



# Betrouwbaarheid sluiting kunstwerken (BSKW)

Rob Delhez  
(Greenrivers)

Pilot-cursus Kunstwerken  
10 november 2016





# Inhoud

- ⇒ Beschrijving faalmechanisme *betrouwbaarheid sluiting*
- ⇒ Theorie
- ⇒ Eenvoudige toets
- ⇒ Gedetailleerde toets



# Algemeen

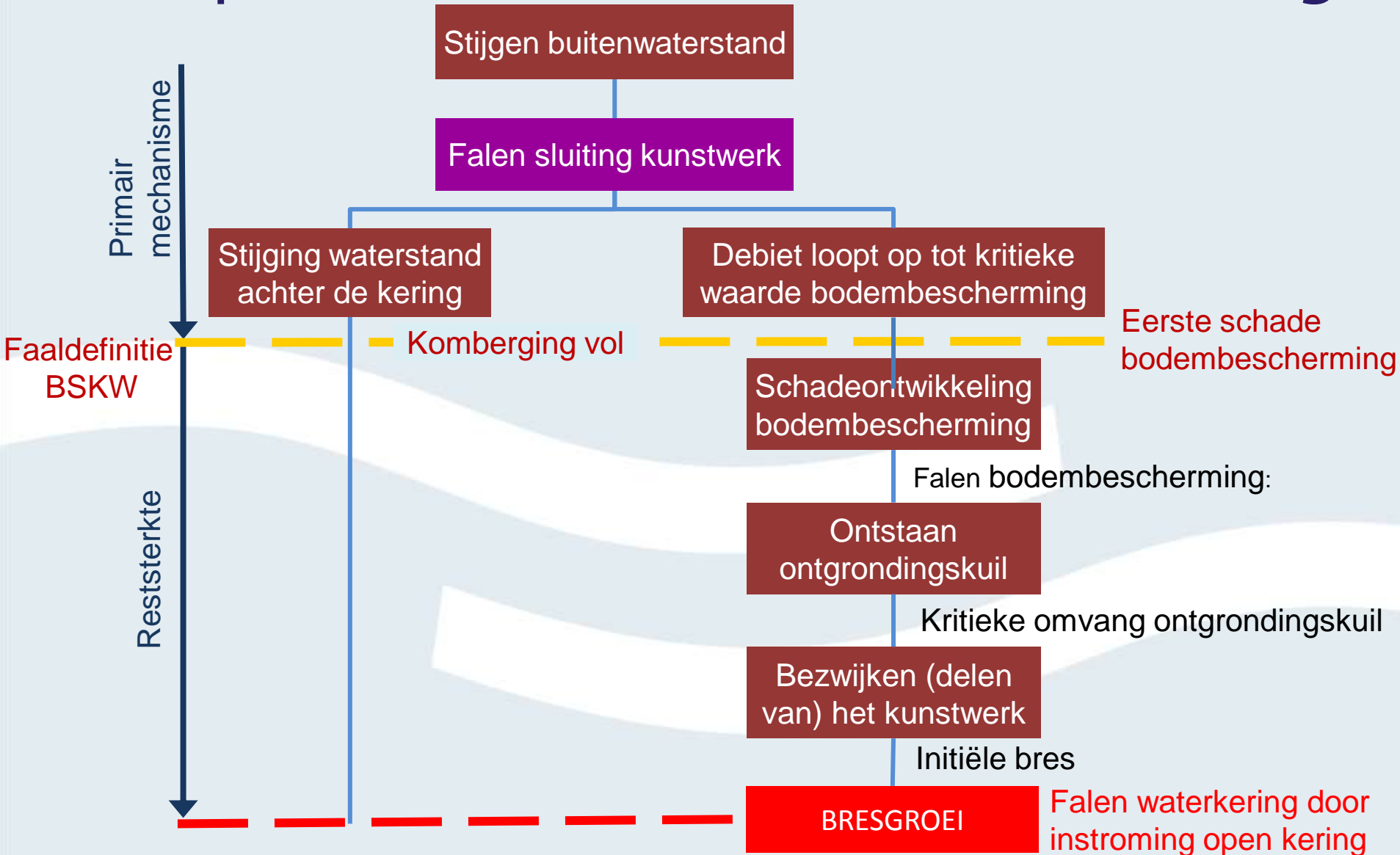
⇒ Probabilistische toets

⇒ Faalkanseis

$$P_{eis,KW} = \frac{\omega \cdot P_{eis}}{N_{KW}} = \frac{0,04 \cdot P_{eis}}{\max\{1; 0,5 \cdot n_{2a}\}}$$

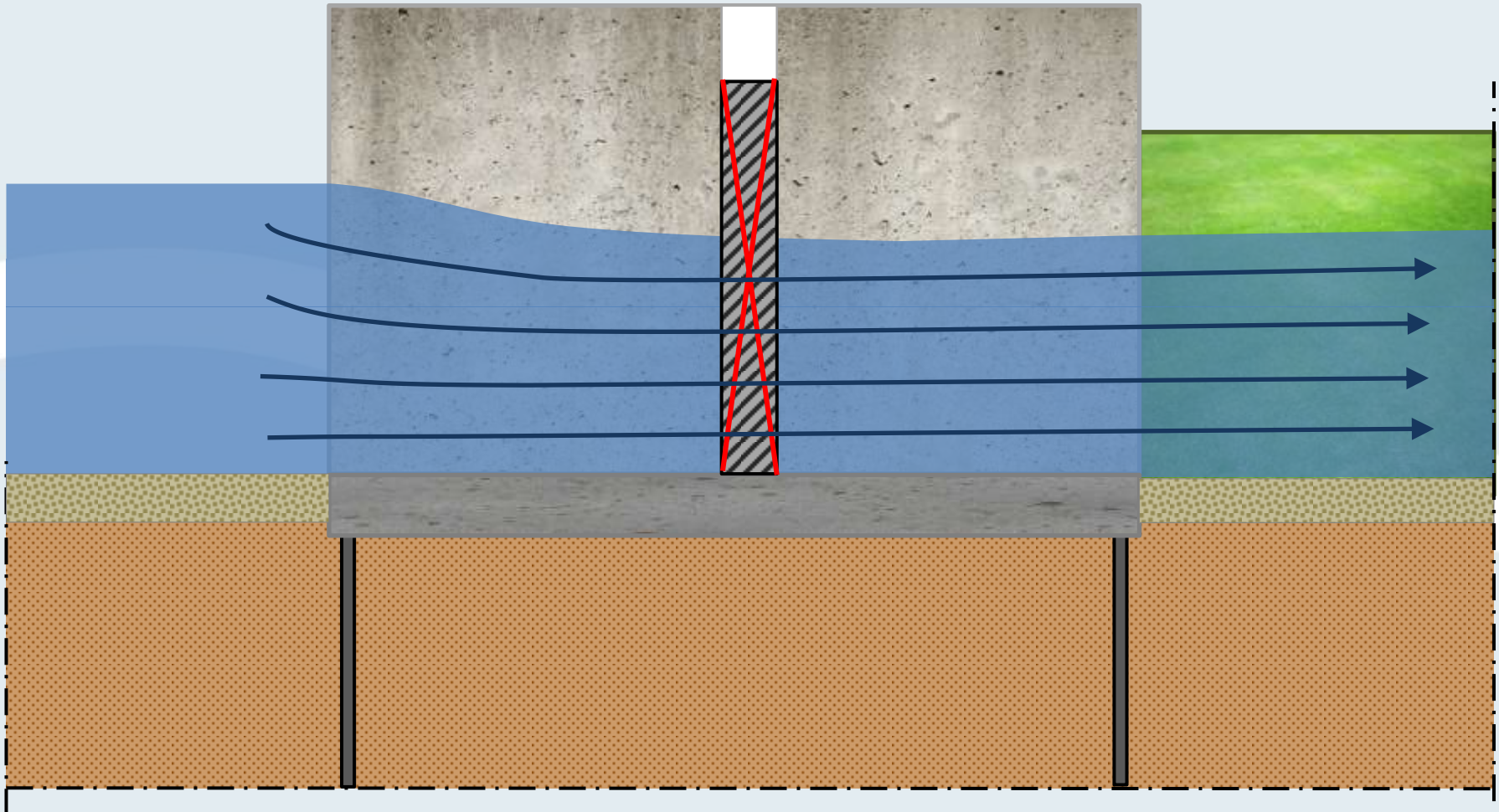
Toetsspoor	Duinen	Dijken en dammen
Hoogte kunstwerk (HTKW) of* Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	0	0,24
Piping (STPH)	0	0,24
Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	0	0,04
	0	0,01
Golfklappen op asfaltbekleding (AGK)		
Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)	0	0,05
Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)	0	0,01
Stabiliteit steenzetting (ZST)	0	0,03
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)	0	0,04
Piping bij kunstwerk (PKW)	0	0,02
Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp)	0	0,02
Duinafslag (DA)	0,70	0
Overige toetssporen	0,30	0,30

# Faalproces *betrouwbaarheid sluiting*





# Voorbeeld keersluis





# Theorie *betrouwbaarheid sluiting*

$$P_{f;ns} = P\{V_{open} > V_{toel}\} = N\{h > OKP\} \times P_{open} \times P_{ns} \times P_{f;herstel}$$

**$N\{h > OKP\}$** : Gegeven geopend kunstwerk:

$$Q_{instroom} \leq Q_{toel}.$$

$$Q_{instroom} \leq \min \left\{ \begin{array}{l} Q_{kr;bodem} \\ Q_{kr;kom} \end{array} \right\}$$

**$P_{open}$** : Kans dat kunstwerk open staat bij naderend hoogwater

**$P_{ns}$** : Kans dat 'normale' sluiting van kunstwerk faalt

**$P_{f;herstel}$** : Kans dat herstel van gefaalde sluiting faalt

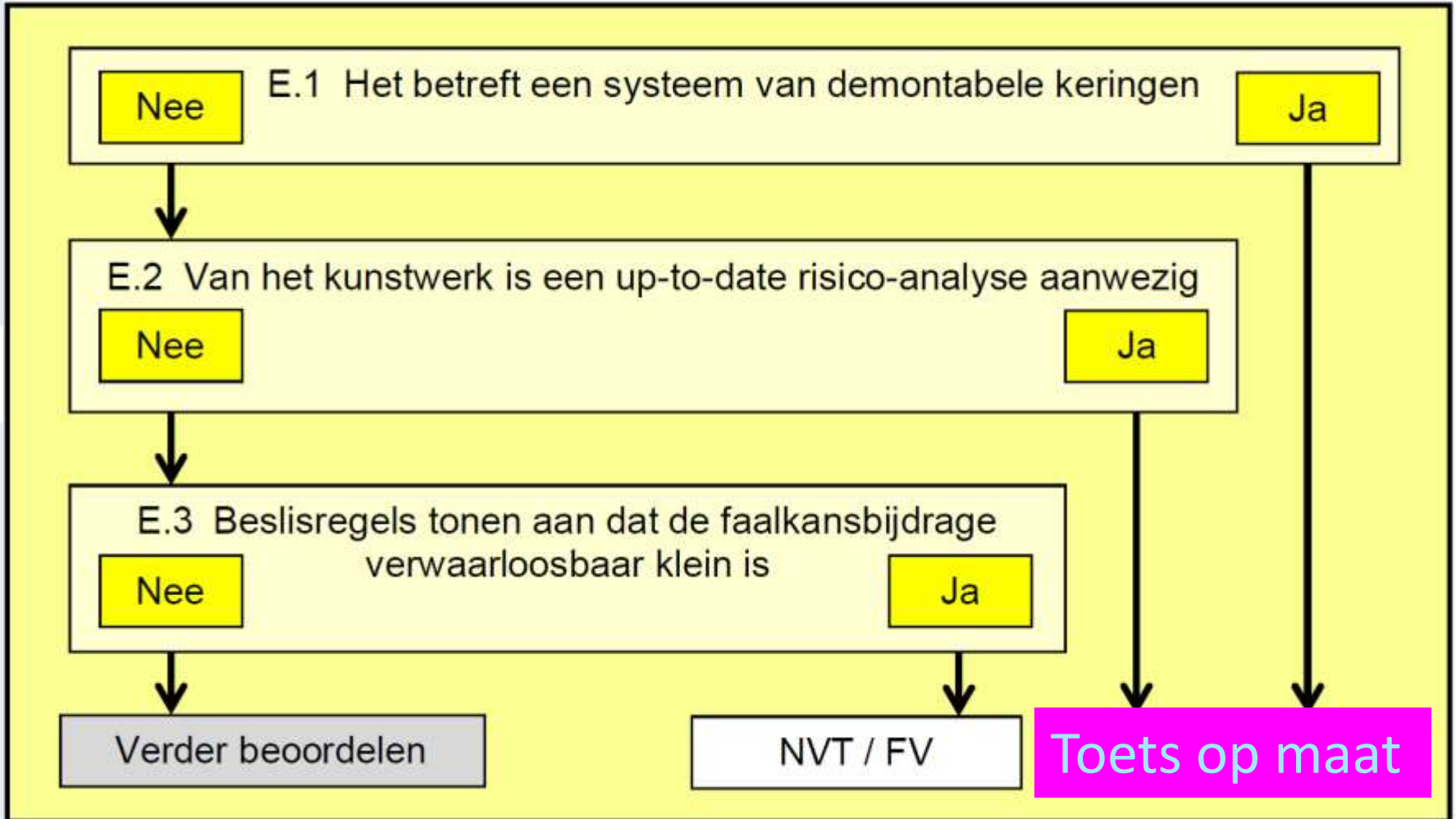


# Theorie *betrouwbaarheid sluiting*

- ⇒ Instromend debiet  $Q_{\text{instroom}}$ :
  - Buitenwaterstand ( $h$ )
  - Golfhoogte ( $H_s$ )
  - Kerende hoogte **niet gesloten kering ( $h_{\text{kr};\text{ns}}$ )**
  
- ⇒ Kritiek debiet bodembescherming  $Q_{\text{kr};\text{bodem}}$ :
  - Kritieke stroomsnelheid  $u_{\text{c};\text{bodem}}$
  - Oppervlak doorsnede  $A_{\text{natte doorsnede}}$
  
- ⇒ Kritiek debiet komberging  $Q_{\text{kr};\text{kom}}$ :
  - Kritiek peilstijging  $\Delta h_{\text{kom}}$
  - Kombergend oppervlak  $A_{\text{kom}}$



# Eenvoudige toets







# Beslisregels

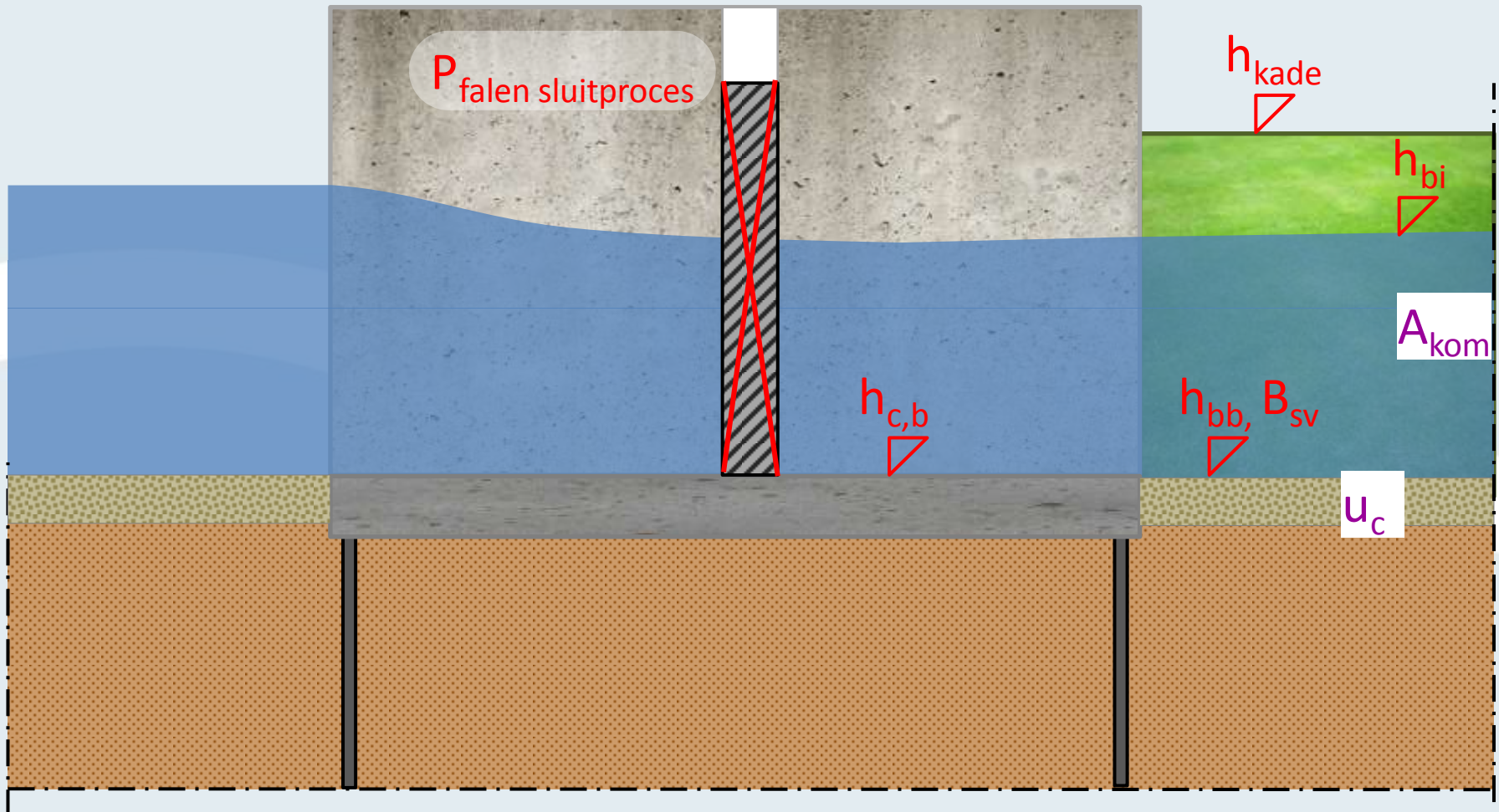
- A. Gemaal:** 2 hoogwaterkerende keermiddelen met pomp gekoppeld.
- B. Gemaal en in- en uitwateringssluis:** één watervoerende leiding ( $\emptyset \leq 500$  mm) en minimaal één hoogwaterkerend keermiddel
- C. Gemaal:** Leiding ( $\emptyset \leq 1,0$  m), minimaal één hoogwaterkerend keermiddel en binnendijkse instroomhoofd buiten de invloedzone.
- D. Schutsluis:** Kerende hoogte in gesloten toestand is overal gelijk en er zijn geen situaties waarbij schutsluis helemaal geopend staat.
- E. Uitwateringssluis:** De uitwateringssluis of vrij verval rioolleiding met binnendijks hooggelegen inspectieput en één keermiddel.

# Stappenplan

1. Hydraulische belastingen
2. Beschikbare gegevens o.a. veldbezoek, **ervaringen**
3. Schematisering sluiting
4. Schematisering bodembescherming
5. Schematisering komberging
6. Toetsing
7. Analyse.....

Terug naar stap 2???

# Gedetailleerde toetsing



# Gedetailleerde toetsing

2

Aantal en configuratie doorstroomopeningen in een kunstwerk is van belang. Dit zit in preprocessing en niet in Ringtoets.

$$P_{fa;sluitproces} = (n \times P_{ns}) = P_{ns,tot}$$

n: Aantal identieke doorstroomopeningen

$P_{ns}$  Kans op niet sluiten van een doorstroomopening per vraag



# Kans op niet sluiten $P_{ns}$

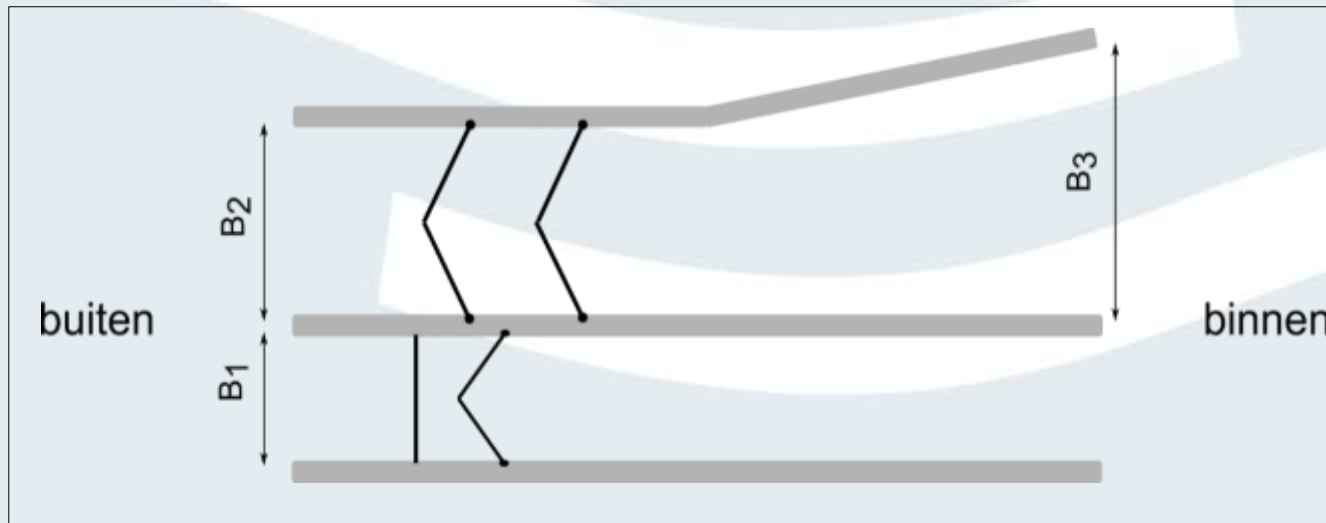
$P_{ns}$  is afhankelijk van type keermiddel

- ⇒ Keermiddel dat vaak wordt gebruikt bv vanuit primaire functie ⇒ **standaard faalkansen.**
- ⇒ Keermiddel dat alleen gesloten wordt ivm hoogwaterkeren ⇒ **'scoretabellen'**



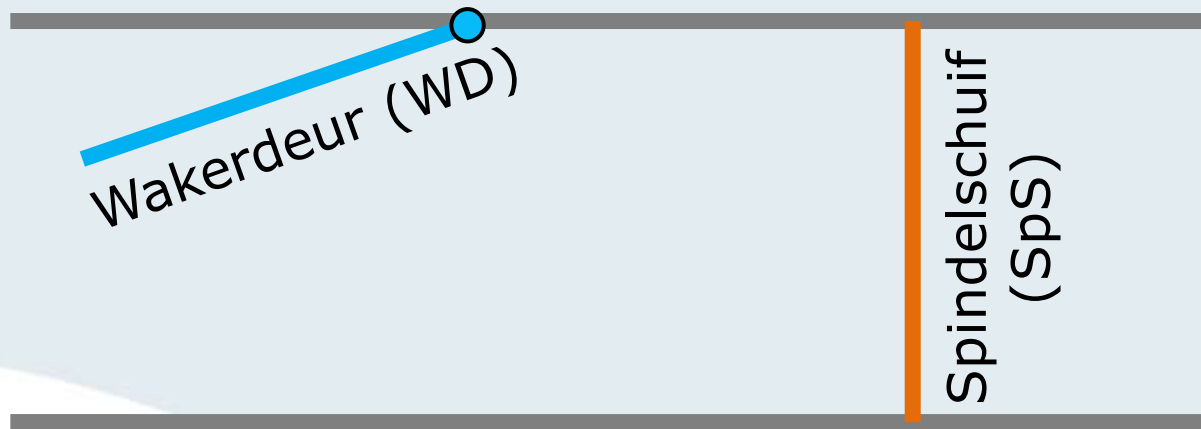
# Kans op niet sluiten

- $n=1$ : normale procedure
- $n>1$  en onafhankelijkheid: meerdere keren normale procedure
- $n>1$  en afhankelijkheid: totaal apart bekijken





# n=1, een doorgang



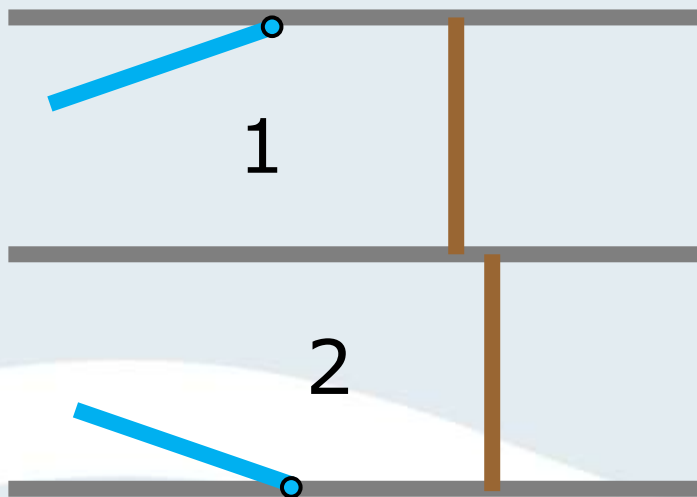
$P_{ns;SpS}$ : scoretabellen LK = bv  $10^{-2,5} = 3,16 \cdot 10^{-3}$  1/vraag

$P_{ns;WD}$ : bv  $10^{-3}$  per vraag

$$\begin{aligned} P_{ns,tot} &= n \cdot P_{ns} = n \cdot (P_{ns;SpS} \times P_{ns;WD}) = \\ &= 1 \cdot (3,16 \cdot 10^{-3} \times 10^{-3}) = 3,16 \cdot 10^{-6} \text{ per vraag} \end{aligned}$$



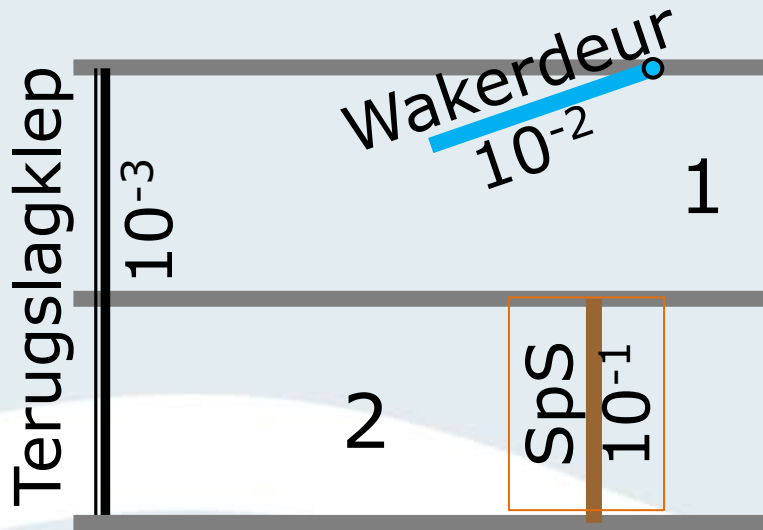
# n=2, onafhankelijk



1	2	Berekening	$P_{ns}$ [1/vraag]
Open	Open		
Open	Dicht		
Dicht	Open		
Dicht	Dicht		



# n=2, afhankelijk



1	2	TK	WD	SpS	$P_{ns}$ [1/vraag]
Open	Dicht				
Dicht	Open				
Open	Open				
Dicht	Dicht				

# Gedetailleerde toetsing

Instroommodel

Direct contact tussen binnen- en buitenwater?

Nee

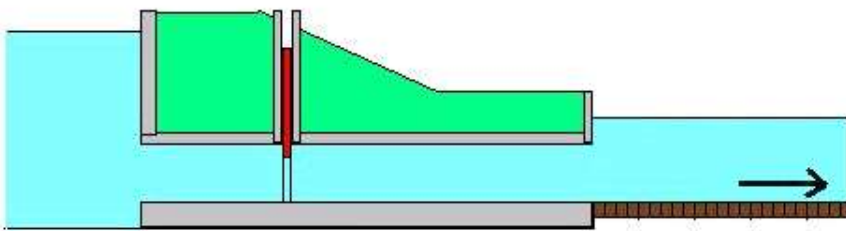
Ja

Doorstroombaar oppervlak ligt geheel onder water

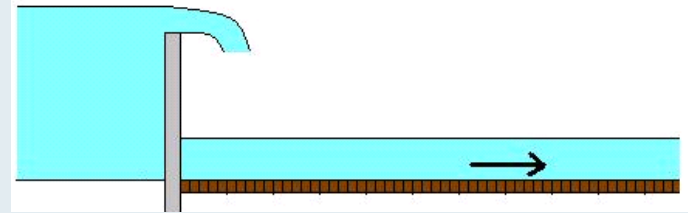
Nee

Ja

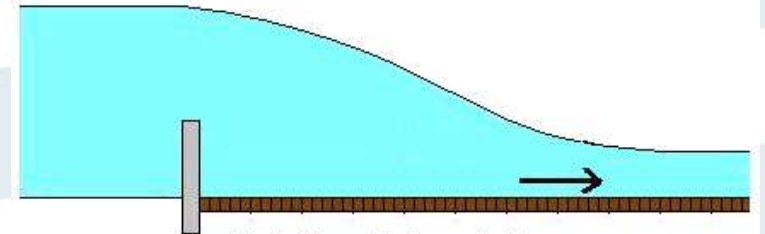
**Verdronken koker**  
Gemaal, uitwateringssluis



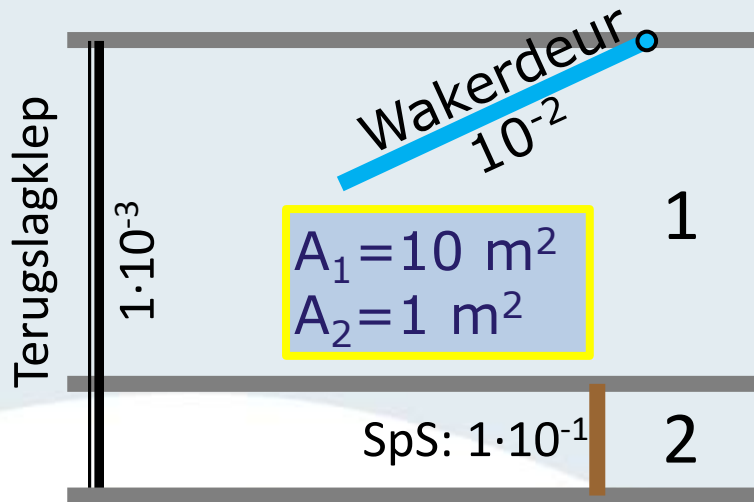
**Hoge drempel/vertikale wand**  
schutsluis met gesloten schutdeuren en open hoogwaterkerend keermiddel



**Lage drempel**  
Keersluis



# Instromend debiet



1	2	$P_{ns}$ [1/vraag]	A [m <sup>2</sup> ]	Volgorde
Open	Dicht	$9,0 \cdot 10^{-6}$	10	
Dicht	Open	$9,9 \cdot 10^{-5}$	1	
Open	Open	$1,0 \cdot 10^{-6}$	11	
Dicht	Dicht	$\approx 1,0$	-	-



# Instromend debiet

$$Q_{instream} = f_{actor} \times A \times \sqrt{2 \times g \times \Delta h}$$

**Stroomsnelheid 'u'**

Na  $P_{ns}$  twee deelfaalmechanismen:

- Komberging (A en u)
- Bodembescherming (u)

Stel uitkomst eerste som:

Faalkans voldoet niet. Hoe nu verder?



# Instromend debiet

⇒ Stel bodembescherming maatgevend

Scenario	Koker 1	Koker 2	$P_{ns}$ [1/vraag]	A [m <sup>2</sup> ]
1	Open	Dicht	$9,00 \cdot 10^{-6}$	10
2	Dicht	Open	$9,90 \cdot 10^{-5}$	1
3	Open	Open	$1,00 \cdot 10^{-6}$	11

$$\text{'gevolg'} = P_{\text{falen,bodem}} = P_{f,bs} / P_{ns}$$

Waar ga je nu mee rekenen?



# Instromend debiet

⇒ Stel komberging maatgevend

Scenario	Koker 1	Koker 2	$P_{ns}$ [1/vraag]	A [m <sup>2</sup> ]
1	Open	Dicht	$9,00 \cdot 10^{-6}$	10
2	Dicht	Open	$9,90 \cdot 10^{-5}$	1
3	Open	Open	$1,00 \cdot 10^{-6}$	11

Waar ga je nu mee rekenen?

# Gedetailleerde toetsing

4

Kans op open staan  $P_{\text{open}}$

1. Coupure in stadsmuur
2. Schutsluis 8 uur per dag bediend. Buiten bediende tijd hoogwaterkerend gesloten middels aparte stormvloeddeur
3. Keersluis voor recreantenhaven  $P_{\text{open}} = 1/365$
4. Uitwateringssluis gemiddeld 50 dagen per jaar geopend om te lozen  $P_{\text{open}} = 50/365$

# Een stapje verder...betrekken primaire functie

Uitwateringssluis per jaar gemiddeld 50 keer ( $=N_{open}$ )gedurende 1 dag ( $=T_{open}$ ) geopend om te lozen.

- Automatische sluiting.
- Indien sluiting faalt  $\frac{1}{2}$  dag ( $=T_{rep}$ )reparatietijd.
- Faalkans sluiting  $P_{ns} = 1,0 \cdot 10^{-3}$  per vraag

$$P_{open, functie} = N_{open} \times T_{open} = 50 \times \frac{1}{365} = \frac{50}{365}$$

$$P_{open, reparatie} = P_{ns} \times T_{rep} \times N_{open} = P_{ns} \times \frac{1/2}{365} \times 50 = \frac{25}{365} \times P_{ns}$$



$$P_{falen,sluiting} = P_{ns} \times P_{open,functie} + P_{open,reparatie} = P_{ns} \times N_{open} \times (T_{open} + T_{rep})$$

In instrumentarium:

$$P_{open} = N_{open} \times (T_{open} + T_{rep}) \quad T \text{ uitgedrukt in jaar}$$

Coupure in stadsmuur.  $N_{open} = 1$ ,  $T_{open} = 1$ ,  $T_{rep}$  hier niet van belang

Uitwateringssluis.  $N_{open} = 50$ ,  $T_{open} = 1/365$  jaar,  $T_{rep} = 1/2/365$  jaar,

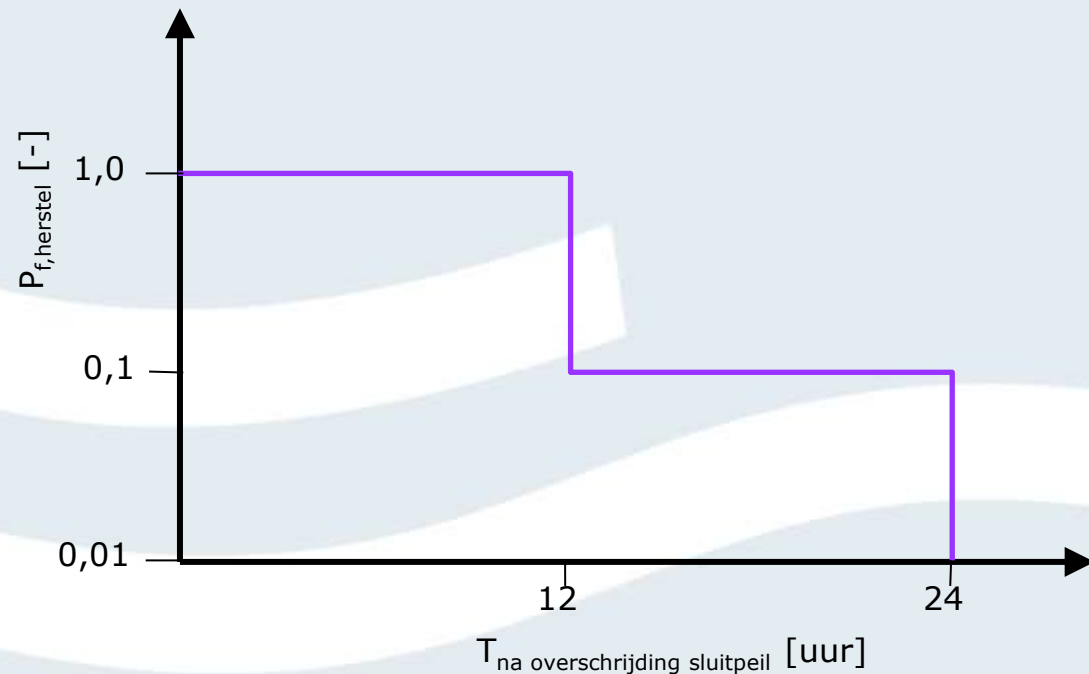
$$P_{open} = 50 \times (1/365 + 1/2/365) = 75/365 \approx 0,21$$

# Gedetailleerde toetsing

5

Kans op herstel gefaalde sluiting ( $P_{f,herstel}$ )

- ⇒ Beschikbare tijd
- ⇒ Tijdsduur herstel
- ⇒ Bereikbaarheid
- ⇒ Afmetingen
- ⇒ Te keren verval
- ⇒ Oorzaken falen



Standaard  $P_{f,herstel} = 1$

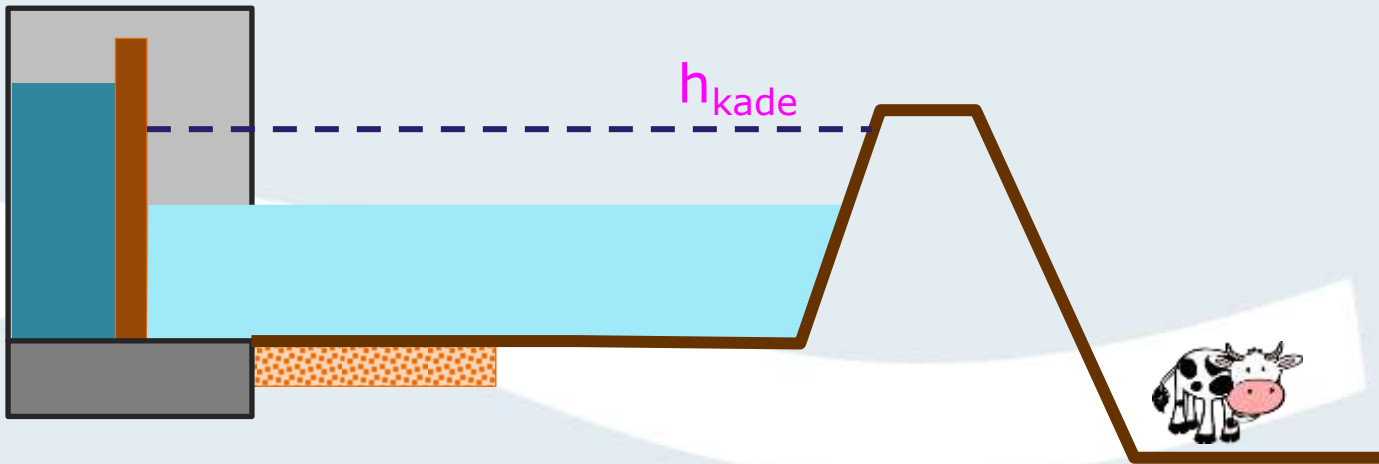


# Gedetailleerde toetsing

6

## Praktische tips komberging/bodembescherming

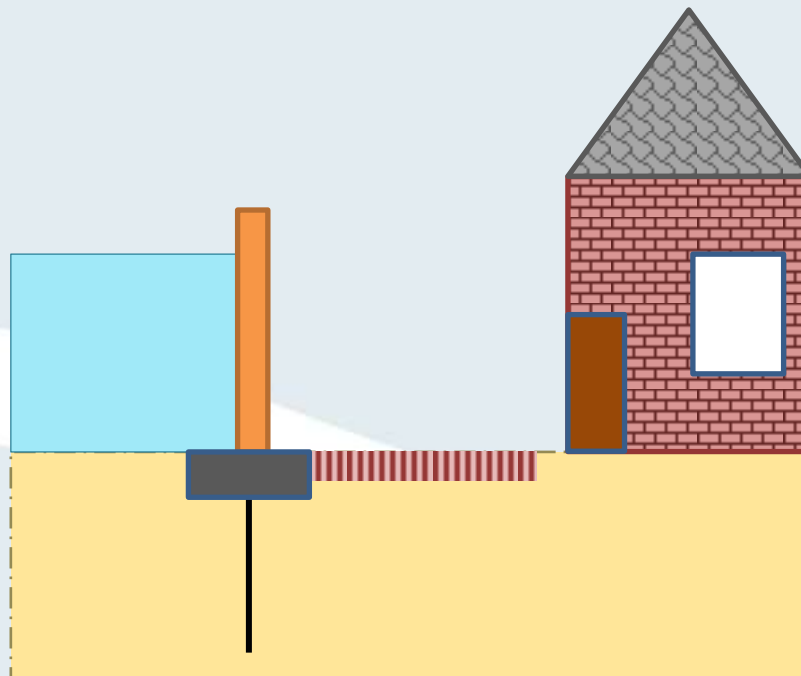
1



- Komberging maatgevend (klein)
- $h_{bi} = h_{kade}$
- Komberging of bodembescherming zeer klein maken




## Praktische tips komberging/bodembescherming 2



- In eerste instantie (nagenoeg) geen instroming
- Komberging heel klein
- Kritiek debiet bodembescherming zeer beperkt houden



## Praktische tips komberging/bodembescherming 3

- 
- Relatief grote komberging
  - Op voorhand bodembescherming maatgevend
  - Komberging 'uitschakelen' door grote waarde voor komberging in te voeren (hoeft geen relatie met praktijk te hebben)

# Werkwijze bij *betrouwbaarheid sluiting*

- ⇒ Kies instroommodel
- ⇒ Bekijk situatie ten aanzien van komberging
- ⇒ Constateer gemiddeld gebruik kunstwerk ( $P_{open}$ )
- ⇒ Bepaal kans op niet sluiten
- ⇒ Kans herstel gefaalde sluiting = 1
- ⇒ Maak analyse
- ⇒ Faalkans niet voldoende klein, dan optimaliseren (bv  $P_{f,herstel}$ )

# Meer informatie

- ⇒ Algemeen: [www.opleidingen.stowa.nl](http://www.opleidingen.stowa.nl)
  
- ⇒ Cursusmateriaal: Presentaties, video's en oefenbestanden staan op [www.wbigebruikers.deltares.nl](http://www.wbigebruikers.deltares.nl) (zie onder 'opleidingen WBI')
  
- Presentaties ook beschikbaar via [www.opleidingen.stowa.nl](http://www.opleidingen.stowa.nl)
  
- Video's ook beschikbaar via [http://www.stowavideo.nl/pdf/INNW/modulen\\_overzicht\\_videos.pdf](http://www.stowavideo.nl/pdf/INNW/modulen_overzicht_videos.pdf)
  
- ⇒ Vragen over cursussen: [opleidingen@stowa.nl](mailto:opleidingen@stowa.nl)
  
- ⇒ Vragen over WBI-software en Generale repetitie: [helpdeskGR@deltares.nl](mailto:helpdeskGR@deltares.nl)