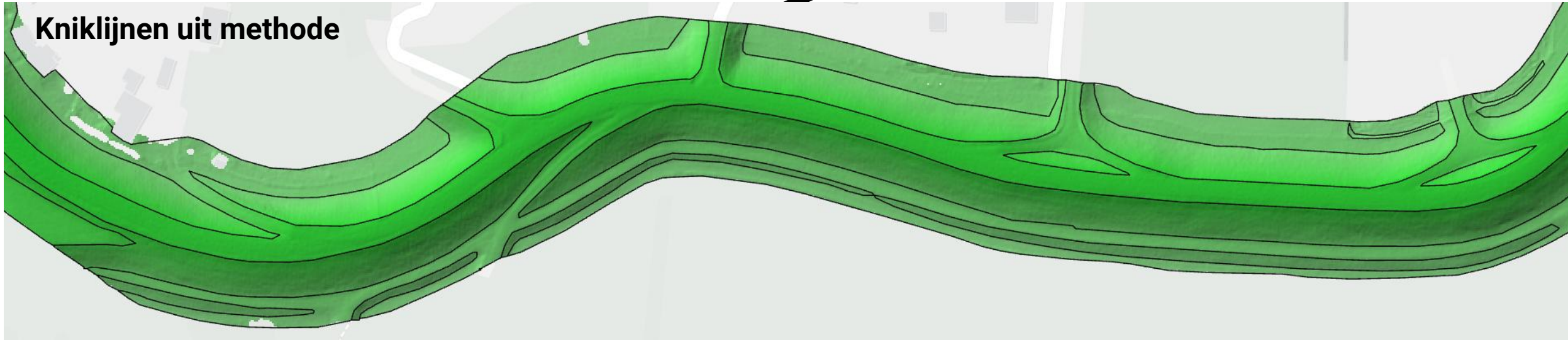
1 | COMPONENT GEOMETRIE

Extractie van profielkniklijnen uit het AHN4 hoogtemodel

Kniklijnen uit legger

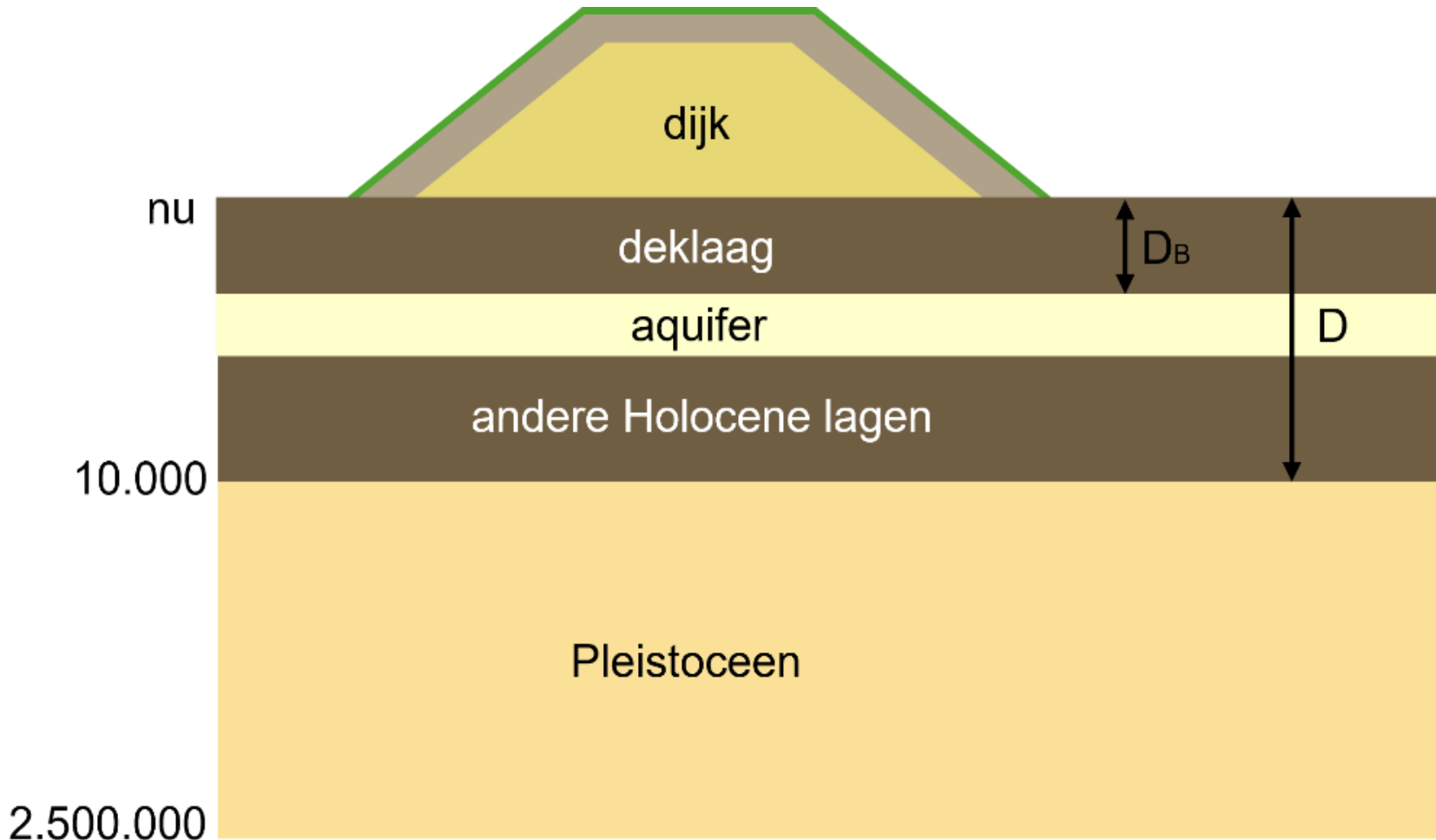


Kniklijnen uit methode



2 | COMPONENT ONDERGROND

Ondiepe ondergrond (50m) uit het GeoTOP



x	139000
y	441500
(0, ' t.o.v. mv')	3
(-0.5, ' t.o.v. mv')	3
(-1.0, ' t.o.v. mv')	2
(-1.5, ' t.o.v. mv')	2
(-2.0, ' t.o.v. mv')	2
(-2.5, ' t.o.v. mv')	1
(-3.0, ' t.o.v. mv')	2
(-3.5, ' t.o.v. mv')	1
(-4.0, ' t.o.v. mv')	1
(-4.5, ' t.o.v. mv')	2
(-5.0, ' t.o.v. mv')	1
(-5.5, ' t.o.v. mv')	3
(-6.0, ' t.o.v. mv')	3
(-6.5, ' t.o.v. mv')	6
(-7.0, ' t.o.v. mv')	6
(-7.5, ' t.o.v. mv')	1
(-8.0, ' t.o.v. mv')	7
(-8.5, ' t.o.v. mv')	7
(-9.0, ' t.o.v. mv')	7
(-9.5, ' t.o.v. mv')	1
(-10.0, ' t.o.v. mv')	7
(-10.5, ' t.o.v. mv')	2

3 | COMPONENT CONSTRUCTIE

Dijkopbouw uit sonderingen uit het BRO

Waarom sonderingen?

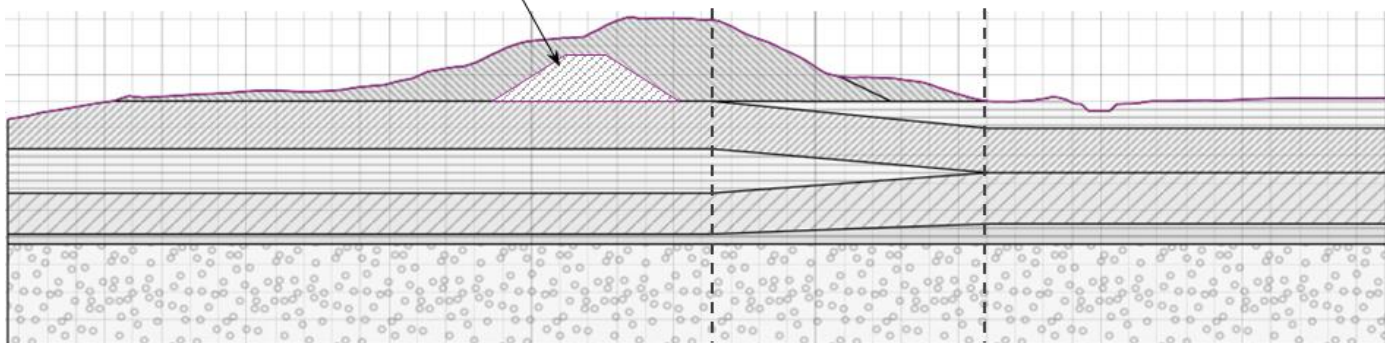
Consistent in de kruin



'Onzichtbaar' materiaal

Kruinsondering

Teensondering



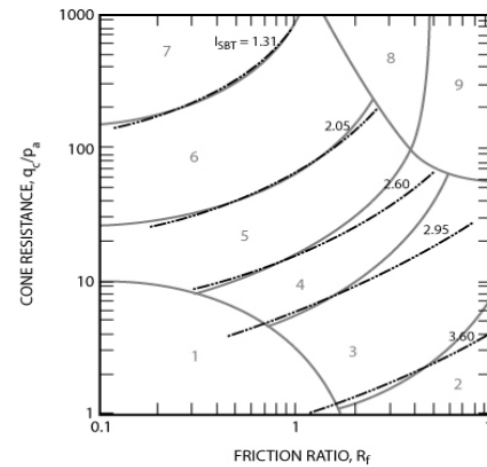
±241.000 sonderingen **landelijk**
±40.000 sonderingen in **primaire keringen**
±12.500 sonderingen in **kruin**

VAN SONDEERPARAMETERS NAAR GRONDGEDRAG

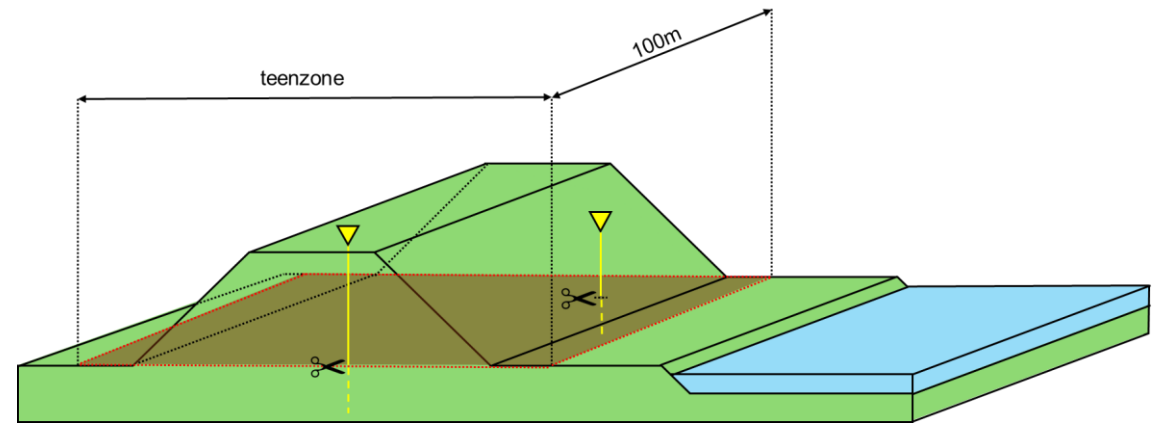
1. Sondeerparameters (q_c , Fr) per 2 cm
2. I_c -gebaseerde SBT-classificatie op basis van q_c en Fr
3. Eigen interpretatie van erosiebestendigheid

Robertson zones	Beschrijving Robertson	Interpretatie	Kleur code	Potentieel erosiebestendig
1	Sensitive, fine grained	Gevoelige klei		
2	Clay organic	Veen		?
3	Clay & silty clay	Klei		✓
4	Silt mixtures	Silt / leem		
5	Sand mixtures	Kleiig zand		
6	Sands clean and silty	Zand		
7	Dense to gravelly sand	Grindig zand		
8	Stiff sand to clay sand*	Compact zand (verkit)		✓
9	Stiff fine grained*	Compacte klei		✓

Robertson SBT (q_c - Fr)



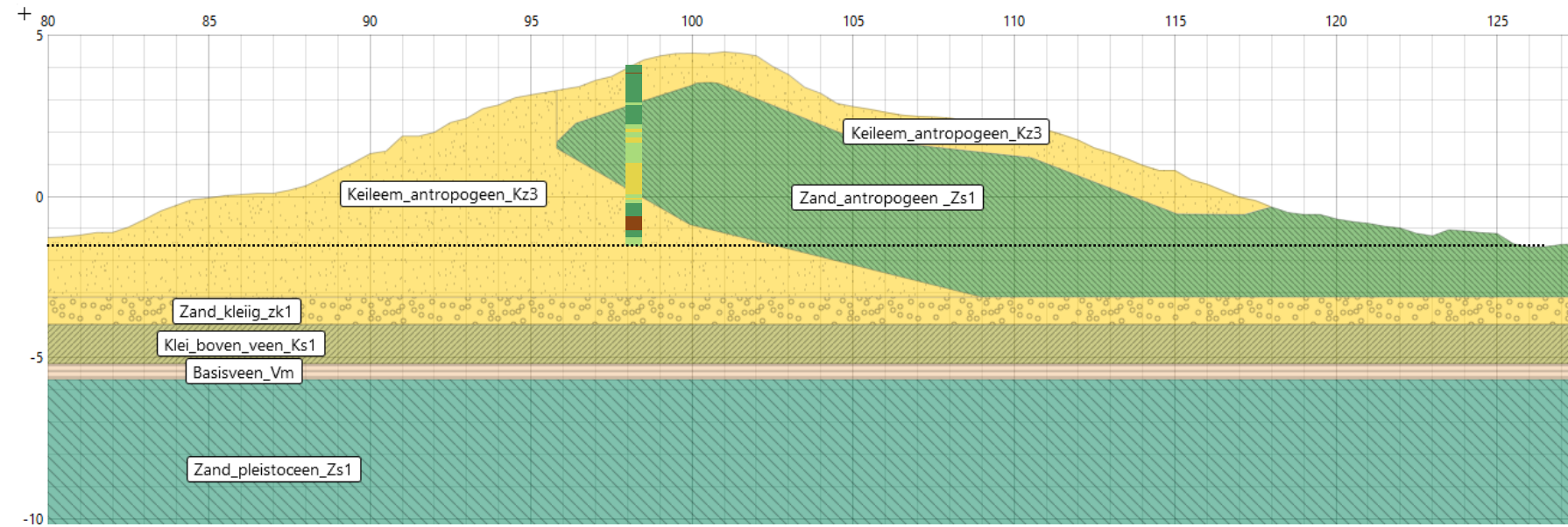
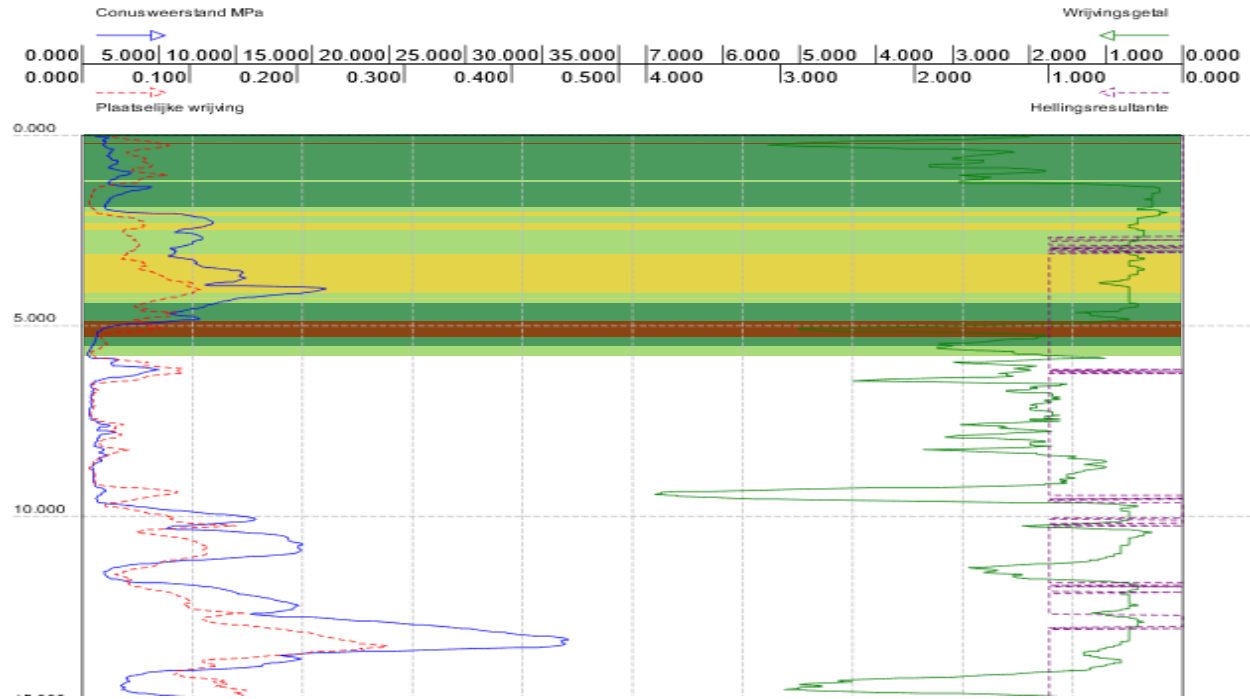
- CPT000000000018.svg
- CPT000000000019.svg
- CPT000000000020.svg
- CPT000000000021.svg
- CPT000000000022.svg
- CPT000000000023.svg
- CPT000000000024.svg
- CPT000000000025.svg
- CPT000000000026.svg
- CPT000000000029.svg
- CPT000000000030.svg
- CPT0000000000161.svg
- CPT0000000000162.svg
- CPT0000000000270.svg
- CPT0000000000321.svg
- CPT0000000000322.svg



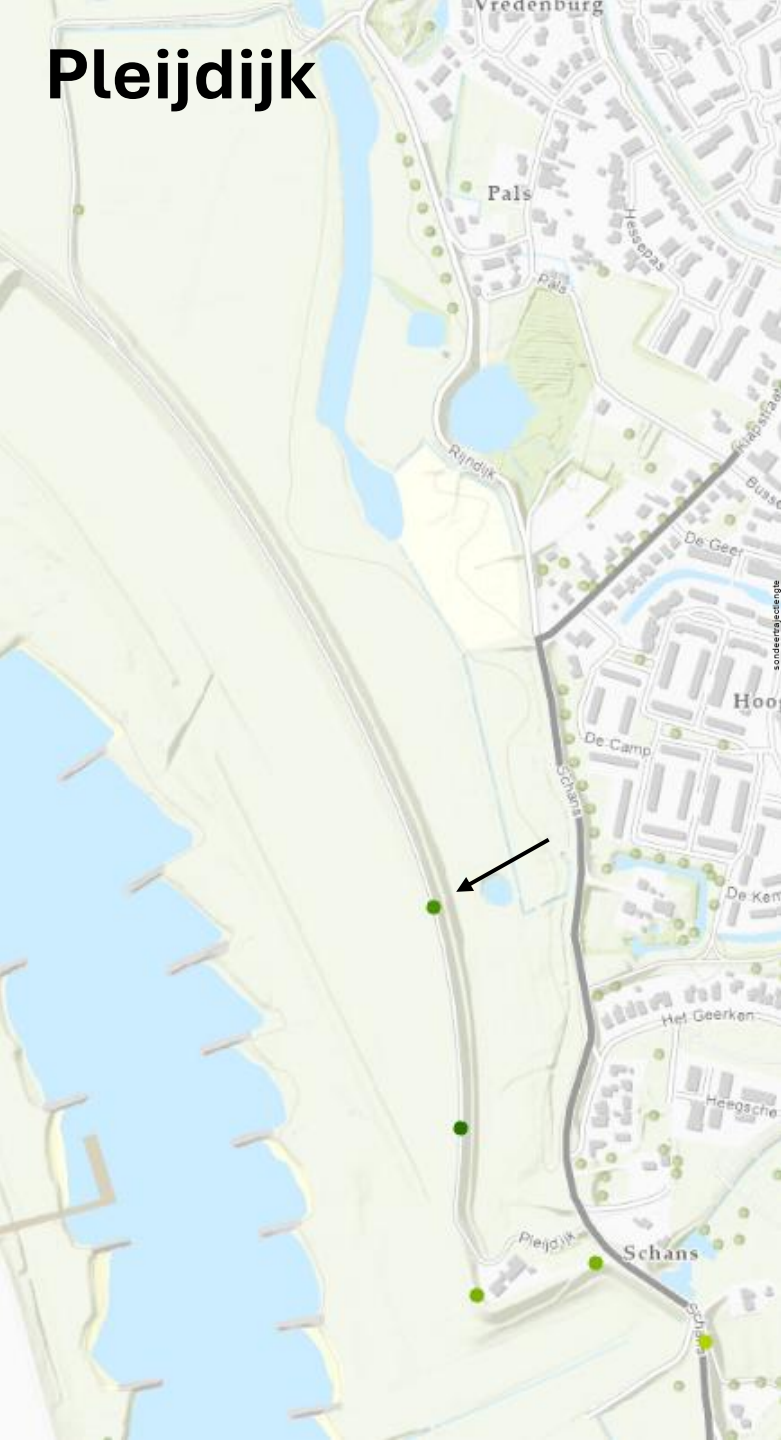
Wieringermeerdijk



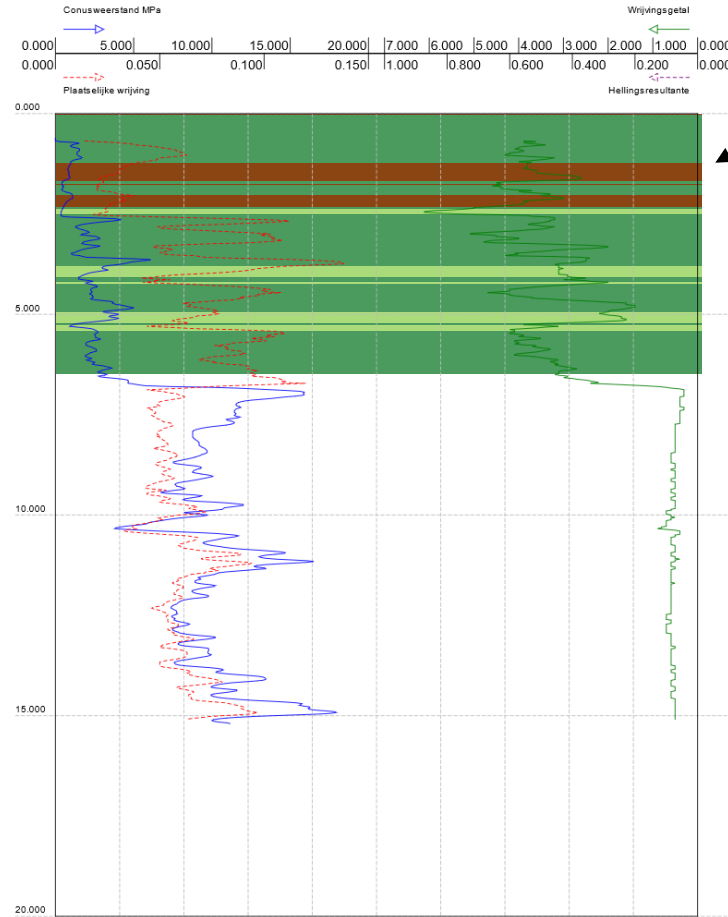
CPT000000102456



Pleijdijk

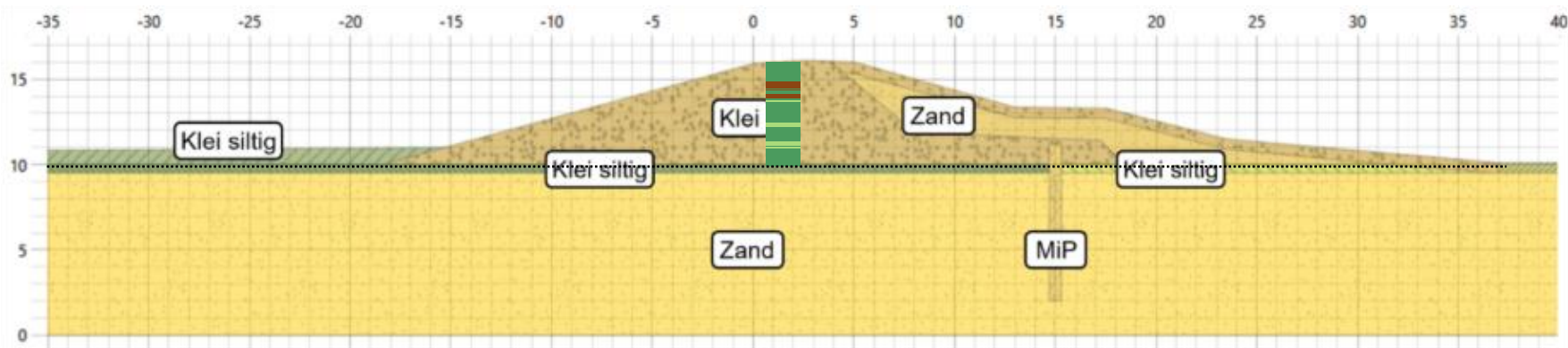
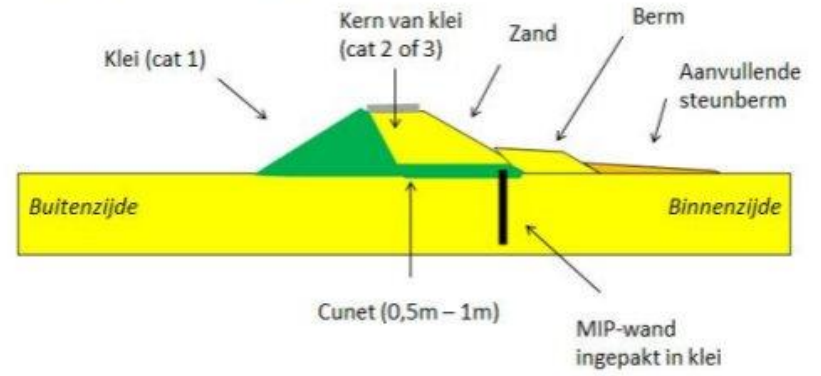


CPT00000096643

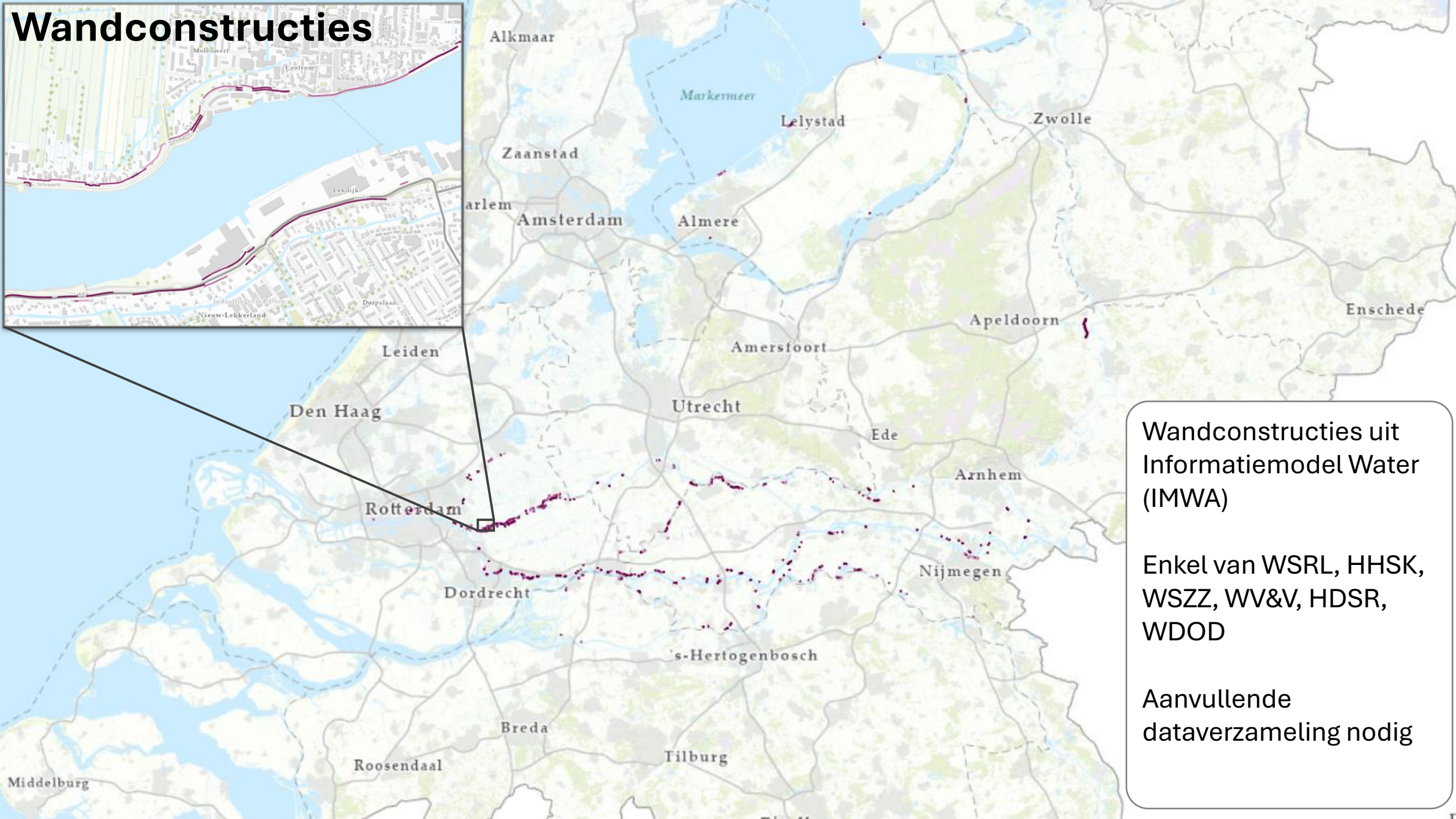
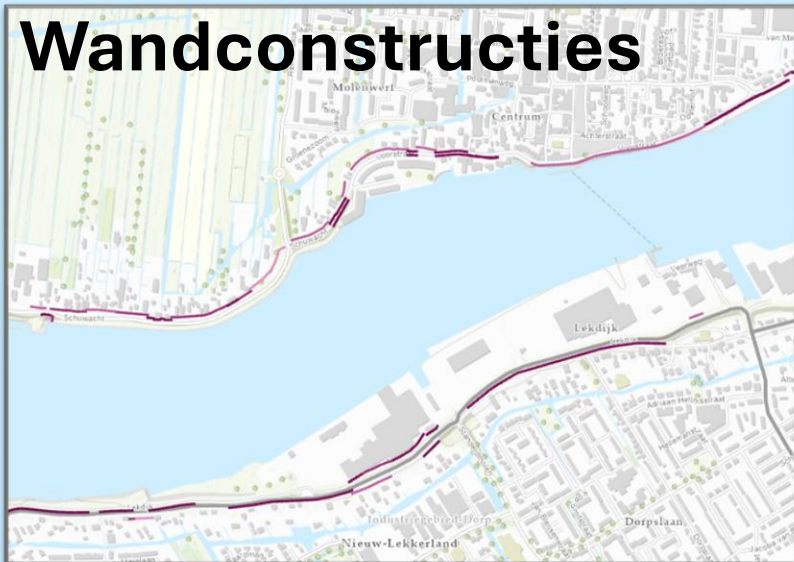


Organic clay volgens Robertson, wat wij nu interpreteren als veen.

Figuur 2.2 Doorsnede van de Pleijdijk



Wandconstructies



Wandconstructies uit
Informatiemodel Water
(IMWA)

Enkel van WSRL, HHSK,
WSZZ, WV&V, HDSR,
WDOD

Aanvullende
dataverzameling nodig

Rivierengebied



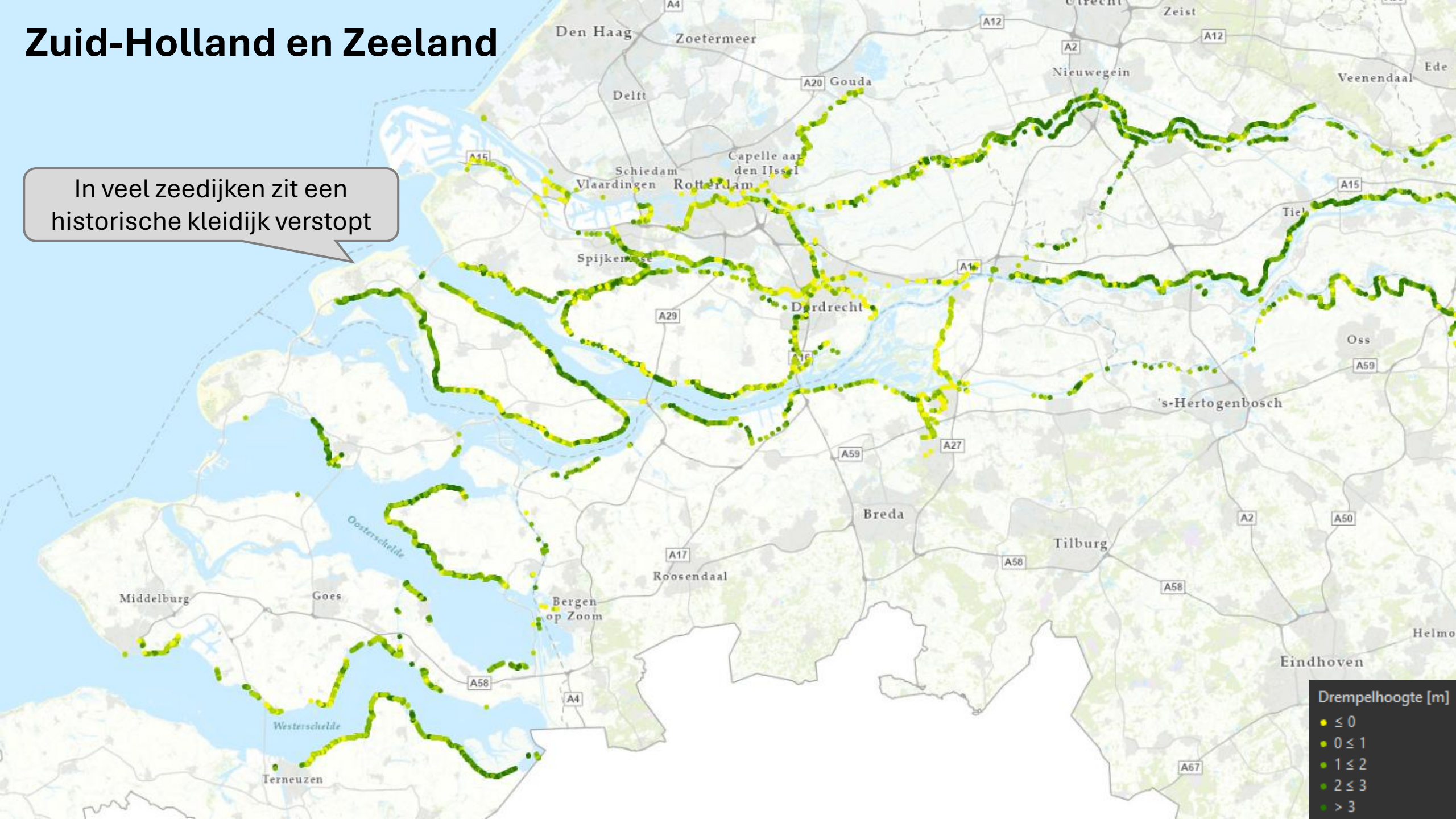
Veel erosiebestendig materiaal in het midden-rivierengebied

Zanddijken langs de IJssel

Beperkt grondonderzoek in de Zuidelijke Waaldijken

Zuid-Holland en Zeeland

In veel zeedijken zit een historische kleidijk verstoppt



Noord Nederland

Afsluitdijk heeft een erosiebestendige drempel van ca. 1m boven maaiveld

Historische kleidijken



Zuid Nederland



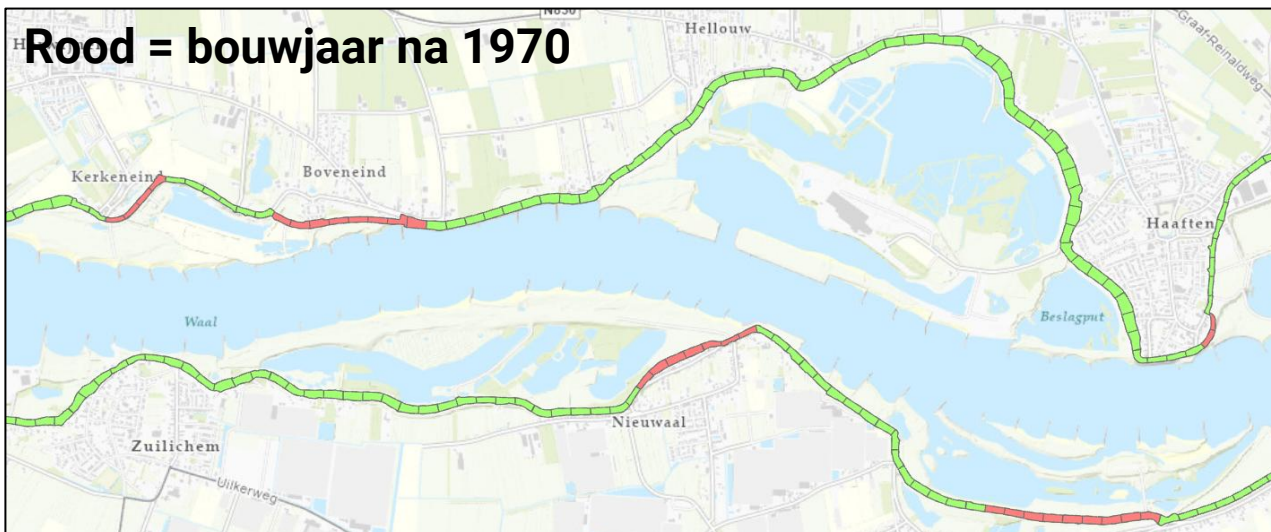


Rivierengebied en estuaria potentieel taai



BELGIË

Rood = bouwjaar na 1970



- Vervolgonderzoek:
 - Overlay datum laatste versterking > is nieuwbouw
brosser dan historische kleidijken?



Drempelhoogte [m]

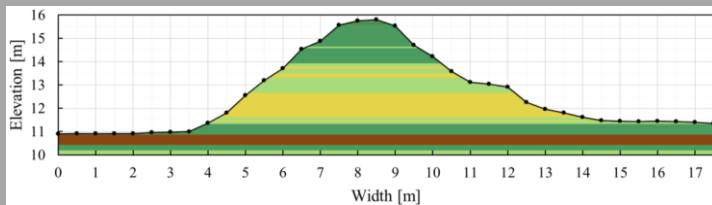
- ≤ 0
- $0 \leq 1$
- $1 \leq 2$
- $2 \leq 3$
- > 3

De Dijkatlas

Een technische dijkdataset als platform voor automated safety assessment, parametric dike design, and predictive maintenance
3 Proof-of-Concepts om het belang van sterk datamanagement en kwaliteit datacollectie aan te tonen.

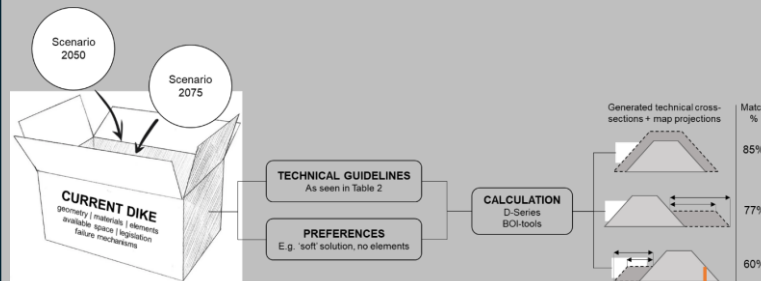
Geautomatiseerde beoordeling RAAK-Pub voorstel Dijken van Data

1. Software-integratie
2. Automatisering: GEOLIB voor Dijkatlas naar rekenmodellen.
3. Validatie: 20+ steekproeven vergelijken met WBI2017/2023-beoordelingen
4. Expert-testcases: waterkeringsbeheerders aan het roer van de Dijkatlas



Parametrisch ontwerp

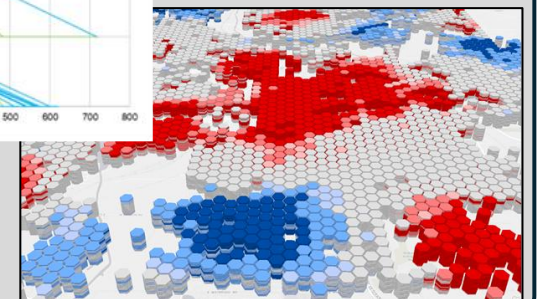
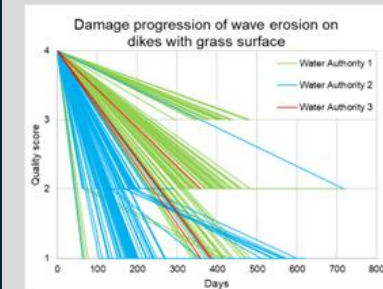
Technical guidelines	Emerging requirements and contradictions
NEN 5104 Geotechnical - Classification of unimproved soil samples (1989)	Describes how soil in the Netherlands had to be classified up to 2020. This standard is officially no longer applicable and has been replaced by NEN-EN-ISO 14688, but it is still extensively used in practice.
RAW (1995 & 2020)	In the RAW (Dutch standard for integrated contracting), the requirements from the technical report 'Klei voor Dijken' have been adopted as standard specification requirements. The RAW is revised every five years, and RAW 2020 is now available. However, the requirements for clay and sand have not changed since 1995.
Technical report 'Klei voor Dijken' (1996)	This report is a compilation of experiential knowledge and fundamental research on the behaviour of clay. Unlike previous guidelines, no requirements for silt content are specified here.
Addendum to the technical report 'Waterkerende Grondconstructies' (2007)	The silt content requirements are reintroduced because observations from practice showed that problems arise when these are not adhered to.
Addendum 1 to the 'Leidraad Rivieren' (2008)	A further specification on silt content and layer thickness requirements are further in comparison to the Addendum to the technical report 'Waterkerende Grondconstructies'.
Report 'Studie voor richtlijnen klei op de buitentaluds in het rivierengebied' (2010)	A study particularly focused on the interaction of clay and the grass revetment on the dike. Introduction of a new classification of clay erosion categories: firm clay, lean clay, and unsuitable clay, replacing categories 1, 2, and 3. This classification was later incorporated into the WBI (Water Safety Assessment).
Report 'Toepassen klei met hoger zoutgehalte in dijklichamen' (Kruuse, 2013)	A justification for the application of clay with slightly higher salt content under specific conditions, accompanied with explanations of compensatory measures.
Report 'Klei eigenschappen in verband met het project Ruimte voor de Rivier IJsseldelta' (2015)	A justification for the application of clay with slightly higher organic matter content under specific conditions, accompanied with explanations of compensatory measures.
Report 'Vier quick wins grond en klei' (Rijkswaterstaat, 2018)	A report on clay erosion categories, assessment bandwidth, permeability, and improved methods for clay compaction and its quality control.
Manual 'Handboek Dijkenbouw' (2018)	A compilation of requirements from the publications mentioned above. Explicit attention is given to the applicability of other soil types besides sand and clay. It includes a qualitative indication of consequences when threshold values are exceeded.



Voorspellend beheer

Dijkschade en verouderingsprocessen voorspellen

- Hotspot analyse in ruimte.
- Emerging hotspot analyse in ruimte en tijd.
- Random Forest voorspell. met geografisch gewogen regressie



Lessen trekken uit verschillende datamanagementpraktijken tussen waterkeringbeheerders.

HAN_UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

BEDANKT!

CONTACT:

maarten.podt@han.nl

m.podt@tudelft.nl



Foto door Chris Biesheuvel



Leveren taaie dijken veiligheidswinst?

Eind-symposium, SIA-RAAK project

'Vergezicht' uit lekenpraatje promotie 2025



- Taaie dijken: die kunnen meer mensenlevens redden!
- Tactisch plan: slimme planning verkleint het systeemrisico het snelst
- Veiligheidsnorm: afstemmen op het dijkontwerp verlaagt de maatschappelijke kosten
- Organisatie: een risico bewust ontwerp wordt gewaardeerd!

Leveren taaie dijken veiligheidswinst?

- Van faalpaden naar risicopaden
- Meetbaar maken van het effect van taai gedrag - taaiheidsindex
- LIWO – light
- Resultaten voor 5 cases
- klimaatrobustheid

Risicopaden

Initiëel falen

Reststerkte

Bezwijken

Bresgroei en gevolgen

faalmech-
anismen

faalpad

risicopad

wordt bepaald door zowel
sterkte als taai gedrag

Effect van sterkte
(overstromen voorkomen)

Effect van taai gedrag
(de gevolgen van overstromen beïnvloeden,
ook door uitstel of afstel van bezwijken)

De ontwikkeling van kennis en concepten voor onze veiligheid

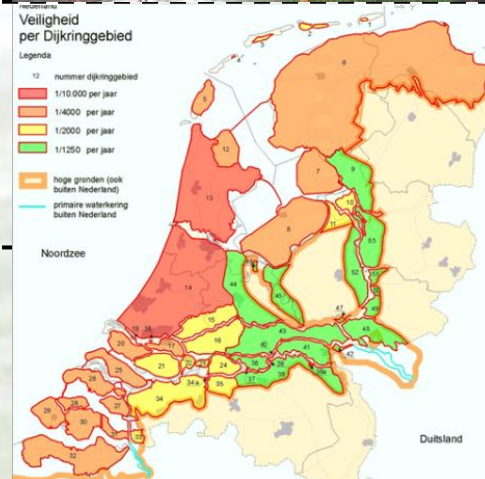
Voor 1953



Ervaring

Nadruk op de **hoogst bekende waterstand**

1953-1996



Modelleren

Faalmechanismen (begin van schade + 'zeker veilig')

Relatief veel **nadruk op golfoploop/overslag**

1996-2017

Klimaatverandering

Verkennen meerlaagsveiligheid

Beoordelen (alle faalmechanismen), VNK

LIWO - relatief veel **nadruk op gevolgen brosse dijken**

Na 2017



Beoordelen op overstromingskans

Faalpaden (In de praktijk: nog steeds 'zeker veilig')

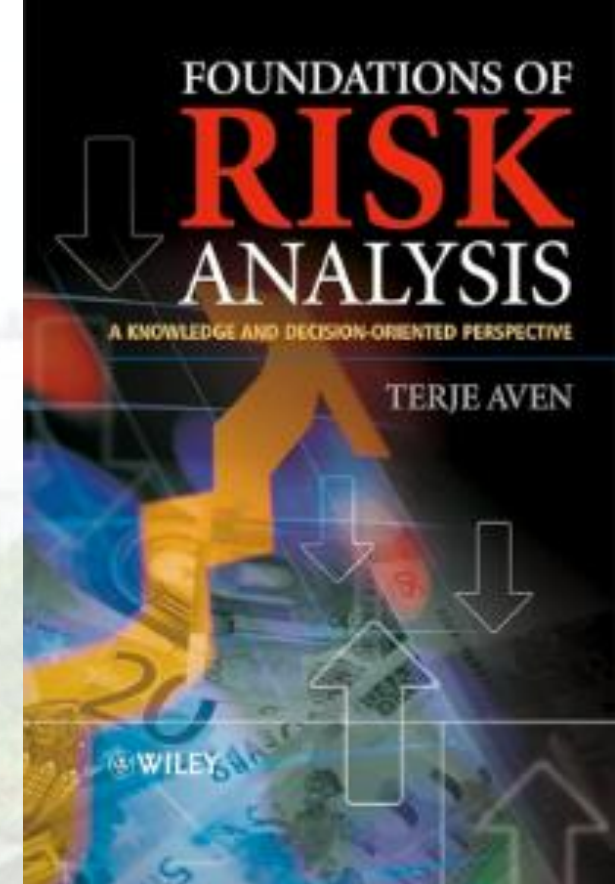
Innovaties

Risicopaden – de dijk beschermt ook nog na doorbraak door gevolgbeperking

Terje Aven (2010) over normen

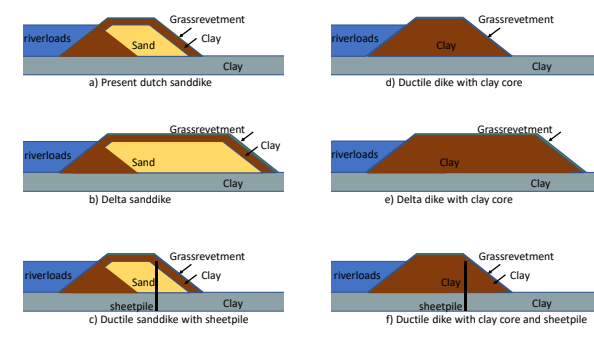
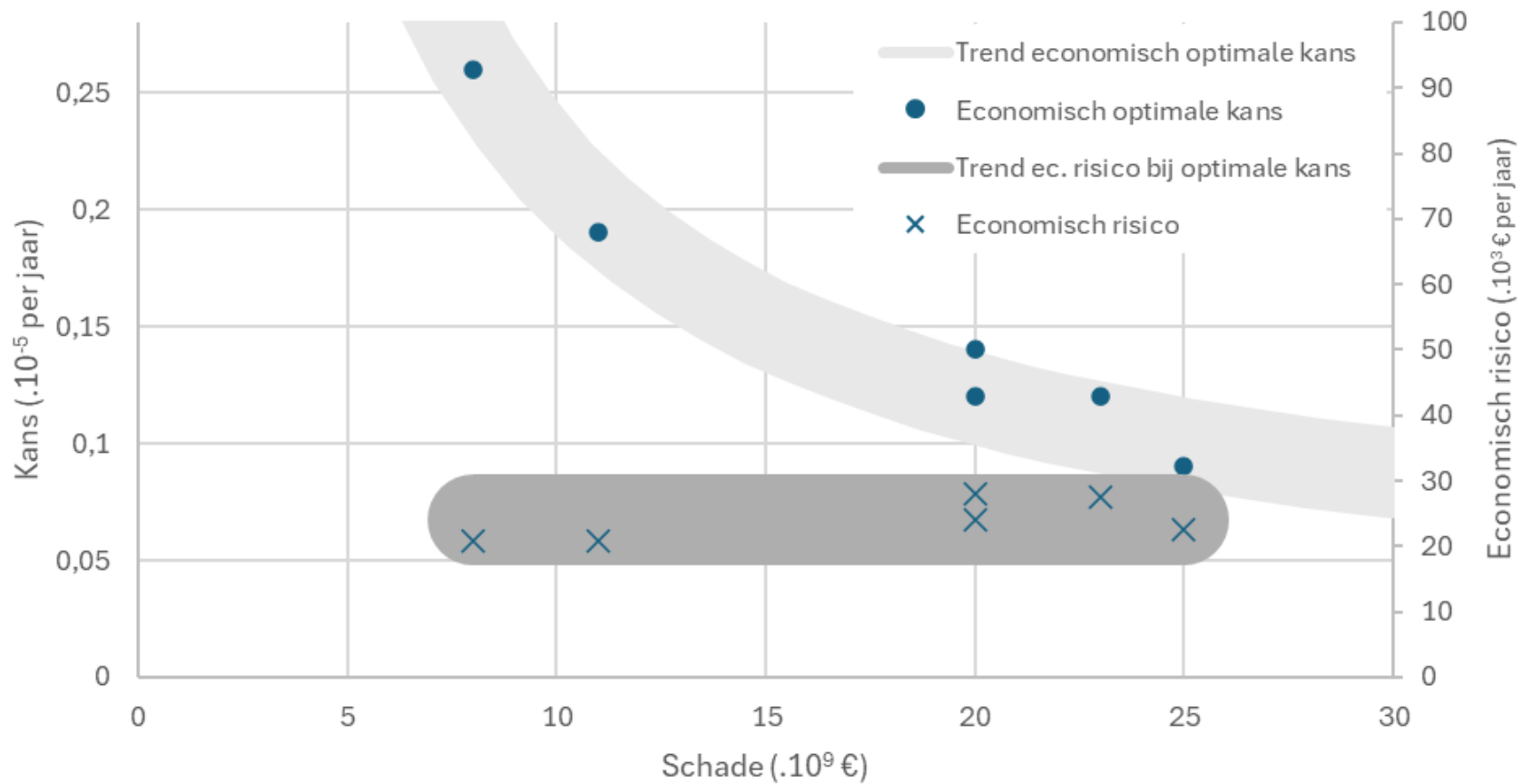
The introduction of pre-determined criteria may give the wrong focus – meeting these criteria rather than obtaining overall good solutions and measures.

Het invoeren van vooraf vastgestelde criteria kan leiden tot de **verkeerde focus**, waardoor er vooral aan deze criteria moet worden voldaan maar minder goede oplossingen worden bereikt.



Case Grebbedijk

Grebbedijk - casus uit (den Heijer et al., 2025)



Van Dantzig
(1^e Deltacommissie)

$$P_{f, \text{optimaal}} \sim \frac{1}{\text{schade}}$$

De Taaiheidsindex als indicatie van de veiligheidswinst

$$Taaideksindex = \frac{\text{Risico brosse constructie}}{\text{Risico constructie } x_{norm}}$$

brosse dijk:

Taaideks-index = 1

zeer taaie dijk:

Taaideks-index >> 1

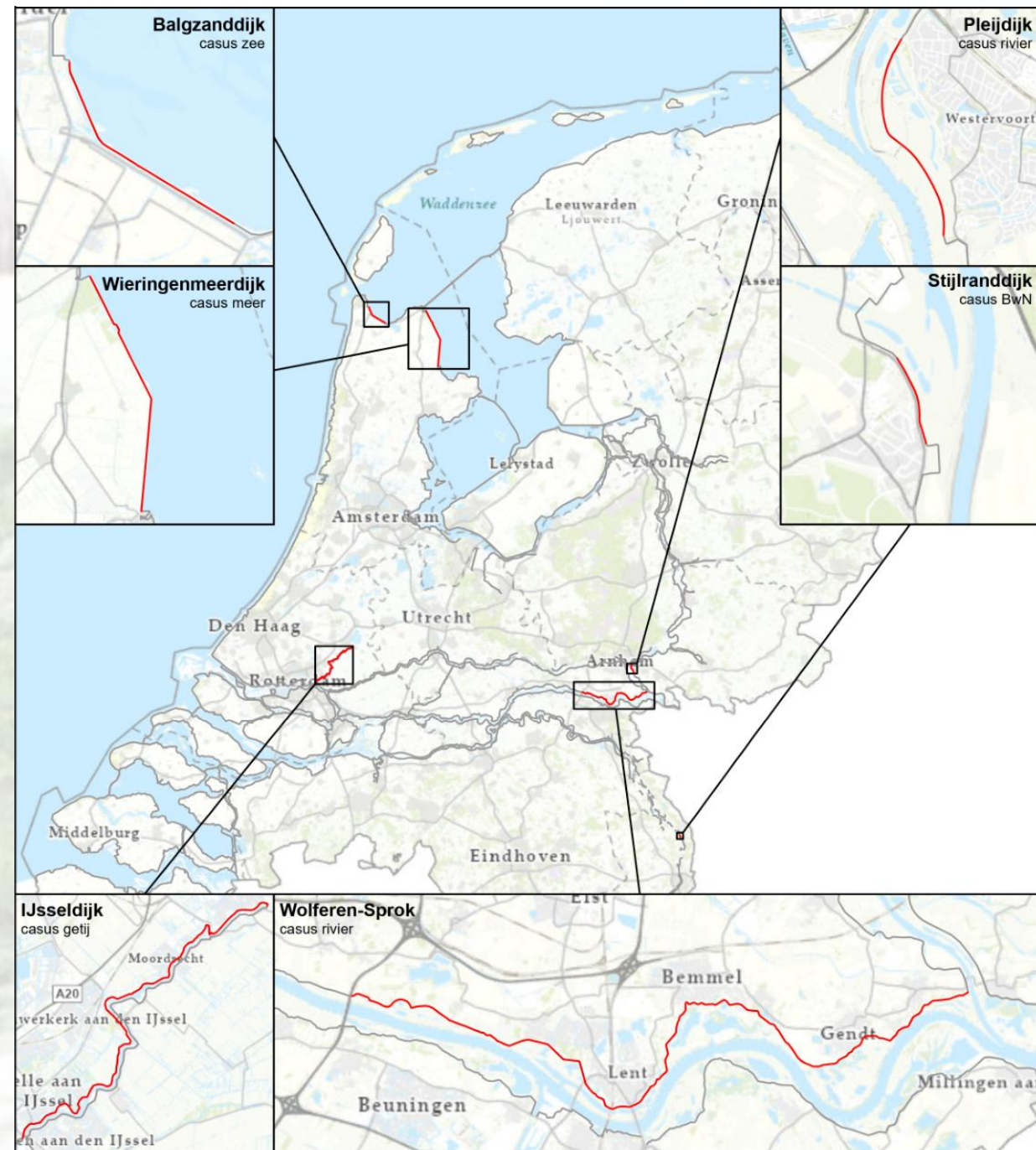
Cases Taaie Dijken

Pleijdijk
Wolferen Sprok
Balgzanddijk
Wieringermeer
Hollandse IJsseldijk

Rivierengebied
Rivierengebied
Waddenzeekust
Meerdijk
Delta achter SVK

Doel:

Indicatie veiligheidswinst



Rekenmethode risicopaden in het kort: overstroming en schade

Overstromingspatroon gebaseerd op TDK:

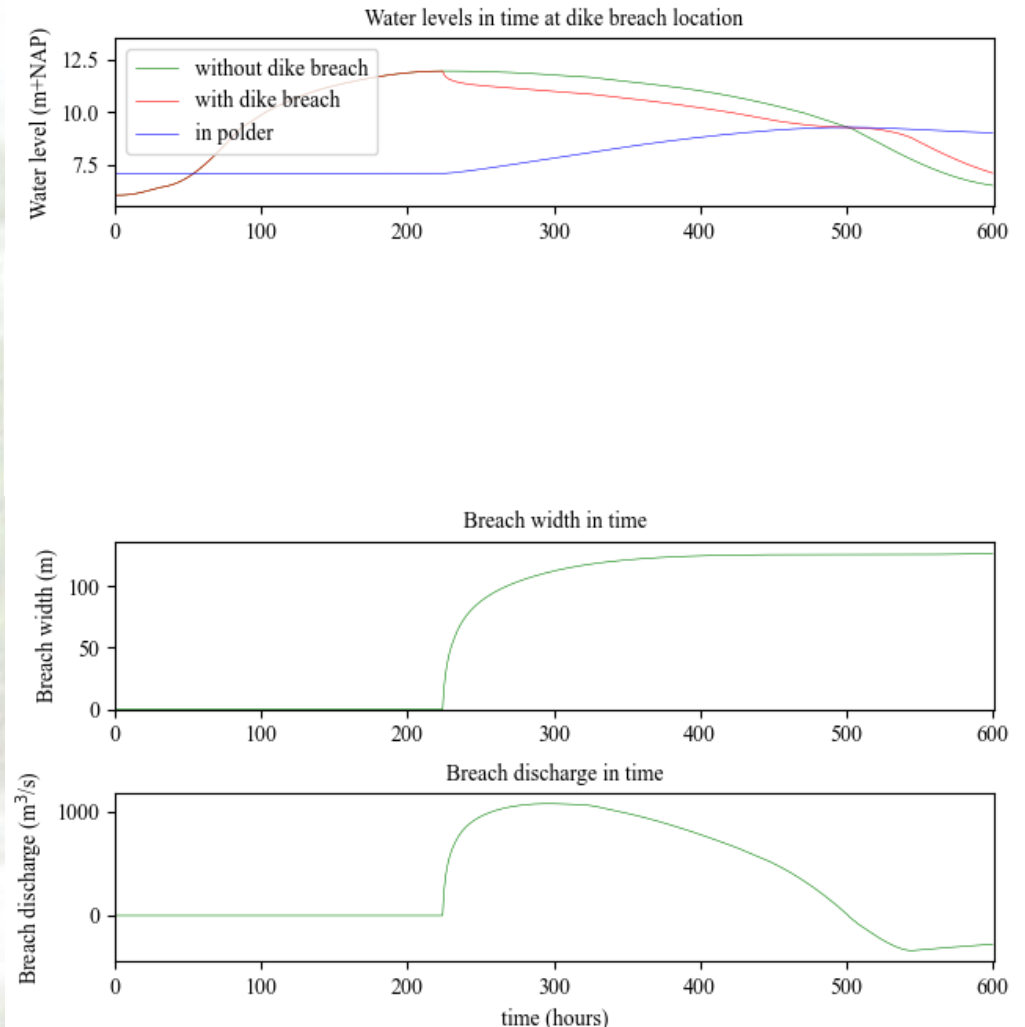
Waterstand: rivier : 'standaard' afvoergolf
(tijdsafh.) zee en meer: stormopzet verloop
zee : getij (Geen fase verschil met storm)

Rvw: HYDRA-NL

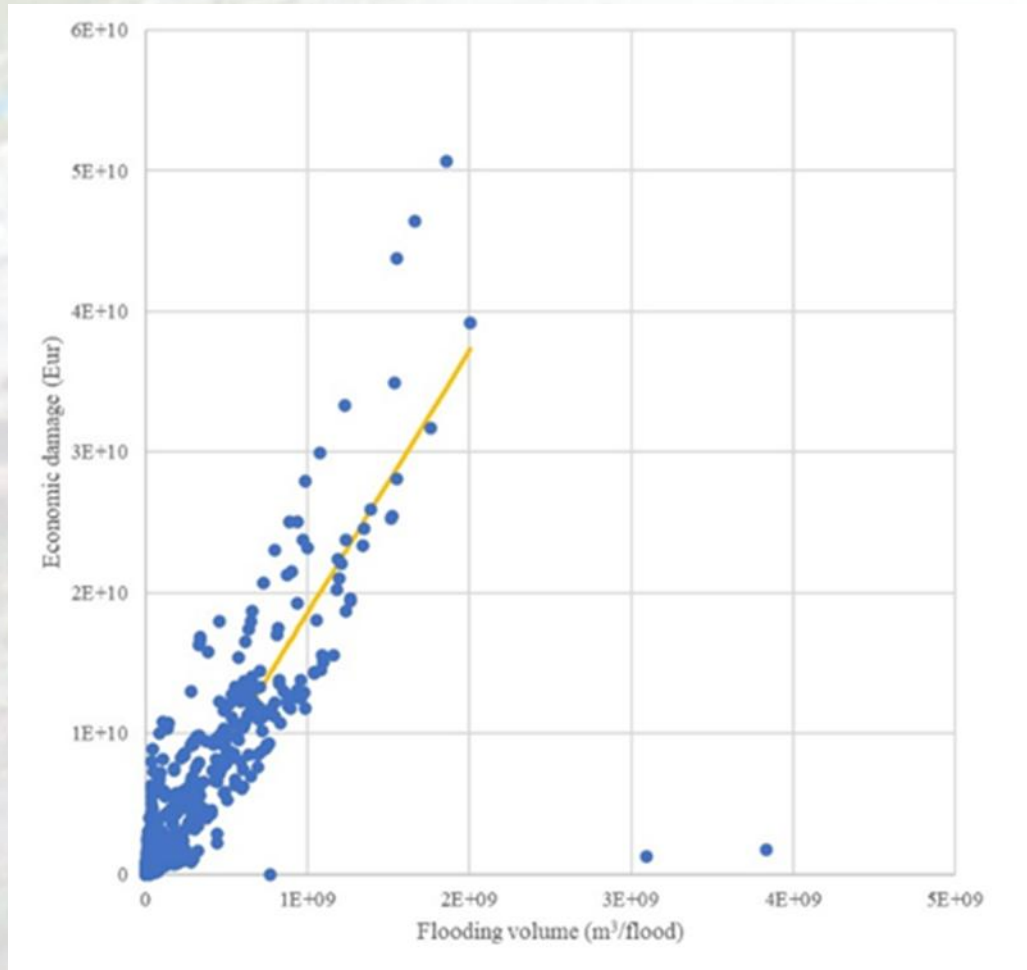
Falen fragilitycurves en overgangskans
(per faalpad / risicopad)

Bresgroei: Verheij & vd Knaap

Gevolgen: LIWO-light: het TDK-(kombergings-) model gebaseerd op de LIWO data



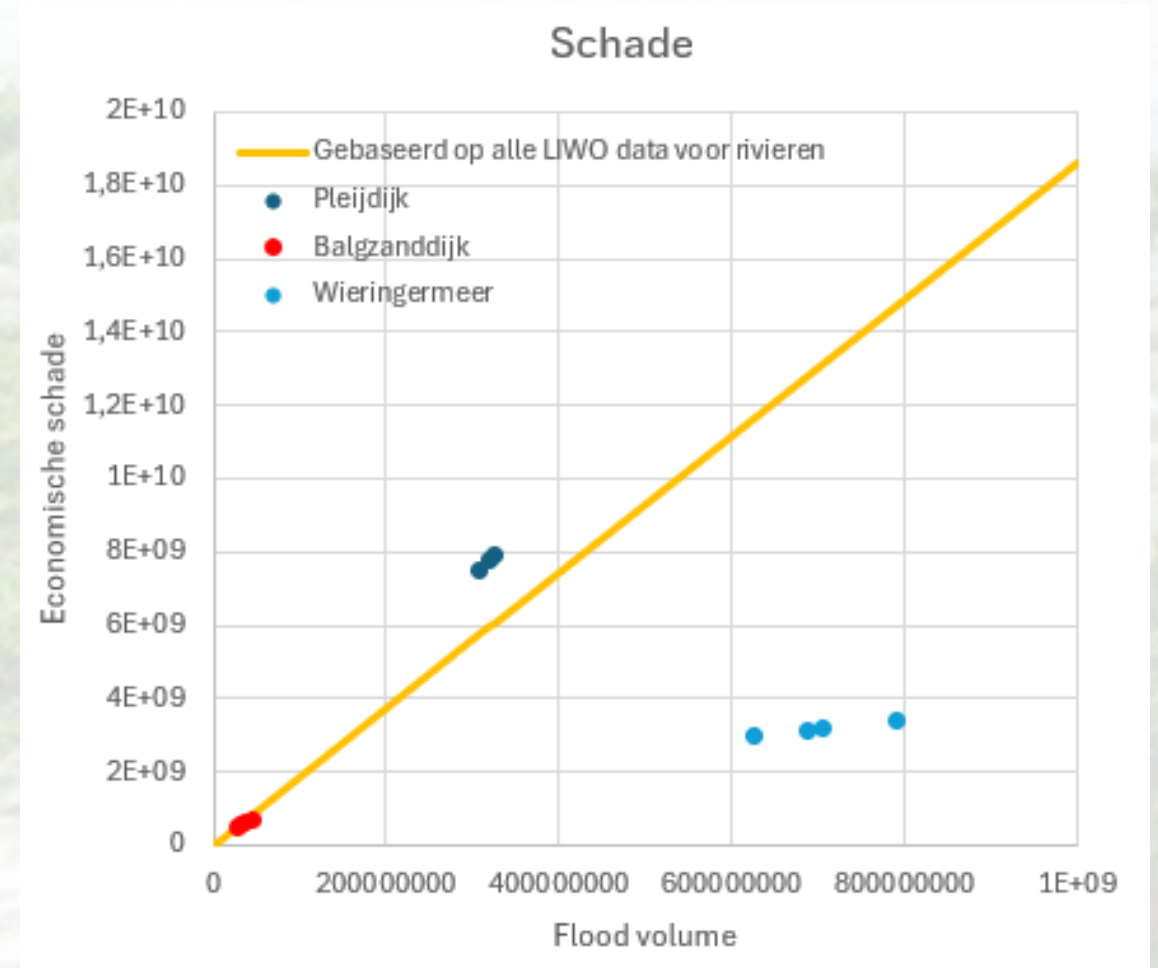
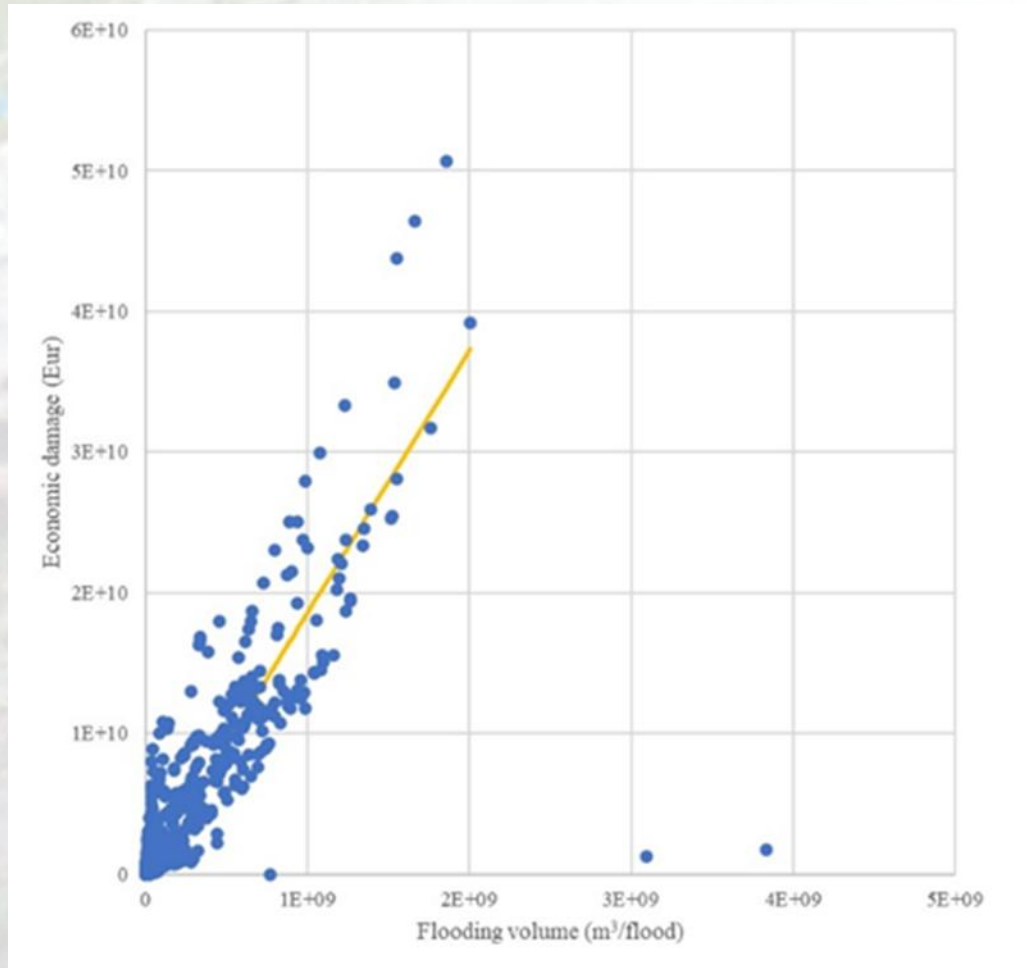
Economische schade door overstromen



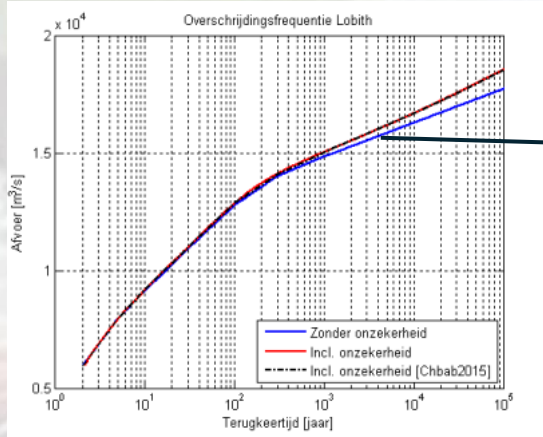
Schade = $a \cdot V$ (V =Flood Volume in m^3)
($a=18.6$; gem. voor rivieren)

Slachtoffers = $b \cdot V$ (V =Flood Volume in m^3)
($b=1.2 \cdot 10^{-5}$; gem. voor rivieren)

Economische schade door overstromen

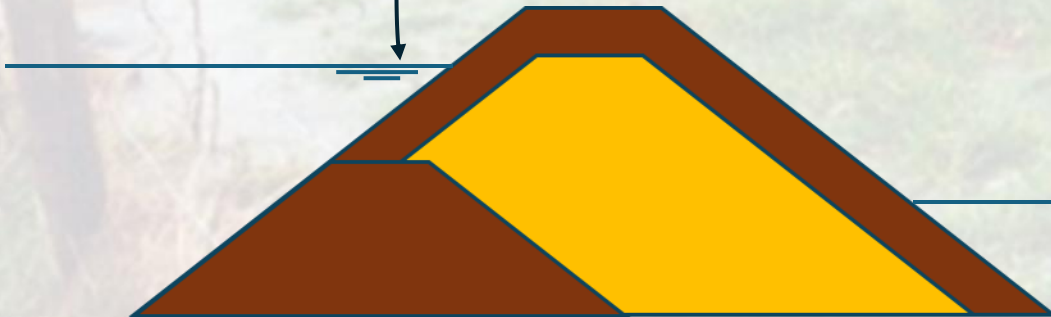
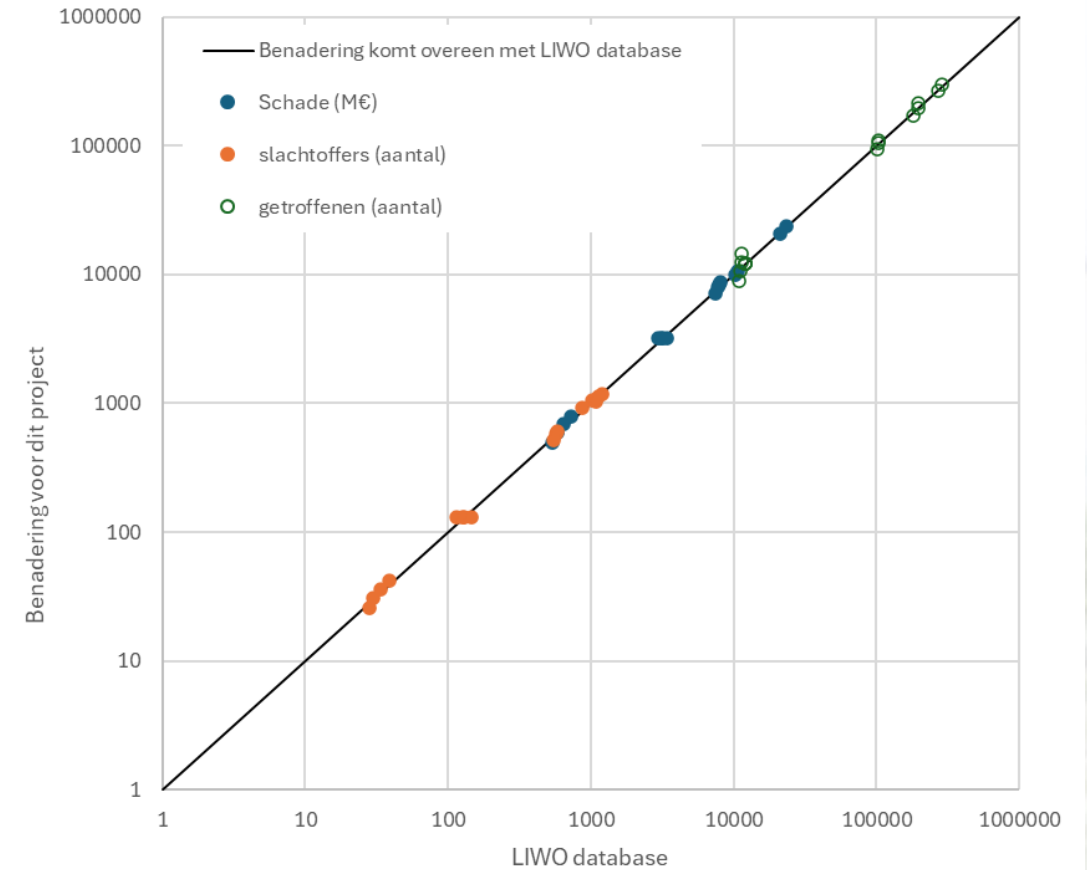
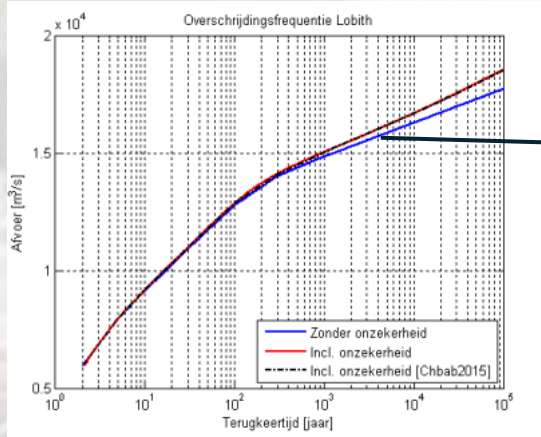


LIWO - light



Afregelen oppervlakte A op LIWO-data
Diepte: polderniveau binnenteen
Overstromingskarakteristiek: m³/flood

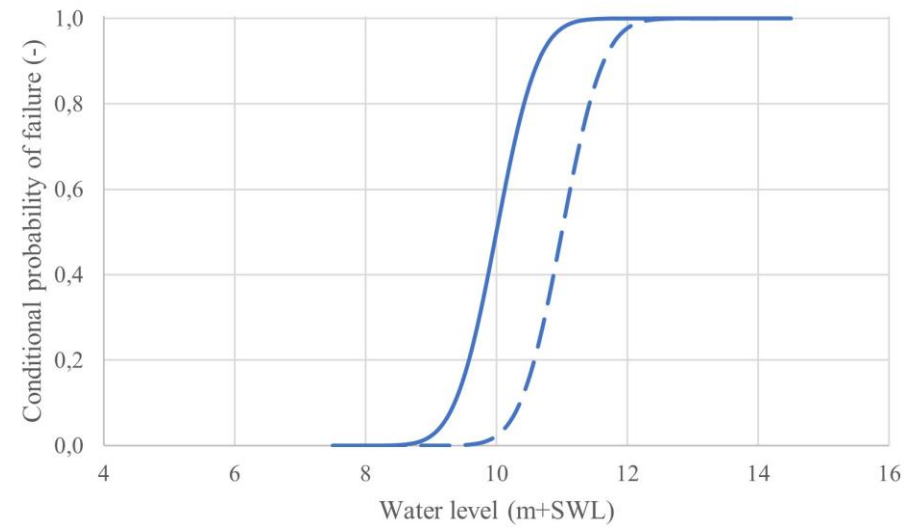
LIWO – light: LIWO gecalibreerd en toepassing op ‘alle’ mogelijke doelen



Afregelen oppervlakte A op LIWO-data
Diepte: polderniveau binnenteen
Overstromingskarakteristiek: $m^3/flood$

Rekenmethode risicopaden in het kort: Faalkans

- Kansen op belastingen uit HYDRA-NL
- Fragility curves voor 5 faalpaden
- Ligging fragility curve per faalpad afgeregeld op de norm
(op het deel van de norm dat daarvoor in de faalkansbegroting is gereserveerd)
NB. Voor het berekenen van de taaiheidsindex zijn in dit project dan geen geotechnische ber. nodig
- Kansrijkheid noodmaatregelen: aanpak overeenkomstig met DOT (Deskundigen oordeel Toets op Maat)



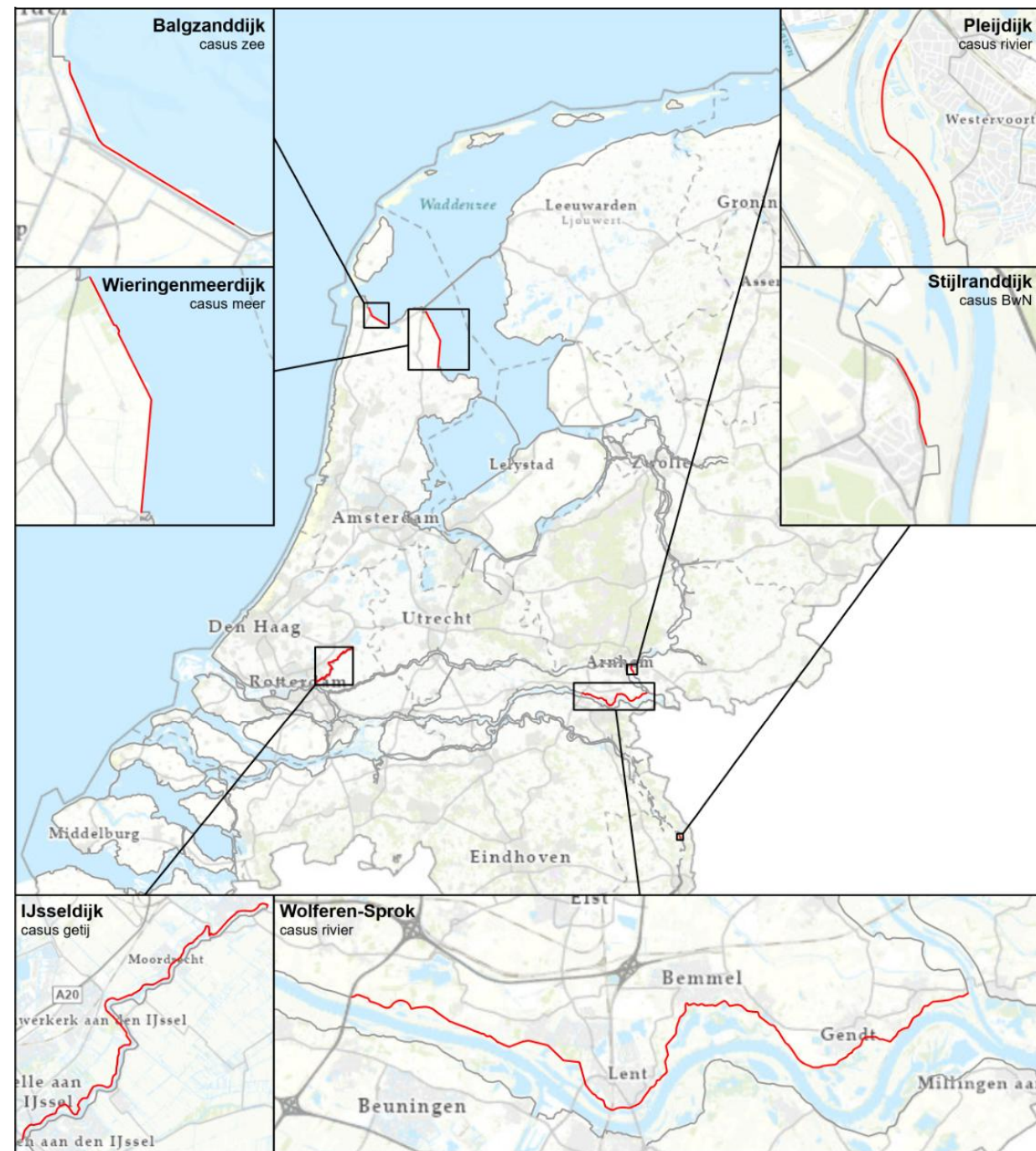
Cases Taaie Dijken

Pleijdijk
Wolferen Sprok
Balgzanddijk
Wieringermeerdijk
Hollandse IJsseldijk

Rivierengebied
Rivierengebied
Waddenzeekust
Meerdijk
Delta achter SVK

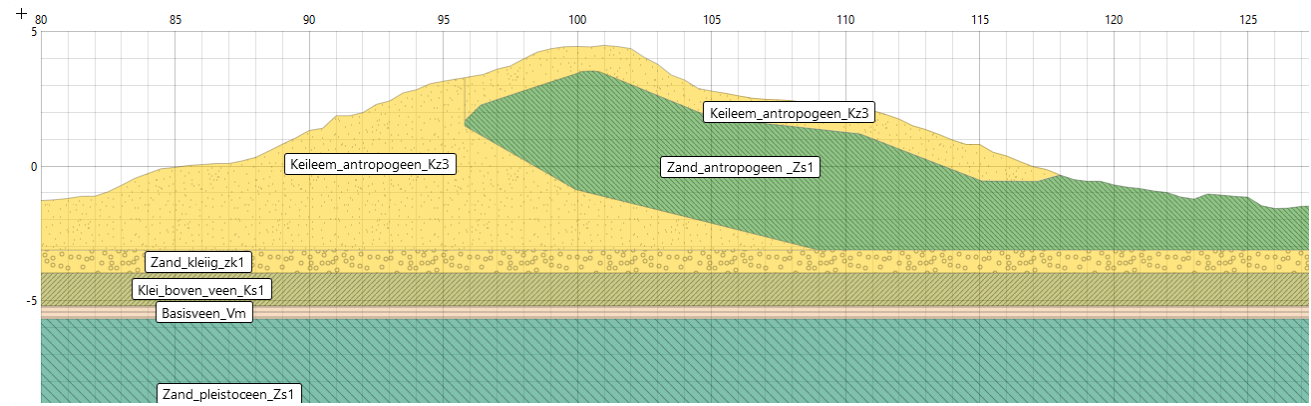
Doel:

Taaiheids index voor bestaande & taaie ontwerpen

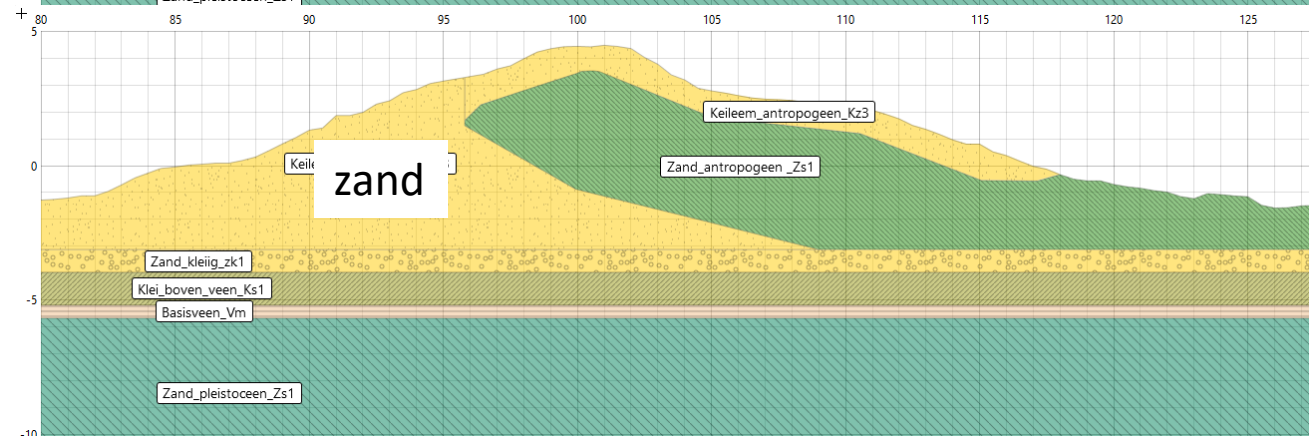


Uitgangspunten – ontwerp

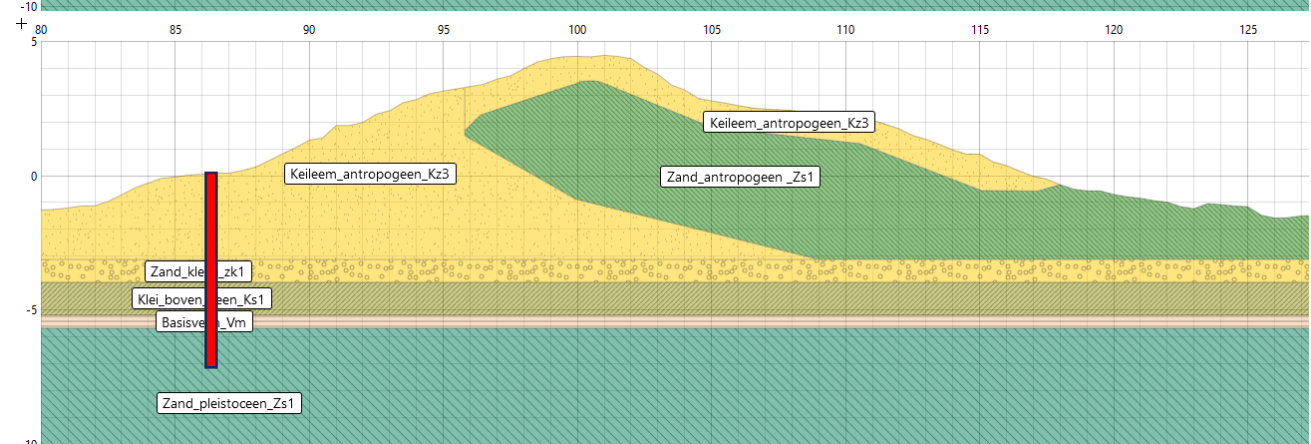
Bestaand



Bros



Taai



Nood-
maat-
regelen
niet
effectief

Taaibeids index in de cases

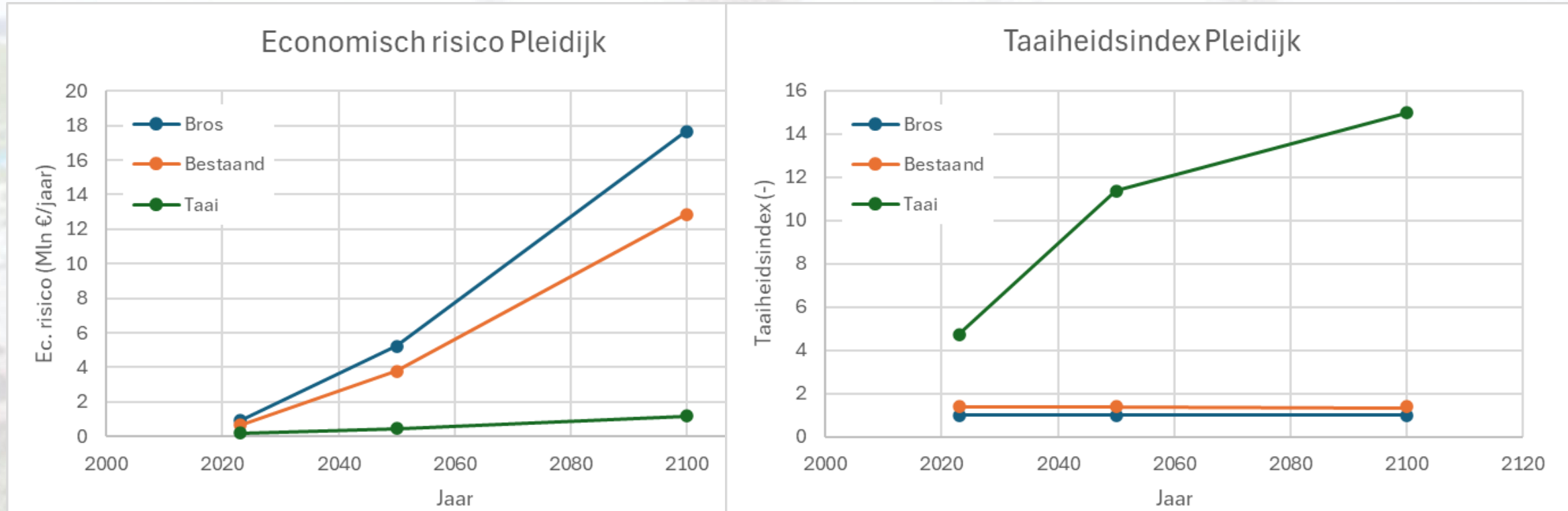
$$\text{Taaibeids-index} = \frac{\text{Risico brosse constructie}}{\text{Risico constructie x norm}}$$



brosse dijk: Taaibeids-index = 1
zeer taaie dijk: Taaibeids-index >> 1

Case	Taaibeidsindex (bestaande dijk)	Taaibeidsindex (taaie constructie)
Pleijdijk	1,4	4,7
Balgzanddijk	1,7	2,9
Wolferen Sprok	1,2	5,7
Wieringermeerdijk	1,1	2231
Hollandse IJsseldijk	1,4	11

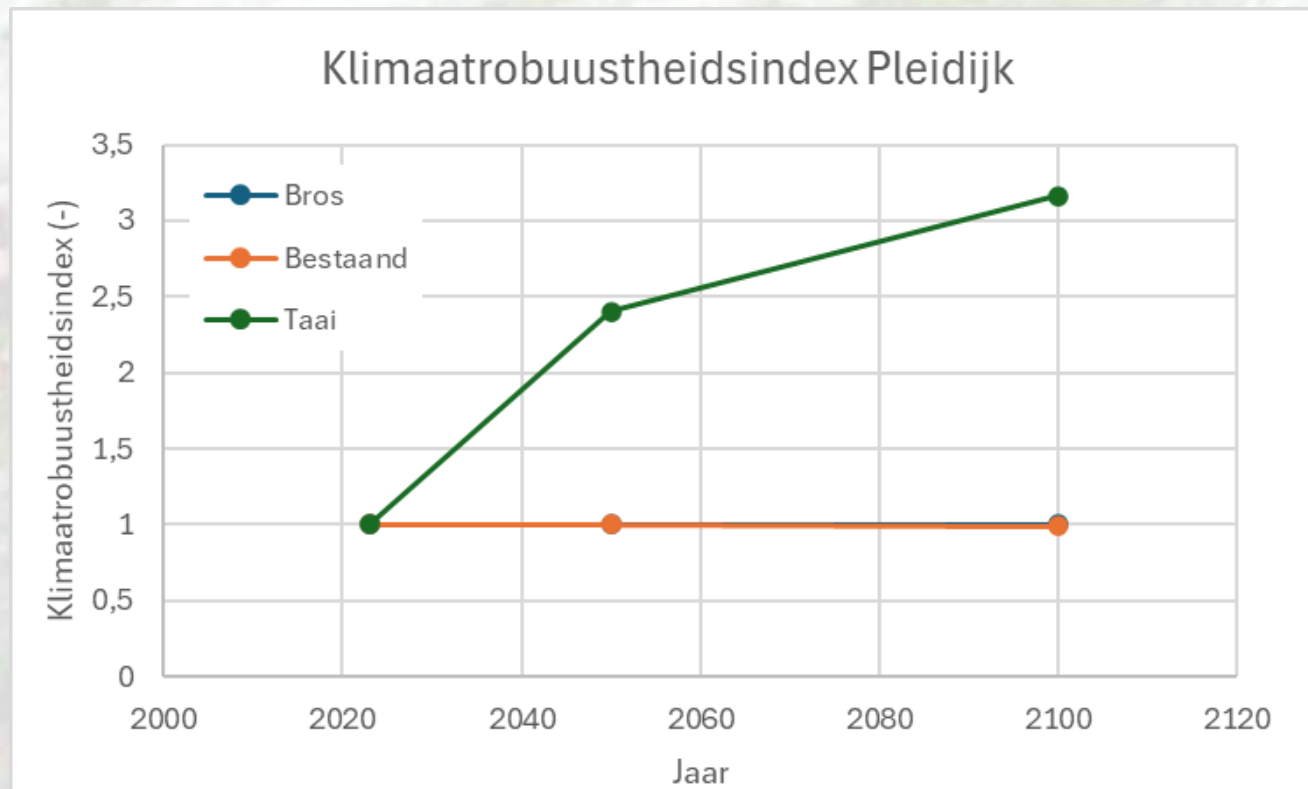
Taaie dijken zijn ook klimaatrobuuster



Uitgangspunt: In 2023 voldoen de dijken precies aan de norm

Klimaatrobuustheidsindex

$$\text{Klimaatrobuustheidsindex} = \frac{\text{Taaiheidsindex jaar } x}{\text{Taaiheidsindex heden}}$$



Veiligheidswinst in de cases

$$\text{Taaibeids-index} = \frac{\text{Risico brosse constructie}}{\text{Risico constructie x norm}}$$

→

brosse dijk: Taaibeids-index = 1
 zeer taaie dijk: Taaibeids-index >> 1

Case	Taaibeidsindex (bestaande dijk)	Taaibeidsindex (taaie constructie)	Klimaatrobustheids index 2050 (taaie constr)
Pleijdijk	1,4	4,7	2,4
Balgzanddijk	1,7	2,9	1,7
Wolferen Sprok	1,2	5,7	2,2
Wieringermeerdijk	1,1	2231	1,6
Hollandse IJsseldijk	1,4	11	2

Wat is er nodig om taaie dijken te maken?

Hans uit het Broek

Eind-symposium, SIA-RAAK project

HERHALING: WAT IS EEN TAAIE DIJK?

Eigenschappen taaie dijk

Beperkte gevolgen van overstromingen door:

- Langzaam faalproces tot aan bres
- Langzame en/of beperkte groei van de bres in breedte en diepte

Het vertraagde proces geeft:

- extra tijd voor noodmaatregelen, verder beperken kans op overstroming

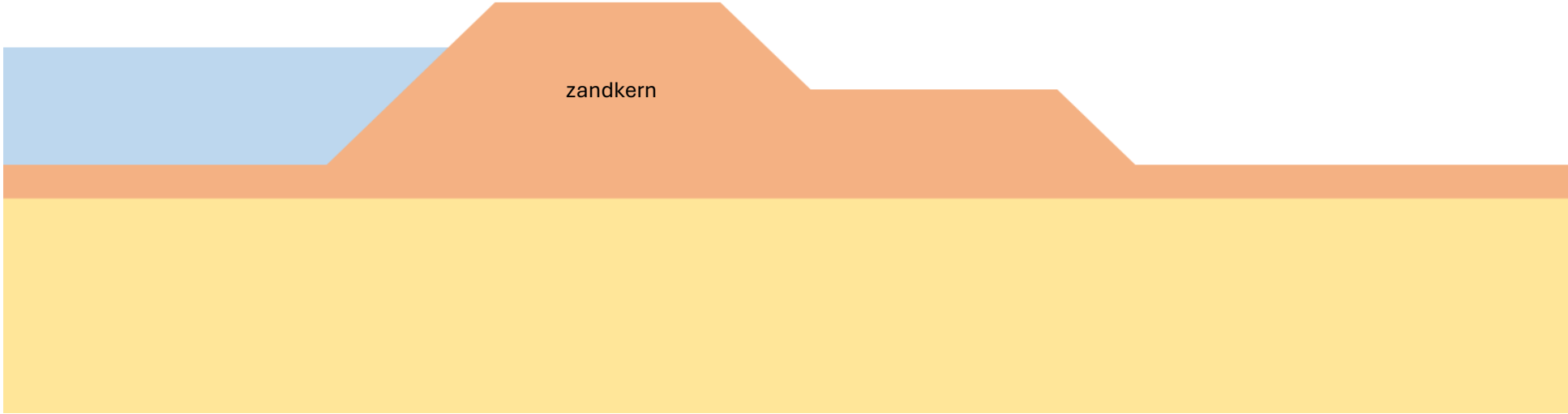
En als de dijk uiteindelijk toch doorbreekt:

- heeft de vertraging de instroom beperkt, en daarmee de schade
- Is er meer evacuatie-tijd geweest, en dat beperkt het aantal slachtoffers

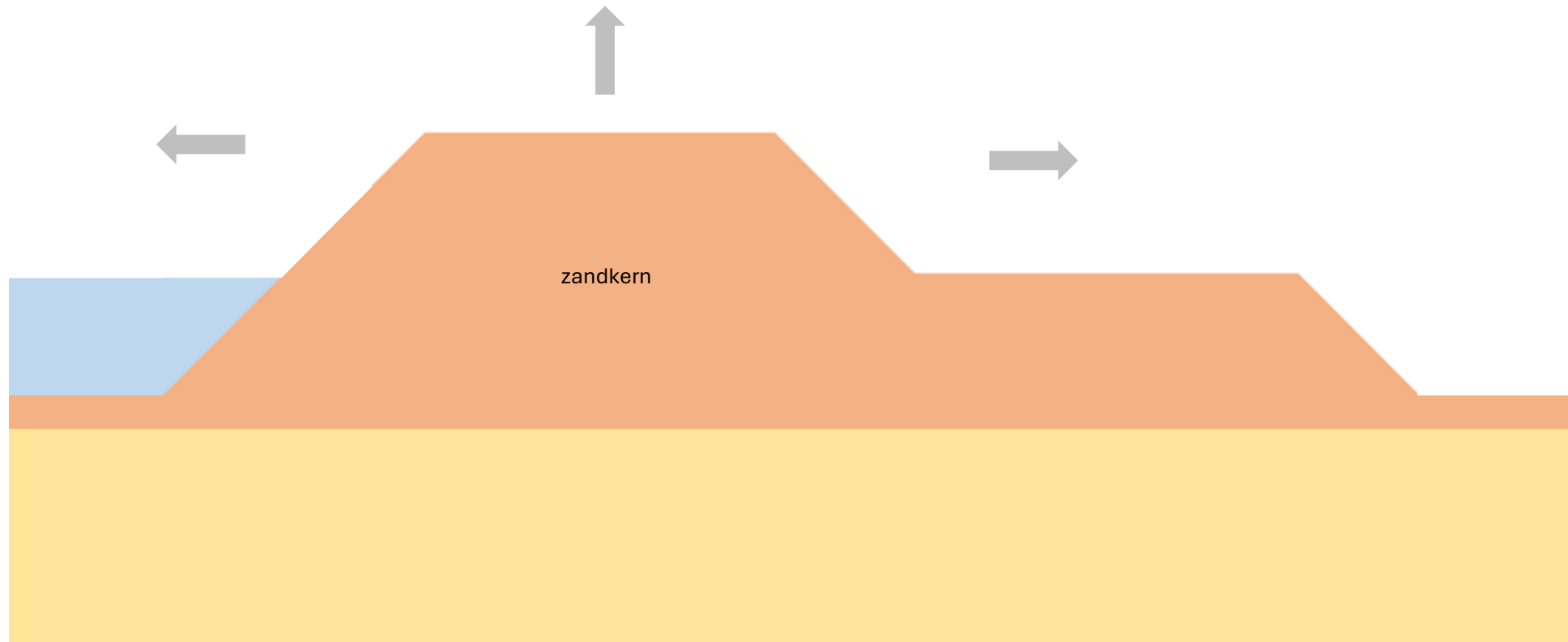
HOE ZOULDEN TAAIE DIJKEN ERUIT KUNNEN ZIEN ?



TRADITIONELE DIJK



TRADITIONELE DIJKVERSTERKING



HOE VERSTERKEN (=VERTAAIEN)?

**WE HEBBEN ALS TEAM VEEL VARIANTEN BEDACHT EN
GEBUNDELD IN VIER HOOFDVARIANTEN/DIJKCONCEPTEN
EN DIE NADER BEKEKEN**

TAAIE DIJKEN

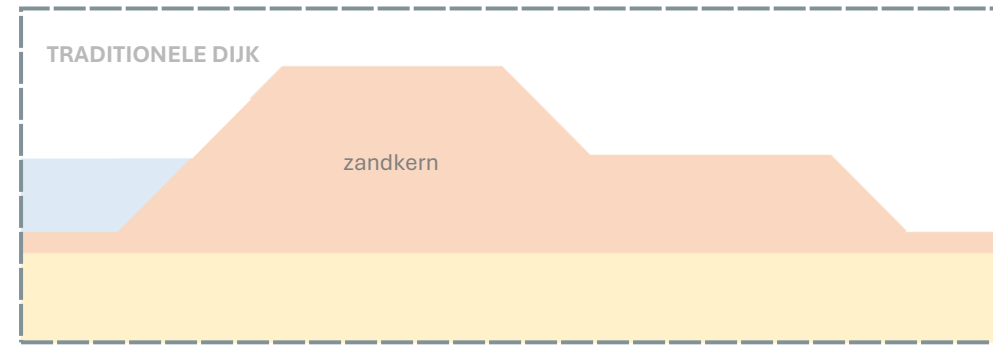
> *VARIANTEN BUITENTALUD*

Verflauwen buitentalud

Reductie golfoverslag



Drempel buitendijks d.m.v. bebossing of gronden



Focus versterking: Belastingreductie
Effectiviteit op taatheid is vraagteken

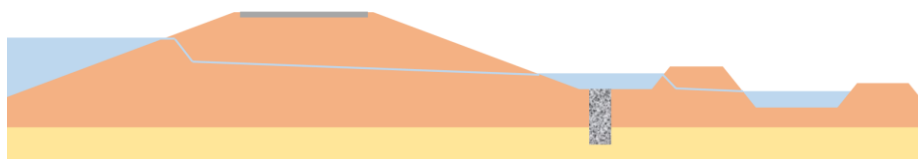
Bij uitvoering:

- lastiger bij zeedijken en schaaldijken
- Geeft conflicten met regelgeving

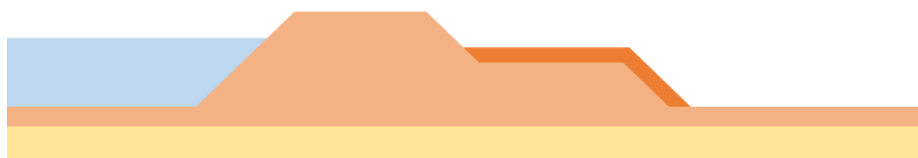
TAAIE DIJKEN

> *VARIANTEN BINNENTALUD*

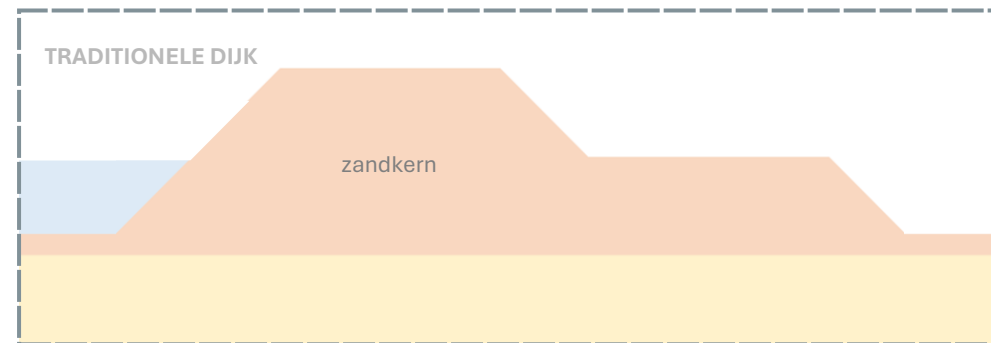
Freatische lijn getrapt maken



Binnen verhogen met klei



Berm aanleggen



Focus versterking: beperken ruimtegebruik
Effectiviteit: hangt af van drempelwerking

Bij uitvoering:

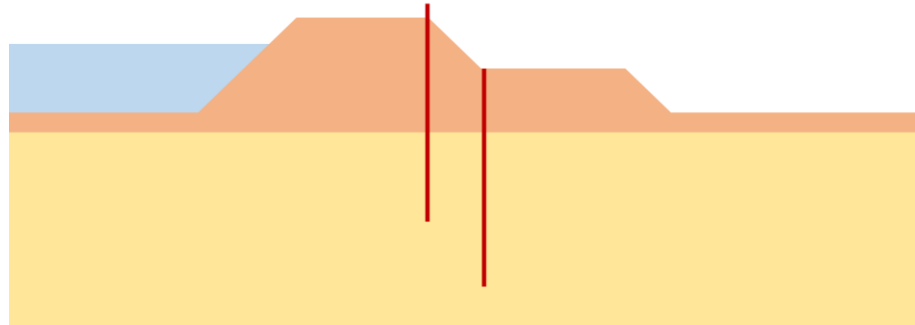
- Ook de beperkt benodigde ruimte kan ontbreken

TAAIE DIJKEN

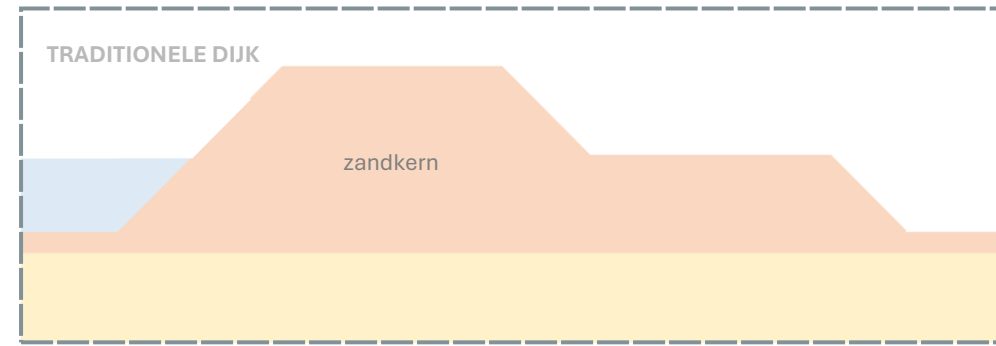
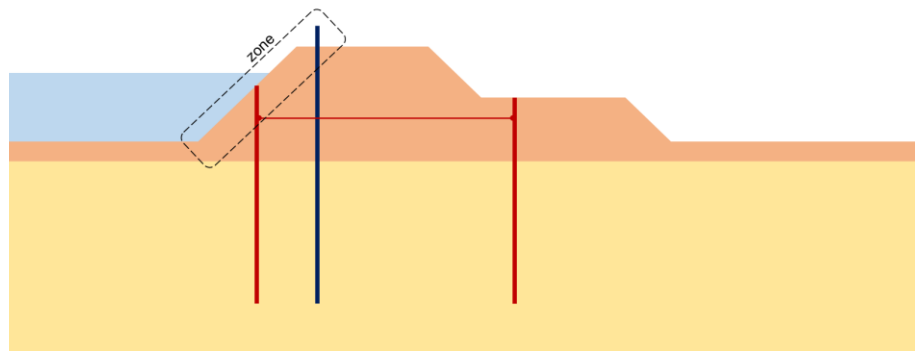
> *VARIANTEN DAMWAND*

Constructief scherm

(binnen)talud of kruin (niet perse grondkerend)



Verhoogde damwand tegen golfoverslag



Focus versterking: beperken ruimtegebruik

Effectiviteit: hangt af van damwand-
/drempelhoogte

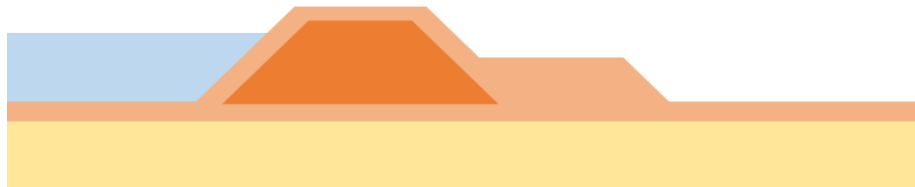
Bij uitvoering:

- Weinig verandering in het dwarsprofiel
- Staal is wel slecht aanpasbaar en kan corroderen
- Kan grondwaterstanden beïnvloeden (staffelen)

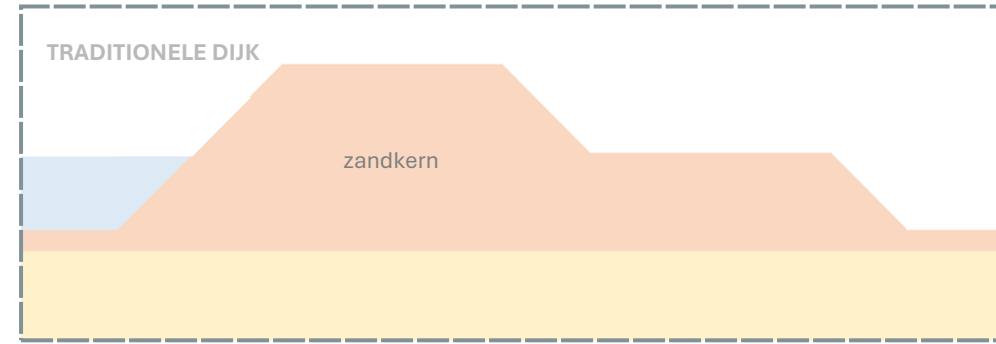
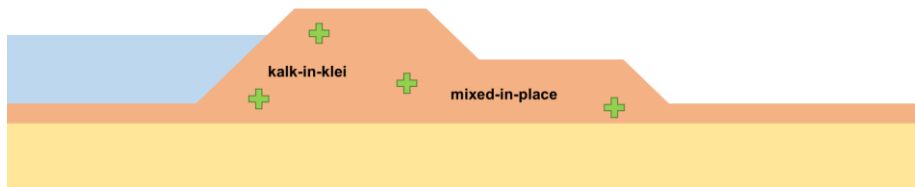
TAAIE DIJKEN

> *VARIANTEN VERVANGEN/
VERBETEREN/OPWAARDEREN KERN*

Kern van klei maken



Bestaande grond opwaarderen



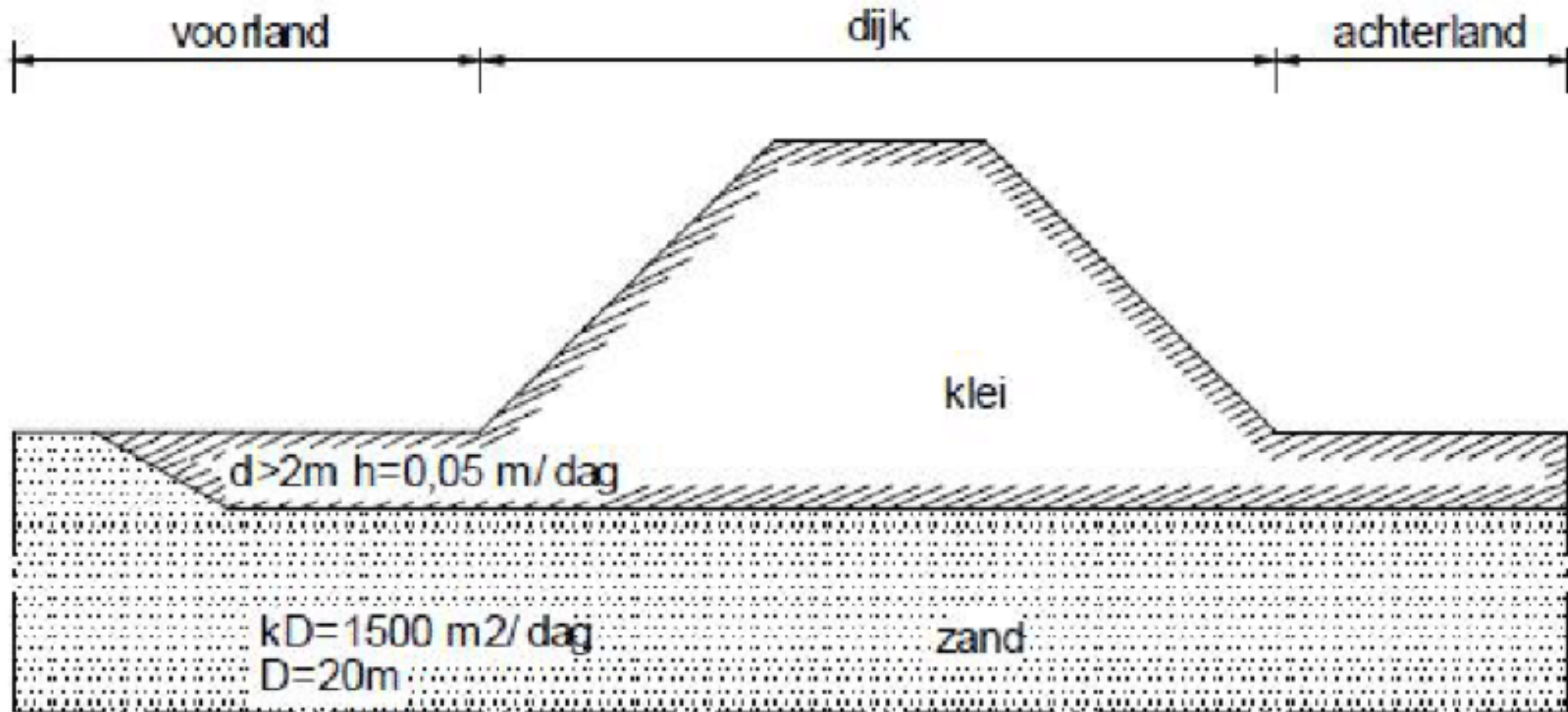
Focus versterking: beperken ruimtegebruik
Effectiviteit: groot als drempel stabiel blijft

Bij uitvoering:

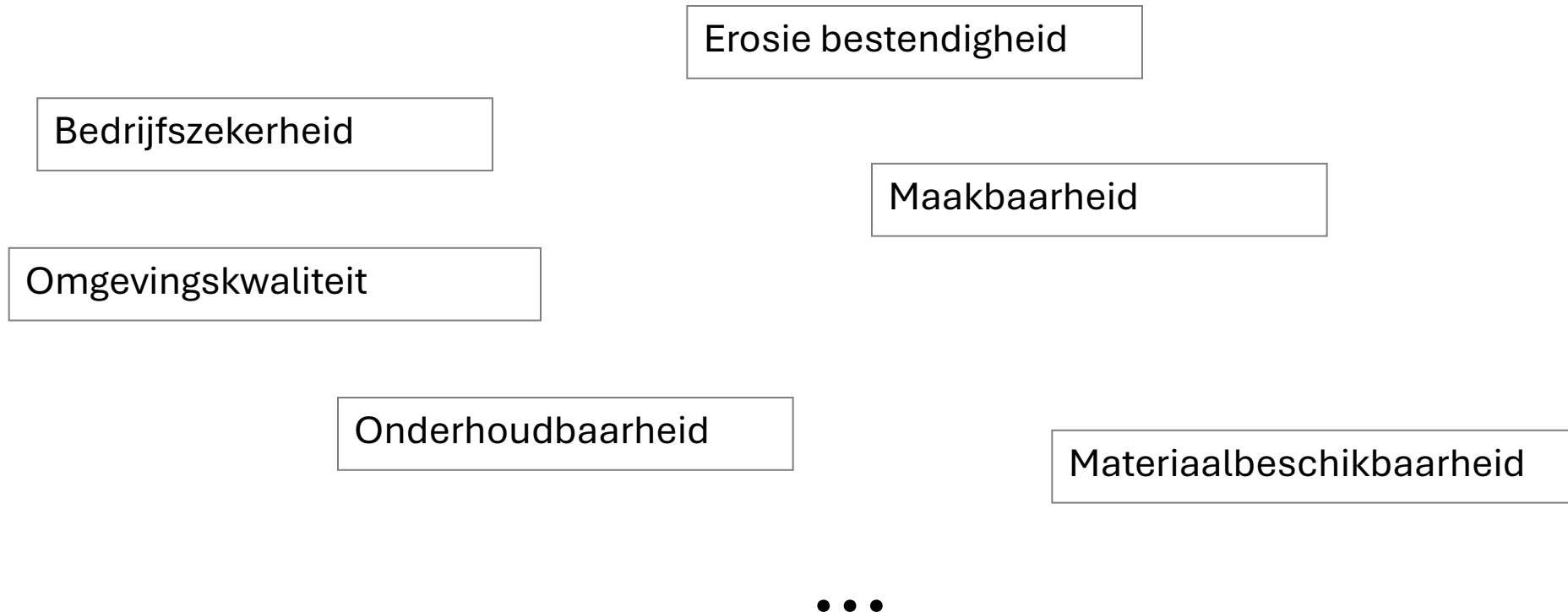
- Rekening houden met zettingen
- Ruimte voor innovaties (andere manieren om de kern erosie bestendiger te maken)

KUNNEN WIJ EEN TAAIE DIJK MAKEN ?

KUNNEN WIJ EEN TAAIE DIJK MAKEN ?



VERSCHILLEN TUSSEN TRADITIONELE EN TAAIE DIJKEN ?



WE HEBBEN DE ASPECTEN UITGEBREID EN INGEDEELD

SYSTEMATISCHE INVENTARISATIE VAN ONTWERP- EN UITVOERINGSASPECTEN

R Reliability (Betrouwbaarheid)

A Availability (Beschikbaarheid)

M Maintainability (Onderhoudbaarheid)

S Safety (Veiligheid)

H Health (Gezondheid)

E Environment (Milieu)

E Economics (Kosten / economische aspecten)

P Politics (Wet- en regelgeving, beleid, juridische zaken)

Globale Inventarisatie

Welke aspecten in ontwerp/uitvoering kunnen anders zijn voor taaie dijken?

R **Reliability (Betrouwbaarheid)**
Functionele betrouwbaarheid (=bedrijfszekerheid)
Erosie bestendigheid
Faalmechanismen
Technische vormgeving
Materiaalkeuze & materiaalkwaliteit
Taaigheid omgeving

A **Availability (Beschikbaarheid)**
Ruimtebeslag
Toegankelijkheid / gebruikbaarheid
Medegebruik / compatibiliteit met omgeving
Bereikbaarheid
Wegontwerp / verkeersbelasting

M **Maintainability (Onderhoudbaarheid)**
Onderhoudbaarheid
Herstelbaarheid
Toegankelijkheid voor onderhoud
Aanpasbaarheid
Monitoring

S **Safety (Veiligheid)**
Veiligheid tijdens uitvoering
Maakbaarheid
Niet-waterkerende objecten
Technische uitvoeringsrisico's

H **Health (Gezondheid)**
Omgevingskwaliteit
Cultuurhistorie

E **Environment (Milieu)**
Hydrologie
Biodiversiteit
Milieu-effecten

E **Economics (Kosten / economische aspecten)**
Planning / fasering
Logistieke haalbaarheid
Materiaalbeschikbaarheid



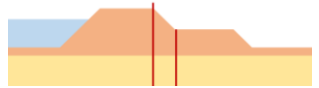

P **Politics (Wet- en regelgeving, beleid, juridische zaken)**
Juridisch
Maatschappelijk
Politiek
Draagvlak
Verantwoordelijkheidsverdeling

VERSCHILLEN ONTWERP EN UITVOERING PER ASPECT EN CONCEPT

Taaie dijk concepten 

Aspecten



				
Reliability				
Availability				
Maintainability				
Safety				
Health				
Environment				
Economics				
Politics				



ONTWERP

Je ontwerpt naast “voorkomen van falen” ook op “langzaam falen”

- Traditionele dijken → vervorming = falen kan snel gaan
- Taaie dijken → vervorming = signaal

Technische vormgeving

- In het ontwerp bewust sturen op trage faalpaden.
- Erosiebestendige materialen, om doorbraak te kunnen vertragen
- Drempels om instroom te kunnen verminderen
- Damwand ontwerpen op overstroombaarheid

Vervorming meenemen in het ontwerp

- Hoe de dijk zich gedraagt ná initiële beschadiging
- Vervormingscapaciteit, hoeveel vervorming is acceptabel
- Hoe de dijk zich gedraagt ná die acceptabele vervorming
- Waarschuwingstijd

Monitoring en detectie integreren in het ontwerp

- Vervormingsmetingen

UITVOERING

Meer afhankelijkheid van materiaalcondities: klei, staal. Aandacht voor drainage.

Aanpak/Fasering

- Voorraden klei/baggerspeciedepots aanleggen kost extra tijd.
- Opslag klei, vochtgehalte, homogeniteit, rijpheid, verdichtingsgraad, verwerkbaarheid.
- Verdichtingsplan. Uitvoering kan langer duren en behoeft meer kwaliteitscontroles.

Veiligheid tijdens uitvoering

- Rekening houden met zetting/klink.
- Aandacht voor stabiliteit tijdens de uitvoering
- Monitoring tijdens uitvoering
- Weersafhankelijkheid (huidige regelgeving verschuift het werk naar “slechte” seizoen)

Overig

- Materiaal beschikbaarheid
- MKI (waar komt de klei vandaan)
- Ruimte voor depots

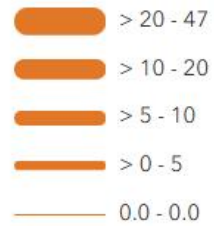
IS ER VOLDOENDE (VRIJ) BESCHIKBARE KLEI?

Legenda

Sedimentvraag Primaire Waterkeringen

Dijktrajecten_ZSS

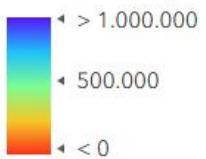
m3_m



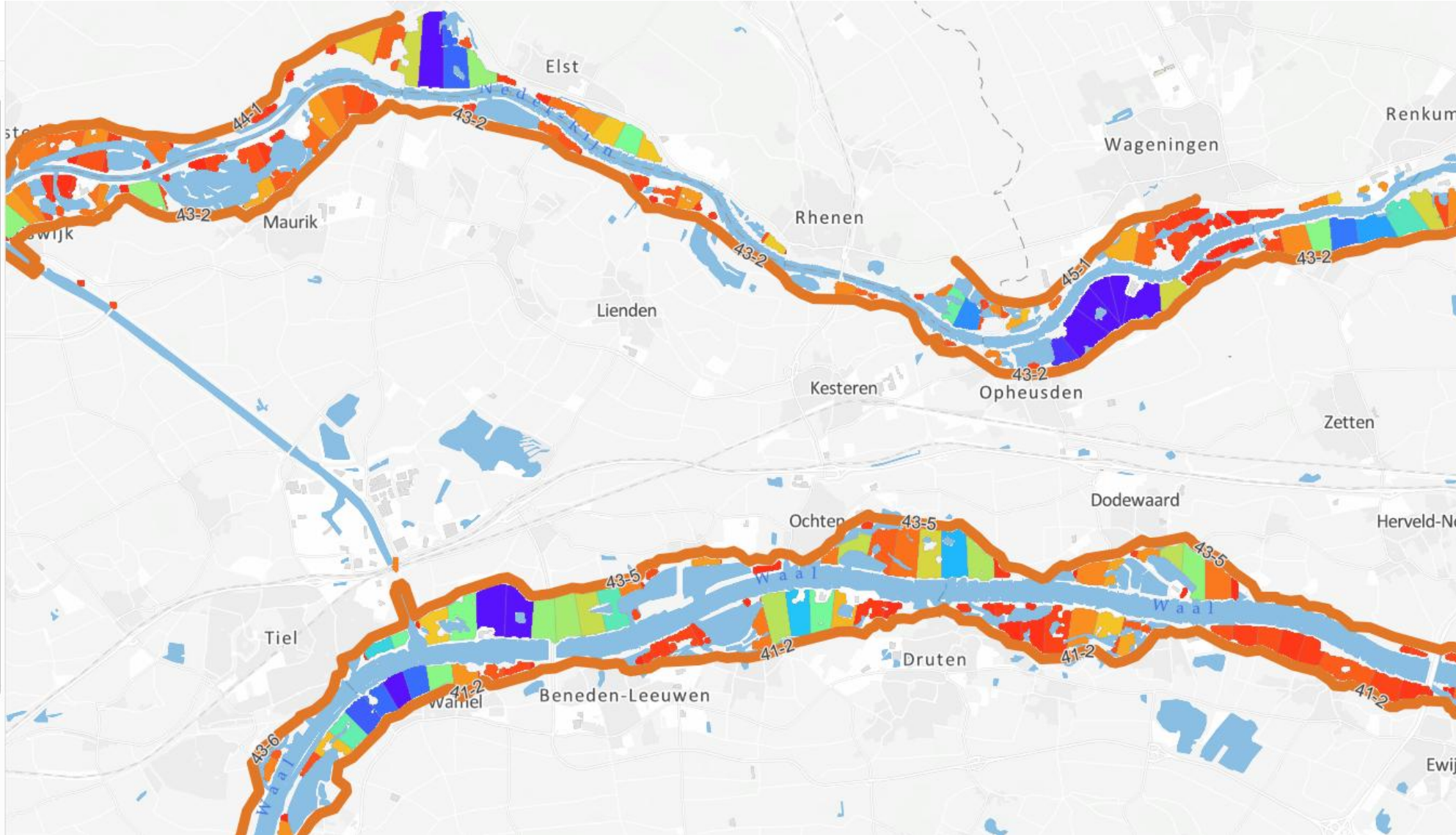
Sedimentbeschikbaarheid ondergrond

Lithologie_Rijntakken

Klei (totaal diepe en ondiepe laag) (m3)



Lithologie_Maas



AANDACHTSPUNT: NATURA 2000 GEBIEDEN



NOG EEN PAAR LAATSTE OPMERKINGEN:

- Aansluiting/overgangsconstructies (NWO) met klei zijn minder gevoelig (KISS)
- Minder gevoelig voor wateroverspanning
- Meer ruimte voor toleranties (eisen klei)
- Bij andere eisen zijn er meer mogelijkheden voor “gebiedseigen grond”
- Beheer kan vereenvoudigd: minder gevoelig voor graverijen.

VRAGEN?



Inpassing in het waterveiligheidssysteem

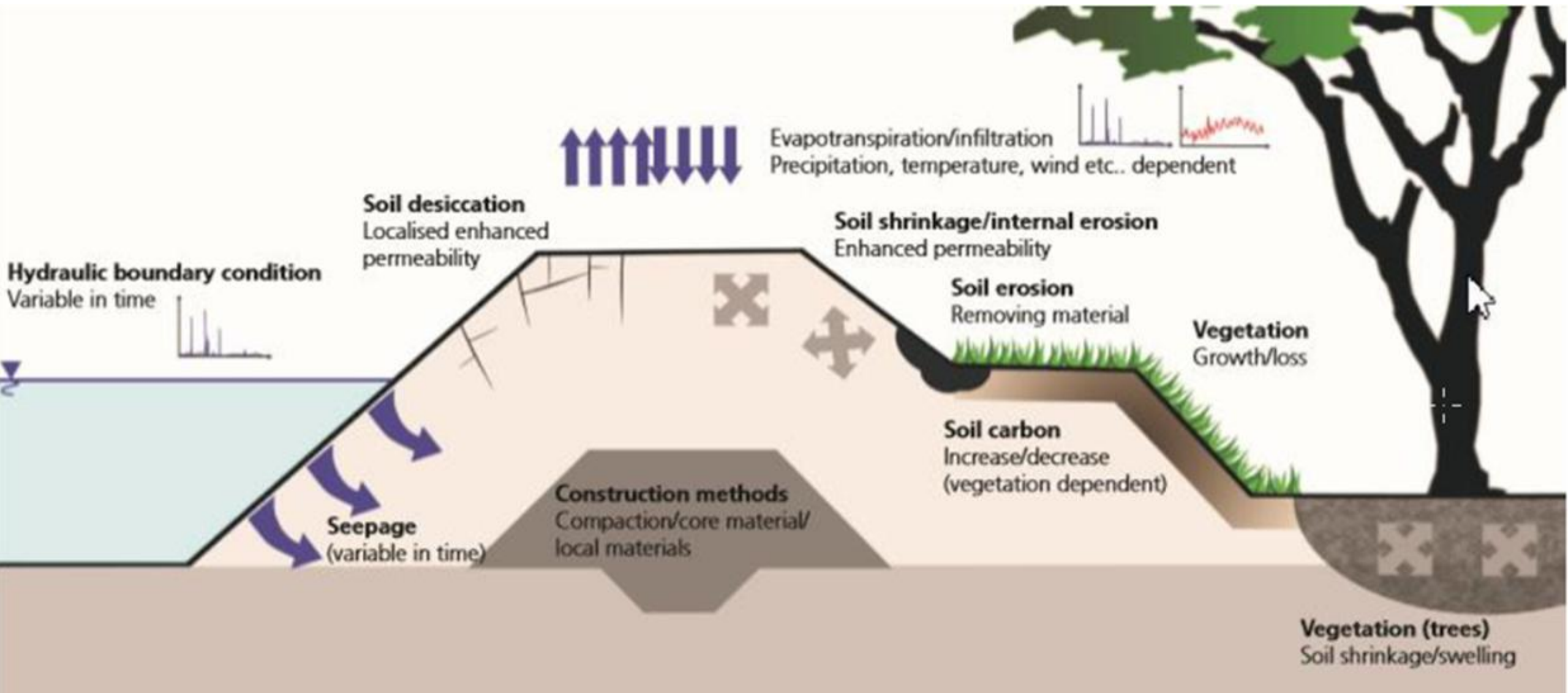
Mentimeter code **7531 7484**

Eind-symposium, SIA-RAAK project











Wrap up

Eind-symposium, SIA-RAAK project