

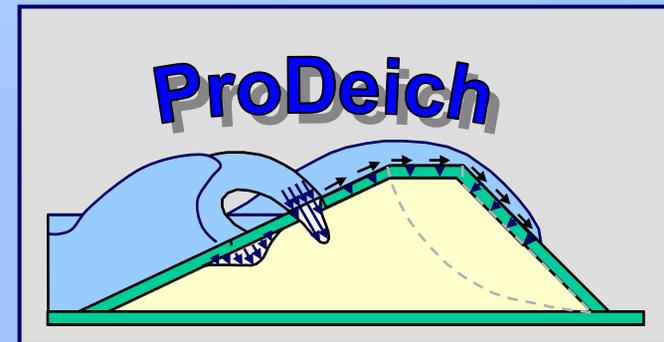
Probabilistische Bemessungsmethoden für Seedeiche (ProDeich)

H. Oumeraci, A. Kortenhaus

Leichtweiß-Institut (LWI)
Technische Universität Braunschweig

W. Richwien, R. Weißmann

Institut für Grundbau und Bodenmechanik (IGBE)
Universität Duisburg-Essen



- Einleitung
- Beispieledeiche
- Versagensmechanismen
 - ⇒ Schadensanalysen, Überblick und Erweiterung
- Unsicherheiten und Level II / III Berechnung
 - ⇒ Unsicherheiten (Parameter und Modellfaktoren)
 - ⇒ Berechnungsverfahren (Level II und III)
- Fehlerbaum
 - ⇒ Ermittlung der Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit
 - ⇒ Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit
- Fallstudien
- Zusammenfassung / Ausblick

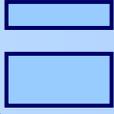
- Gegenwärtige Ansätze (Bemessungswasserstand)
 - ⇒ Sicherheitsreserven des Deiches werden nicht berücksichtigt
 - ⇒ andere Versagensmechanismen werden nicht berücksichtigt
- Machbarkeit probabilistischer Ansätze
 - ⇒ Untersuchung für ‚bekannte‘ Bauwerke
 - ⇒ Aufzeigen der Vorteile probabilistischer Methoden
 - ⇒ Aufdecken von Schwachstellen
- Einbindung in Risikoanalysen für den Küstenraum
 - ⇒ probabilistische Methoden sind eine der Grundlagen für Risikoanalysen
 - ⇒ zusammen mit Schadenserwartung (s. z.B. MERK) Grundlage für die Bestimmung des Risikos

Weg zur Probabilistik

Mathematik

Deterministik

Umformulierung in Versagensbedingungen

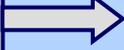


Unsicherheiten von Parametern und Modellen

Daten

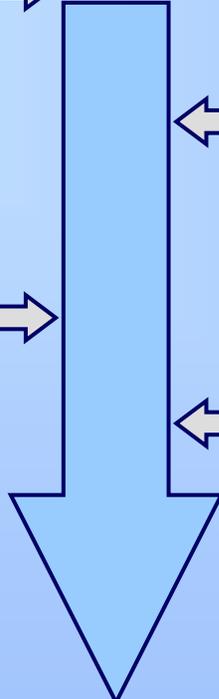


„erweiterte Sensitivitätsanalyse“



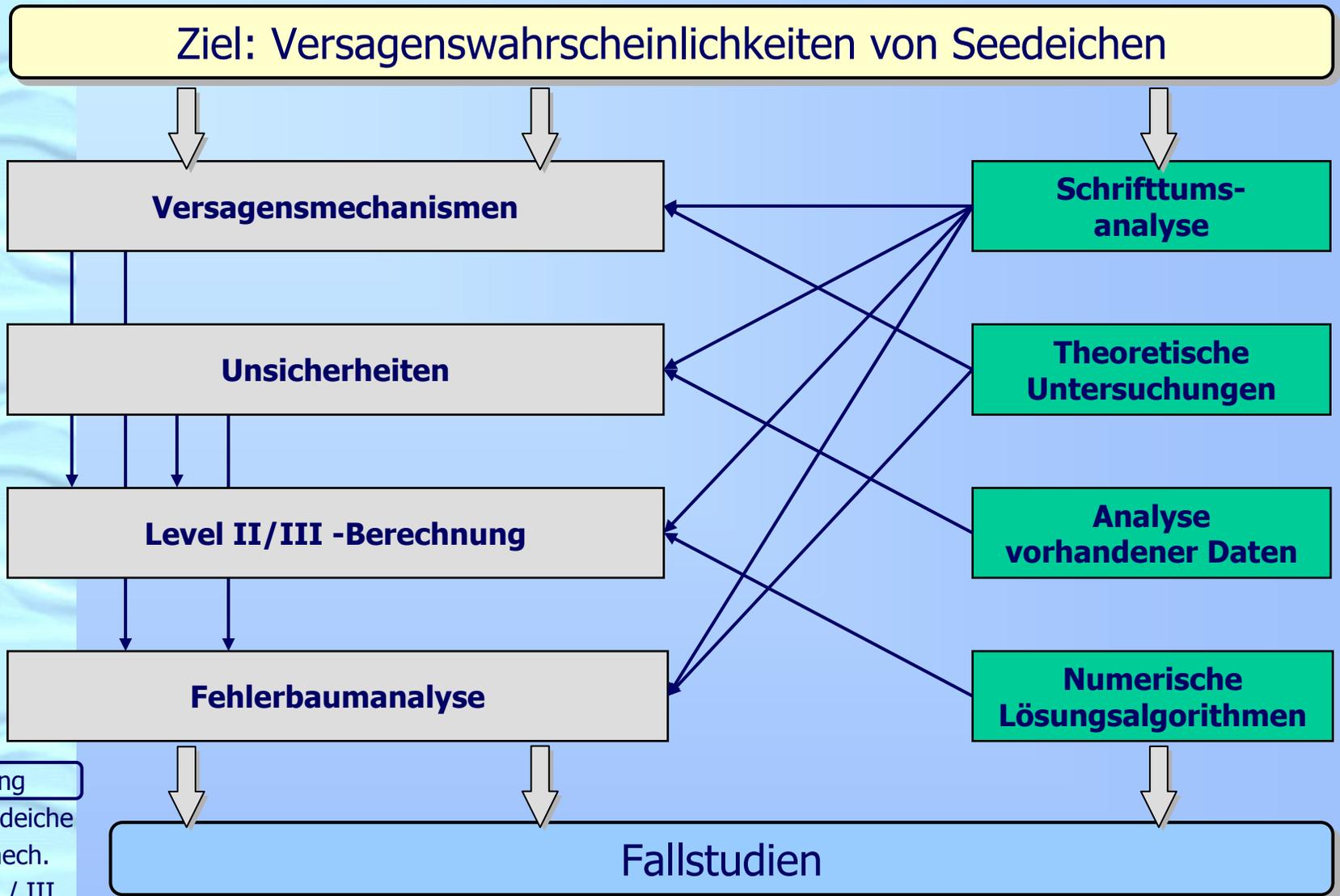
Zusammenhänge beschreiben

Schadensanalyse



Probabilistik

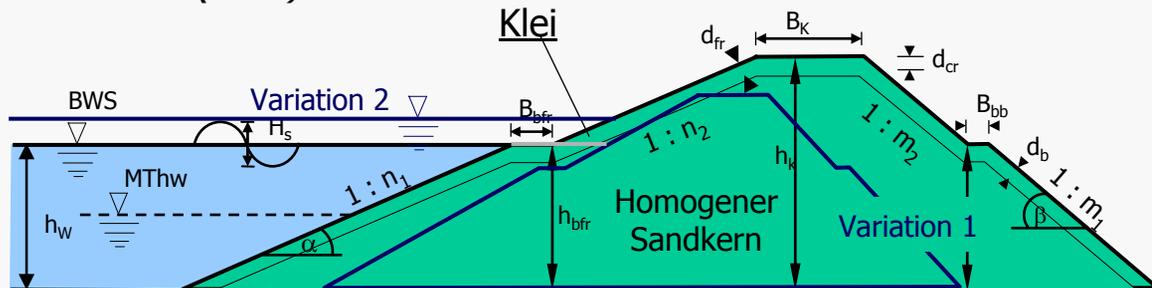
- Einleitung
- Beispieldeiche
- Vers.-mech.
- Level II / III
- Fehlerbaum
- Fallstudien
- Ausblicke



- Einleitung
- Beispieldeiche
- Vers.-mech.
- Level II / III
- Fehlerbaum
- Fallstudien
- Ausblicke

Beispieldeiche

Querschnitt 1 (fiktiv)



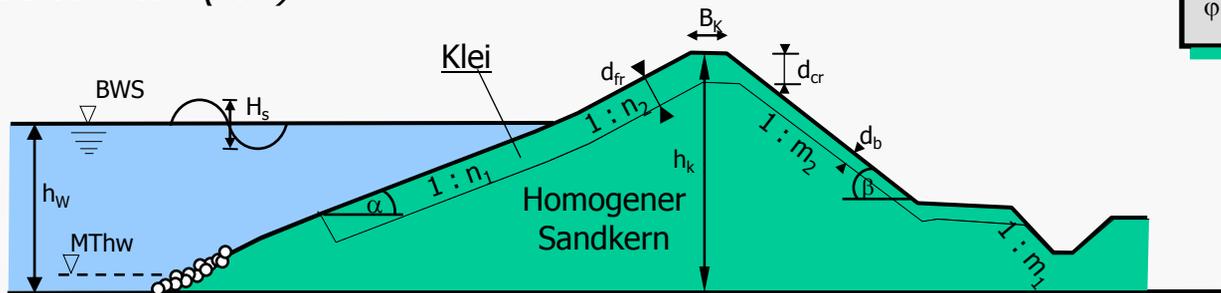
Geometrie:

h_w	=	4,9 m
h_k	=	6,1 m
B_k	=	10,0 m
h_{bfr}	=	3,0 m
B_{bfr}	=	4,0 m
B_{bb}	=	2,0 m
h_{bb}	=	3,0 m
n_1	=	4,0
n_2	=	4,0
m_1	=	2,0
m_2	=	2,0

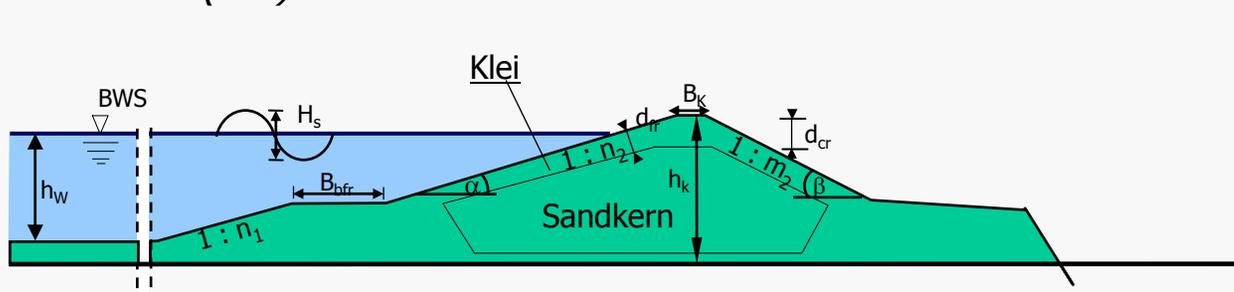
Wellenparameter:

H_s	=	2,0 m
T_p	=	6,0 s
φ	=	0,0 °

Querschnitt 2 (real)



Querschnitt 3 (real)



- Einleitung
- Beispieldeiche
- Vers.-mech.
- Level II / III
- Fehlerbaum
- Fallstudien
- Ausblicke

Fehlermechanismen von Seedeichen (Außenböschung)



Einflussfaktoren auf Schäden durch Deichunterhaltung, Einbauten, Biologie, Deichgrund, Deichgeometrie, Meteorologie, Treibgut



Wellenauflauf / -ablauf auf der Außenböschung

Druckschlagbelastung

Graserosion

Infiltration des Wassers in Spalten, Löcher, etc...

Abschälen des Grases

Löcher

Kliffbildung

Deichbruch

- Einleitung
- Beispieldeiche
- Vers.-mech.
- Level II / III
- Fehlerbaum
- Fallstudien
- Ausblicke

Übersicht aller Versagensmechanismen

Versagensmechanismen an der Außenböschung

- Stabilität des Deckwerks
- Druckschläge
- Auftrieb Deckwerk
- Geschwindigkeit Wellenauflauf
- Erosion der Grasnarbe
- Erosion der Kleischicht
- Klifferosion
- Böschungsbruch

Versagensmechanismen an der Binnenböschung

- Geschwindigkeit Überströmen
- Geschwindigkeit Wellenüberlauf
- Erosion Grasnarbe
- Erosion Kleischicht
- Infiltration
- Durchströmung
- Auftrieb Kleischicht
- Abrutschen Kleischicht
- Böschungsbruch
- Gesamterosion

Versagensmechanismen im Deichinneren

- rückschreitende Erosion (Piping)
- Kontakterosion

Versagensmechanismen Kappensturz

- Kappensturz
- weitere VM wie bei Binnenböschung

Globale Versagensmechanismen

- Überströmen
- Wellenüberlauf
- Deichbruch
- Gleiten

Deichbruch

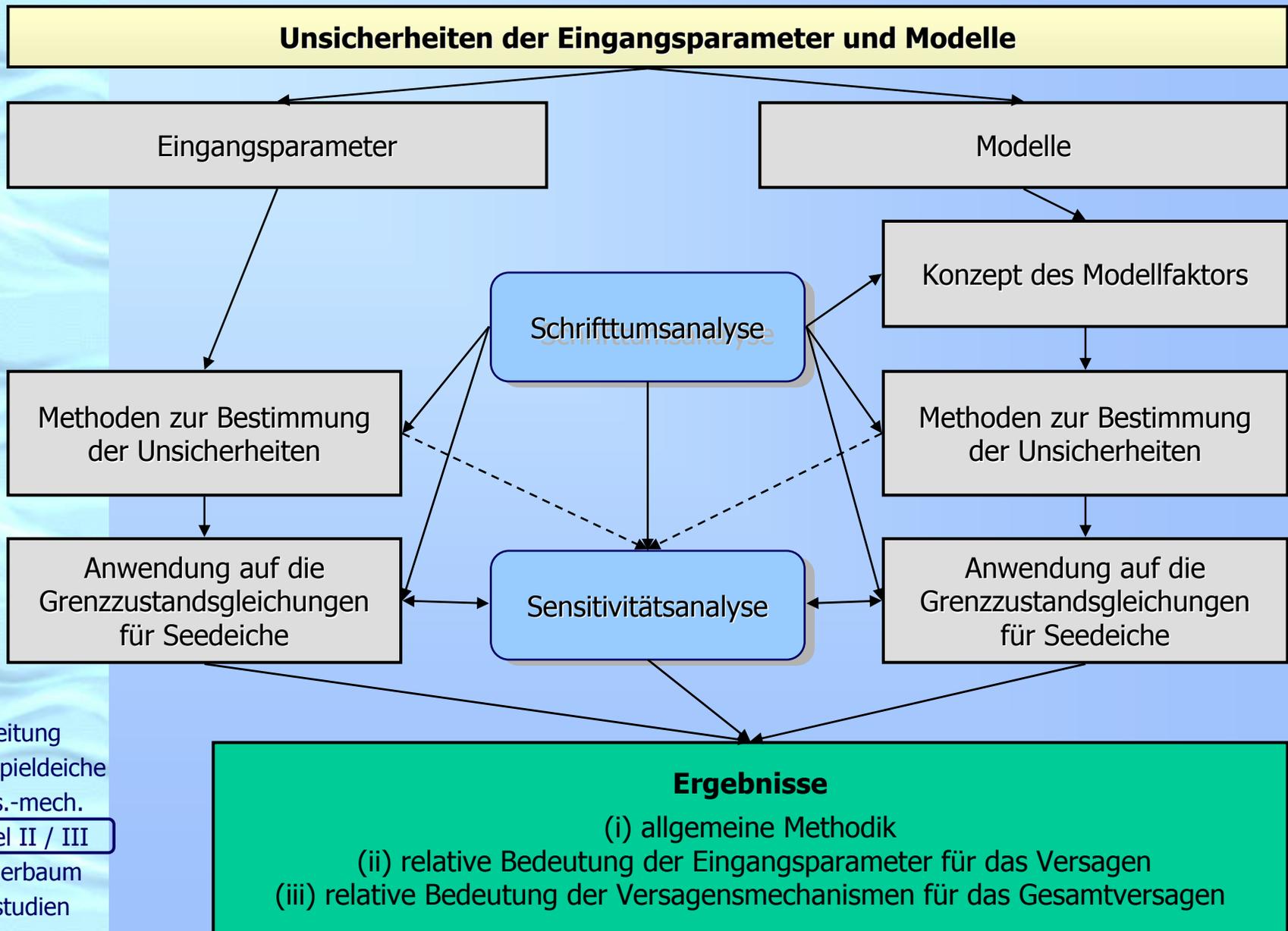
Versagensmechanismen für Deiche

Nr.	Name	Referenz	Vergleich	Einheit
1	Überströmen	Oumeraci et al. (1999)	Freibordhöhe	[m]
2	Wellenüberlauf	Schüttrumpf (2001)	Freibordhöhe	[m]
3	Deichbruch	Visser (1995)	Zeit (Sturmdauer)	[h]
4	Gleiten	DIN (1996): DIN 1054	Kräfte	[kN]
5	Stabilität Deckwerk	Van der Meer (1998)	Steindurchmesser (50%)	[m]
6	Druckschlag Deckwerk	Führböter (1994)	Kräfte	[kPa]
7	Auftrieb Deckwerk	Klein Breteler et al. (1998)	Kräfte	[kPa]
8	Auflaufgeschwindigkeit	Schüttrumpf (2001)	Geschwindigkeit	[m/s]
9	Erosion Gras Außenböschung	TAW 2000	Zeit (Sturmdauer)	[h]
10	Erosion Klei Außenböschung	TAW 2000	Zeit (Sturmdauer)	[h]
11	Klifferosion	INFRAM (2000)	Zeit (Sturmdauer)	[h]
12	Stabilität der Außenböschung	DIN (1983): DIN 4084	Kräfte	[kNm]
13	Geschwindigkeit Überströmen	Schüttrumpf (2001)	Geschwindigkeit	[m/s]
14	Geschwindigkeit Überlauf	Schüttrumpf (2001)	Geschwindigkeit	[m/s]
15	Erosion Gras Binnenböschung	TAW, 2000	Zeit (Sturmdauer)	[h]
16	Erosion Klei Binnenböschung	Rose et al. (1983)	Zeit (Sturmdauer)	[h]
17	Infiltration	Weißmann (1999)	Zeit (Sturmdauer)	[h]
18	Versagen Kappe	DIN (1983): DIN 4084	Kräfte	[kNm]
19	Sickerlinie Binnenböschung	Scheuermann & Brauns (2001)	Zeit (Sturmdauer)	[h]
20	Auftrieb Klei	Richwien & Weißmann (1999)	Kräfte	[kN]
21	Klei Gleiten	Richwien & Weißmann (1999)	Kräfte	[kN]
22	Stabilität Binnenböschung	DIN (1983): DIN 4084	Kräfte	[kNm]
23	Teilbruch Binnenböschung	Visser (1995)	Zeit (Sturmdauer)	[h]
24	Piping	Weijers & Sellmeijer (1993)	Hydraulisches Gefälle	[-]
25	Kontakterosion	De Mello (1975)	Durchmesser	[m]

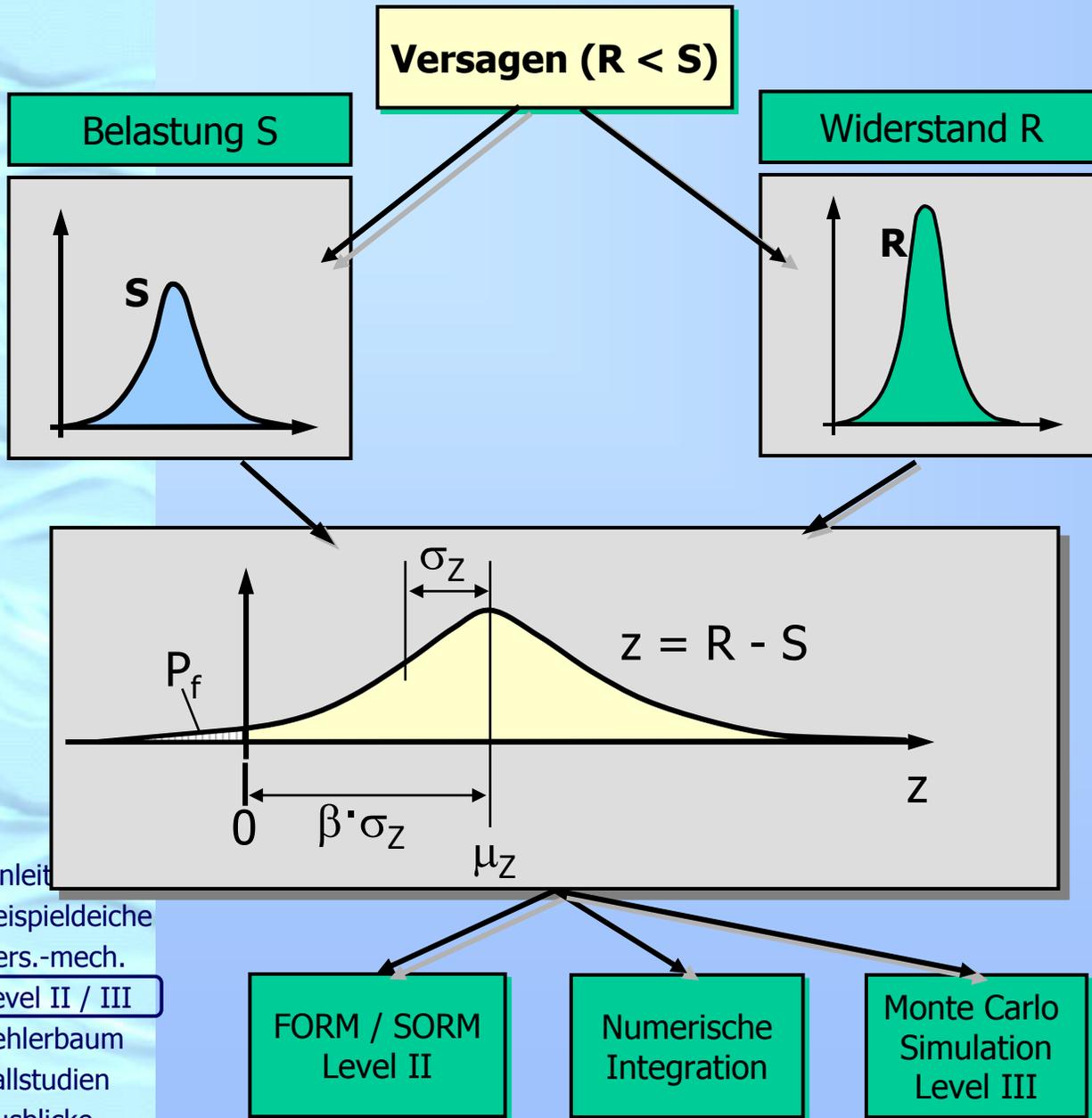
Einleitung
 Beispieldeiche
 Vers.-mech.

Level II / III
 Fehlerbaum
 Fallstudien
 Ausblicke

Methodik zur Bestimmung der Unsicherheiten



Level II/III Verfahren



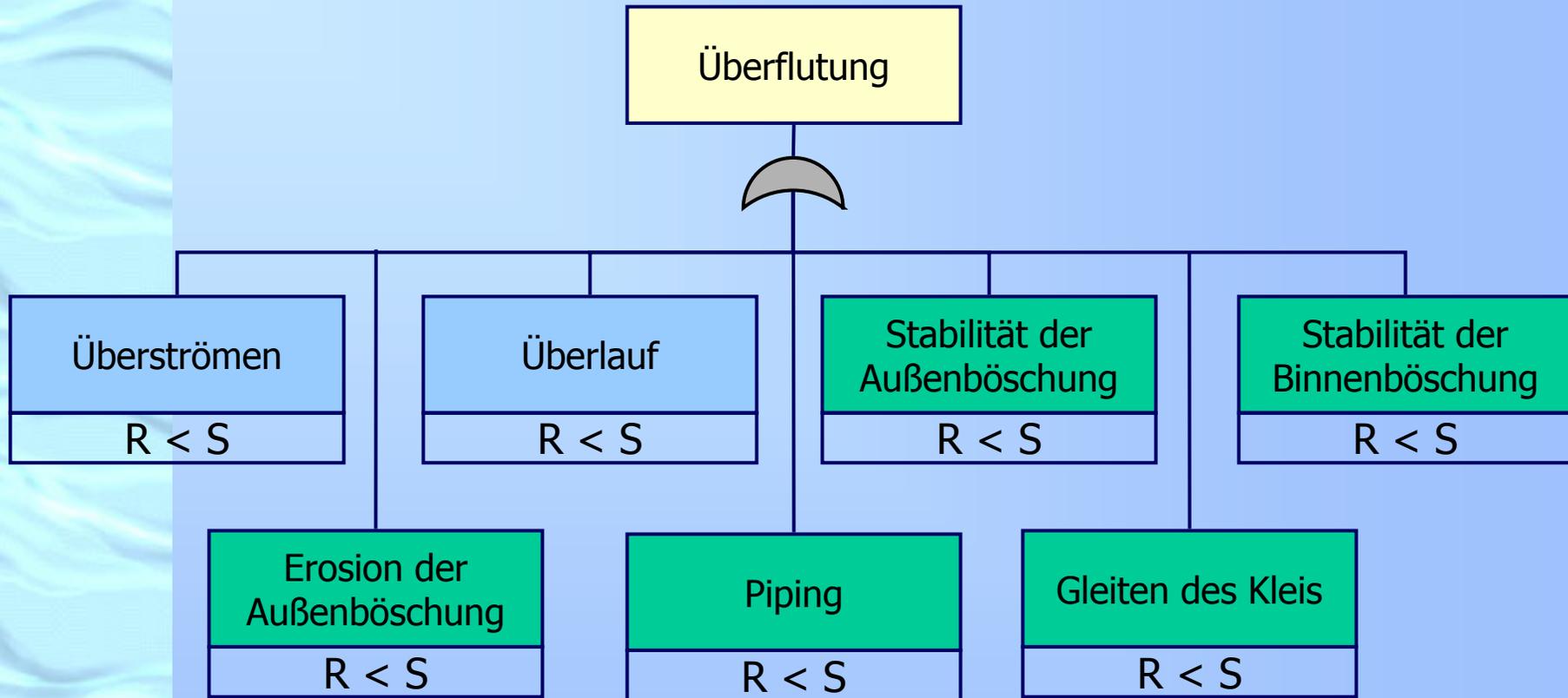
Einleit
Beispieldeiche
Vers.-mech.
Level II / III
Fehlerbaum
Fallstudien
Ausblicke

Ergebnisse Versagensmechanismen

Nr.	Versagensmechanismus	fiktiver Beispieldeich			Nordsee-Deich	Ästuar-Deich
		Urspr. Zustand	Variation 1	Variation 2		
1	Überströmen	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	0,0 ^{*)}	0,0
2	Wellenüberlauf	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$
3	Deichbruch	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	0,0	$1,4 \cdot 10^{-4}$
4	Gleiten	0,0	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,0	0,0
5	Stabilität Deckwerk	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^{-1}$	0,0
6	Druckschlag	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	0,0	0,0
7	Auftrieb Deckwerk	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-2}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$
8	Geschw. Außenböschung	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-1}$	$4,7 \cdot 10^{-1}$	$9,1 \cdot 10^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$
9	Graserosion Außenböschung	$9,95 \cdot 10^{-1}$	$9,95 \cdot 10^{-1}$	$9,95 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
10	Kleierosion Außenböschung	$5,7 \cdot 10^{-1}$	$5,7 \cdot 10^{-1}$	$5,7 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$
11	Erosion Deichkern außen	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$
12	Böschungsbruch außen	0,0	$1,8 \cdot 10^{-3}$	0,0	$1,3 \cdot 10^{-4}$	0,0
13	Geschw. Überströmen	0,0	$3,3 \cdot 10^{-5}$	0,0	0,0	0,0
14	Geschw. Wellenüberlauf	0,0	$2,2 \cdot 10^{-1}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
15	Graserosion Binnenböschung	0,0	$3,7 \cdot 10^{-1}$	0,0	0,0	$1,6 \cdot 10^{-4}$
16	Kleierosion Binnenböschung	0,0	$4,0 \cdot 10^{-2}$	0,0	0,0	0,0
17	Infiltration	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	Kappensturz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	Durchströmung	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
20	Auftrieb Klei Binnenböschung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	Gleiten Klei Binnenböschung	0,0	0,0	0,0	0,0	$2,4 \cdot 10^{-4}$
22	Böschungsbruch Binnenböschung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	Erosion Deich Binnenböschung	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	0,0	$2,4 \cdot 10^{-4}$
24	rückschreitende Erosion	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$	0,0	0,0
25	Kontakterosion	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$

Einleitung
 Beispieldeiche
 Vers.-mech.
 Level II / III
 Fehlerbaum
 Fallstudien
 Ausblicke

Einfacher Fehlerbaum für See- und Ästuardeiche



Ergebnisse Fehlerbaumanalyse

	Beispieldeich 1 (fiktiv)			Beispieldeich 2	Beispieldeich 3
	urspr.	Variation 1	Variation 2		
mittl. Wasserstand h_w [m]	2,85	2,85	3,35	3,02	1,60
Wasserstand für $P_{f,\ddot{u}} = 10^{-4}$ [m]	4,90	4,90	5,78	4,00	4,00
Kronenhöhe h_k [m]	8,00	6,10	8,00	7,60	8,80
Wellenhöhe H_s [m]	2,00	2,00	2,00	2,40	1,65
$P_{f,ges}$ / Jahr (Wellenüberlauf, $q_{zul} = 1 \text{ l/s} \cdot \text{m}$)	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
$P_{f,ges}$ / Jahr (Fehlerbaum)	$8,4 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-6}$
$P_{f,ges}$ / Jahr (Szenarienbaum)	$5,1 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$

Einleitung
 Beispieldeiche
 Vers.-mech.
 Level II / III
Fehlerbaum
 Fallstudien
 Ausblicke

Einfluss von Parametern und Versagensmechanismen

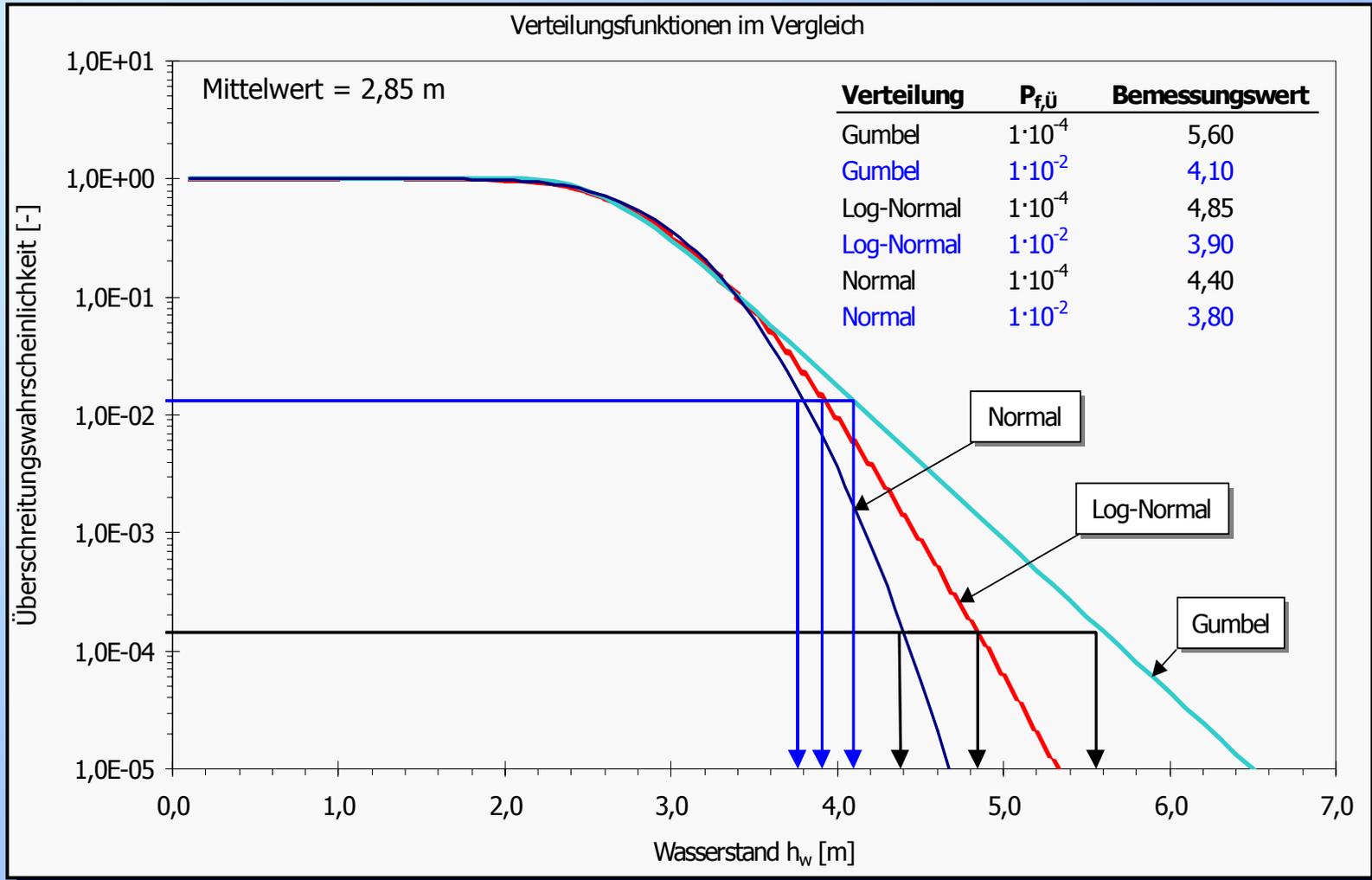
	zul. Überlaufmenge [l/s·m]		
	0,5	1,0	5,0
Überlaufwahrscheinlichkeit	2,5E-3	7,5E-4	1,9E-5

Versagenswahrscheinlichkeit Gesamtsystem		$P(f)_{total} =$	8,4E-6
maßgeblich beeinflusst durch	landseitiger Bruch	$P(f) =$	0,0
	seeseitiger Bruch	$P(f) =$	7,3E-3
	Innere Erosion	$P(f) =$	0,0
	Versagen Kappe	$P(f) =$	0,0
Einfluss wesentlicher Versagensmechanismen auf die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit	Deichbruch	$P(f)_{total} =$	7,3E-3
	Kliffrosion Außenböschung	$P(f)_{total} =$	5,8E-4
	Kleierosion Außenböschung	$P(f)_{total} =$	1,3E-5
	Graserosion Außenböschung	$P(f)_{total} =$	8,4E-6
	Geschwindigkeit Wellenauflauf	$P(f)_{total} =$	1,0E-5

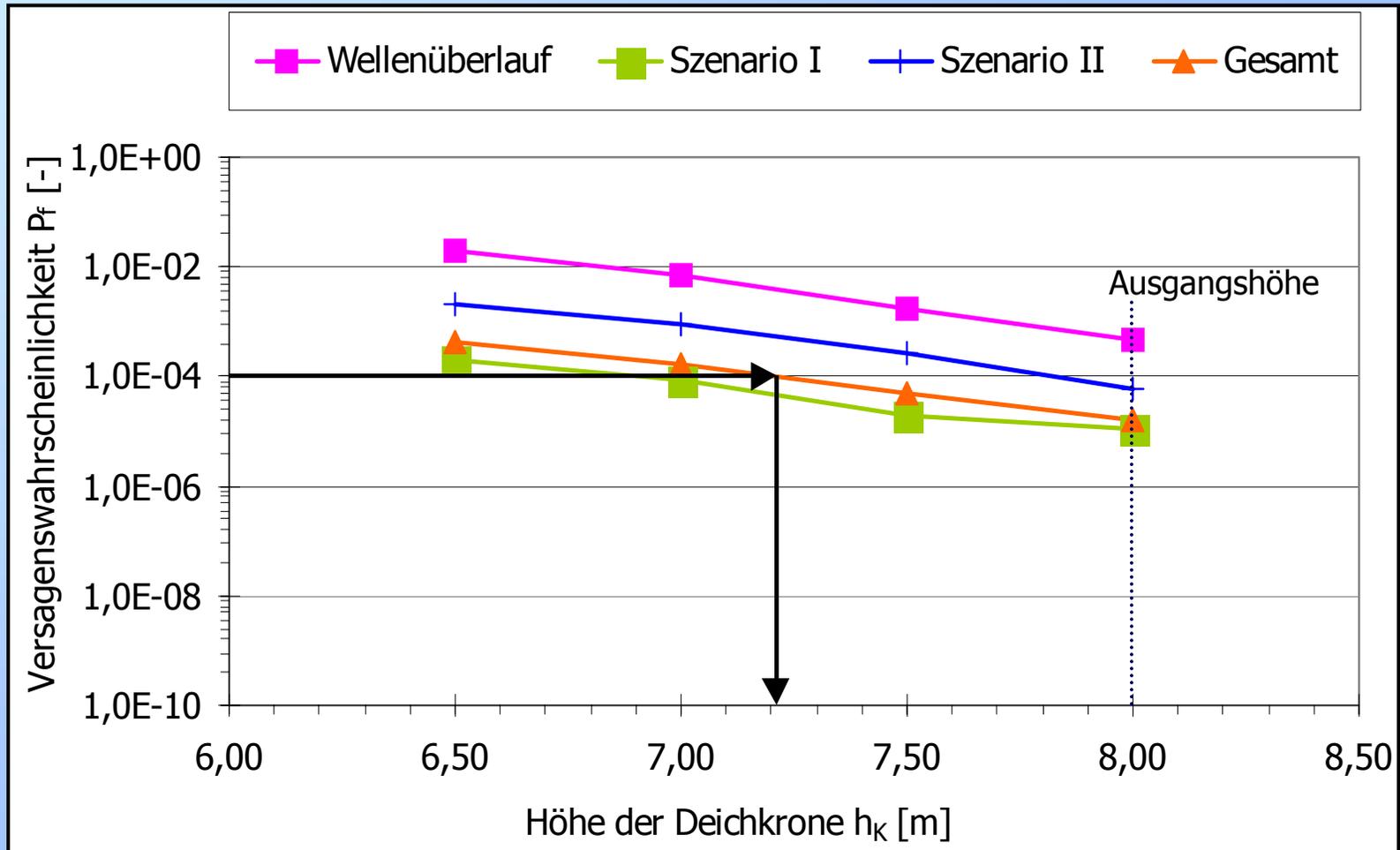
wichtigste Parameter	Anzahl	gewichteter Rang
Wasserstand h_w	13	0,2
Wellenperiode T_p	7	0,3
Sturmdauer t_s	6	0,4
Wellenhöhe H_s	2	1,0

Einleitung
 Beispieldeiche
 Vers.-mech.
 Level II / III
Fehlerbaum
 Fallstudien
 Ausblicke

Bemessungswasserstand



Variation der Kronenhöhe (Beispieldeich 1)



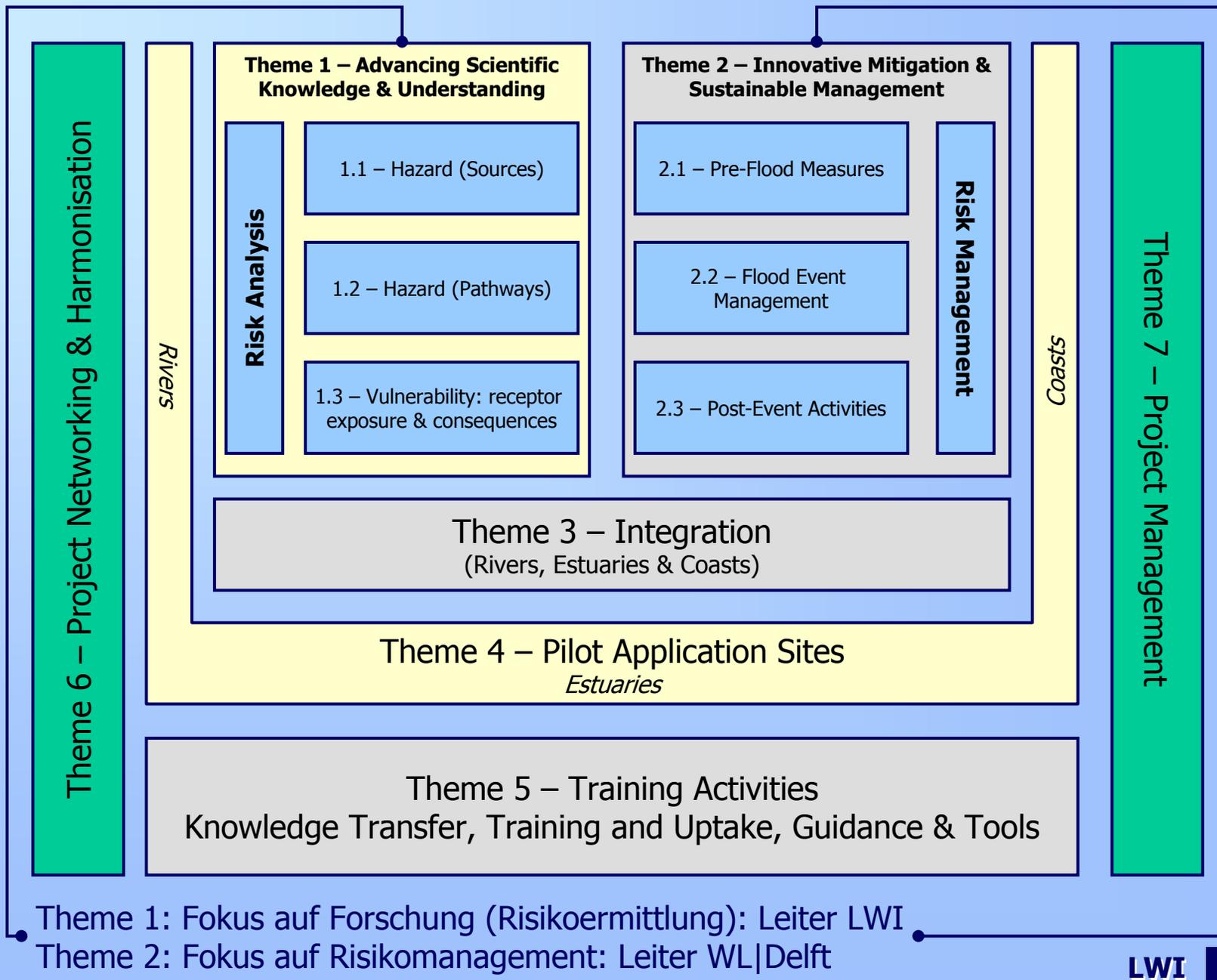
- detaillierte Schadensanalysen als Grundlage für Versagensmechanismen und Fehlerbaum
- verbesserte und neue Grenzzustandsgleichungen wurden verwendet (Ausgangspunkt: bestehender Deich)
- deterministische Berechnungen
 - ⇒ kein Versagen des Deiches bei Verwendung des Fehlerbaums unter determ. Gesichtspunkten
- probabilistische Berechnungen
 - ⇒ Berücksichtigung aller Versagensmechanismen (1-2 Größenordnungen niedrigere Versagenswahrscheinlichkeit)
 - ⇒ wichtigste Versagensmechanismen sind Erosionsmechanismen auf der Außenböschung (daher hier weitere Untersuchungen erforderlich)
 - ⇒ wichtigste Parameter sind Wasserstand, Seegangparameter und Sturmflutdauer

- „Hindcast“ von aufgetretenen Schadensfällen
- Verbesserungen und Erweiterungen der wichtigsten Modelle erforderlich
 - ⇒ Gras-Erosion auf Außen- und Binnenböschung
 - ⇒ Kleierosion Außen- und Binnenböschung
 - ⇒ Übergänge
 - ⇒ Bruchverhalten von „realen“ Deichen
- 3D-Effekte (z.B. Längeneffekt)
- weitere Untersuchungen zur Optimierung des Fehlerbaums, der Korrelation von Mechanismen, andere TOP-Ereignisse
- verbesserte, schnellere Methoden für Level III - Berechnungen
- verbesserte Software für praktische Anwendungen notwendig

EU FLOODsite Projekt - Überblick

- FLOODsite: Integrated flood risk analysis and management methodologies
- 44 Partner aus 16 Ländern
 - ⇒ 12 größere und kleinere Forschungsinstitute
 - ⇒ 22 Universitäten
 - ⇒ 6 SME (kleinere und mittlere Unternehmen)
 - ⇒ 1 EU Forschungseinrichtung
 - ⇒ 1 UNESCO Einrichtung
- Laufzeit: 5 Jahre, Start voraussichtlich Februar 2004
- Budget: 9,68 Mio. €
- Coordinator: Dr. P. Samuels (HR Wallingford)
- Zielsetzung
 - ⇒ integriertes Europäisches Konzept zur Bestimmung und Management von Überflutungsrisiken
 - ⇒ Rahmenwerk für das integrierte Management von Überflutungsrisiken bis hin zu Einzelereignisplanung
 - ⇒ Integration anderer EU- und nationaler Forschungsprogramme

EU FLOODsite Projekt - Struktur



Einleitung
Beispieldeiche
Vers.-mech.

Level II / III

Fehlerbaum
Fallstudien
Ausblicke



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Andreas Kortenhaus
Leichtweiß-Institut für Wasserbau
Technische Universität Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3981
E-mail: a.kortenhaus@tu-bs.de