

# ⇒ Indirecte faalmechanismen

Beoordelingsspoor  
Niet-waterkerende  
objecten (NWO's)

Harry Schelfhout  
Deltares



## Programma

- ⇒ Ontwikkeling toetsmethode
- ⇒ Beoordelingsprocedure (I)
- ⇒ Bepaling hydraulische belastingen (II)
- ⇒ Beoordeling sterkte en veiligheid (III)
- ⇒ Kanttekeningen & witte vlekken
- ⇒ Praktijkvoorbeelden
- ⇒ Interactie!

# Ontwikkeling toetsmethode

- VTV2006, Katern 10 NWO
  - Eenvoudige toets: geometrie en kenmerken NWO
  - Aanvullend: Vuistregels (filters)
  - Gedetailleerde toets: enkel voor pijpleidingen
  
- WTI2011/2017, cluster NWO
  - Eenvoudige + gedetailleerde toets pijpleidingen in NEN 3651, bijlage E
  - Niet afgerond i.v.m. discussie indirecte faalmechanismen (continutoets zorgplicht)
  - Overdracht kennis NWO's (witte vlekken)
  
- WBI-2017
  - Eenvoudige toets: beslisregels o.b.v. geometrie en kenmerken NWO

# Wat zijn NWO's

## ➤ Definitie:

- Objecten in of op de waterkering die geen waterkerende functie hebben

## ➤ Objectclusters:

- Bebouwingen (NWObc)
- Begroeiingen (NWObg)
- Kabels en leidingen (NWOk)
- Overige constructies (NWOcc)



# Beoordelingsprocedure (I)

- Bijzondere beoordeling NWO's
  - Geen waterkerende functie
  - Reductie sterkte waterkering mogelijk
  - Verwaarloosbare bijdrage aan overstromingskans?
  - *NWO's hoeven (nog) niet te worden getoetst .....?!.....*
  
- Veiligheidsoordeel NWO's:
  - 1) Eenvoudige toets: kansbijdrage verwaarloosbaar klein
  - 2) Gedetailleerde toets: kansbijdrage klein
  - 3) Toets op Maat: kansbijdrage in rekening brengen

# Hydraulische belastingen (II)

- Eenvoudige toets:
  - HW-stand en golven bij norm
  - GHW en GLW via [[www.waternormalen.nl](http://www.waternormalen.nl)]
  
- Gedetailleerde toets
  - HW-stand bij norm
  - Golven o.b.v. faalkansbegroting, incl. lengte-effect
  - GHW en GLW via [[www.waternormalen.nl](http://www.waternormalen.nl)]

# Toetssporen NWO's (III)

- Groep 5:
- Beschrijven beoordeling indirecte mechanismen

NWO-cluster	Eenvoudig	Gedetailleerd		Schematiserings-handleiding
		Per vak	Per traject	
NWObe	◆	?	?	?
NWObo	◆	?	?	?
NWOkI	◆	◆	?	?
NWOoc	?	?	?	?

*?) nog niet beschikbaar*

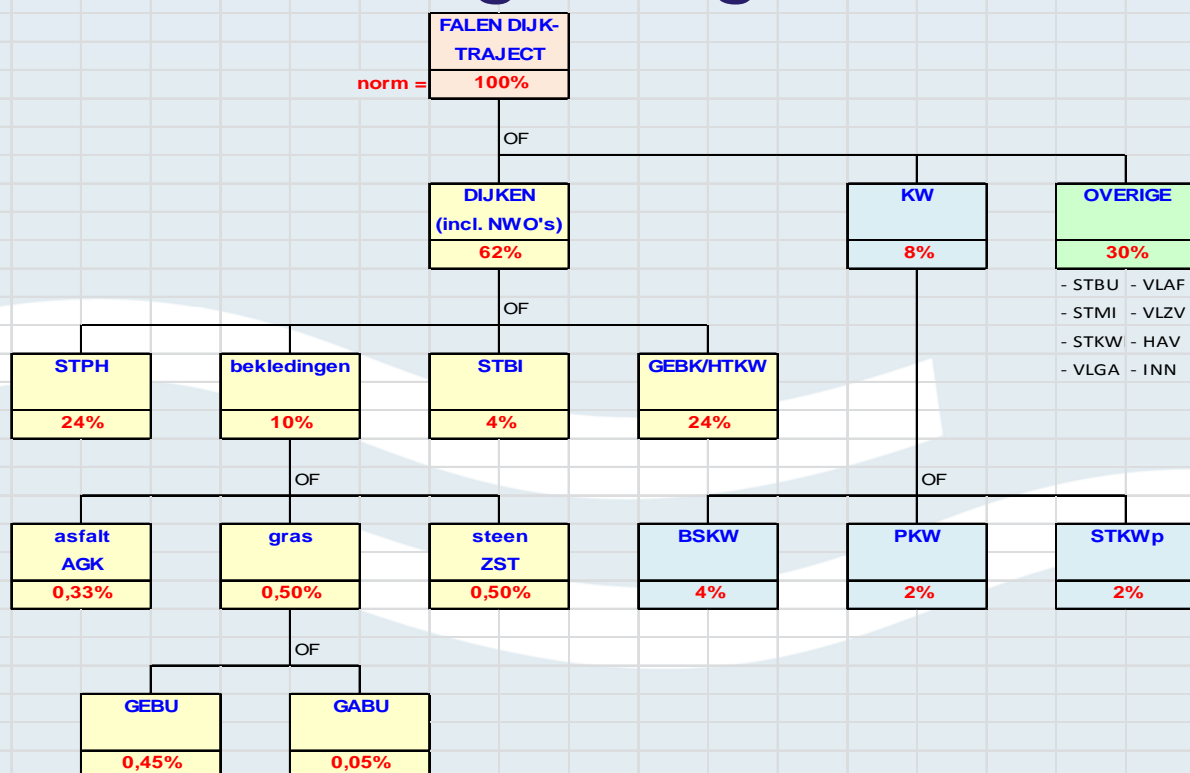
# Relatie met andere toetssporen

- Grasbekleding, erosie kruin en binnentalud (GEBK): snede door zode < 15 cm
- Duinafslag (DA): extra afslag m.u.v.:
  - Duinvegetatie
  - Strandpaviljoens (die bij storm uiteenvallen)
  - Wegen met losverband wegdek (klinkers etc.)
  - Straatmeubilair
  - Kabels
- Havendammen (HAV)

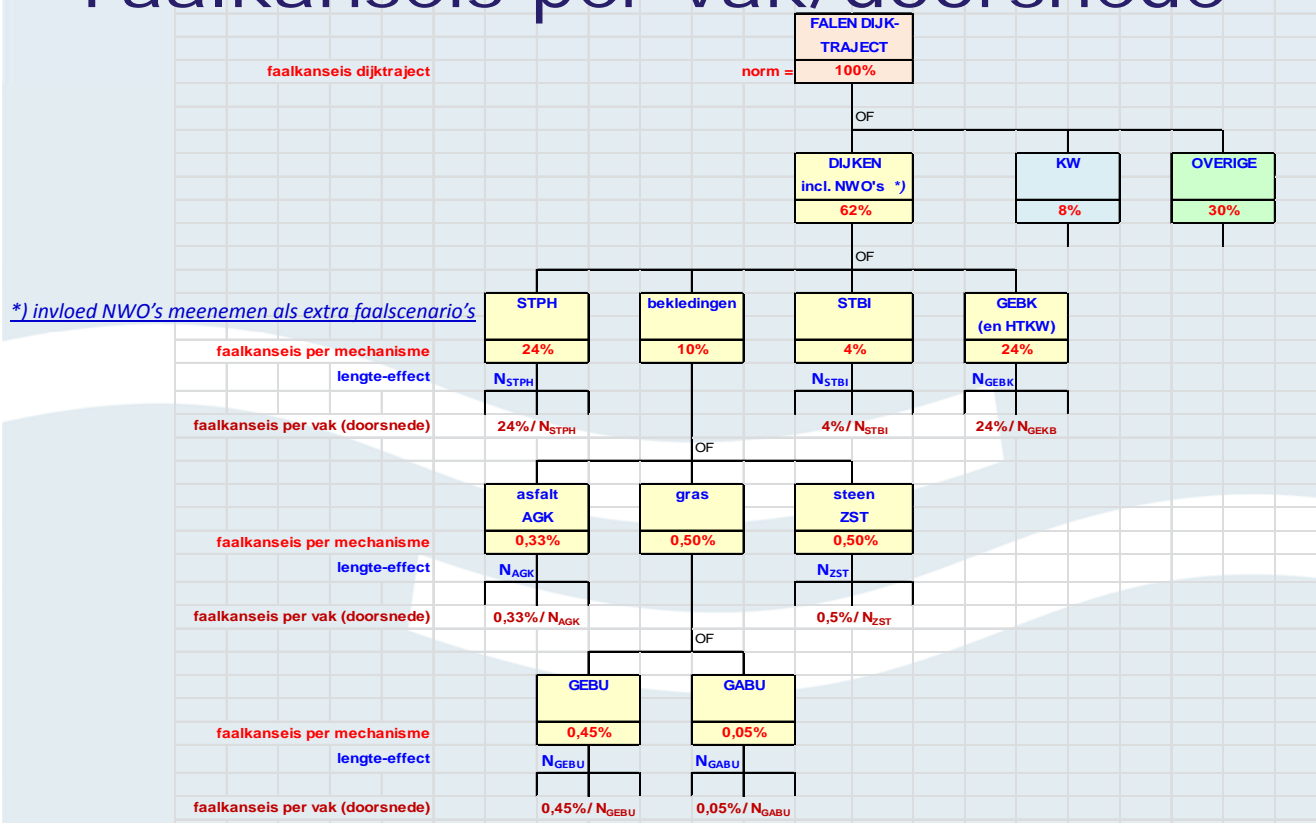
# Relevante toetssporen NWO's

Locatie NWO	Voorland	Dijk/ (Haven)dam	kunstwerk	Duin
Voorland	VLGA	STBU	STKW	DA
	VLAF	Bekledingen (af, gr, zst)	PKW	
	VLZV	STPH		
Waterkering		STBU	STKW	DA
		STBI		
		Bekledingen (af, gr, zst)		
		STMI		
Achterland		STBI	STKW	
		STPH	PKW	

# Faalkansbegroting



# Faalkanseis per vak/doorsnede



# Faalkanseisen NWO's

⊕ kansbijdrage falen NWO op directe faalmechanismen moet "verwaarloosbaar" zijn:

⊕ Per afzonderlijk NWO per direct faalmechanisme op doorsnedeniveau:

⊕  $< 1/30 P_{eis,sig,dsn} \approx 3\%$  (cat. I<sub>v</sub>: voldoet ruim)

⊕  $\approx < 1/10 P_{eis,ond,dsn} \approx 9\%$  \*)

\*) geen faalkanseis voor cumulatief effect bijdrage alle NWO's tezamen

# Voorbeeld (1)

## ⇒ Inventarisatie NWO's in een dijktraject

Cluster NWO	Aantal NWO's					
	Bu-zijde	Bu-talud	Kruin	Bi-talud	Bi-zijde	Totaal
<b>Bebouwing (205 st)</b>						
solitair/groep	28	7	0	6	71	112
rij	0	0	0	0	0	0
<b>Begroeiing (1310 st):</b>						
solitair	158	92	2	360	456	1068
groep	0	0	0	1	1	2
vlak	7	7	0	9	8	31
<b>Pijpleidingen (133 st):</b>						
parallele leidingen	6	0	2	10	53	71
leidingkruisingen						62
<b>Overige NWO's (77 st):</b>						
windturbines	0	0	0	0	13	13
dwarssteigers	13	11	0	0	0	24
langssteigers	4	1	0	0	0	5
taludtrappen	2	9	5	19	0	35
<b>Totaal aantal NWO's</b>	<b>218</b>	<b>127</b>	<b>9</b>	<b>405</b>	<b>602</b>	<b>1443</b>

# Voorbeeld (2)

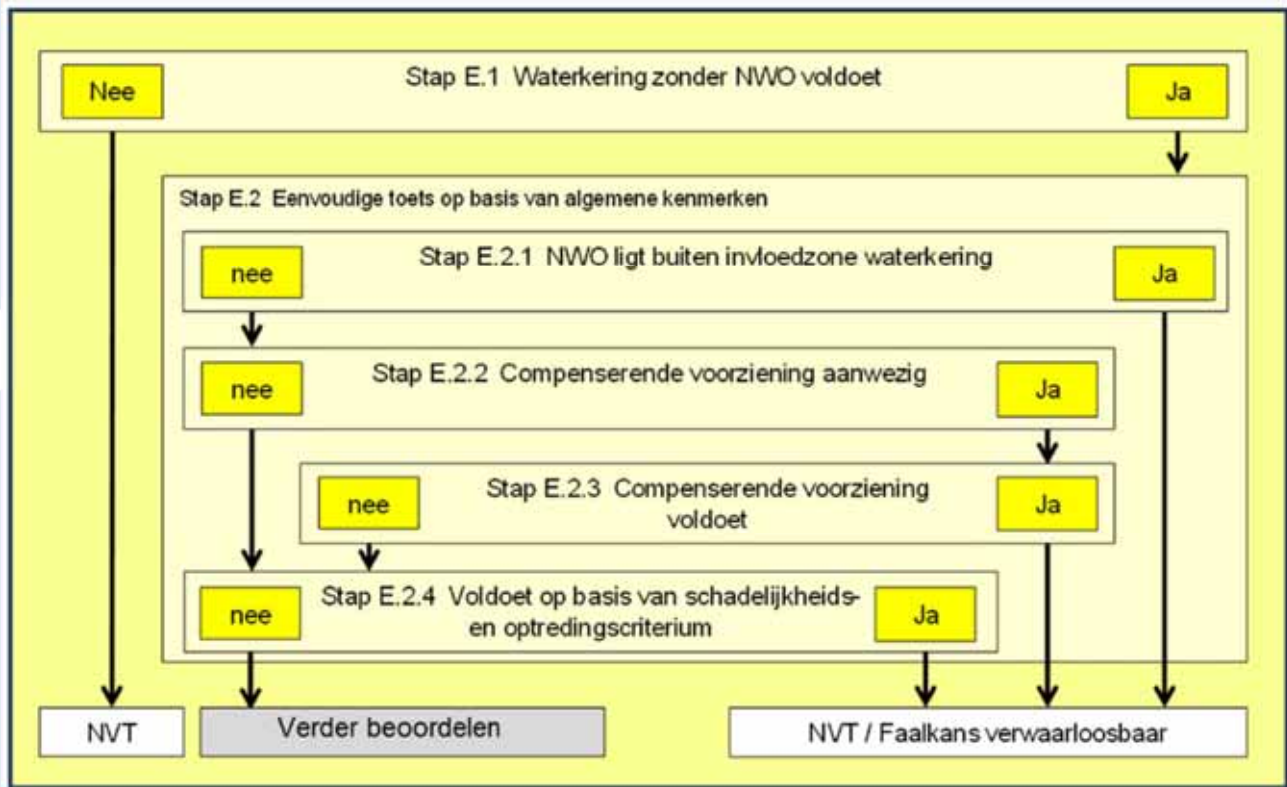
## ⇒ Faalkanseisen NWO's

$P_{eis,sig} = 1/3000$  p.j.

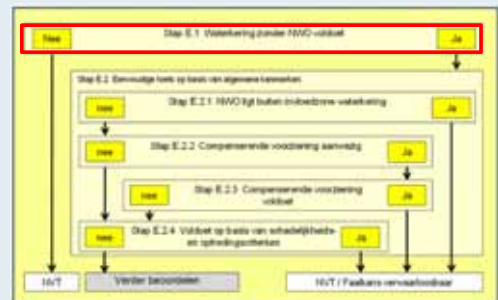
$P_{eis,ond} = 1/1000$  p.j.

	Invloed NWO's op dijkmechanisme op doorsnedeniveau						
	STBU	STBI	STBK	STPH	HT	Totaal	%
1) Faalkans eis: $P_{eis,ond,dsn}$	1,88E-05	1,88E-06	1,00E-04	7,64E-06	1,20E-04		
2) Faalkans eis met NWO = 1% van 1)	1,88E-07	1,88E-08	1,00E-06	7,64E-08	1,20E-06		
NWO-be	38	194	10	229	0	471	11,2%
NWO-bo	144	291	66	347	2	850	69,5%
NWO-kl (enkel pijpleidingen)	63	330	21	325	58	797	15,2%
NWO-oc (enkel windturbines)	0	0	0	0	13	13	4,1%
<b>totaal</b>	<b>245</b>	<b>815</b>	<b>97</b>	<b>901</b>	<b>73</b>	<b>2131</b>	<b>100%</b>
$\Sigma P_{eis}$ alle NWO's	4,61E-05	1,53E-05	9,70E-05	6,89E-05	8,76E-05	3,15E-04	
	4,6%	1,5%	9,7%	6,9%	8,8%	31,5%	$P_{eis,ond}$
	1,5%	0,5%	3,2%	2,3%	2,9%	10,5%	$P_{eis,sig}$

# Eenvoudige toets NWO (III-25)



## Stap E.1



➤ Waterkering zonder NWO voldoet

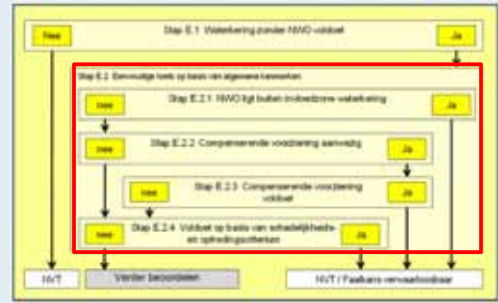
➤ Nee → toets NWO n.v.t.

➤ Ja → ga naar stap E.2

(toets o.b.v. algemene kenmerken)



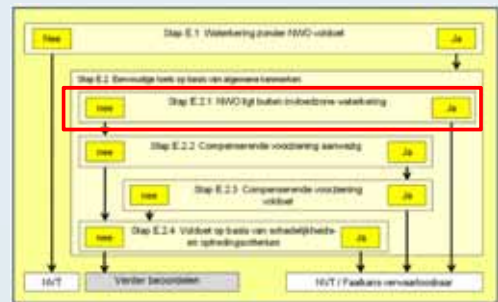
# Stap E.2



- Eenvoudige toets op basis van algemene kenmerken:
- E.2.1. NWO ligt buiten invloedzone waterkering
- E.2.2. Compenserende voorziening aanwezig
- E.2.3. Compenserende voorziening voldoet
- E.2.4. Voldoet op basis van schadelijkheids- en optredingscriterium \*)

*\*) onderliggende faalkansen zijn niet bekend*

# Stap E.2.1



- NWO ligt buiten invloedzone waterkering
  - Afhankelijk van lokatie NWO in/op/nabij waterkering en de zone waarbinnen een dijkmechanisme zich manifesteert
  - Beoordeling verschilt per NWO-cluster (NWObe, NWObO, NWOKI of NWO-oc)

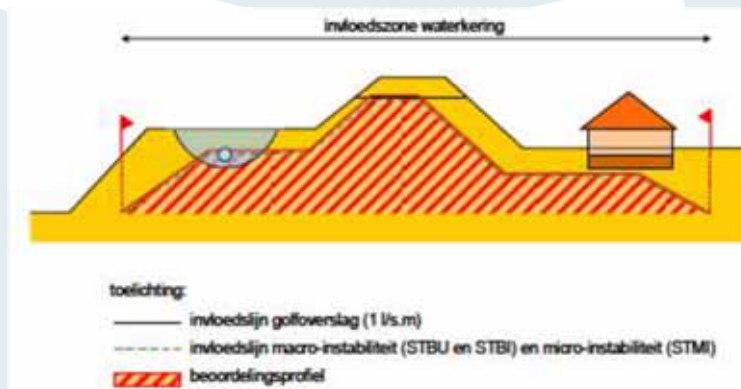
# Lokatie NWO ↔ invloedszone WK

## ➤ Lokatie NWO

- Buitenzijde
- Buitentalud
- Kruin
- Binnentalud
- Binnenzijde

## ➤ Invloedszone WK

- STBU/Bekledingen
- GEKB (vm HT)
- STBI
- STPH
- STMI



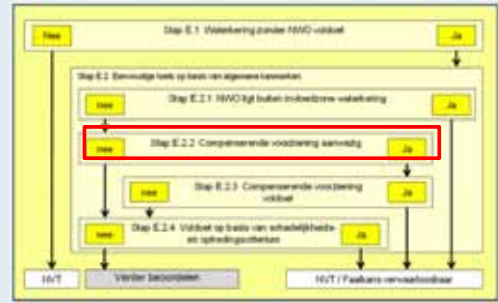
## Stap E.2.2

### ➤ Compenserende voorziening aanwezig \*)

- Nee → ga naar stap E.2.3
- Ja → ga naar stap E.2.4

*\*) berekend als KW volgens Leidraad Kunstwerken of als functiescheidend scherm (BWC)*

# Stap E.2.3



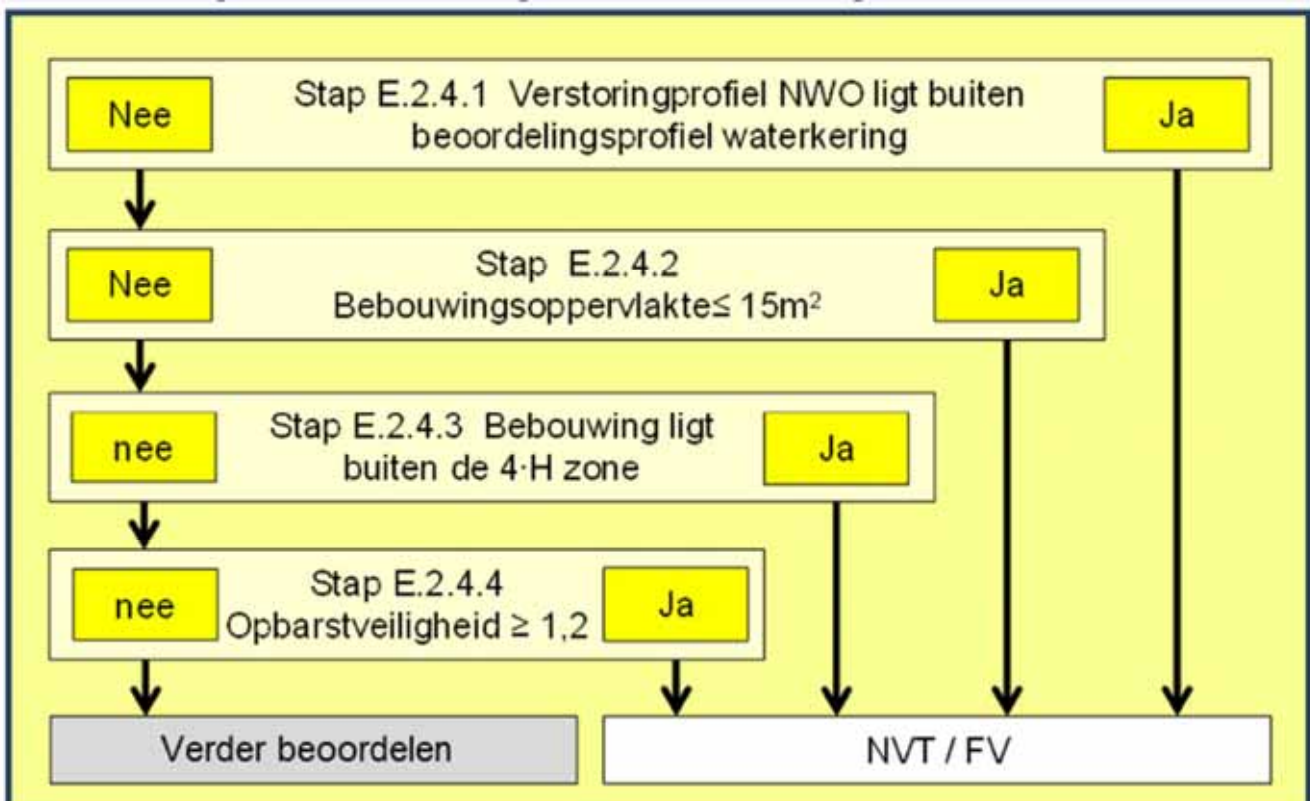
➤ Compenserende voorziening voldoet \*)

➤ Nee → ga naar stap E2.4

➤ Ja → faalkansbijdrage NWO aan overstromingskans waterkering is verwaarloosbaar

\*) dient te worden beoordeeld als kunstwerk

# Stap E2.4 (NWObbe)



# NWObe: Stap E.2.4.1

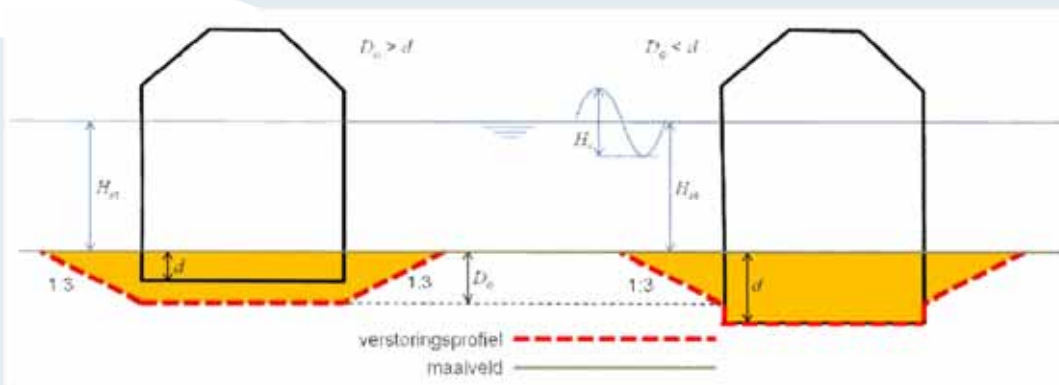


## ➤ Verstoringsprofiel NWObe ligt buiten beoordelingsprofiel waterkering

- Nee → ga naar stap E.2.4.2
- Ja → faalkans NWObe verwaarloosbaar

## Verstoringsprofiel NWO-be (1) \*)

- Buitenzijde (voorland)
  - Ontgrondingsdiepte  $D$
  - Buitenwaterstand  $H_m$
  - Significante golfhoogte  $H_{m0}$
  - Diepte kruipruimte  $d$



\*) *deterministische waarden*

## Verstoringsprofiel NWO-be (2) \*)

- Overige lokaties
  - Diepte kruipruimte  $d$

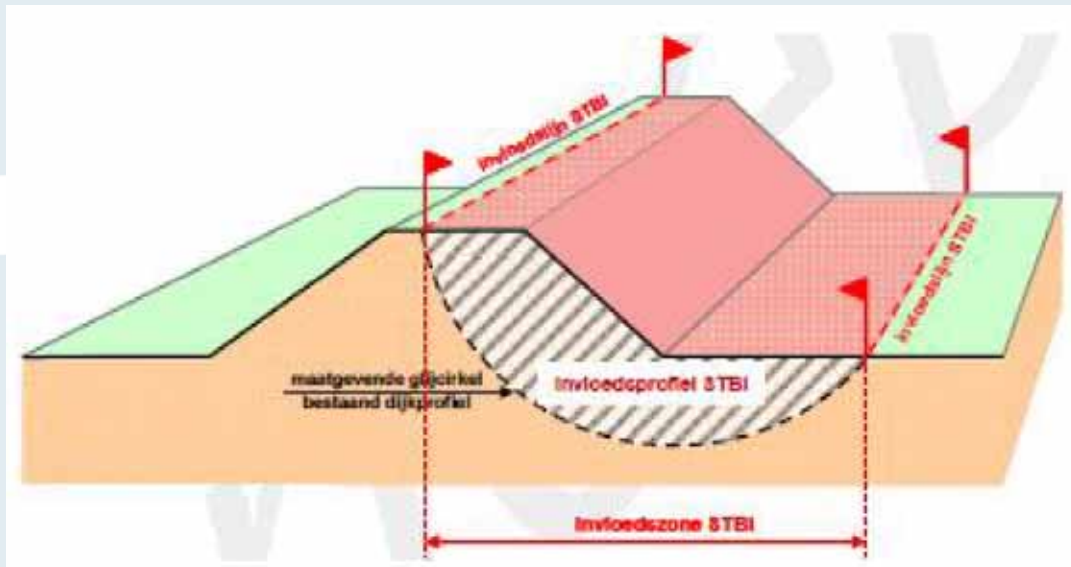


\*) *deterministische waarden*

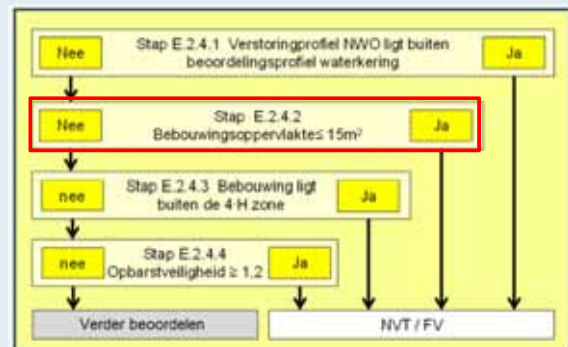
## Bepaling beoordelingsprofiel

- Werkwijze 1: veilige afmetingen
  - Zie eenvoudige toetssporen (STBU, GEKB, STBI, STMI en STPH)
- Werkwijze 2: geotechnische berekeningen
  - Zie gedetailleerde toetssporen (STBU, GEKB, STBI, STMI en STPH)

# Invloedszone/-lijn/-profiel



## NWObe: Stap E.2.4.2



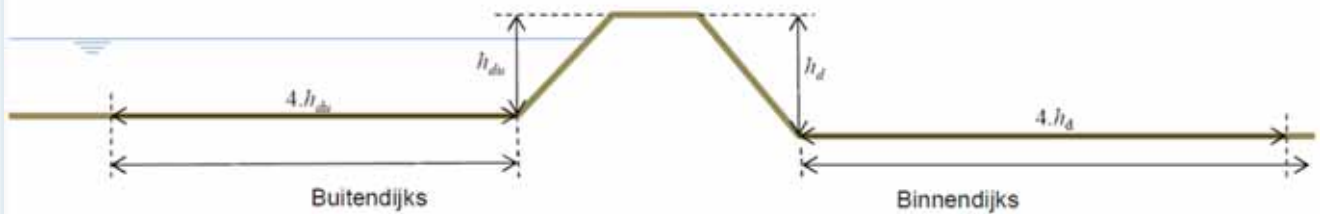
- $\text{Bebouwingsoppervlakte} \leq 15 \text{ m}^2$ 
  - (niet op palen gefundeerd en zonder kelder)
- Nee → ga naar stap E.2.4.3
- Ja → faalkans NWObe verwaarloosbaar

# NWObe: Stap E.2.4.3



## ➤ Bebouwing ligt buiten de 4H-zone

- (n.v.t. bij opdrijven)
- Nee → ga naar stap E.2.4.4
- Ja → faalkans NWObe verwaarloosbaar



# NWObe: Stap E.2.4.4



## ➤ Opbarstveiligheid $\geq 1,2$

- Nee → ga naar stap E.2.4.5
- Ja → faalkans NWObe verwaarloosbaar

# Gedetailleerde toets NWObe

➤ Niet beschikbaar

➤ Voor witte vlekken zie:

➤ 1) Overdracht kennis NWO's,

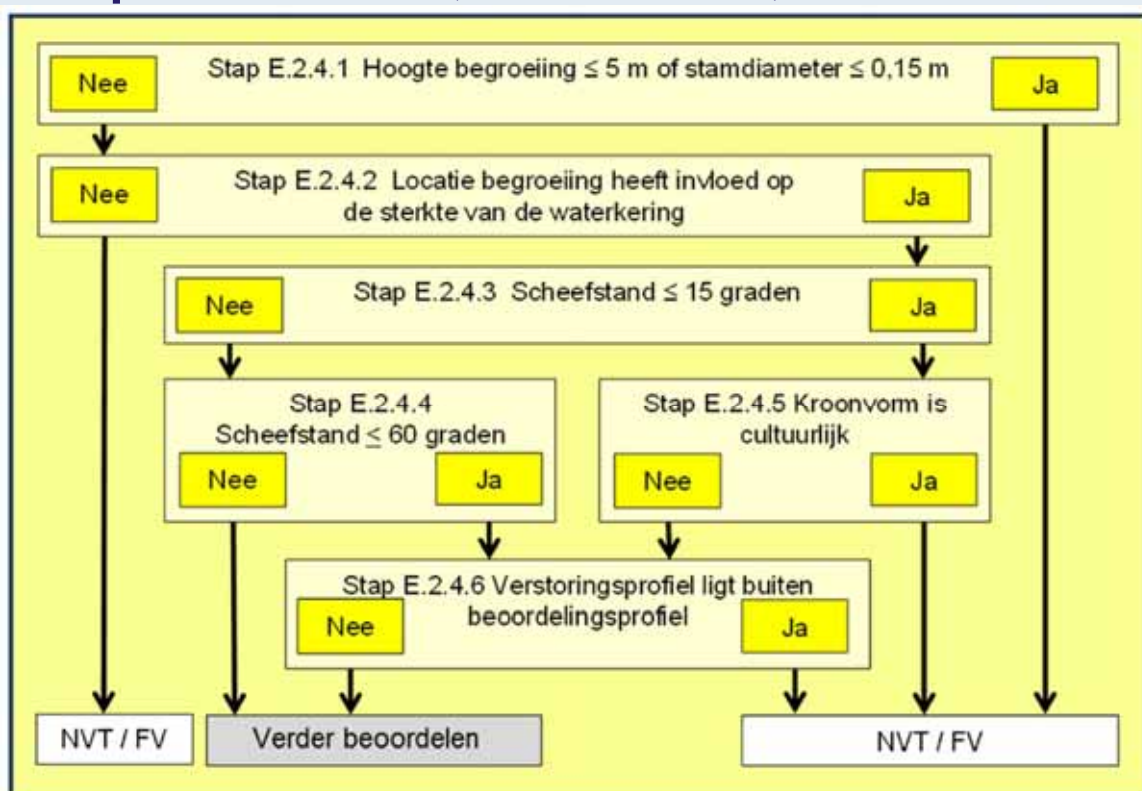
*WTI cluster 7 Indirecte mechanismen [Deltares, 2015]*

➤ Voor handreikingen zie:

➤ 2) Gedetailleerde toetsmethode NWO's,  
achtergrondrapport [Deltares, 2012]

➤ 3) Gedetailleerde toetsmethode NWO-bebouwing,  
Plan van aanpak versie 2 [Deltares 2014]

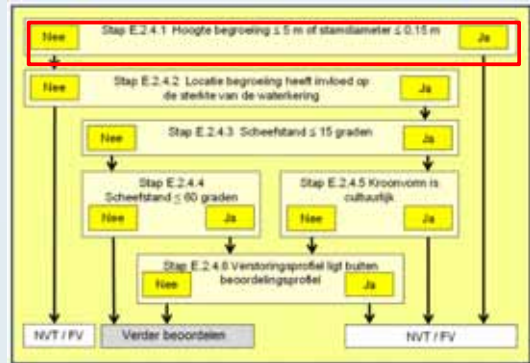
## Stap E.2.4 (NWObo)







# NWO-bo: Stap E.2.4.1



⊕ Hoogte begroeiing  $\leq 5$  m of stam  $\varnothing \leq 0,15$  m

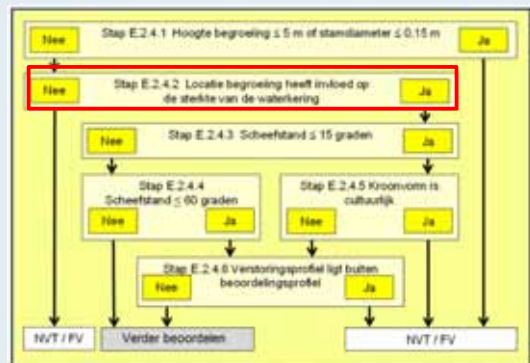
- ⊕ (geringe wind-/waterkeringsbelasting)
- ⊕ (bij meerstammige begroeiing equivalente stamdiameter als functie van boomhoogte en kroon  $\varnothing$  bepalen, zie tabel 25.2)



- ⊕ Nee → ga naar stap E.2.4.2
- ⊕ Ja → faalkans NWObo verwaarloosbaar



# NWO-bo: Stap E.2.4.2



⊕ Locatie begroeiing heeft invloed op de sterkte van de waterkering

- ⊕ (stabiliteitsberm: rij  $< 20$  m en h.o.h.  $> 40$  m)
- ⊕ (pipingberm: overhoogte  $> 1$  m)
- ⊕ (binnentalud: solitair;  $q \leq 0,1$  l/s per  $m^1$ )

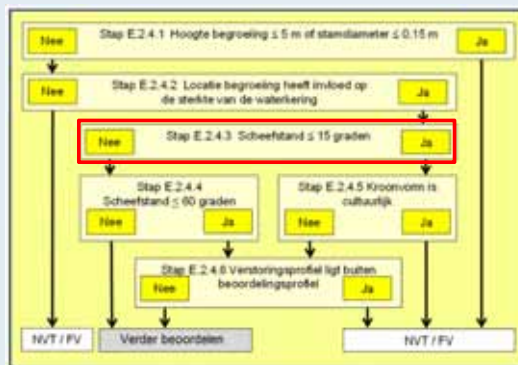
- ⊕ Nee → ga naar stap E.2.4.3
- ⊕ Ja → faalkans NWObo verwaarloosbaar

# NWO-bo: Stap E.2.4.3

➤ Scheefstand  $\leq 15^\circ$

➤ Nee → ga naar stap E.2.4.4

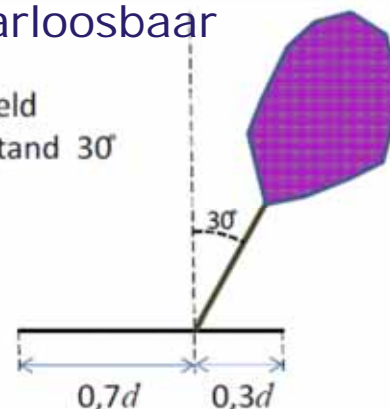
➤ Ja → faalkans NWObo verwaarloosbaar



Scheefstand (graden)	Asymmetrie in wortelkluit
0 - 15	0,5 d / 0,5 d
15 - 30	0,7 d / 0,3 d
30 - 45	0,8 d / 0,2 d
45 - 60	0,9 d / 0,1 d
60 - 90	n.v.t.

Figuur

Voorbeeld  
scheefstand  $30^\circ$

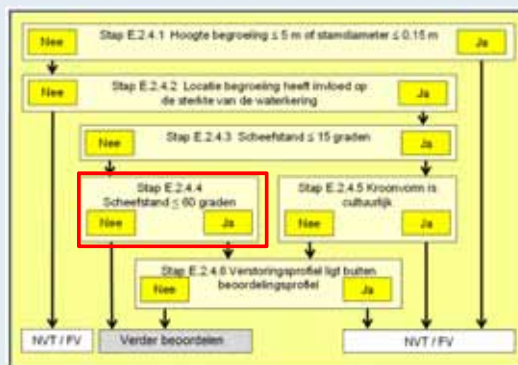


# NWO-bo: Stap E.2.4.4

➤ Scheefstand  $\leq 60^\circ$

➤ Nee → ga naar stap E.2.4.5

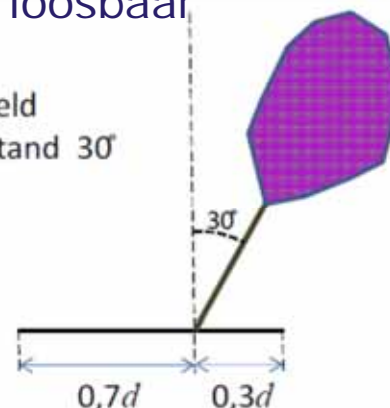
➤ Ja → faalkans NWObo verwaarloosbaar



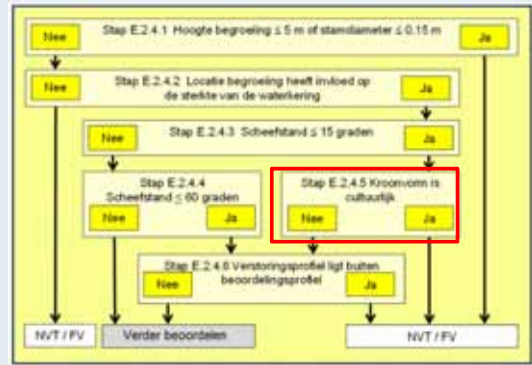
Scheefstand (graden)	Asymmetrie in wortelkluit
0 - 15	0,5 d / 0,5 d
15 - 30	0,7 d / 0,3 d
30 - 45	0,8 d / 0,2 d
45 - 60	0,9 d / 0,1 d
60 - 90	n.v.t.

Figuur

Voorbeeld  
scheefstand  $30^\circ$

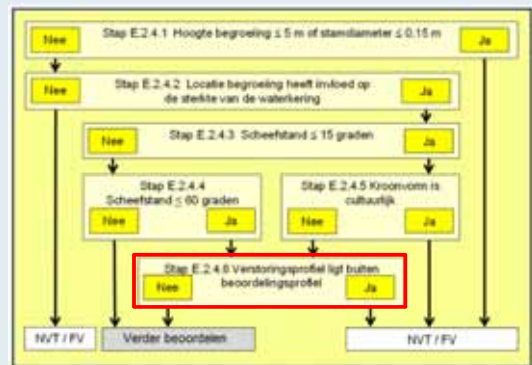


# NWO-bo: Stap E.2.4.5



- Kroonvorm is cultureel
- (afhankelijk van wel/niet gesnoeid)
- Nee → ga naar stap E.2.6
- Ja → kansbijdrage NWObo verwaarloosbaar

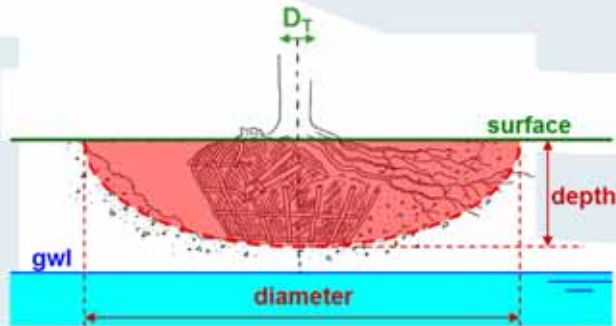
# NWO-bo: Stap E.2.4.6



- Verstoringprofiel ligt buiten beoordelingsprofiel
- Nee → verder beoordelen (Toets op maat)
- Ja → faalkans NWObo verwaarloosbaar

# Verstoringsprofiel NWO-bo \*)

- Ontgrondingskuil
  - Stam  $\emptyset$
  - Grondwaterstand t.o.v. maaiveld
  - Wortelkluit (diepte en  $\emptyset$ )
  - Diameter wortelkluit

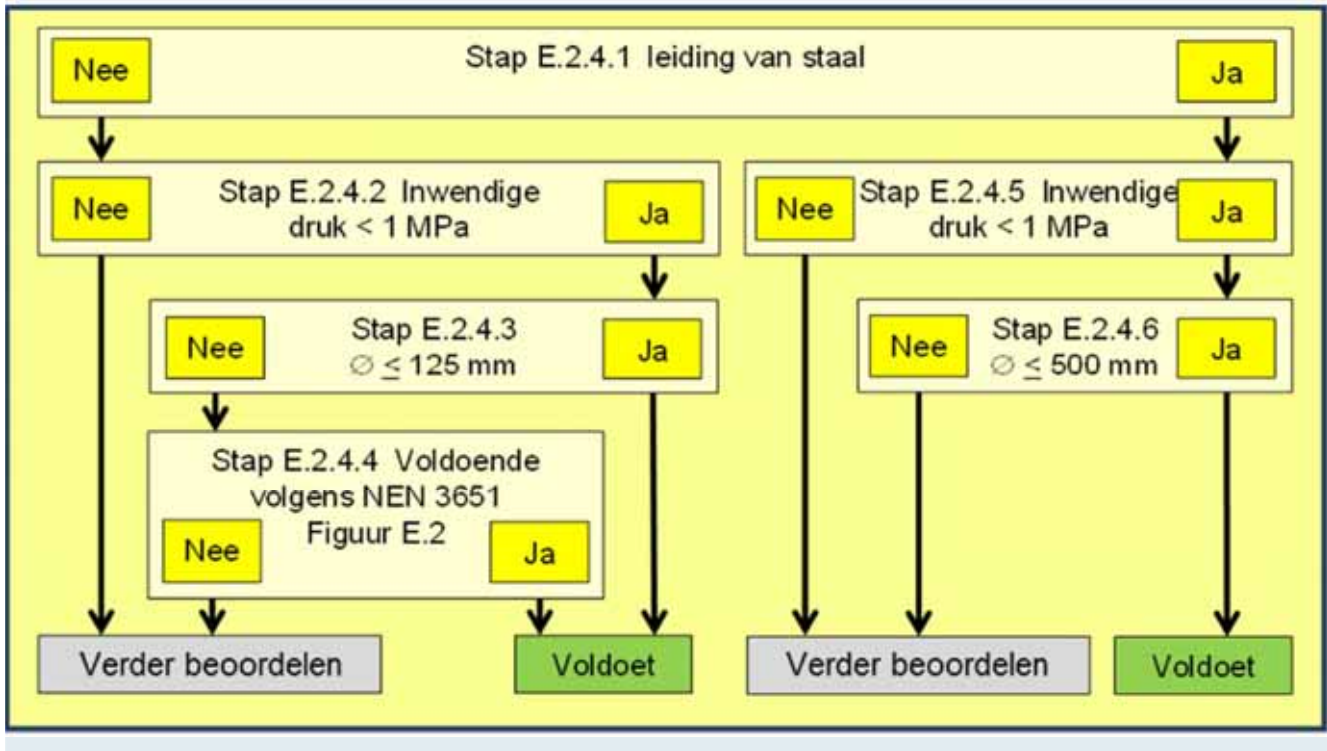


\*) *deterministische waarden*

# Gedetailleerde toets NWObo

- Niet beschikbaar
- Voor handreikingen, zie:
  - 1) Handreiking Constructief Ontwerpen, bijlage 2-5 [TAW, 1994a]
  - 2) Handreiking voor beplanting op en nabij primaire waterkeringen [STOWA, 2000]
  - 3) BomenT fase 3, gedetailleerde toets [DHV/Bomenwacht, 2012]
  - 4) review notitie DHV/Bomenwacht [Witteveen en Bos, 2013]

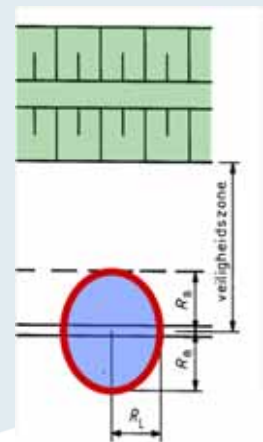
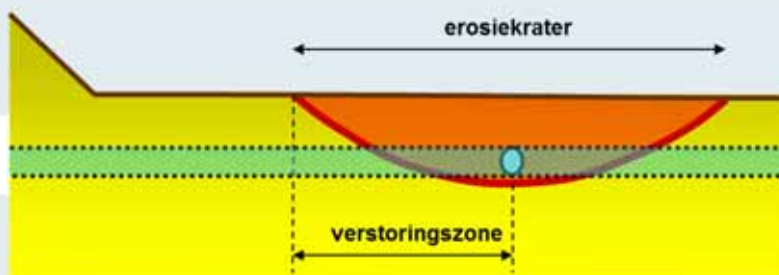
# Stap E.2.4 (NWOKI)



# Verstoringsprofiel (1) NWO-kl <sup>\*</sup>)

## Lekkage vloeistofleiding

- Gapend lek: erosiekrater (ontgrondingskuil)



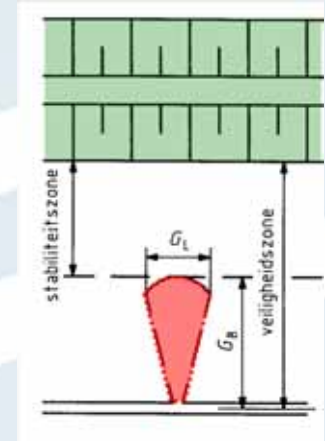
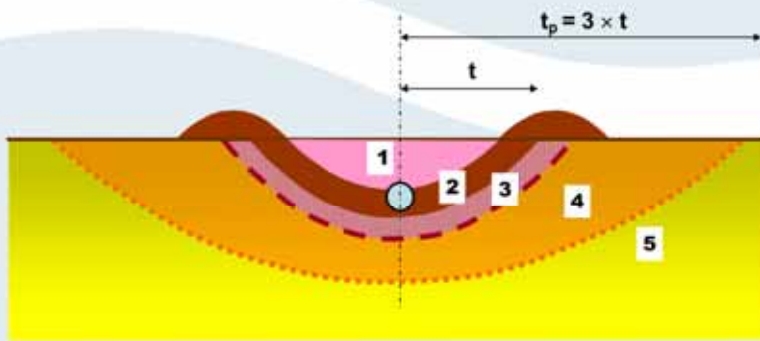
- Sluipend lek: verhoging freatisch vlak <sup>\*\*)</sup>

<sup>\*</sup>) conform NEN 3651, bijlage A = deterministische waarde

<sup>\*\*)</sup> witte vlek in NEN 3650 serie en WBI

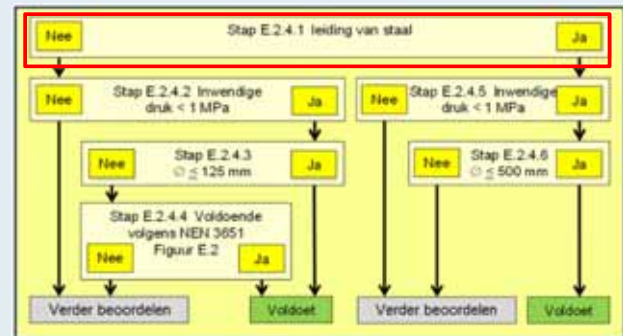
# Verstoringsprofiel (2) NWO-kl \*)

- Explosie gasleiding
  - 1 = erosiezone (krater) of "kwetser"
  - 2 = teruggevalen materiaal
  - 3 = breukzone
  - 4 = plastische zone (explosiezone)
  - 5 = elastische zone (verwekingszone)



*\*) conform NEN 3651, bijlage A = deterministische waarde*

## NWO-kl: Stap E.2.4.1

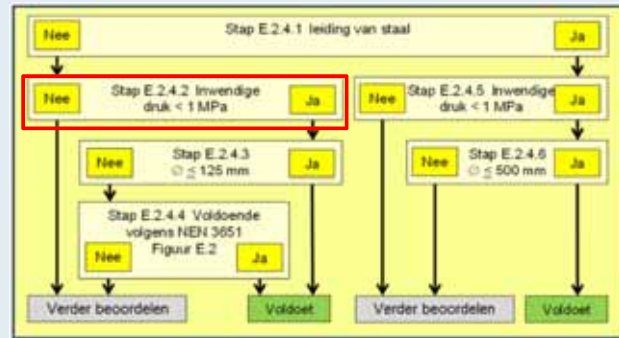


### ➤ Leidingen van staal

- Nee → ga naar stap E.2.4.2
- Ja → ga naar stap E.2.4.5



# NWO-kl: Stap E.2.4.2



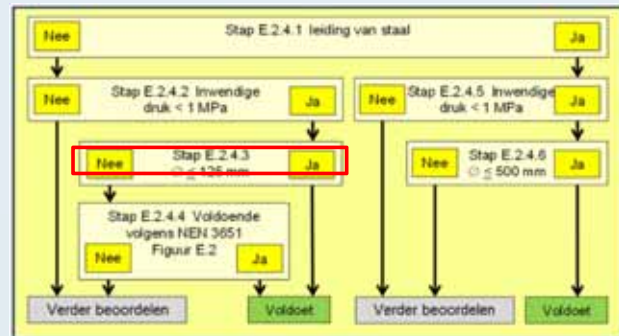
## ⊕ Inwendige druk $\leq 1$ MPa (niet-staal)

- ⊕ Nee → ga naar stap E.2.4.3
- ⊕ Ja → *faalkansbijdrage NWOkl verwaarloosbaar \**

*\*) niet geverifieerd o.b.v. faalkansen*



# NWO-kl: Stap E.2.4.3



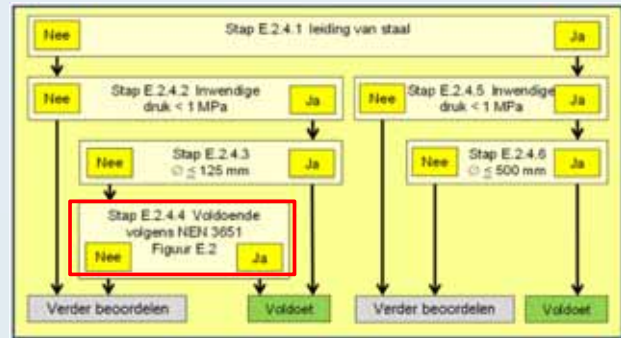
## ⊕ $\varnothing \leq 125$ mm (niet-staal)

- ⊕ Nee → ga naar stap E.2.4.4
- ⊕ Ja → *faalkans NWOkl verwaarloosbaar \**

*\*) niet geverifieerd o.b.v. faalkansen en invloed sluipend lek*

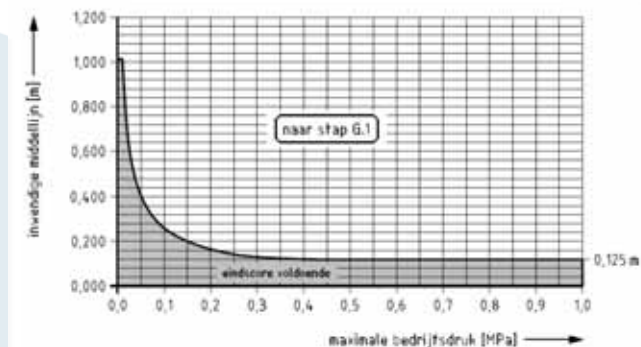


# NWO-kl: Stap E.2.4.4



➤ Voldoende volgens NEN 3651 Figuur E.2

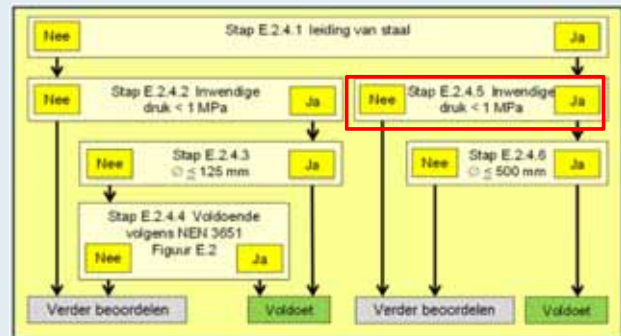
- Nee → verder beoordelen (Toets op maat)
- Ja → *faalkans NWOkl verwaarloosbaar \**



*\*) niet geverifieerd o.b.v. faalkansen en invloed sluipend lek*



# NWO-kl: Stap E.2.4.5



➤ Inwendige druk  $\leq 1$  MP (staal)

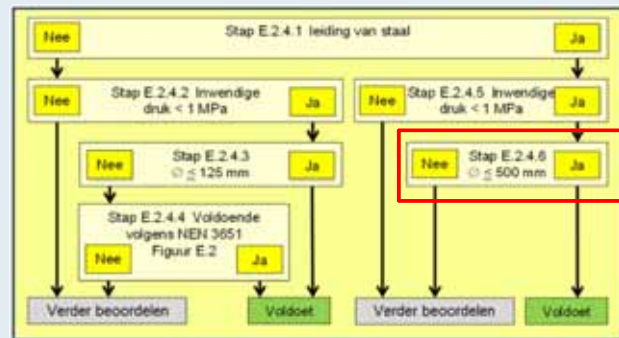
- Nee → ga naar stap E.2.4.6
- Ja → *faalkans NWOkl verwaarloosbaar \**

*\*) niet geverifieerd o.b.v. faalkansen*





# NWO-kl: Stap E.2.4.6



➤  $\varnothing \leq 500 \text{ mm}$  (staal)

➤ Nee → verder beoordelen (Toets op maat)

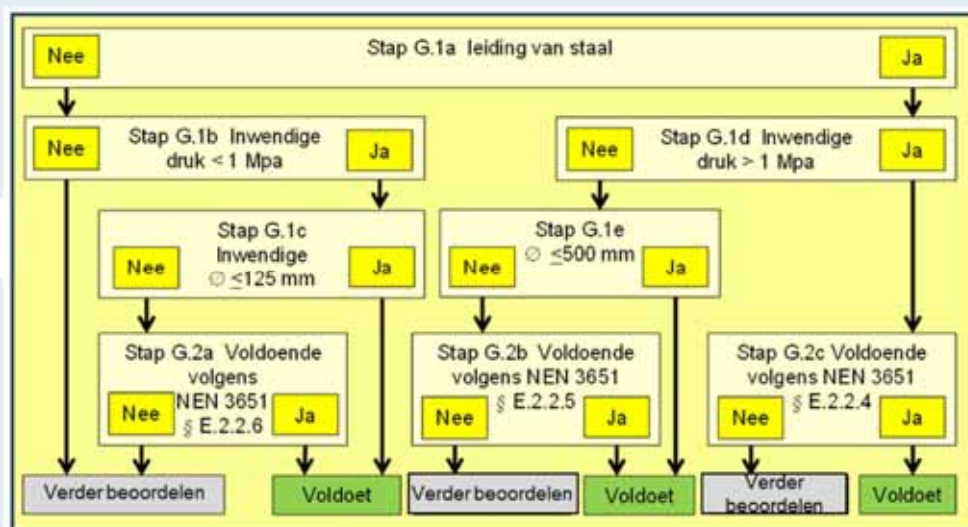
➤ Ja → *faalkans NWOkl verwaarloosbaar \**

*\*) niet geverifieerd o.b.v. faalkansen*



# Gedetailleerde toets NWOkl

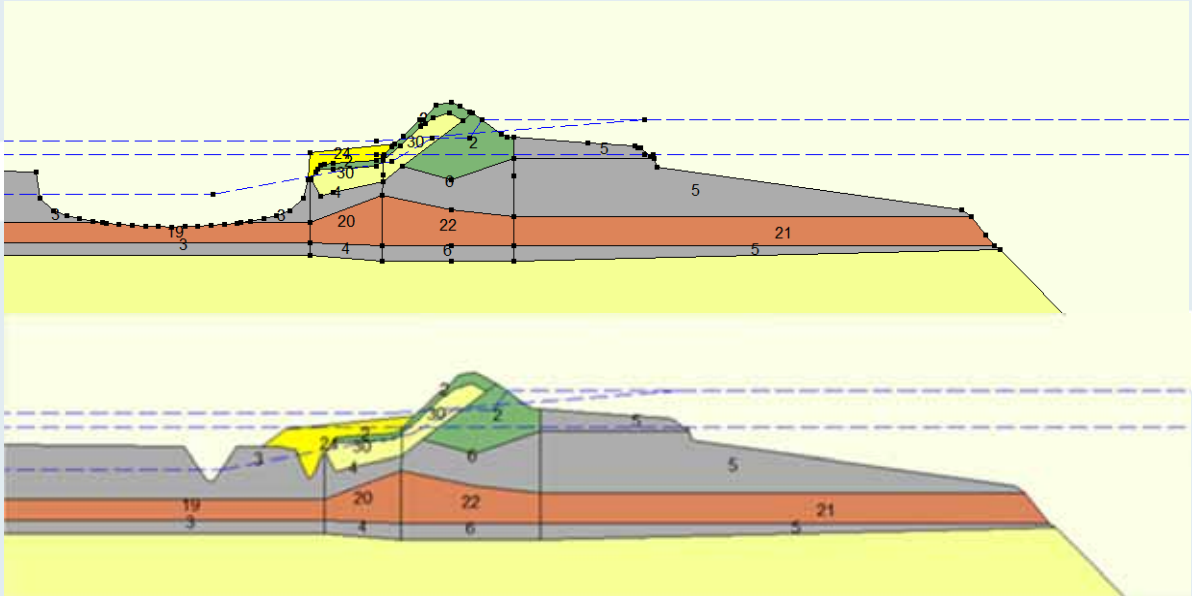
➤ *Zie ook NEN 3561, bijlage E \**



*\*) niet geverifieerd o.b.v. faalkansen en witte vlekken (sluipend lek, pipingzone, deterministische waarden)*

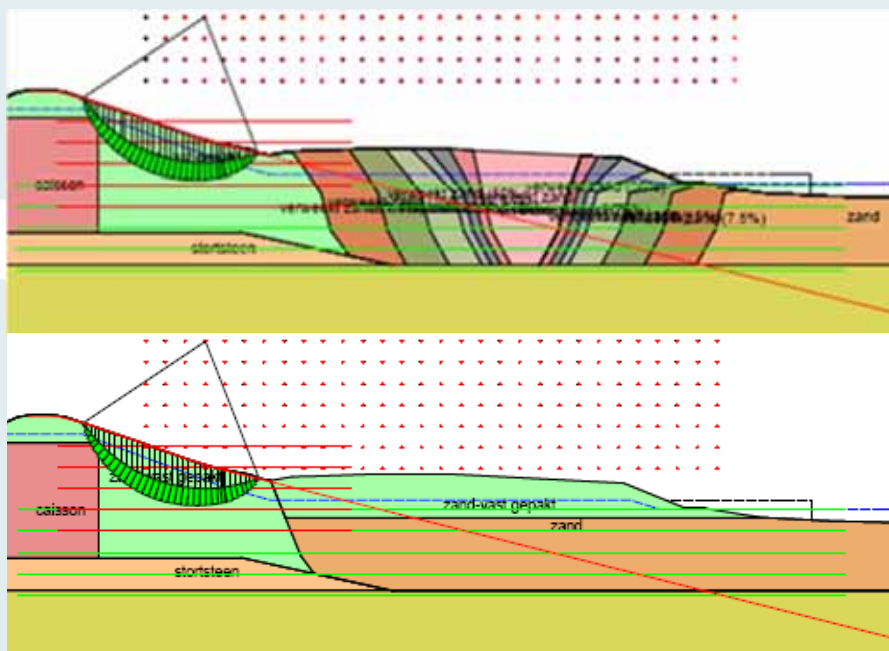
# Voorbeeld schematisering (1)

➤ Erosiekrater bij gapend lek vloeistofleiding



# Voorbeeld schematisering (2)

➤ Verwekingszone bij explosie gasleiding



# Faalkansen pijpleidingen (Bevi)

- ⇒ Besluit externe veiligheid inrichtingen
- ⇒ Externe oorzaken \*)

Tabel 28 Scenario's voor ondergrondse transportleidingen

	Frequentie (per meter per jaar)	Frequentie (per meter per jaar)	Frequentie (per meter per jaar)
	Leiding in leidingstraat	Leiding voldoet aan NEN 3650	Overige leidingen
1. Breuk van de leiding	$7 \times 10^{-9}$	$1,525 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^{-7}$
2. Lek met een effectieve diameter van 20 mm	$6,3 \times 10^{-8}$	$4,575 \times 10^{-7}$	$1,5 \times 10^{-6}$

Tabel 78 Uitstroombesluit en -frequenties voor hogedruk  
gastransportleidingen

Scenario	Frequentie
Breuk van de leiding	$5,6 \times 10^{-9}$ per meter per jaar
Lek in de leiding (10% van de leidingdiameter, max. 50 mm)	$2,0 \times 10^{-8}$ per meter per jaar
Flenslek (10% van de leidingdiameter, maximaal 50 mm) <sup>34</sup>	$9,3 \times 10^{-7}$ per flens per jaar

*\*) geen faalkansen sterkte leiding beschikbaar*

# Faalkansen pijpleidingen (NPR)

- ⇒ Nederlandse praktijk richtlijn voor ondergrondse pijpleidingen NPR 3659 (correctieblad)
- ⇒ Externe oorzaken \*)

Buismateriaal	Faalkans Per meter per jaar
staal (hoge druk)	$0,8 \times 10^{-6}$
staal (lage druk)	$2,5 \times 10^{-4}$
grijs gietijzer	$5,0 \times 10^{-4}$
nodulair gietijzer	$0,5 \times 10^{-4}$
PVC	$1,5 \times 10^{-4}$
PE	$1,0 \times 10^{-4}$
gewapend beton zonder plaatstalen kern	$0,5 \times 10^{-4}$
gewapend beton met plaatstalen kern	$0,1 \times 10^{-4}$
asbestcement	$0,5 \times 10^{-4}$

*\*) geen faalkansen sterkte leiding beschikbaar*

# Toetsspoor NWOoc

- Grote NWO's (pijlers, aanlegsteigers etc.)
  - Zie toetsspoor NWObe
- NWO's waar geen voorschriften voor zijn (b.v. windturbines)
  - Toets op maat
- Kleine NWO's (dijk-/wegmeubilair etc.)
  - Worden niet beoordeeld



**Meer informatie**  
STOWA

[opleidingen@stowa.nl](mailto:opleidingen@stowa.nl)

[www.opleidingen.stowa.nl](http://www.opleidingen.stowa.nl)