

Anhang zu:

**Untersuchungen an einer
CEM III-Versuchsstrecke
auf der BAB A7
bei Wörnitz**

von

Janin Kuhnsch

Bundesanstalt für Straßenwesen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 188

bast

Anhang A – Übersicht Versuchsstrecke

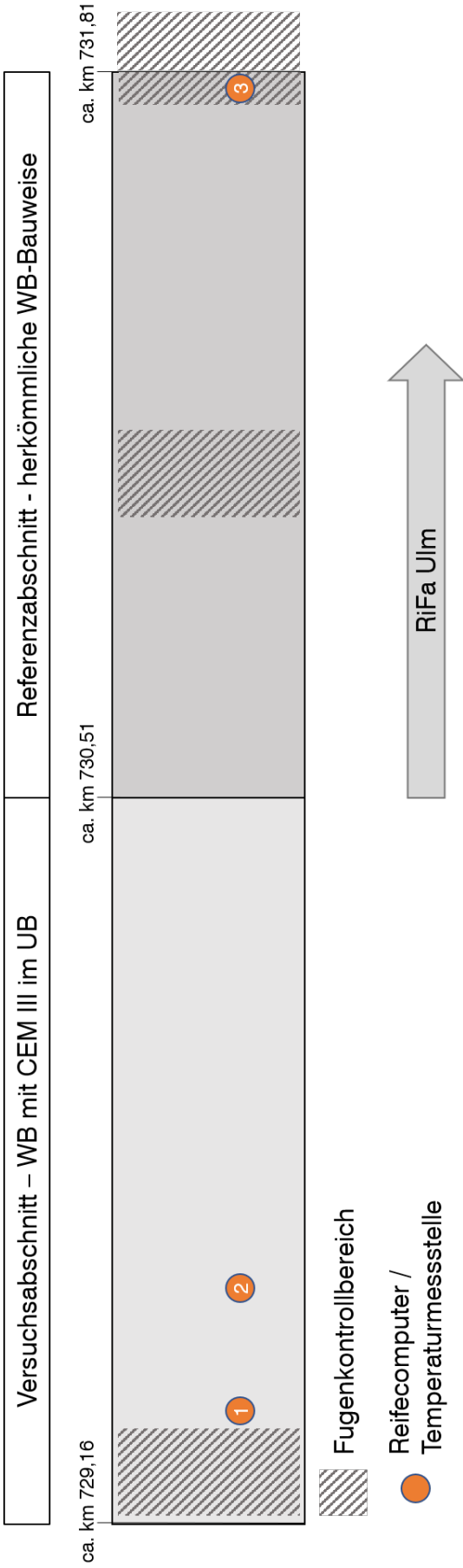


Abbildung 28 Übersicht zur Versuchsstrecke

Anhang B - Klimadaten während des Einbaus

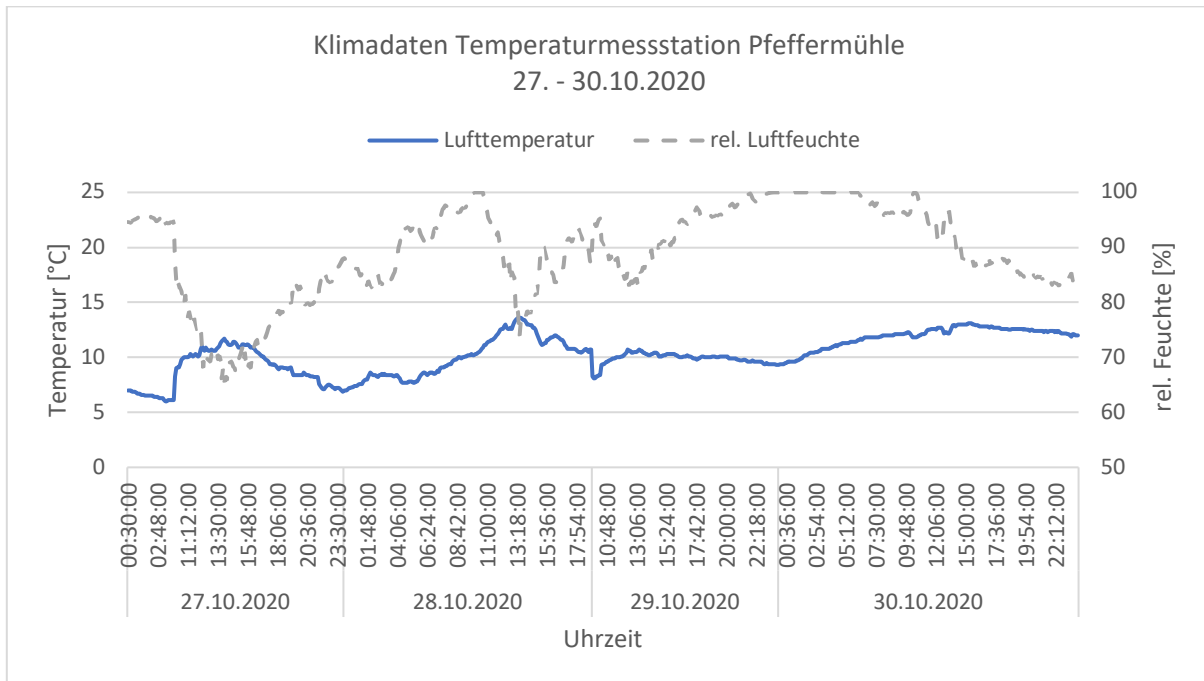


Abbildung 29 Klimadaten Messstation Pfeffermühle während des Einbaus des CEM III-Versuchsabschnitts

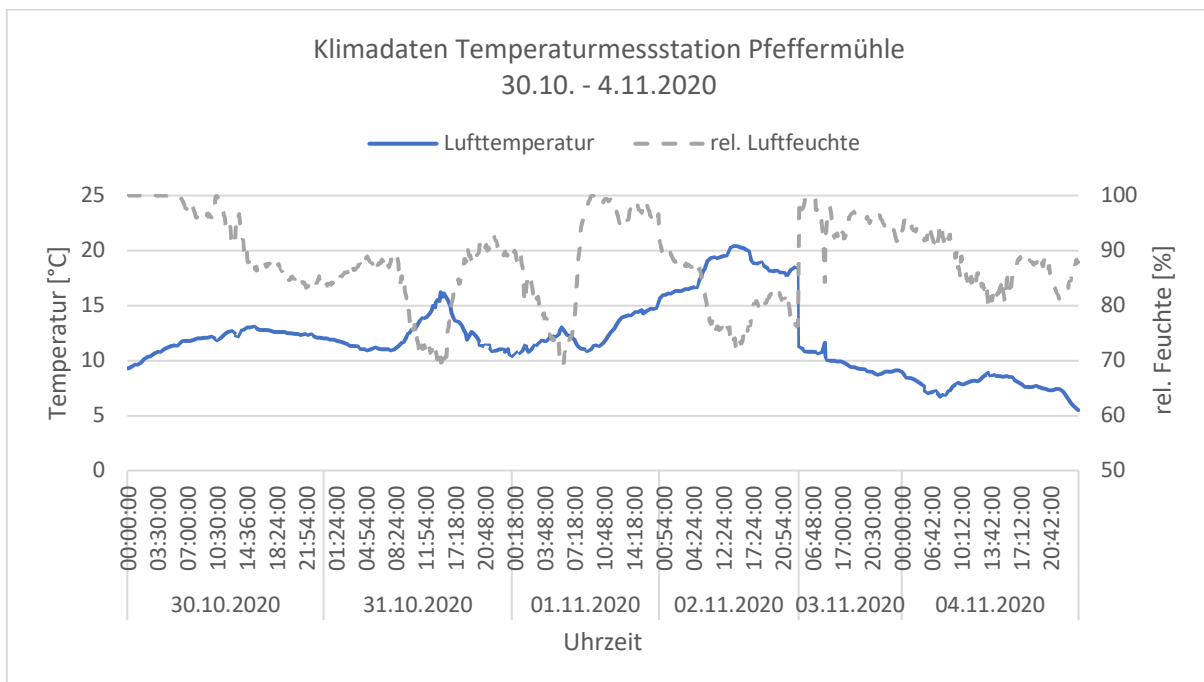


Abbildung 30 Klimadaten Messstation Pfeffermühle während des Einbaus des CEM I-Referenzabschnitts

Anhang C – Ergebnisse der Erstprüfung

Tabelle 8 Zuordnung Betonsorten zu Prüfberichten der Erstprüfung

Betonsorte:	Prüfbericht-Nr.:
Oberbeton	K 2050 / 385 / 20
Unterbeton (Referenzabschnitt)	K 2050 / 386 / 20
Unterbeton (Versuchssabschnitt)	K 2050 / 387 / 20

Tabelle 9 Ergebnisse Betontemperaturmessungen über 7 Tage

Betonrezeptur	Temperaturmessungen			
	$T_{\text{luft}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{b}} [^{\circ}\text{C}]$	$T_{\text{b,max}} [^{\circ}\text{C}]$	$\Delta T_{\text{b}} [\text{k}]$
OB (CEM I)	23	23	46	23
UB (CEM I)	25	25	46	21
UB (CEM III)	27	27	41	14

Tabelle 10 Bestimmung der gewichteten Reife für OB < 8 mm mit CEM I

$f_{\text{c}} [\text{N}/\text{mm}^2]$	Prüfalter [d]	Reife [$^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$]
15,39	0,76	713,9
18,47	0,98	905,4
30,32	2,00	1642,5
36,19	2,92	2282,2

mit $C=1,3$ (Herstellerangabe für CEM I)

Tabelle 11 Bestimmung der gewichteten Reife für UB > 8 mm mit CEM I

$f_{\text{c}} [\text{N}/\text{mm}^2]$	Prüfalter [d]	Reife [$^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$]
16,32	0,83	776,5
18,19	1	895,4
27,27	1,82	1466,4
34,58	2,83	2189,8
39,2	4,1	3147,05

mit $C=1,3$ (Herstellerangabe für CEM I)

Tabelle 12 Bestimmung der gewichteten Reife für UB > 8 mm mit CEM III

$f_{\text{c}} [\text{N}/\text{mm}^2]$	Prüfalter [d]	Reife [$^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$]
17,4	0,91	878,3
19,72	1,14	1059,3
21,13	1,26	1144,2
23,24	1,39	1232,6
28,8	1,91	1630,1
35,43	2,98	2444,1

mit $C=1,4$ (Herstellerangabe für CEM III)

Anhang D – Ermittlung des Schwindmaßes

Tabelle 13 Ergebnisse Schwindmaß nach 7 Tagen

Betonrezeptur	Schwindmaß nach 7 Tagen			
	Einzelwert 1 [mm/m]	Einzelwert 2 [mm/m]	Einzelwert 3 [mm/m]	Mittelwert [mm/m]
OB (CEM I)	-0,17	-0,09	-0,13	-0,13
UB (CEM I)	-0,05	-0,09	-0,12	-0,09
UB (CEM III)	-0,07	-0,06	-0,08	-0,07

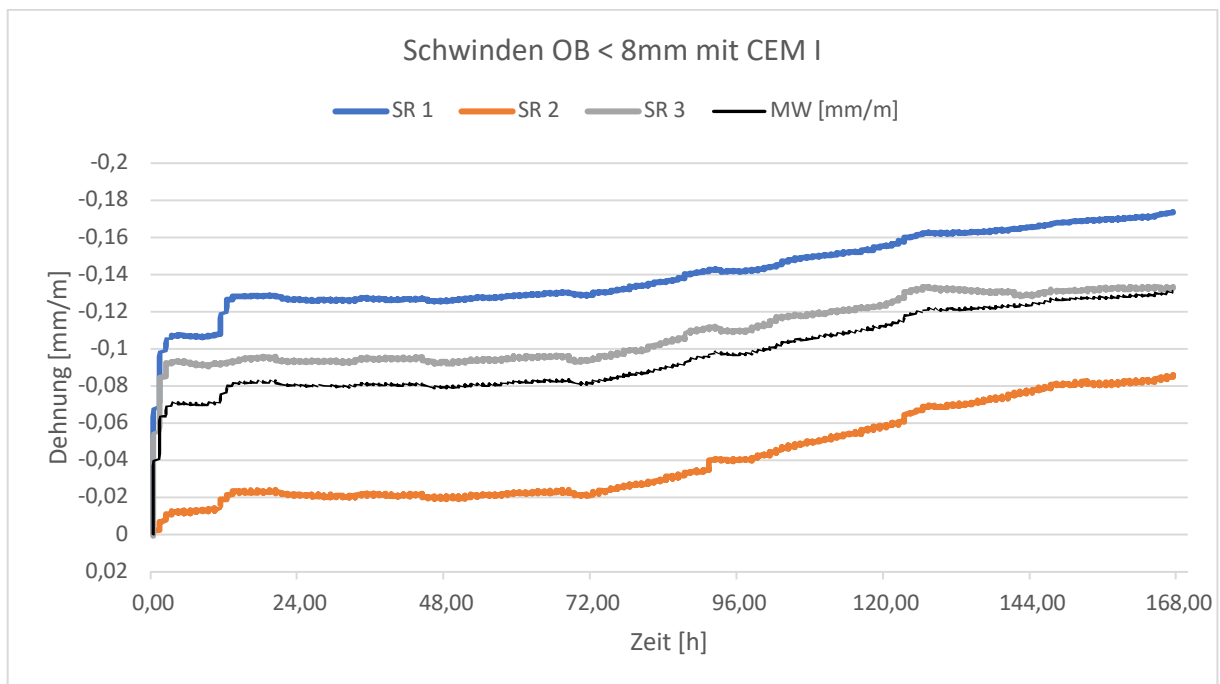


Abbildung 31 Frühschwinden der Betonrezeptur OB < 8 mm mit CEM I

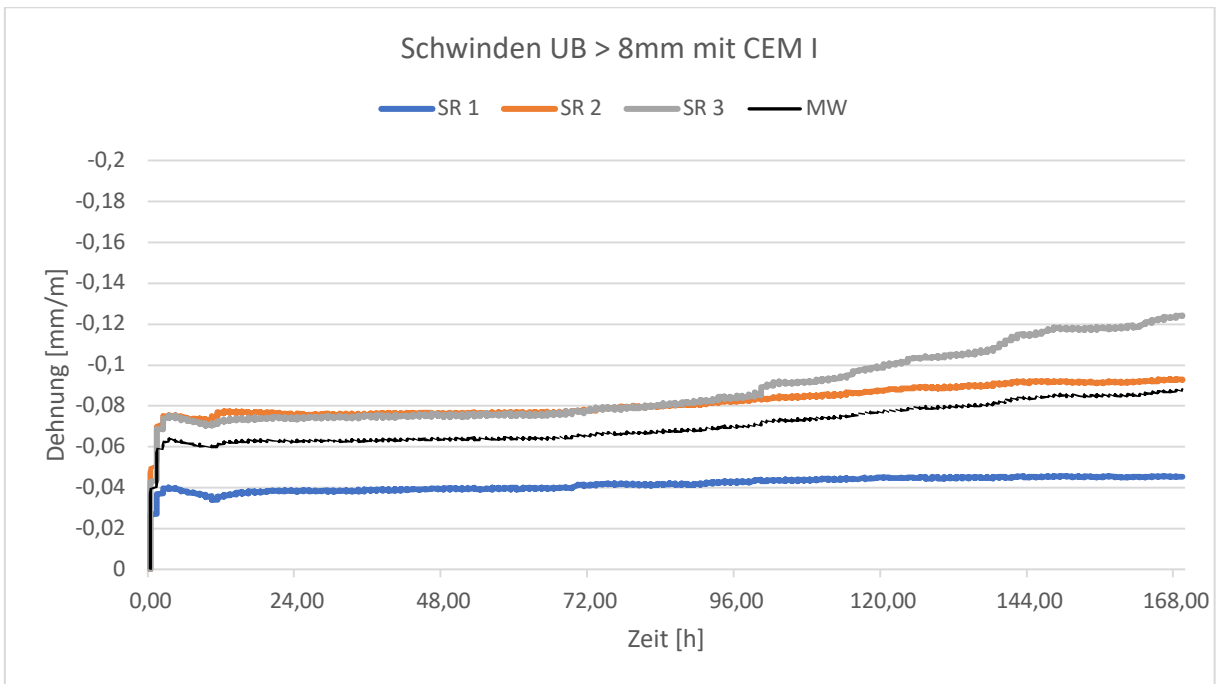


Abbildung 32 Fröhschwinden der Betonrezeptur UB/OB > 8 mm mit CEM I

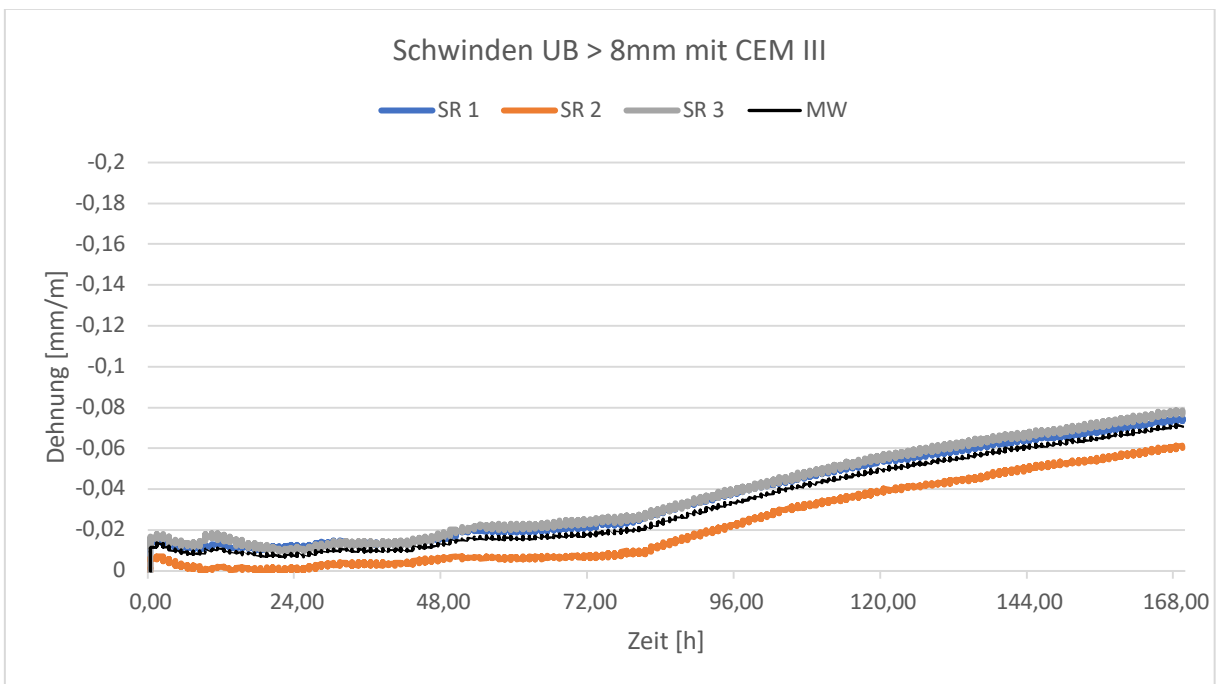


Abbildung 33 Fröhschwinden der Betonrezeptur UB/OB > 8 mm mit CEM III

Anhang E – Ergebnisse der Eigenüberwachung

Tabelle 14 Ermittlung der Frischbetonkennwerte des Oberbetons der Versuchsstrecke

			Erstprüfung	Eigenüberwachung		
				Mittelwert	Minimum	Maximum
OB (0-8) CEM I- Referenz- abschnitt	Wasser	[kg/m ³]	168	178	174	184
	W/Z-Wert	[-]	0,40	0,42	0,41	0,44
	Konsistenz V-Maß	[-]	1,29	1,26	1,23	1,27
	Rohdichte	[kg/dm ³]	2,39	2,37	2,34	2,41
	LP-Gehalt	[Vol.-%]	4,8	4,7	4,1	5,2
OB (0-8) CEM III- Versuchs- abschnitt	Wasser	[kg/m ³]	168	171	167	174
	W/Z-Wert	[-]	0,40	0,41	0,40	0,41
	Konsistenz V-Maß	[-]	1,29	1,26	1,24	1,27
	Rohdichte	[kg/dm ³]	2,39	2,40	2,37	2,43
	LP-Gehalt	[Vol.-%]	4,8	4,5	4,1	5,1

Tabelle 15 Ermittlung der Frischbetonkennwerte des Unterbetons der Versuchsstrecke

			Erstprüfung	Eigenüberwachung		
				Mittelwert	Minimum	Maximum
UB (> 8 mm) CEM I- Referenzabschnitt	Wasser	[kg/m ³]	146	142	136	147
	W/Z-Wert	[-]	0,43	0,42	0,4	0,43
	Konsistenz V-Maß	[-]	1,39	1,35	1,34	1,37
	Rohdichte	[kg/dm ³]	2,38	2,37	2,34	2,40
	LP-Gehalt	[Vol.-%]	4,0	4,1	3,5	5,0
UB (> 8 mm) CEM III- Versuchsabschnitt	Wasser	[kg/m ³]	146	144	140	146
	W/Z-Wert	[-]	0,43	0,42	0,41	0,43
	Konsistenz V-Maß	[-]	1,43	1,36	1,34	1,38
	Rohdichte	[kg/dm ³]	2,38	2,36	2,34	2,38
	LP-Gehalt	[Vol.-%]	4,1	4,1	3,8	4,8

Tabelle 16 Ermittlung der Festbetonkennwerte am Würfel - Oberbeton

			Erst- prüfung	Eigenüberwachung		
				MW	Min	Max
OB (0-8) CEM I- Referenzabschnitt	Rohdichte	[kg/dm ³]	2,4	2,40	2,35	2,43
	Druck-festigkeit	[N/mm ²]	56,2	55,2	49,8	68,7
OB (0-8) CEM III- Versuchsabschnitt	Rohdichte	[kg/dm ³]	2,4	2,41	2,38	2,43
	Druck-festigkeit	[N/mm ²]	56,2	58,0	53,4	63,2

Tabelle 17 Ermittlung der Festbetonkennwerte am Würfel - beide Unterbetone

			Erst- prüfung	Eigenüberwachung		
				MW	Min	Max
UB (> 8 mm) CEM I- Referenzabschnitt	Rohdichte	[kg/dm ³]	2,39	2,38	2,35	2,41
	Druck-festigkeit	[N/mm ²]	50,7	54,9	48,8	59,1
UB (> 8 mm) CEM III- Versuchsabschnitt	Rohdichte	[kg/dm ³]	2,37	2,37	2,35	2,39
	Druck-festigkeit	[N/mm ²]	49,0	60,1	55,8	65,5

Tabelle 18 Spaltzugfestigkeiten an Bohrkernen - Oberbeton im Versuchs- und Referenzabschnitt

Betonart / Sorten-Nr.		Oberbeton (0-8)						
Prüfart	Alter	Statistische Kenngrößen					Quantil-Werte	
		n	f _{i, min.}	f _m (μ)	f _{i, max.}	σ	k ¹⁾	f _{ct,k sp} ²⁾
		[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]
Spaltzug- festigkeit f _{ct,sp}	7	6	3,20	3,39	3,94	0,28	2,951	2,57
	28	24	3,85	4,30	4,92	0,32	2,124	3,63
	56	24	3,79	4,40	5,58	0,50	2,124	3,35
	180	24	4,31	5,14	6,22	0,52	2,124	4,05

¹⁾ Toleranzwert gem. TP B-StB, Teil 0.2, Tab. 4 für unteres 5%-Quantil

²⁾ charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) gem. TP B-StB, Teil 0.2

Tabelle 19 Druck- und Spaltzugfestigkeiten an Bohrkernen - Unterbeton im Referenzabschnitt

Betonart / Sorten-Nr.		Unterbeton mit CEM I						
Prüfart	Alter	Statistische Kenngrößen					Quantil	
		n [-]	$f_{i, \min.}$ [MPa]	$f_m (\mu)$ [MPa]	$f_{i, \max.}$ [MPa]	σ [MPa]	$k^{1)}$ [-]	$f_{ctk, sp}^{2)}$ [MPa]
Druck- festigkeit f_c	7	3	41,8	43,8	46,4	2,4	-	-
	28	12	47,9	53,0	60,9	4,5		
	56	12	48,7	54,7	63,6	4,6		
	180	12	57,3	64,3	71,5	4,2		
Spaltzug- festigkeit $f_{ct,sp}$	7	3	3,47	3,68	3,95	0,24	-	-
	28	12	3,50	4,37	5,19	0,59	2,398	2,96
	56	12	4,03	4,58	5,65	0,49	2,398	3,40
	180	12	4,77	5,35	6,32	0,44	2,398	4,30

¹⁾ Toleranzwert gem. TP B-StB, Teil 0.2, Tab. 4 für unteres 5%-Quantil

²⁾ charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) gem. TP B-StB, Teil 0.2

Tabelle 20 Druck- und Spaltzugfestigkeiten an Bohrkernen - Unterbeton im Versuchsabschnitt

Betonart / Sorten-Nr.		Unterbeton mit CEM III						
Prüfart	Alter	Statistische Kenngrößen					Quantil	
		n [-]	$f_{i, \min.}$ [MPa]	$f_m (\mu)$ [MPa]	$f_{i, \max.}$ [MPa]	σ [MPa]	$k^{1)}$ [-]	$f_{ct, k, sp}^{2)}$ [MPa]
Druck- festigkeit f_c	7	3	34,9	35,3	36,0	0,6	-	-
	28	12	43,4	48,0	51,2	2,7		
	56	12	52,1	59,2	64,4	3,8		
	180	12	57,0	67,7	76,7	6,3		
Spaltzug- festigkeit $f_{ct,sp}$	7	3	3,54	3,81	3,96	0,24	-	-
	28	12	3,94	4,55	5,25	0,39	2,398	3,63
	56	12	4,61	4,97	6,09	0,43	2,398	3,94
	180	12	5,06	5,59	6,20	0,38	2,398	4,69

¹⁾ Toleranzwert gem. TP B-StB, Teil 0.2, Tab. 4 für unteres 5%-Quantil

²⁾ charakteristische Spaltzugfestigkeit (unteres 5 % Quantil) gem. TP B-StB, Teil 0.2

Anhang F – Reifecomputer

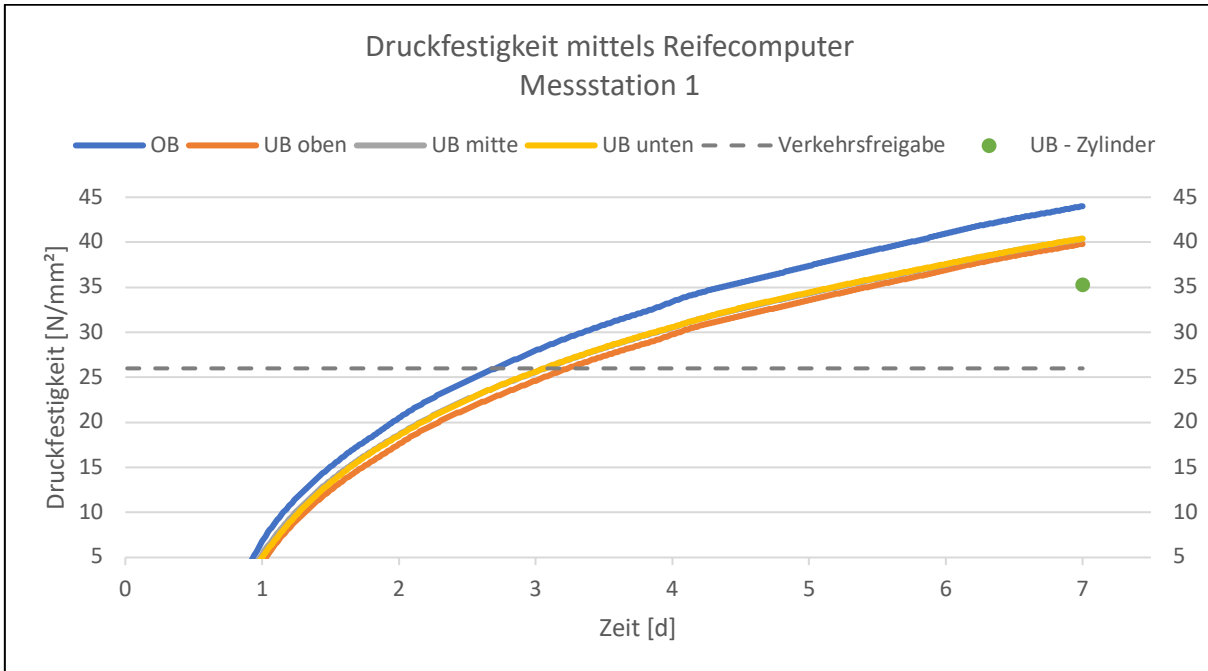


Abbildung 34 Ermittlung der Druckfestigkeit mittels Reifecomputer 1 im Versuchsabschnitt über 7 d

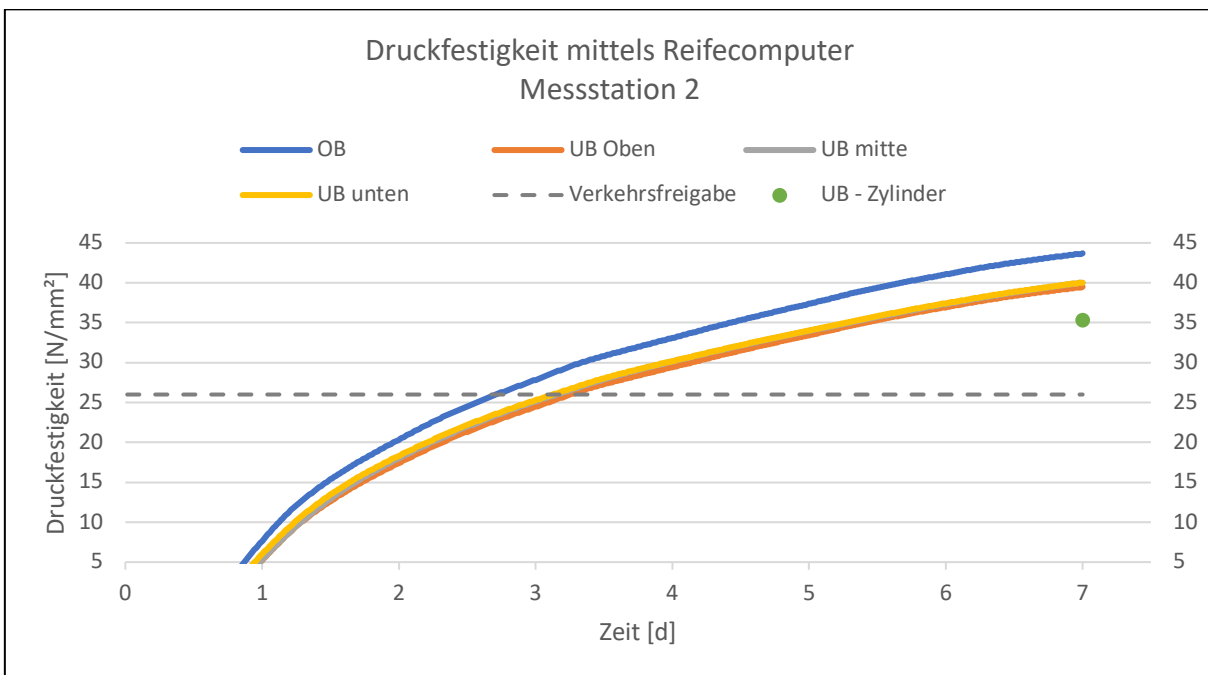


Abbildung 35 Ermittlung der Druckfestigkeit mittels Reifecomputer 2 im Versuchsabschnitt über 7 d

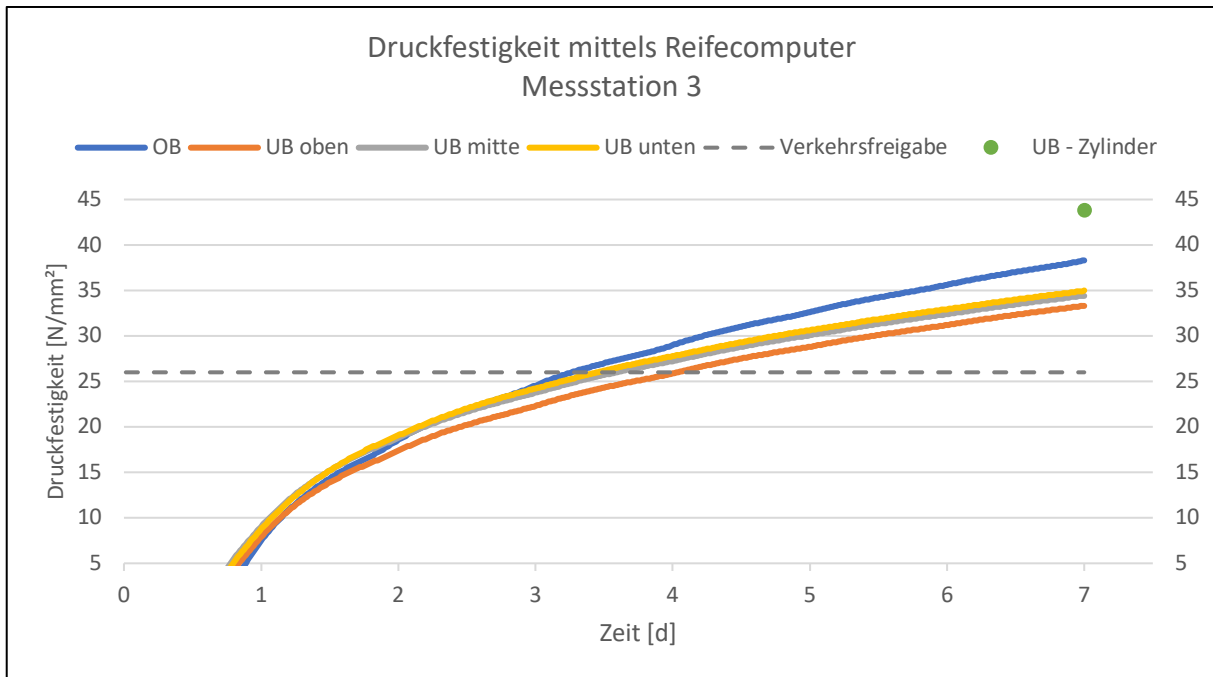


Abbildung 36 Ermittlung der Druckfestigkeit mittels Reifecomputer im Referenzabschnitt über 7 d

Anhang G - Ermittlung der Rissweiten

Tabelle 21 Ermittlung der Rissweite an QSF im CEM III-Versuchsabschnitt, Einbaudatum 27.10.2020

Messdatum		3.11.20	4.11.20	11.11.20	12.11.20	18.11.20	Bemerkungen (Abwasser- schacht in Pl.)
Alter des Abschnitts [d]		7	8	15	16	22	
Uhrzeit		14:00	08:30	16:00	08:30	15:00	
Witterung		12 °C bedeckt	5 °C leicht bewölkt	10,5°C leicht bewölkt	7,5°C leicht bewölkt	14,0 °C sonnig	
Zw. Platten-Nr.	Fugen-Nr.	Rissweite [mm]					
20001/2	1	-	-	0,50	0,50	0,55	
20002/3	2	-	-	-	0,10	0,10	
20003/4	3	0,2	0,5	0,60	0,75	0,75	20004
20004/5	4	-	-	-	0,10	0,05	
20005/6	5	-	-	0,35	0,70	0,40	
20006/7	6	-	-	-	0,10	0,10	
20007/8	7	0,15	0,45	0,40	0,35	0,50	20008
20008/9	8	-	-	-	0,10	0,10	
20009/10	9	-	-	0,20	0,35	0,35	
20010/11	10	-	-	0,10	0,10	0,10	
20011/12	11	0,35	0,7	0,75	0,95	0,85	20012
20012/13	12	-	-	-	0,10	-	
20013/14	13	-	-	0,10	0,25	0,25	
20014/15	14	-	-	0,40	0,45	0,45	
20015/16	15	-	-	0,10	0,15	0,15	20016
20016/17	16	-	-	0,20	0,20	0,20	
20017/18	17	0,1	0,55	0,45	0,60	0,55	
20018/19	18	-	-	0,10	0,10	0,10	20019
20019/20	19	-	-	0,30	0,45	0,40	
20020/21	20	-	-	-	0,15	0,10	
20021/22	21	0,25	0,5	0,50	0,65	0,65	20022
20022/23	22	-	-	-	0,10	0,10	
20023/24	23	-	-	0,15	0,20	0,20	
20024/25	24	-	0,4	0,45	0,60	0,50	20025
20025/26	25	-	-	0,10	0,15	-	
20026/27	26	-	-	0,20	0,30	0,25	
20027/28	27	0,1	0,45	0,30	0,40	0,45	20028
20028/29	28	-	-	-	0,15	-	
20029/30	29	-	-	0,15	0,20	0,20	
20030/31	30	-	-	0,30	0,35	0,30	
20031/32	31	-	-	0,25	0,30	0,20	
20032/33	32	-	-	-	0,10	0,10	
20033/34	33	-	0,35	0,40	0,40	0,50	
20034/35	34	-	0,1	0,30	0,30	0,30	
20035/36	35	-	-	-	0,10	0,10	
20036/37	36	-	0,2	0,40	0,40	0,40	

20037/38	37	-	-	-	0,10	0,10	
20038/39	38	-	0,35	0,50	0,60	0,60	
20039/40	39	-	-	-	0,10	0,10	
20040/41	40	-	-	0,30	0,40	0,40	

Tabelle 22 Ermittlung der Rissweite an Querscheinfugen im CEM I-Referenzabschnitt, Einbaudatum 03.11.2020

Kontrollbereich 1 ~ km 731,050 - 731,250						
Messdatum		12.11.2020	18.11.2020	19.11.2020	Bemerkungen (Abwasserschacht in Pl.)	
Alter des Abschnitts [d]		9	15	16		
Uhrzeit		09:30	16:00	10:30		
Witterung		9,0°C leicht bewölkt	10,0 °C windig	8,0 °C mäßiger Regen windig		
Zw. Platten-Nr.	Fugen-Nr.	Rissweiten [mm]				
200380	200381	1	-	-	-	
200381	200382	2	-	-	-	
200382	200383	3	0,50	0,50	0,60	
200383	200384	4	-	-	-	
200384	200385	5	0,45	0,50	0,55	200385
200385	200386	6	0,10	-	-	
200386	200387	7	0,40	0,30	0,40	
200387	200388	8	0,35	0,30	0,35	
200388	200389	9	-	-	-	
200389	200390	10	0,80	0,80	0,85	200390
200390	200391	11	-	-	-	
200391	200392	12	-	-	-	
200392	200393	13	0,55	0,50	0,65	
200393	200394	14	-	-	-	
200394	200395	15	0,60	0,55	0,65	200395
200395	200396	16	-	-	-	
200396	200397	17	0,40	0,40	0,45	
200397	200398	18	0,20	0,20	0,30	
200398	200399	19	-	-	-	
200399	200400	20	0,70	0,70	0,80	200400
200400	200401	21	-	-	-	
200401	200402	22	0,10	0,10	0,20	
200402	200403	23	0,50	0,40	0,55	
200403	200404	24	-	-	-	
200404	200405	25	0,55	0,50	0,65	200405
200405	200406	26	-	-	-	
200406	200407	27	0,50	0,50	0,55	
200407	200408	28	0,10	0,05	0,05	
200408	200409	29	0,10	0,05	0,05	
200409	200410	30	0,60	0,60	0,65	200410
200410	200411	31	-	-	-	
200411	200412	32	0,45	0,45	0,50	
200412	200413	33	-	-	-	
200413	200414	34	-	-	-	
200414	200415	35	0,70	0,70	0,80	200415
200415	200416	36	-	-	-	

200416	200417	37	-	-	-	
200417	200418	38	0,50	0,55	0,55	
200418	200419	39	-	-	-	
200419	200420	40	0,50	0,50	0,60	200420

Tabelle 23 Ermittlung der Rissweite an Querscheinfugen im CEM I-Referenzabschnitt, Einbaudatum 04.11.2020

Kontrollbereich 2 ~ km 731,730 - 732,000 Tagesleistung mit Messcomputer						
Datum		12.11.2020	18.11.2020	19.11.2020	Bemerkungen (Abwasserschacht in Pl.)	
Alter des Abschnitts [d]		8	14	15		
Uhrzeit		10:30	16:45	11:00		
Witterung		9,0°C leicht bewölkt	7,5 °C stark windig	7,0 °C starker Regen windig		
Zw. Platten-Nr.	Fugen-Nr.	Rissweiten [mm]				
200520	200521	1	-	-	-	
200521	200522	2	0,60	0,70	0,65	
200522	200523	3	-	-	-	
200523	200524	4	-	-	-	
200524	200525	5	0,70	0,70	0,75	
200525	200526	6	-	-	-	
200526	200527	7	-	-	-	
200527	200528	8	0,45	0,60	0,50	
200528	200529	9	-	-	-	
200529	200530	10	-	-	-	
200530	200531	11	-	-	-	200531
200531	200532	12	-	-	-	
200532	200533	13	0,55	0,60	0,60	
200533	200534	14	-	-	-	
200534	200535	15	-	-	-	
200535	200536	16	-	-	-	
200536	200537	17	0,40	0,40	0,45	
200537	200538	18	-	-	-	
200538	200539	19	-	-	-	
200539	200540	20	0,55	0,60	0,65	
200540	200541	21	-	-	-	
200541	200542	22	-	-	-	
200542	200543	23	-	-	-	
200543	200544	24	0,55	0,55	0,65	
200544	200545	25	-	-	-	
200545	200546	26	-	-	-	
200546	200547	27	-	-	-	
200547	200548	28	0,70	0,75	0,85	
200548	200549	29	-	-	-	
200549	200550	30	-	-	-	
200550	200551	31	-	-	-	200551
200551	200552	32	-	-	-	
200552	200553	33	0,60	0,70	0,70	
200553	200554	34	-	-	-	
200554	200555	35	-	-	-	
200555	200556	36	-	-	-	

200556	200557	37	0,40	0,45	0,50	
200557	200558	38	-	-	-	
200558	200559	39	-	-	-	
200559	200560	40	0,50	0,55	0,60	

Anhang H – Ermittlung der Verbundfestigkeit

Tabelle 24 Abmessungen, Rohdichten und Scherfestigkeiten in der Grenzfläche OB/UB an Bohrkernen des Versuchsabschnitts

		Probekörper - Verbundfestigkeit zw. OB/UB					
		CEM III - Versuchsabschnitt					
		RUB1	RUB2	RUB3	RUB4	RUB5	RUB6
Probenalter	[d]	34	33	33	33	32	31
Durchmesser	[mm]	98,43	98,50	98,47	98 55	98,60	98,65
Länge	[mm]	306,94	306,91	307 15	312,51	343,12	339,11
Masse	[g]	5512,7	5473,0	5507,6	5569,1	6223,4	6239,1
Fläche	[mm ²]	7609,3	7620,1	7615,5	7627,9	7635,6	7643,4
Volumen	[cm ³]	2335,6	2338,7	2339,1	2383,8	2619,9	2591,0
Rohdichte	[g/cm ³]	2,36	2,34	2,35	2,34	2,38	2,41
Bruchlast	[N]	49480	44790	46790	50170	51130	44760
Scherfestigkeit	[N/mm ²]	6,50	5,88	6,14	6,58	6,70	5,86
Mittelwert SF	[N/mm ²]	6,28					

Tabelle 25 Abmessungen, Rohdichten und Scherfestigkeiten in der Grenzfläche OB/UB an Bohrkernen des Referenzabschnitts

		Probekörper - Verbundfestigkeit zw. OB/UB		
		CEM I - Referenzabschnitt		
		RUB7	RUB8	RUB9
Probenalter	[d]	28	27	26
Durchmesser	[mm]	98,73	98,55	98,60
Länge	[mm]	339,66	325,54	330,55
Masse	[g]	6217,2	5831,0	5921,0
Fläche	[mm ²]	7655,8	7627,9	7635,6
Volumen	[cm ³]	2600,3	2483,2	2524,0
Rohdichte	[g/cm ³]	2,39	2,35	2,35
Bruchlast	[N]	44590	39130	49410
Scherfestigkeit	[N/mm ²]	5,82	5,13	6,47
Mittelwert SF	[N/mm ²]	5,81		