

Bernhard Odenwald

The BAW codes of practice to ensure the bank stability of German inland waterways

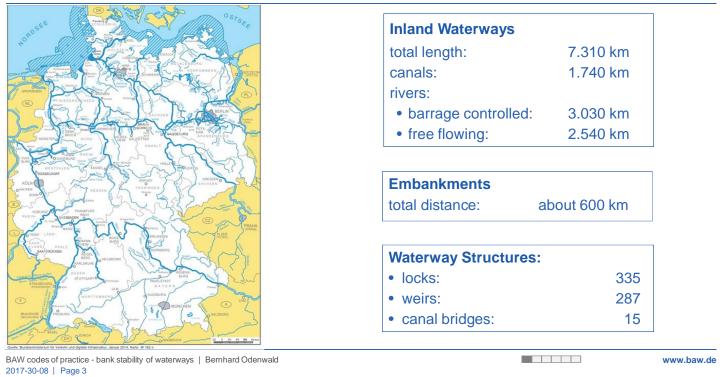
Workshop on Seepage Induced Geotechnical Instability

Imperial College London, UK 31st Aug – 1st Sept 2017

Content

- 1. German Federal Waterways Hydraulic Structures
- 2. Cases of Damage at German Waterways
- 3. Conclusions and Consequences of the Assessment of the Damages
- 4. BAW Code of Practice Stability of Embankments at German Inland Waterways (MSD)
- 5. BAW Code of Practice Use of Granular Filters on German Inland Waterways (MAK)
- 6. BAW Code of Practice Internal Erosion (MMB)

German Federal Waterways



Canal Embankments and Hydraulic Structures



BAW codes of practice - bank stability of waterways | Bernhard Odenwald 2017-30-08 | Page 4

Embankments at Barrage Controlled Rivers



BAW codes of practice - bank stability of waterways | Bernhard Odenwald 2017-30-08 | page 5

Case of Damage at Elbe Lateral Canal (1976)

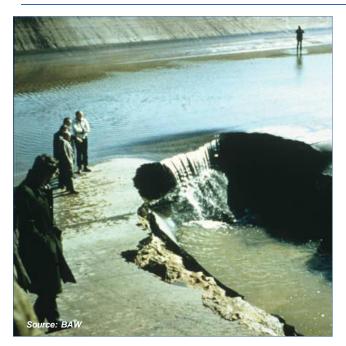


dam breach at road tunnel after flooding of a new canal section



BAW codes of practice - bank stability of waterways | Bernhard Odenwald 2017-30-08 | page 6

Case of Damage at Main-Danube-Canal (1979)



BAW codes of practice - bank stability of waterways | Bernhard Odenwald 2017-30-08 | page 7

dam breach at crossing with underlying water transport pipe after flooding of a new canal section



www.baw.de

Case of Damage at Main-Danube-Canal (1979)



flooding of the village of Katzwang, heavy damages



BAW codes of practice - bank stability of waterways | Bernhard Odenwald 2017-30-08 | page 8

Conclusions - Impacts on Embankment Stability

- embankments at waterways permanently loaded by water
- embankment stability reduced by seepage forces
- Ø failure of the impervious lining of the canal bed with resulting seepage through embankments must be taken into account (accidental design situation)
- increased damage potential at junctions with structures in embankments
 - different stiffness of soil embankment and concrete structure
 - possible development of erosion channels along structures (piping) cause by seepage flow
- Ø verification against piping for embankments with structures inside considering possible hydraulically effective joints (cavities) along structure/soil interface
- Ø prevention of soil material losses by appropriate measures taking into account filter criteria and internal erosion processes

BAW codes of practice - bank stability of waterways | Bernhard Odenwald 2017-30-08 | page 9

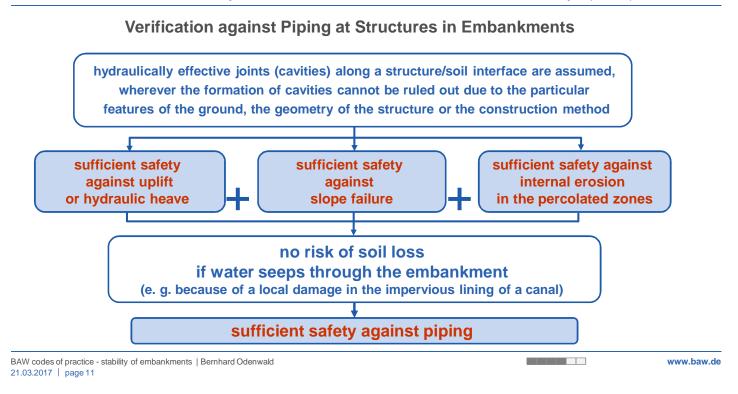
Consequence of the assessment of the damages

BAW Code of Practice Stability of Embankments at German Inland Waterways (MSD)

BAW Bundesanstalt für Wasserbau Kompetenz für die Wasserstraßen	 taking account of s covers the influence (separate piping version) 	assessing the stability of embankments, seepage through embankments ce of structures in embankments erification procedure taking account of long structure/soil interfaces)
BAW Code of Practice Stability of Embankments at German In Issue 2011	land Waterways (MSD)	directly downloadable <u>www.baw.de</u> > service and knowledge > publications > rules and standards > MSD (2011)

www.baw.de

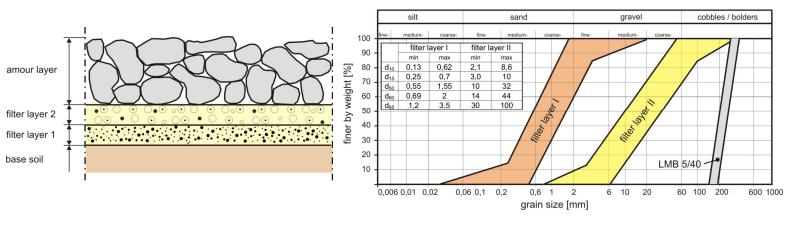
BAW Code of Practice Stability of Embankments at German Inland Waterways (MSD)



BAW Code of Practice Use of Granular Filters on German Inland Waterways (MAK)

Bundesanstalt für Wasserbau Kompetenz für die Wasserstraßen	of granular filters • embankments • bank and bott	
BAW Code of Practice Use of Granular Filters on German Inland Waterwa	ays (MAK)	directly downloadable <u>www.baw.de</u> > service and knowledge > publications > rules and standards > MAK (2013)

BAW codes of practice - bank stability of waterways | Bernhard Odenwald 2017-30-08 | page 12



Standard two-stage filter for revetments at inland waterways

Acceptable ranges for grading curves in a standard two-stage filter



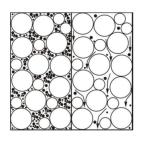
BAW Code of Practice Internal Erosion (MMB)

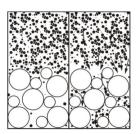
Bundesanstalt für Wasserbau Kompetenz für die Wasserstraßen	describes verification the soil structure	on methods based on geometric criteria of
	design of grant	dealing with specific hydraulic issues, e.g. ular filters according to MAK (2013) or nternal stability according to MSD (2011)
BAW Code of Practice:		directly downloadable <u>www.baw.de</u> > service and knowledge > publications
Internal Erosion (MMB) Issue 2013		rules and standardsMMB (2011)

Types of internal erosion

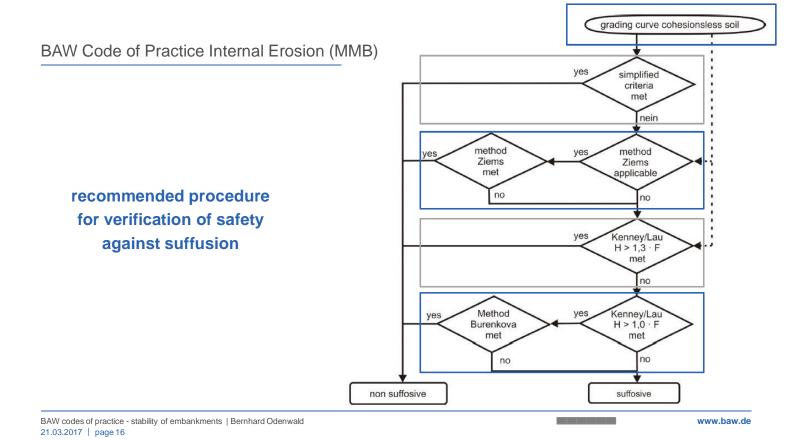
- Suffosion
 - migration and transport of the fine soil fractions through the pores of the granular skeleton of the coarse fractions
- Erosion
 - migration and transport of almost all grain size fractions of a soil caused by the flow of water
 - contact erosion
 - at the interface between two soils of different composition
 - piping
 - at the interface between solid structures and the soil or
 - between a cohesive soil and an underlying cohesionless soil layer

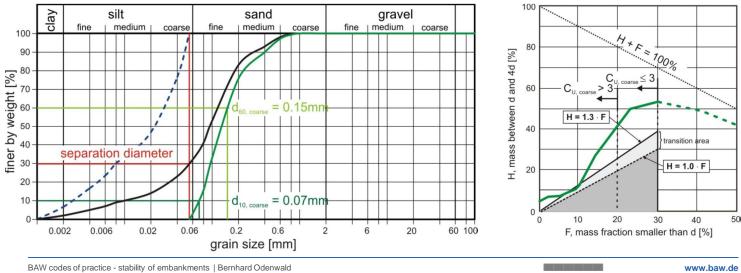
BAW codes of practice - stability of embankments \mid Bernhard Odenwald 21.03.2017 $\mid \ page 15$





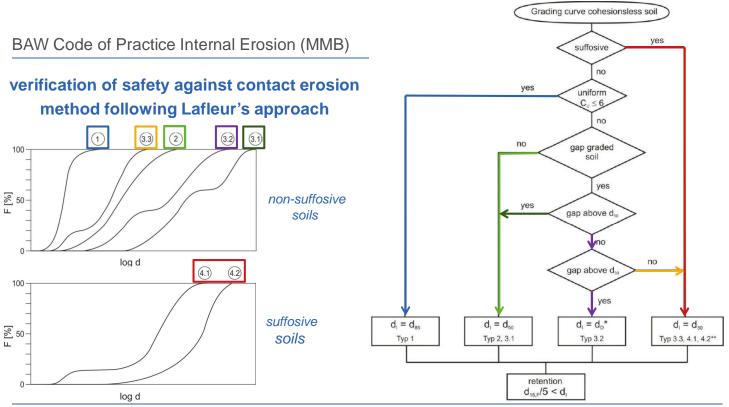
www.	baw.d	e





Examples of verifications of safety against suffusion (according to Kenney and Lau)

BAW codes of practice - stability of embankments \mid Bernhard Odenwald 21.03.2017 $\mid \$ page 17



BAW codes of practice - stability of embankments | Bernhard Odenwald 21.03.2017 | page 18

verification of safety against contact erosion for cohesive soils

Soil type	Soil description	Criterion
soil type 1	d _{85,B} < 0.074 mm	$d_{15,F} \le 9 \cdot d_{85,B}$ and $d_{15,F} > 0.2 \text{ mm}$
soil type 2	d _{40,B} < 0.074 mm d _{85,B} ≥ 0.074 mm	d _{15,F} = 0.7 mm
soil type 3	d _{15,B} < 0.074 mm d _{40,B} ≥ 0.074 mm	$d_{15,F} \le \frac{40 - F_{0.074}}{40 - 15} \cdot (4 \cdot d_{85} - 0.7) + 0.7 \ [mm]$ F _{0.074} is the proportion of soil with d _B < 0.074 mm without any grains with d > 4.75 mm

Soil types and verification criteria according to Sherard

BAW codes of practice - stability of embankments | Bernhard Odenwald 21.03.2017 | page 19

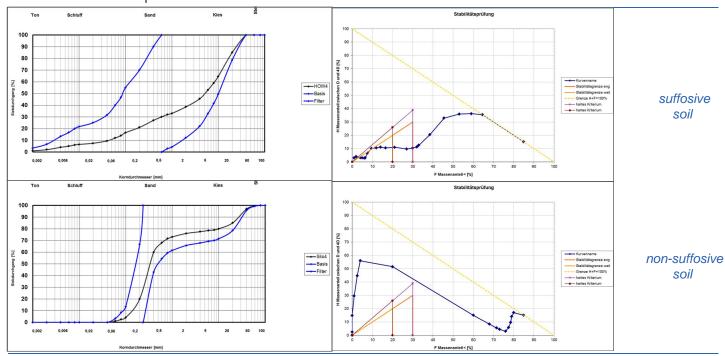
Comparative assessment of the verification procedures

								Beurteilung der Suffosionsgefährdung										Filterbemessung (geometr. Kriterium gegen Kontakterosion)								
		E		arameter und sifizierung				einfachte fahren	Ergebnis	2. Nachweis Ziems			3. Bewertung mit KenneylLau		4. Bewertung nach Burenkova	endgültige Beurtellung		in Anlehnung an Lafleur			Sherard					ms8geb. Veifahren
1 2	3	4	5	6	7	8	3	10	11	12	13	14 15	16	17	58	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Kurve 😋	Cu< 6 js/nei	6 Cc	Cecil edus Ce>3 ja/neir	Bodengruppe noch DIN 18136	kohäsir js <i>i</i> nein (Definition MAK	KV stotig?	Kri (atotigo k	an (1) (Cu = 1) oder terium (2) (V und Cg < 8)		d ₁₇ in ma	dyin mm (Annahme ez 0,55)	d _{au} = d ₂₂ in mn F = 0,4; d _{au} = d ₂₃	stabil = HIF > 1,3 hait	stabil = HWF>1 weich			Kurve	Einstufung nach der KV-Forr	nsfig. Durchmescer djin nm	Dis deo Filter in mm	Feinanteil F < 0,074 mm	Boden -gruppo nach Sherard	nsfig. Durchnesse r in nn	Funktion	Des des Filters in an	
A 35		1.00	pein		10.04	~	() edulk		weitere Nachweise efforderlich		0.0677	0.0000	The second second second	instabil - suffesiv	2	oution		4.2	1.05	0.5	0.40		1		-	Lafeur
	nein		000	SU SU quer	nein	ja pain	nein	nein	weitere Nachweise efforderlich weitere Nachweise efforderlich		0.0677	on do KY nicht stetial	instabil = suffosir instabil = suffosir	instabil + sufficient instabil + sufficient		outroom outroom	B	4.2	d ₁₁ = 0,5 du = 0.06	2,5	0,13	3	dgs = 5 das = 0.2	4 x d ₄₅ #40-FM40-15taf4xdar-0.78 + 0.7	20	Lafleur
	Dein			UL	nein	jo	nein	nein	weitere Nachweize erforderlich	0.0028		0.0008 1.90	stabil + nicht suffosiv	The second second		nicht ouffooiv	c	2	d ₅₁ = 0,011	0.055	1	1	des = 0.04	3 x dis und < 0,2 nm	0,2	Lafeur
D 33	nein	2,52	nein	SU	nein	jo	nein	nein	weitere Nachweise efforderlich	0,042	0,0188	0,0035 0,47	instabil = suffosis	inctabil = outfooiv		autroain	D	4.2	dge = 0,11	0,55	0,24	4	dis = 0,7	((40-F)(40-15):(4xdg-0,7)+0,7	2,05	Laflour
	DRID			SU quar	nein	DBD	DED	nem	weitere Nachweise efforderlich			oar da KV nicht stetigl	instabil a suffosia	inctabil a outfooly		outroaw	E	4.1	dai = 0,09	0,45	0,4	2 bay. 4		< 0,7 nn	< 0,7	Laflour
F 14,3	nein			UL	nein	jə	nen	nein	weitere Nachweise erforderlich	0,005			stabil a nicht ouffosiv			nicht outociv mit Einschränkung	F	2	d11 = 0,023	0,12	0,8	2		< 0,7 nn	< 0,7	Lafleur
G 15 G1 2,7	nein	1.3	nein	SU	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich	0.17	icht anwendt	0,0300 4,48	instabil = suffosiv	instabil = suffosiv		suffosiv	G	4.1	das = 0.21 das = 0.4	1.05	0,18	4	des = 0,3	((40-F)(40-15):(4xda:-0,7] + 0,7	1,14	Lafeur
	(international international i		ia	SE	nein	ja nein	000	jo nein	nicht suffosie weitere Nachweise erforderlich			0.0500 4.48 par da KV nicht stetig!	stabil = nicht suffesiv	instabil = suffesiv		nicht suffosiv	GI	4.1	das = 0,4 das = 1,3	2	0,05	3	das = 0,4 das = 3,5	4 x dex 4 x dex	1.6	Sherord Lateur
1 13.0	nein	1.0	19	UL	nein	ja	nein	nein	weitere Nachweise eiforderlich		0.0012		stabil = nicht suffosiv	A SAGEN - SUPOSY		nicht suffesiv		4.1	dga = 0,013	0.065	0,05	1	des = 0.05	4 × dis 0 × dis und < 0,2 mm	0.2	Lafleur
				0.		14	- IKII	incon.	cost condensat	2			The second			A CONTRACT OF A			and a second						-	
1 1040	nein		ja	SU quer	nein	DRID	080	nein	weitere Nachweise erforderlich			oar da KV nicht stetig	instabil = cultoria	inctabil = outfooly		outtooiv	1	6.1	das = 0,04	0,20	0,68	8	1.00	< 0,7 nn	< 0,7	Lafleur
2 88	nein	0,73	ja	SU quer	nein	ja	nen	nein	weitere Nachweise erforderlich	0,011	0,0058	0.0020 0500,0	instabil = suffosiv	instabil = suffosiv		suffosiv	5	4.2	dia = 0,035	0,18	0,52	8	1.00	< 0,7 nn	< 0,7	Lafleur
3 36	nein	1,78	nein	SU quer	nein	ja	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich	0,012	0,0054	0,0010 0,46	instabil = suffosir	instabil = suffosiv		sulfosiv	3	4.2	d11 = 0,035	0,18	0.5	2		< 0.7 nn < 0.7 nn	< 0.7	Lafleur
4 286 5 77	nein	0,03	6j	SU quer	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich	0.026	0.0134	Dar do KV nicht stetig	instabil = suffosie	stabil = nicht suffosiv	face descent and the satellast	nicht suffosiv	4	3.1	dg = 0,04 dgs = 0,08	0,2	0.6	8		< 0,7 mn ((40-F)(40-15)(4xdg-0,7) + 0,7	< 0.7	Lafleur
6 11	nein		ja nain	SU quer SU quer	nein	jo nein	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich weitere Nachweise erforderlich			oar da KV nicht stetig!	instabil = suffosir stabil = nicht suffosir	instabil = sulfosiv		suffosiv nicht suffosiv	6	4.2	dga = 0,08 dga = 0,125	0,63	0,57	2 ben. 4	des = 1.6	(40+9)40-15((4xd)-0,7) + 0,7 < 0,7 mm	< 0.7	Lafleur
	nein		ig	SU guer	nein	jo	nein	nem	weitere Nochweise efforderlich	01	0.0542	0.0080 0.37	instabil a reflection	instabile officers		micht sufforie	2	4.2	dgs = 0,126	1,3	0,24	4	des * 2,3	140-FM40-15a/4xdav-0.70 + 0.7	27	Lafleur
8 20	nein		pain	SU guar	nein	jo	nein	nein	weitere Nachweize erforderlich	0.08	0,0329	0.0100 0.76	instabil + sufforir	stabil = nicht suffosiv	old	auffooin	8	4.2	dgs = 0,13	0,65	0,21	4	de 15	[[40-F][40-15]:(4xdg-0,7]+0,7	4.7	Lafleur
3 8	nein	1	nein	SU guer	nein	DRID	nein	nein	weitere Nachweise offorderlich			oar da KV nicht stetig!	instabil a suffosia	ctabil a nicht suffosiv	instabil	auffoaiv	9	4.2	da = 0,125	0,63	0,18	4	des = 0,6	(40-F)(40-15):(4xda-0,7) + 0,7	2,2	Lufleur
		-		2000				2		8		- x2000000 - 2000			A	and the second se								have been a second and the		
	nein	0,45	j.	91 SI	nein	nain	nein	nein	veitere Nuchweize exterderlich			ear da KV nicht statigi	stebil - nicht auffasiv			nicht culferie	1	2.1	d ₃₁ = 0,62	2,2	0,04	2	das = 11,0	4 × 465	44	Luleur
2 8,1 3 66	nein	0,45	ja	SUquer	nein	ja nein	nein	jo	nicht suffosie weitere Nachweise offorderlich		0,0332	0,1000 2,52	stabil + nicht suffosie instabil + suffosie	inctabil = puffooiv		nicht suffosiv suffosiv	2	3.2	dg = 0,6 dg = 0,062	3,0 0,31	0,03	3	des = 6,0 des = 0,52	4 × d ₄₅ ((40-F)(40-15):(4×d ₄₅ -0,7)) + 0,7	24	Lafleur
	Dein	4.04	ia	SU	nein	DRID.	nein	nom	weitere Nochweise efforderlich			oar da KV nicht statiol	instabile affects	instability officers		autoaw	4	4.2	dga = 0,18	0,31	0,52		des = 0,62	[40-F)(40-15);(4xdg-0,7) + 0,7	16	Laflour
5 6,3	Dein		nein	SUguer	nein	DRID	nein	nein	weitere Nachweise efforderlich			oar da KV nicht stetig	instabil a suffocia	inctabil a outpoix		outcolv	5	4.2	da = 0,055	0,26	0,45	2	off a class	< 0,7 nn	< 0.7	Lafleur
6 62	nein	1,15	nein	SUguer	nein	osio	0 M	nein	weitere Nachweise efforderlich			oar da KV nicht stetig	instabil = suffosia	instabil = suffering	-	sufficient	6	4,1	das = 0.04	0.2	0,54	8		< 0,7 nn	< 0.7	Lafleur
7 10	nein		ja	SI	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich			oar da KV nicht stetig!	stabil = nicht suffosiv			nicht suffosiv	7	3.2	ds = 0,35	1,8	0.07	3	das = 3,0	4 x des	36	Lafleur
0 12	nein	2,56	nein	SUguer	nein	ntin	ntin	nein	weitere Nachweise erforderlich			oar da KV nicht stetig	instabil = suffosiz	stabil = nicht suffosiv	lides	nicht suffosiv	0	5	dg = 0,032	0,46	0,38	4	das = 0,21	((40-f)(40-f9)(4xda-0,7) + 0,7	0,72	Lafleur
3 5	jo.	1,31	nein	SU	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich			oar da KV nicht stetig!	instabil = suffosir	stabil = nicht suffosiv	idos:	nicht suffosiv	3	1	des = 0,54	2,7	0,13	3	d ₈₅ = 0,54	4 × d ₄₅	2,2	Sherard
10 12	nein	0,44	jo	SI	nein	nein	nein	nein	weitere Nochweise erforderlich	n	icht anwendb	oar da KV nicht stetigl	stabil + nicht suffosiv			nicht suffosiv	10	3.1	dja = 0,8	4,0	0,05	3	d ₈₅ = 8,0	4 x d _{is}	32	Lafleur
11 5	12	0.3	ia	50	nein	ntin	000	nein	weitere Nachweise erforderlich		inter annual de	ar da KV nicht statial	instabils cuffosia	instabile suffering		sufficient	11	×1	dys = 0.05	1.0	0,11	1	dec = 15	4 × det	60	Lafleur
12 1,4	ja	1.3	nein	SE	nein	jð	nein	it	nicht affasir		0.0353		stabil = nicht suffesiv	and an a state of the		nicht suffosir	12	1	des = 0,47	2,4	0		des = 0.47	4 x das	1.0	Sherord
13 12	nein		nein	SUguer	nein	nein	nein	nein	weitere Nochweise erforderlich			oar da KV nicht stetig!	instabil = suffosir	instabil - suffosiv		suffosiv	13	4.2	du = 0.075	0,38	0,3	4	des = 0,25	(40-F)(40-15)(4xdg-0,7) + 0.7	0,82	Lafleur
54 2,6	jo	13	nein	SU	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweise offorderlich	n	icht anwendb	oar da KV nicht stetigl	instabil = sufforie	inctabil + outfooiv		ouffooiv	14	4.2	dga = 0,54	0,7	0,1	3	dej = 0,23	4 x d ₁₅	0,92	Lafleur
15 1,6	ja	1.6	nain	SE	nein	jo	DEID	jo	nicht cuffozie			0,1200 6,52	stabil = nicht ouffoois			nicht auffaaiv	15	1	des = 0,27	1,35	0,02	3	das = 0,27	4 × des	1,1	Shorsed
96 147	DED		ja	SUguer	nein	DND	nein	nein	weitere Nachweise offorderlich			oar da KV nicht stetigl	instabil a suffocia	inctabil a cultoriv		cultoon	16	6,1	das = 0,26	1,3	0,18	4	d ₁₀ = 0,90	[[40-F](40-15]:(4xda:-0,7]+0,7	3,3	Lafleur
17 10 15 5.3	nein		nein	SU SU	nein	nein	DEID	nein	weitere Nachweise erforderlich			oar da KV nicht stetigi	instabil = suffosir instabil = suffosir	instabil a suffosiv		outoolv	17	4.2	das = 0,40	2	0,1	3	des = 4,0	4 x d ₁₅	16	Lafleur
55 5,3 59 11	(in the second s	1.9	nein	50	nein	nisn nisn	nein nein	nein	weitere Nachweise erforderlich weitere Nachweise erforderlich			oar da KV nicht stetig! oar da KV nicht stetig!	instabil = suffosie instabil = suffosie	instabil = suffosiv instabil = suffosiv		sultosiv	15	4.1	d ₉₈ = 0,40 d ₉₈ = 0,38	2	0,08	3	de:= 13 de:= 18	4 × d ₁₅ 4 × d ₁₅	5.2	Lafleur Lafleur
20 31	nein	7,58	ia	SUguer	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweise eiforderlich			par da K.v. nicht stetigt par da K.V. nicht stetigt	instabil = suffosie instabil = suffosie	instabil = suffosiv		sullosn	20	4.1	dys = 0,36 dys = 0,044	0,22	0,34	4	des = 0.42	4 × 0ss ((40-F)(40-15):(4×da:=0,7) + 0,7	0.3	Lafleur
			1 IN				- IISHI	ile ile					100 M 100			1.000								and the state of the state of the state		
21 12	nein	4,55	ja	SUguer	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich			oar da KV nicht stetig	instabil = cultosia	instabil = suffosiv		sulfosiv	21	4,1	dm = 0.95	0,5	0.2	4	des = 0,3	((40-P)(40-15):(4xda:-0.7) + 0.7	11	Lafleur
22 2,1	ja	2,4	nein	SE	nein	ja	nein	ja	nicht suffosie	0,12	0,0340	0.0600 4.42	stabil = nicht suffosiv			nicht suffosiv	22	1	det = 0,24	1,2	0,05	3	das = 0.24	4 × das	0,96	Shersed
20 3,2	nein	0,57	ja	SVSV	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich			oar da KV nicht stetig	stabil = nicht suffosis			nicht suffosiv	23	3.1	dsa = 1,0	5.0	0.05	3	d ₁₅ = 3,5	4 x d ₄₅	14	Lafleur
24 14 25 3.6	nein	0,3	jo prin	SI SU	nein	jo	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich weitere Nachweise erforderlich			0.0400 1.17 aber < 1.1	stabil = nicht sufforin	instabil + suffering		nicht suffosis mit Einschrönkung	24 25	2	dss = 1,2 dss = 0.056	6	0,07	3	des = 4,5	4 × dis < 0.7 nm	18	Lafleur
26 3,6	10	0,86	ia	SU	nein	ja	nein	ip	weitere Nachweise efforderlich	0.17	0.0511	0.0600 2.34	stabila nicht afforia	motoper + putroav		nicht auffaair	25	4.1	d ₁₁ = 0,055 d ₁₁ = 0,57	2,8	0,42	2	der = 0.57	4 x d ₁₅	2.3	Sherped
27 2,5	in in	1,46	nein	SE	nein	je je	nein	ia ia	nicht suffozir	0,24	0,0699	0,1800 6,44	stabil = nicht suffosiv			nicht auffaaiv	27	1	de1 = 0,67	3,4	0,02	3	des = 0.67	4 × d ₁₅	2.7	Shersed
28 6,1	nein		jo	SI	nein	ej	DND	ja j	nicht cuffocie	0,42	0,1419	0,1000 1,76	stabil a nicht suffosiv			nicht suffociv	28	2	da = 1,4	7,0	0,02	3	des = 5,2	4 × des	21	Lafleur
23 6,6	nein	1,18	nein	\$∨	nein	13	nein	ja ja	nicht suffosie	0.28	0,0358	0,0400 1,04 aber < 1,	stabil = nicht suffosiv		}	nicht suffosiv mit Einschränkung	29	8	det = 0,85	4,3	0,05	3	dat = 4,8	4 × d _{is}	15	Lafleur
30 30	nein	0,13	ja	SYSE	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweise erforderlich		icht anwendt	oar da KV nicht stetig	stabil = nicht suffosiv			nicht suffesiv	- 30	3.1	d1# = 2,0	10	0,04	3	das = 2,8	4 × das	11.2	Lafleur
	-	1	-				-							-			-					-	1000			
31 1,9	10	12	nein	SE	nein	ej	nein	jo	nicht cuffozie			0,0600 5,39	stabil a nicht suffosiv			nicht cuffociv	31	1	das = 0,22	1,1	0,04	3	des = 0,22	4 × d ₁₅	0,9	Shorsed
32 8,4	Dein	1,05	DPID	SVS'V	nein	nein	nein	nein	weitere Nachweize offorderlich		icht anwendt	oar da KV nicht stetig	stabil a nicht suffosia	L		nicht auffodiv	32	3.1	d ₅₈ = 1,1	5,5	0,02	3	der # 15	4 × des	60	Lafleur

BAW codes of practice - bank stability of waterways $\,|\,$ Bernhard Odenwald 2017-30-08 $\,|\,$ Page 20

www.baw.de

Results of the comparison calculations



BAW codes of practice - bank stability of waterways | Bernhard Odenwald 2017-30-08 | Page 21

Pressure tank flow control soit column

www.baw.de

Alternating Flow Apparatus

Thank you for your attention

Bundesanstalt für Wasserbau 76187 Karlsruhe, Germany

www.baw.de