

Anhang zu:

**Vermeidung
chloridinduzierter
Korrosion in
Tunnelinnenschalen
aus Stahlbeton**

von

Matthias Rudolph
Marko Orgass
Jana Schneider
Heiko Lorenz
Stephan Reichel
Jörg Schmidt

MFPA Leipzig GmbH
Leipzig

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 173

bast

Anlage 1 Zeitliche Entwicklung der Anforderungen an Beton und Betondeckung

Zeitraum	Regelwerk	Beton, Anford. Expos. Klassen	Beton	Zement Zem.gehalt	w / z	Betondeckung $c_{min.} / c_{nom.}$	Bauteildicke
ab 1972	DIN 1045		Bn 250		$w/z \leq 0,65$	$c_{min.} = 3,5 \text{ cm}$	
ab 1976	ZTV-K 76	wu-Beton	min. B25	$280 \leq z \leq 370 \text{ [kg]}$	$w/z \leq 0,6$		$d \geq 30 \text{ cm}$ (Gewölbe)
ab 1978	DIN 1045			$320 \leq z$ ¹⁾	$w/z \leq 0,60$ ²⁾	$c_{min.} = 3,5 \text{ cm}$	
ab 1980	ZTV-K 1980		min. B25	$\leq 370 \text{ [kg]}$	$w/z \leq 0,55$	$c_{min.} = 4,0 \text{ cm}$ $d \geq 10 \text{ mm}$	$d \geq 30 \text{ cm}$ (Gewölbe)
ab 1988	DIN 1045					$c_{min.} = 4,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 5,0 \text{ cm}$	
ab 1988	ZTV-K 1988	bes. Anford. an Sichtflächen	B25, B35	$300 \leq z \leq 370 \text{ [kg]}$	$w/z \leq 0,50$	$c_{min.} = 4,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 4,5 \text{ cm}$	$d \geq 30 \text{ cm}$ (Gewölbe)
ab 1995	ZTV-Tunnel T. 1					$c_{min.} = 5,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 6,0 \text{ cm}$	$d \geq 30 \text{ cm}$
ab 1996	ZTV-K 1996	bes. Anford. an Sichtflächen	B25, B35	$300 \leq z \leq 370 \text{ [kg]}$ Zement mit mehr als zwei Hauptbestandteilen eingeschränkt ³⁾	$w/z \leq 0,50$	$c_{min.} = 4,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 4,5 \text{ cm}$ $d \geq 10 \text{ mm}$ ⁴⁾	$d \geq 30 \text{ cm}$ (Gewölbe)
ab 1999	ZTV-Tunnel T. 1					$c_{min.} = 6,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 2,0 \text{ cm}$ ⁵⁾	
ab 2001	DIN EN 206 DIN 1045-2	XD1 / XD3 ⁶⁾	C30/37 / C35/45	$300 \text{ kg} \leq z$ $320 \text{ kg} \leq z$ CEM I, CEM II ⁷⁾			
ab 2003	ZTV-ING	XD1 ⁸⁾ XD2 ⁹⁾	C30/37	--	--	$c_{min.} = 5,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 6,0 \text{ cm}$ $c_{min.} = 6,0 \text{ cm}$ ¹⁰⁾	
2015	EN 1992 +NA	XD1 XD3 ¹¹⁾	C30/37 C35/45			$c_{min.} = 4,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 5,5 \text{ cm}$	
2018	ZTV-ING	XD1 ⁸⁾ XD2 ⁹⁾	C30/37	CEM II-M bedarf der Zustimmung d. AG		$c_{min.} = 5,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 6,0 \text{ cm}$	$d \geq 35 \text{ cm}$

- 1) für Außenbauteile, Konsistenz KP, sieblinie unabhängig
- 2) für Außenbauteile
- 3) Portlandflug aschezement, Portlandölschieferzement, Portlandkalksteinzement, und Portlandflug aschehüttenzement nur mit Zustimmung des AG
- 4) für Matten: $d \geq 6 \text{ mm}$
- 5) für die Mattenbewehrung innerhalb der Betondeckung
- 6) Anforderungen hinsichtlich Korrosionsschutz der Bewehrung; Spritzwasserbereich: XD3
- 7) CEM II A+B W, CEM II B-LL+L, CEM II A+B M nicht anwendbar
- 8) für Bauteile ohne direkte Wasserdruckbeanspruchung (offene und geschlossene Bauweise)
- 9) für Bauteile mit direkter Wasserdruckbeanspruchung (offene und geschlossene Bauweise) sowie alle Einfahrtbereiche
- 10) Brandschutz
- 11) Spritzwasserbereich

Anlage 2

Betonzusammensetzung Laborversuche

Übersicht zu den planmäßigen Betoneigenschaften	1
Betonzusammensetzung Serie 1 – CEM I – w/z 0,55	2
Betonzusammensetzung Serie 2 – CEM I – w/z 0,50	2
Betonzusammensetzung Serie 3 – CEM II/B-S – w/z 0,55	3
Betonzusammensetzung Serie 4 – CEM II/B-S – w/z 0,50	3
Sieblinie Serie 1 bis Serie 4.....	4
Probemischung Serie 1 – CEM I – w/z 0,55	5
Probemischung Serie 2 – CEM I – w/z 0,50	6
Serie 1 – CEM I – w/z 0,55 - Prüfkörperherstellung	7
Serie 2 – CEM I – w/z 0,50 - Prüfkörperherstellung	8
Fotodokumentation der Prüfkörperherstellung PK 1 + 2 – 21.06.2018	9
Probemischung Serie 3 – CEM II/B-S – w/z 0,55.....	10
Probemischung Serie 4 – CEM II/B-S – w/z 0,50.....	11
Serie 3 – CEM II/B-S – w/z 0,55 - Prüfkörperherstellung	12
Serie 4 – CEM II/B-S – w/z 0,50 - Prüfkörperherstellung	13
Fotodokumentation der Prüfkörperherstellung PK 3 + 4 – 26.06.2018	14

Übersicht zu den planmäßigen Betoneigenschaften

Eine Übersicht zu den geplanten Betoneigenschaften enthält die Tabelle 1. Hierbei wurden die Betone in die möglichen Expositionsclassen nach aktueller Normenlage eingestuft. Lediglich der Beton der Serie 2 und der Serie 4 erfüllen die Anforderungen an Innenschalenbeton gemäß ZTV-K von 1996. Allerdings bedarf es laut ZTV-K bei der Verwendung von Portlandkompositzement (CEM II) die Zustimmung des Auftraggebers. Alle Betone hätten den Anforderungen der DIN 1045 von 1988 (1978) genügt.

Tabelle 1: Übersicht zu den Betonen

Beton-nummer	Expositionsclassen ZTV-ING DIN 1045-2 / EN 206-1	Festigkeits- klasse	Konsistenz	Schätzwert der Festigkeits- entwicklung	Prüfalter
Serie 1	XC4, XD1, XF1, XA1, XM1	C30/37	F4	schnell	28 Tage
Serie 2	XC4, XD2, XF2/3, XA2, XM2	C30/37	F4	schnell	28 Tage
Serie 3	XC4, XD1, XF1, XA1, XM1	C30/37	F4	mittel	28 Tage
Serie 4	XC4, XD2, XF2/3, XA2, XM2	C30/37	F4	mittel	28 Tage

Betonzusammensetzung Serie 1 – CEM I – w/z 0,55

Tabelle 2: Betonzusammensetzung – Serie 1

Ausgangsstoff	Vol.-% / M.-%	Trockenrohddichte [kg/dm ³]	Gehalt [kg/m ³]	Stoffraum [dm ³ /m ³]
Luftgehalt ¹⁾	1,5	-	-	15,0
Zement CEM I 32,5 R Schwenk	-	3,10	340,0	109,7
Quarzsand 0/1 – Nobitz – Sorte 1021	8,0	2,64	145,0	54,9
Sand 0/2 Kleinpösna – Sorte 521 B	27,0	2,65	491,4	185,4
Kies 2/8 Kleinpösna – Sorte 507 B	30,0	2,65	546,0	206,0
Kies 8/16 Kleinpösna –Sorte 508 B	35,0	2,65	636,9	240,4
Fließmittel ²⁾	0,5	1,1	1,7	1,6
Wasser - Leitungswasser	-	1,0	187,0	187,0
Summe:			2.350	1.000
w/z-Wert	0,55			

Anmerkung: ¹⁾ Vor der Betonherstellung angenommener Wert für den Luftgehalt.

²⁾ Theoretischer Fließmittelgehalt, dieser wird durch Verarbeitungsversuche konkretisiert. Die Art des FM steht zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht fest. Es werden Fließmittel auf Naphtalinsulfonat bzw. Naphtalinsulfonat/Melaminsulfonat Basis verwendet.

Betonzusammensetzung Serie 2 – CEM I – w/z 0,50

Tabelle 3: Betonzusammensetzung – Serie 2

Ausgangsstoff	Vol.-% / M.-%	Trockenrohddichte [kg/dm ³]	Gehalt [kg/m ³]	Stoffraum [dm ³ /m ³]
Luftgehalt ¹⁾	1,5	-	-	15,0
Zement CEM I 32,5 R Schwenk	-	3,10	340,0	109,7
Quarzsand 0/1 – Nobitz – Sorte 1021	8,0	2,64	148,3	56,2
Sand 0/2 Kleinpösna – Sorte 521 B	27,0	2,65	502,4	189,6
Kies 2/8 Kleinpösna – Sorte 507 B	30,0	2,65	558,2	210,6
Kies 8/16 Kleinpösna –Sorte 508 B	35,0	2,65	651,2	245,8
Fließmittel ²⁾	1,0	1,1	3,4	3,2
Wasser - Leitungswasser	-	1,0	170,0	170,0
Summe:			2.370	1.000
w/z-Wert	0,50			

Anmerkung: ¹⁾ Vor der Betonherstellung angenommener Wert für den Luftgehalt.

²⁾ Theoretischer Fließmittelgehalt, dieser wird durch Verarbeitungsversuche konkretisiert. Die Art des FM steht zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht fest. Es werden Fließmittel auf Naphtalinsulfonat bzw. Naphtalinsulfonat/Melaminsulfonat Basis verwendet.

Betonzusammensetzung Serie 3 – CEM II/B-S – w/z 0,55

Tabelle 4: Betonzusammensetzung – Serie 3

Ausgangsstoff	Vol.-% / M.-%	Trockenrohdichte [kg/dm ³]	Gehalt [kg/m ³]	Stoffraum [dm ³ /m ³]
Luftgehalt ¹⁾	1,5	-	-	15,0
Zement CEM II/B-S 42,5 N Schwenk	-	3,05	340,0	111,5
Quarzsand 0/1 – Nobitz – Sorte 1021	8,0	2,64	144,7	54,8
Sand 0/2 Kleinpösna – Sorte 521 B	27,0	2,65	490,1	184,9
Kies 2/8 Kleinpösna – Sorte 507 B	30,0	2,65	544,5	205,5
Kies 8/16 Kleinpösna –Sorte 508 B	35,0	2,65	635,3	239,7
Fließmittel ²⁾	0,5	1,1	1,7	1,6
Wasser - Leitungswasser	-	1,0	187,0	187,0
Summe:			2.340	1.000
w/z-Wert	0,55			

Anmerkung: ¹⁾ Vor der Betonherstellung angenommener Wert für den Luftgehalt.

²⁾ Theoretischer Fließmittelgehalt dieser wird durch Verarbeitungsversuche konkretisiert. Die Art des FM steht zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht fest. Es werden Fließmittel auf Naphtalinsulfonat bzw. Naphtalinsulfonat/Melaminsulfonat Basis verwendet.

Betonzusammensetzung Serie 4 – CEM II/B-S – w/z 0,50

Tabelle 5: Betonzusammensetzung – Serie 4

Ausgangsstoff	Vol.-% / M.-%	Trockenrohdichte [kg/dm ³]	Gehalt [kg/m ³]	Stoffraum [dm ³ /m ³]
Luftgehalt ¹⁾	1,5	-	-	15,0
Zement CEM II/B-S 42,5 N Schwenk	-	3,05	340,0	111,5
Quarzsand 0/1 – Nobitz – Sorte 1021	8,0	2,64	147,9	56,0
Sand 0/2 Kleinpösna – Sorte 521 B	27,0	2,65	497,3	189,1
Kies 2/8 Kleinpösna – Sorte 507 B	30,0	2,65	550,5	210,1
Kies 8/16 Kleinpösna –Sorte 508 B	35,0	2,65	644,7	245,1
Fließmittel ²⁾	1,0	1,1	3,4	3,2
Wasser - Leitungswasser	-	1,0	170,0	170,0
Summe:			2.350	1.000
w/z-Wert	0,50			

Anmerkung: ¹⁾ Vor der Betonherstellung angenommener Wert für den Luftgehalt.

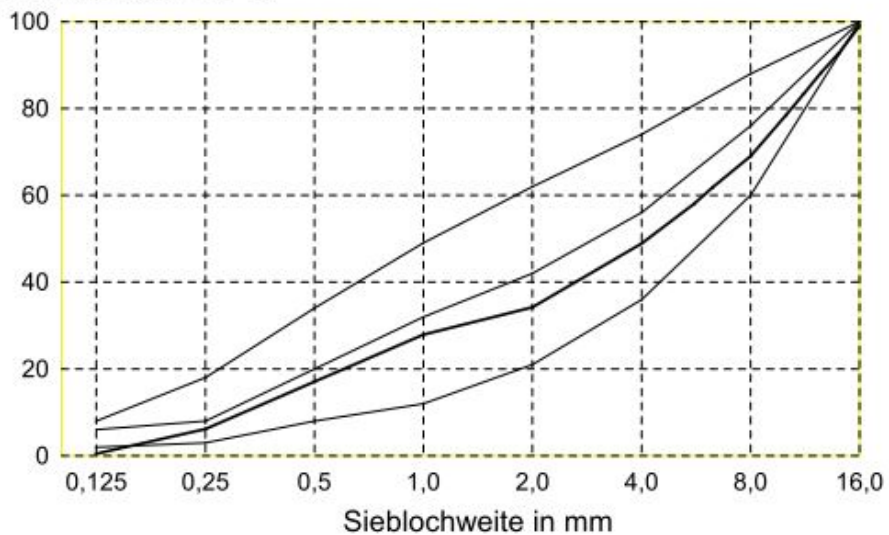
²⁾ Theoretischer Fließmittelgehalt, dieser wird durch Verarbeitungsversuche konkretisiert. Die Art des FM steht zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht fest. Es werden Fließmittel auf Naphtalinsulfonat bzw. Naphtalinsulfonat/Melaminsulfonat Basis verwendet.

Sieblinie Serie 1 bis Serie 4

Durchgänge in Vol-%

	Sieblochweite in mm																			
	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	6,3	8	10	11,2	12,5	14	16	20	22,4	31,5	40	45	63
8%	6,0	57,0	96,0	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
27%	0,0	6,0	35,0	73,0	95,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
30%	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	43,0	69,0	79,0	98,0	98,0	99,0	99,0	99,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
35%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	7,0	9,0	13,0	40,0	53,0	67,0	80,0	97,0	98,0	98,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Summe	0,5	6,2	17,1	27,9	34,2	48,9	58,1	61,9	69,0	78,4	83,3	88,2	92,7	99,0	99,3	99,3	100,0	100,0	100,0	100,0

Durchgänge in Vol-%



Probemischung Serie 1 – CEM I – w/z 0,55

Versuch: M1 – Serie 1 – CEM I 32,5 R – w/z 0,55

Tabelle 6: Versuchsbeschreibung

Versuchsbezeichnung: Serie 1		Mischnummer: 1
Mischer: Zyklus ZZ 75 HE	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 38 l
Betonrezeptur: CEM I 0,55	w/z-Wert 0,55	Zementgehalt: 340 kg/m ³
Herstelldatum: 15.05.2018	Lufttemperatur: 20 ± 2 °C	Fließmittel: FM 30 (0,3 M.-% v. Z.)
Verdichtung: Dauer 30 s	Intensität: 3600 ± 200 U/min	

Tabelle 7: Mischregime


Nr.	Mischschritt	Mischdauer [s]	Frischbeton
0	Zugabe grobe GK	-	
1	Zugabe Sand	-	
2	Zugabe ½ Wasser	-	
3	Nassmischen	20	
4	Ruhen	120	
5	Zugabe Zement	10	
6	Zugabe ½ Wasser + FM	30	
7	Nassmischen	120	
8	Ende	-	
Summe		∑ 300	

Abbildung 1: Ausbreitmaß

Tabelle 8: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 1

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohdichte [kg/m ³]	Frischbetonluft- gehalt [Vol.-%]	Probekörper- herstellung [St.]
550 / 540	22	2.390	1,2	1 x 15W

Tabelle 9: Druckfestigkeit DIN EN 12390-2 – Serie 1

Bez.	Abmessungen			Prüffläche A _c [mm ²]	Volumen V [dm ³]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit ¹⁾	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f _{c,dry}	f _{c,cube}
28 d – Betondruckfestigkeit				Prüfung: 12.06.2018		Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft				
W 1	150	150	150	22.500	3,375	7.797	2.310	998,1	44,4	40,8

Anmerkung: ¹⁾ f_{c, cube} = f_{c, dry} * 0,92

Probemischung Serie 2 – CEM I – w/z 0,50

Versuch: **M2** – Serie 2 – CEM I 32,5 R – w/z 0,50

Tabelle 10: Versuchsbeschreibung

Versuchsbezeichnung: Serie 2		Mischnummer: 2
Mischer: Zyklus ZZ 75 HE	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 38 l
Betonrezeptur: CEM I 0,50	w/z-Wert 0,50	Zementgehalt: 340 kg/m ³
Herstelldatum: 16.05.2018	Lufttemperatur: 20 ± 2 °C	Fließmittel: FM 30 (1,1 M.-% v. Z.)
Verdichtung: Dauer 30 s	Intensität: 3600 ± 200 U/min	

Tabelle 11: Mischregime

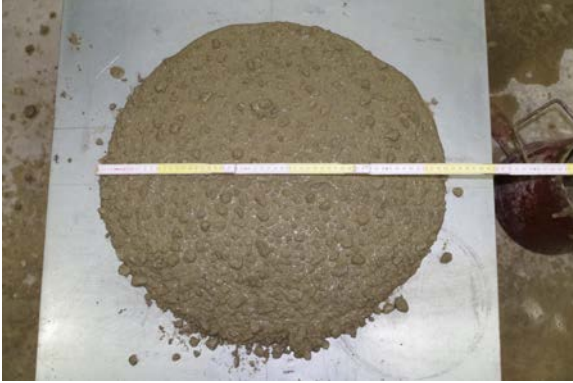
Nr.	Mischschritt	Mischdauer [s]	Frischbeton
0	Zugabe grobe GK	-	
1	Zugabe Sand	-	
2	Zugabe ½ Wasser	-	
3	Nassmischen	20	
4	Ruhen	120	
5	Zugabe Zement	10	
6	Zugabe ½ Wasser + FM	30	
7	Nassmischen	120	
8	Ende	-	
	Summe	Σ 300	

Abbildung 2: Ausbreitmaß

Tabelle 12: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 2

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohdichte [kg/m ³]	Frischbetonluft- gehalt [Vol.-%]	Probekörper- herstellung [St.]
540 / 530	24	2.380	1,7	1 x 15 W

Tabelle 13: Druckfestigkeit DIN EN 12390-2 – Serie 2

Bez.	Abmessungen			Prüffläche A _c [mm ²]	Volumen V [dm ³]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit ¹⁾	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f _{c,dry}	f _{c,cube}
28 d – Betondruckfestigkeit				Prüfung: 13.06.2018		Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft				
W 2	151	150	150	22.650	3,398	7.986	2.350	1217,8	53,8	49,5

Anmerkung: ¹⁾ f_{c, cube} = f_{c, dry} * 0,92

Serie 1 – CEM I – w/z 0,55 - Prüfkörperherstellung

Versuch: **PK1** – Serie 1 – CEM I 32,5 R – w/z 0,55

Tabelle 14: Versuchsbeschreibung

Versuchbez.: Prüfkörper Serie 1 (0,80 x 0,70 x 0,35 m ³)		Mischnummer: 3
Mischer: Pemat PMM	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 221 l
Betonrezeptur: CEM I 0,55	w/z-Wert 0,55	Zementgehalt: 340 kg/m ³
Herstdatum: 21.06.2018	Lufttemperatur: 20 ± 2 °C	Fließmittel: FM 30 (0,8 M.-% v. Z.)
Verdichtung Würfel:	Dauer 30 s	Intensität: 3600 ± 200 U/min
Verdichtung Prüfkörper:	Typ: Innenrüttler M1000	Rüttelflasche: Ø 25 mm

Tabelle 15: Mischregime


Nr.	Mischschritt	Mischdauer [s]	Frischbeton
0	Zugabe Gesteinskörnung	-	
1	Zugabe Zement	-	
2	Trockenmischen	30	
3	Zugabe Wasser + FM	30	
4	Nassmischen	120	
5	Nachdosierung FM	120	
8	Ende	-	
	Summe	Σ 300	

Abbildung 3: Ausbreitmaß

Tabelle 16: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 1

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohdichte [kg/m ³]	Frischbetonluft- gehalt [Vol.-%]	Probekörper- herstellung [St.]
540	25,1	2.350	3,2	3 x 15W

Tabelle 17: Druckfestigkeit DIN EN 12390-2 – Serie 1 – Prüfung ausstehend!

Bez.	Abmessungen			Prüffläche A _c [mm ²]	Volumen V [dm ³]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit ¹⁾	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f _{c,dry}	f _{c,cube}
28 d – Betondruckfestigkeit		Prüfung: 19.07.2018			Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft					
W 3										
W 4										
W 5										
Mittelwert:										

Anmerkung: ¹⁾ f_{c, cube} = f_{c, dry} * 0,92

Serie 2 – CEM I – w/z 0,50 - Prüfkörperherstellung

Versuch: **PK2** – Serie 2 – CEM I 32,5 R – w/z 0,50

Tabelle 18: Versuchsbeschreibung

Versuchsbez.: Prüfkörper Serie 2 (0,80 x 0,70 x 0,35 m ³)		Mischnummer: 4
Mischer: Pemat PMM	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 221 l
Betonrezeptur: CEM I 0,50	w/z-Wert 0,50	Zementgehalt: 340 kg/m ³
Herstelldatum: 21.06.2018	Lufttemperatur: 20 ± 2 °C	Fließmittel: FM 30 (1,6 M.-% v. Z.)
Verdichtung Würfel:	Dauer 30 s	Intensität: 3600 ± 200 U/min
Verdichtung Prüfkörper:	Typ: Innenrüttler M1000	Rüttelflasche: Ø 25 mm

Tabelle 19: Mischregime


Nr.	Mischschritt	Mischdauer [s]	Frischbeton
0	Zugabe Gesteinskörnung	-	
1	Zugabe Zement	-	
2	Trockenmischen	30	
3	Zugabe Wasser + FM	30	
4	Nassmischen	120	
5	Nachdosierung FM	120	
8	Ende	-	
	Summe	Σ 300	

Abbildung 4: Ausbreitmaß

Tabelle 20: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 2

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohddichte [kg/m ³]	Frischbetonluft- gehalt [Vol.-%]	Probekörper- herstellung [St.]
520	25,9	2.400	1,6	3 x 15W

Tabelle 21: Druckfestigkeit DIN EN 12390-2 – Serie 2 – Prüfung ausstehend!

Bez.	Abmessungen			Prüffläche A _c [mm ²]	Volumen V [dm ³]	Masse m [g]	Rohddichte ρ [kg/m ³]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit ¹⁾	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f _{c,dry}	f _{c,cube}
28 d – Betondruckfestigkeit				Prüfung: 19.07.2018		Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft				
W 6										
W 7										
W 8										
Mittelwert:										

Anmerkung: ¹⁾ f_{c, cube} = f_{c, dry} * 0,92

Fotodokumentation der Prüfkörperherstellung PK 1 + 2 – 21.06.2018



Abbildung 5: Prüfkörperschalung



Abbildung 6: Betonmischer Pemat - PMM



Abbildung 7: ABM – Mischung 3



Abbildung 8 – Betonage PK 1



Abbildung 9: Betonage PK 2



Abbildung 10: Verdichtung

Probemischung Serie 3 – CEM II/B-S – w/z 0,55

Versuch: **M5** – Serie 3 – CEM II/B-S 42,5 N – w/z 0,55

Tabelle 22: Versuchsbeschreibung

Versuchsbezeichnung: Serie 3		Mischnummer: 5
Mischer: Zyklus ZZ 75 HE	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 38 l
Betonrezeptur: CEM II 0,55	w/z-Wert 0,55	Zementgehalt: 340 kg/m ³
Herstelldatum: 25.06.2018	Lufttemperatur: 20 ± 2 °C	Fließmittel: FM 30 (0,3 M.-% v. Z.)
Verdichtung: Dauer 30 s	Intensität: 3600 ± 200 U/min	

Tabelle 23: Mischregime

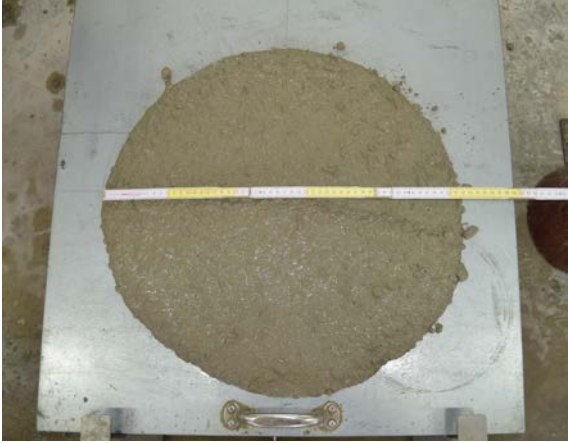
Nr.	Mischschritt	Mischdauer [s]	Frischbeton
0	Zugabe grobe GK	-	
1	Zugabe Sand	-	
2	Zugabe ½ Wasser	-	
3	Nassmischen	20	
4	Ruhen	120	
5	Zugabe Zement	10	
6	Zugabe ½ Wasser + FM	30	
7	Nassmischen	120	
8	Ende	-	
Summe		∑ 300	

Abbildung 11: Ausbreitmaß

Tabelle 24: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 3

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- roh-dichte [kg/m ³]	Frischbetonluft- gehalt [Vol.-%]	Probekörper- herstellung [St.]
530	21,0	2.360	1,9	1 x 15W

Tabelle 25: Druckfestigkeit DIN EN 12390-2 – Serie 3 – Prüfung ausstehend!

Bez.	Abmessungen			Prüffläche A _c [mm ²]	Volumen V [dm ³]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit ¹⁾	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f _{c,dry}	f _{c,cube}
28 d – Betondruckfestigkeit		Prüfung: 23.07.2018			Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft					
W 9										

Anmerkung: ¹⁾ $f_{c,cube} = f_{c,dry} * 0,92$

Probemischung Serie 4 – CEM II/B-S – w/z 0,50

Versuch: **M6** – Serie 4 – CEM II/B-S 42,5 N – w/z 0,50

Tabelle 26: Versuchsbeschreibung

Versuchsbezeichnung: Serie 4		Mischnummer: 6
Mischer: Zyklus ZZ 75 HE	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 38 l
Betonrezeptur: CEM II 0,50	w/z-Wert 0,50	Zementgehalt: 340 kg/m ³
Herstelldatum: 25.06.2018	Lufttemperatur: 20 ± 2 °C	Fließmittel: FM 30 (0,5 M.-% v. Z.)
Verdichtung: Dauer 30 s	Intensität: 3600 ± 200 U/min	

Tabelle 27: Mischregime

Nr.	Mischschritt	Mischdauer [s]
0	Zugabe grobe GK	-
1	Zugabe Sand	-
2	Zugabe ½ Wasser	-
3	Nassmischen	20
4	Ruhen	120
5	Zugabe Zement	10
6	Zugabe ½ Wasser + FM	30
7	Nassmischen	120
8	Ende	-
	Summe	∑ 300

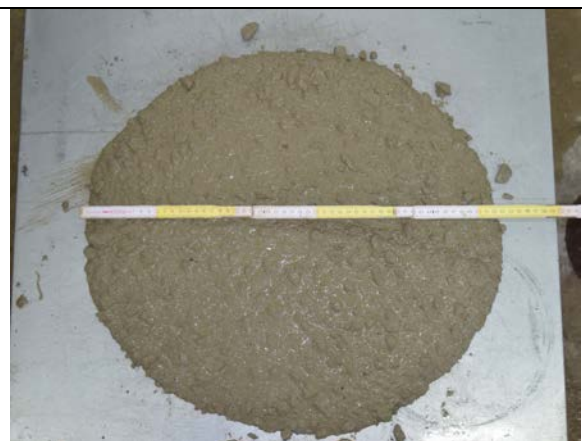


Abbildung 12: Ausbreitmaß

Tabelle 28: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 4

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohndichte [kg/m ³]	Frischbetonluft- gehalt [Vol.-%]	Probekörper- herstellung [St.]
520	21,6	2.390	1,8	1 x 15W

Tabelle 29: Druckfestigkeit DIN EN 12390-2 – Serie 4 – Prüfung ausstehend!

Bez.	Abmessungen			Prüffläche A _c [mm ²]	Volumen V [dm ³]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit ¹⁾	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f _{c,dry}	f _{c,cube}
28 d – Betondruckfestigkeit				Prüfung: 23.07.2018		Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft				
W 10										

Anmerkung: ¹⁾ f_{c, cube} = f_{c, dry} * 0,92

Serie 3 – CEM II/B-S – w/z 0,55 - Prüfkörperherstellung

Versuch: **PK3** – Serie 3 – CEM II/B-S 42,5 N – w/z 0,55

Tabelle 30: Versuchsbeschreibung

Versuchsbez.: Prüfkörper Serie 3 (0,80 x 0,70 x 0,35 m ³)		Mischnummer: 7
Mischer: Pemat PMM	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 221 l
Betonrezeptur: CEM II 0,55	w/z-Wert 0,55	Zementgehalt: 340 kg/m ³
Herstelldatum: 26.06.2018	Lufttemperatur: 20 ± 2 °C	Fließmittel: FM 30 (0,6 M.-% v. Z.)
Verdichtung Würfel:	Dauer 30 s	Intensität: 3600 ± 200 U/min
Verdichtung Prüfkörper:	Typ: Innenrüttler M1000	Rüttelflasche: Ø 25 mm

Tabelle 31: Mischregime


Nr.	Mischschritt	Mischdauer [s]	Frischbeton
0	Zugabe Gesteinskörnung	-	
1	Zugabe Zement	-	
2	Trockenmischen	30	
3	Zugabe Wasser + FM	30	
4	Nassmischen	120	
5	Nachdosierung FM	120	
8	Ende	-	
	Summe	Σ 300	

Abbildung 13: Ausbreitmaß

Tabelle 32: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 3

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohdichte [kg/m ³]	Frischbetonluft- gehalt [Vol.-%]	Probekörper- herstellung [St.]
530	22,4	3.410	1,4	3 x 15W

Tabelle 33: Druckfestigkeit DIN EN 12390-2 – Serie 3 – Prüfung ausstehend!

Bez.	Abmessungen			Prüffläche A _c [mm ²]	Volumen V [dm ³]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit ¹⁾	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f _{c,dry}	f _{c,cube}
28 d – Betondruckfestigkeit		Prüfung: 24.07.2018			Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft					
W 11										
W 12										
W 13										
Mittelwert:										

Anmerkung: ¹⁾ f_{c, cube} = f_{c, dry} * 0,92

Serie 4 – CEM II/B-S – w/z 0,50 - Prüfkörperherstellung

Versuch: **PK4** – Serie 4 – CEM II/B-S 42,5 N – w/z 0,50

Tabelle 34: Versuchsbeschreibung

Versuchsbez.: Prüfkörper Serie 4 (0,80 x 0,70 x 0,35 m ³)		Mischnummer: 8
Mischer: Pemat PMM	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 221 l
Betonrezeptur: CEM II 0,50	w/z-Wert 0,50	Zementgehalt: 340 kg/m ³
Herstelldatum: 26.06.2018	Lufttemperatur: 20 ± 2 °C	Fließmittel: FM 30 (0,9 M.-% v. Z.)
Verdichtung Würfel:	Dauer 30 s	Intensität: 3600 ± 200 U/min
Verdichtung Prüfkörper:	Typ: Innenrüttler M1000	Rüttelflasche: Ø 25 mm

Tabelle 35: Mischregime


Nr.	Mischschritt	Mischdauer [s]	Frischbeton
0	Zugabe Gesteinskörnung	-	
1	Zugabe Zement	-	
2	Trockenmischen	30	
3	Zugabe Wasser + FM	30	
4	Nassmischen	120	
5	Nachdosierung FM	120	
8	Ende	-	
	Summe	Σ 300	

Abbildung 14: Ausbreitmaß

Tabelle 36: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 4

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohdichte [kg/m ³]	Frischbetonluft- gehalt [Vol.-%]	Probekörper- herstellung [St.]
510	23,1	2.370	0,9	3 x 15W

Tabelle 37: Druckfestigkeit DIN EN 12390-2 – Serie 4 – Prüfung ausstehend!

Bez.	Abmessungen			Prüffläche A _c [mm ²]	Volumen V [dm ³]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m ³]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit ¹⁾	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f _{c,dry}	f _{c,cube}
28 d – Betondruckfestigkeit		Prüfung: 24.07.2018			Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft					
W 14										
W 15										
W 16										
Mittelwert:										

Anmerkung: ¹⁾ f_{c, cube} = f_{c, dry} * 0,92

Fotodokumentation der Prüfkörperherstellung PK 3 + 4 – 26.06.2018



Abbildung 15: Prüfkörperschalung PK 3 + 4



Abbildung 16: Betonmischer PMM - Pemat



Abbildung 17: ABM – Mischung 7



Abbildung 18 – Betonage PK 3



Abbildung 19: Betonage PK 4



Abbildung 20: Verdichtung

Anlage 3 Chloridmigrationskoeffizient nach BAW-Merkblatt

Laborprüfkörper

Ergebnisse der Bestimmung des Chloridmigrationskoeffizienten zu zwei Zeitpunkten je Betonorte, Berechnung nach BAW-Merkblatt

Rezeptur / Beton-Nr.	Probe	Alter in d	U _{App} in V	T mittel in °C	t in h	L in mm	xd in mm	Berechnung nach BAW	
								Migrationskoeffizient x 10 ⁻¹² m ² /s	Mittelwert Migrationskoeffizient
1	1.2	173	30	21,8	8	50,3	21,4	28,1	26,8
	1.6		30	21,8	8	50,1	19,4	25,2	
	1.10		30	21,8	8	51,5	20,3	27,2	
	F1-19	285	30	22,0	8	47,8	17,6	21,7	
	F1-20		30	22,0	8	47,6	15,8	19,3	
	F1-21		30	22,0	8	47,9	15,0	18,4	
2	2.2	167	30	22,6	18	49,5	39,5	23,5	21,2
	2.6		30	22,6	18	49,7	36,5	21,7	
	2.10		30	22,6	18	49,2	31,3	18,3	
	F2-19	285	30	21,9	8	49,8	14,7	18,6	
	F2-20		30	21,9	8	49,3	12,4	15,4	
	F2-21		30	21,9	8	49,3	15,1	19,0	
3	3.2	163	30	22,7	24	50,0	14,2	6,0	6,2
	3.6		30	22,7	24	50,0	14,9	6,3	
	3.10		30	22,7	24	49,2	15,0	6,3	
	F3-19	283	30	21,9	24	49,3	10,7	4,4	
	F3-20		30	21,9	24	48,9	11,3	4,6	
	F3-21		30	21,9	24	48,8	10,5	4,2	
4	4.2	169	30	21,6	24	49,9	14,6	6,1	5,9
	4.6		30	21,6	24	50,2	13,6	5,7	
	4.10		30	21,6	24	50,1	13,6	5,7	
	F4-19	283	30	21,7	24	49,4	9,9	4,0	
	F4-20		30	21,7	24	49,2	10,3	4,2	
	F4-21		30	21,7	24	48,8	8,7	3,4	

Bauwerksproben

Ergebnisse der Bestimmung des Chloridmigrationskoeffizienten

Tunnel	Probe	Alter, ca. in d	U _{App} in V	T mittel in °C	t in h	L in mm	xd in mm	Berechnung nach BAW	
								Migrationskoeffizient x 10 ⁻¹² m ² /s	Mittelwert Migrationskoeffizient
Farchant	B1.1	6414	30	21,9	48	44,7	18,5	3,6	4,6
	B2.1	6414	30	21,9	48	46,1	30,2	6,2	
	B3.1	6414	30	21,9	48	46,0	23,7	4,8	
	B4.1	6414	30	20,6	72	46,6	25,5	3,5	
	B5.1	6414	30	20,6	72	45,1	28,5	3,8	
	B6.1	6414	30	20,6	72	46,0	28,6	3,9	
	B7.1	6421	30	20,8	48	45,9	32,6	6,7	
	B8.1	6421	30	20,8	48	46,0	22,9	4,6	
Pfaffenstein	1.1 Pf	15187	30	20,8	48	50,0	12,9	2,7	2,9
	2.1 Pf	15187	30	20,9	48	50,1	12,4	2,6	
	3.1 Pf	15187	30	20,9	48	50,3	11,5	2,4	
	4.2 Pf	15187	30	20,9	48	50,2	10,9	2,2	
	5.1 Pf	15208	30	22,5	48	50,2	10,5	2,2	
	6.1 Pf	15208	30	22,5	48	50,0	27,6	6,1	
	7.1 Pf	15208	30	22,5	48	50,0	12,3	2,6	
	8.1 Pf	15208	30	22,4	48	50,1	11,2	2,3	
Prüfering	1.1 Pr	6442	30	22,4	48	49,5	21,4	4,6	5,7
	3.1 Pr	6449	30	21,8	24	49,9	15,0	6,3	
	4.1 Pr	6449	30	21,8	24	49,6	13,5	5,6	
	5.1 Pr	6449	30	21,8	24	50,1	13,3	5,6	
	6.1 Pr	6449	30	21,6	24	50,3	13,0	5,5	
	7.1 Pr	6449	30	21,6	24	49,2	14,6	6,1	
	8.1 Pr	6449	30	21,6	24	50,1	14,5	6,1	

Anlage 4 Fotodokumentation Tunnel Farchant



Bild 1 Tunnel Farchant, Einfahrt Oströhre



Bild 2 Tunnel Farchant, Ausfahrt Oströhre



Bild 3 Tunnel Farchant, Ulmenbereich mit Beschichtung



Bild 4 Tunnel Farchant, Beschichtung beschädigt durch Fremdeinwirkung



Bild 5 Netzrisse im oberen Bereich der Beschichtung



Bild 6 Netzrisse oben, Detail zu Bild 5



Bild 7 Block 84, Ost, Einzelrisse im unteren Bereich



Bild 8 Beschichtung abgeplatzt, Detail zu Bild 7



Bild 9 Verbundstörung zwischen Spachtel und hwO des Oberflächenschutzsystems im Rissbereich



Bild 10 Benetzungsverhalten des Betons oberhalb des beschichteten Bereiches

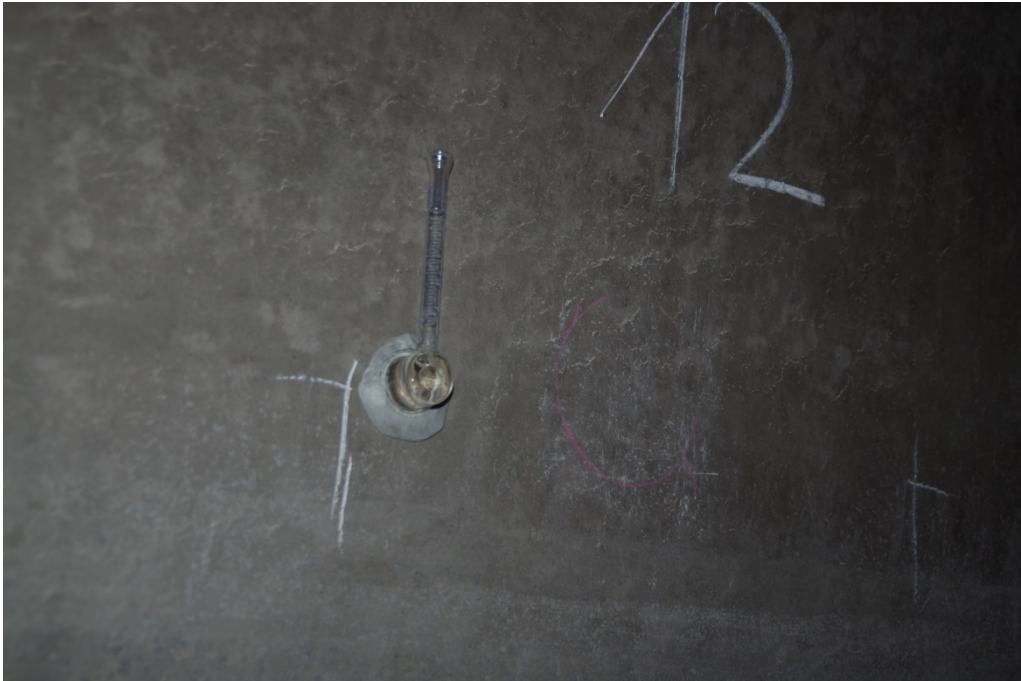


Bild 11 Messung der kapillaren Wasseraufnahme

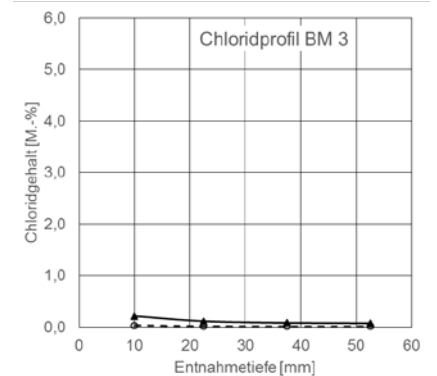
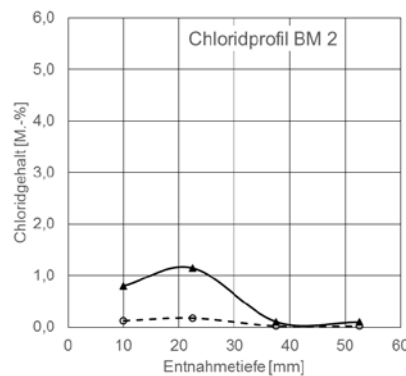
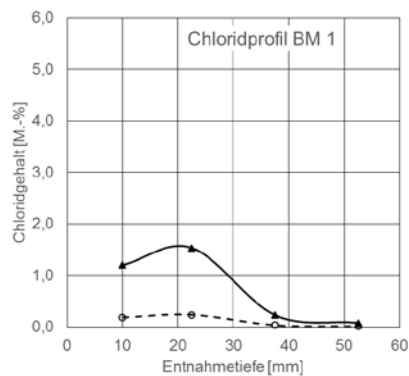
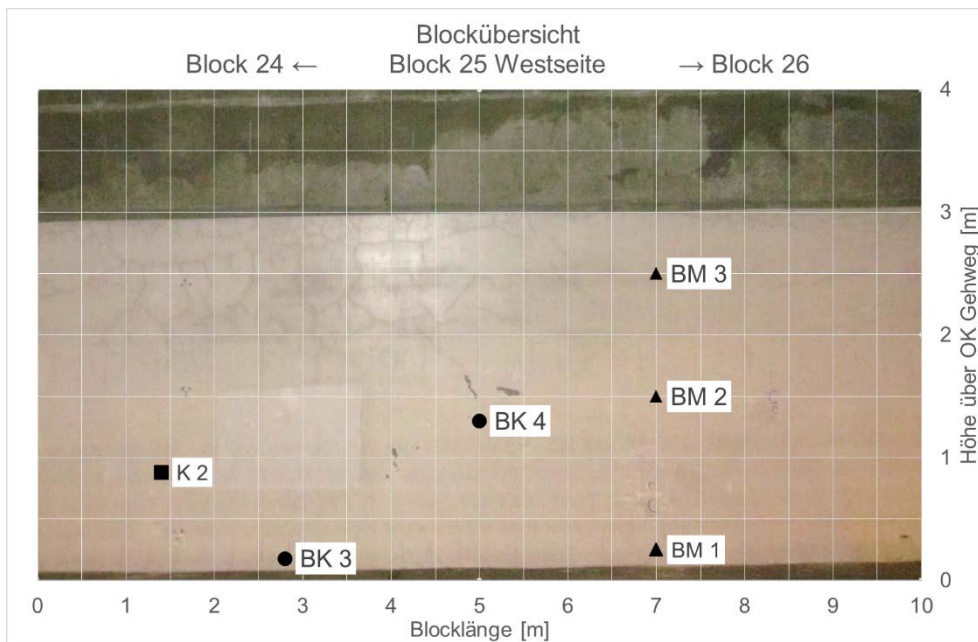
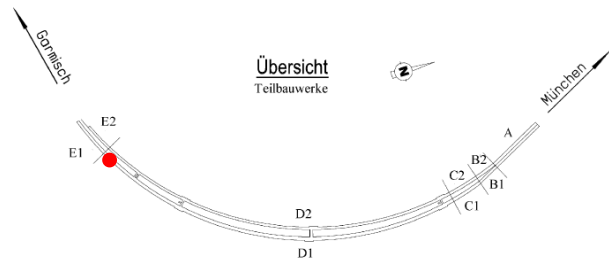
Anlage 5 Chloridgehalt des Betons – Tunnel Farchant

Farchant Oströhre

Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



-○- CI [M.-%Beton] -▲- CI [M.-%CEM]

0 bis 15 [mm]	1,195	M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	1,532	M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,228	M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,078	M.-%CEM

0,791	M.-%CEM
1,141	M.-%CEM
0,101	M.-%CEM
0,095	M.-%CEM

0,215	M.-%CEM
0,115	M.-%CEM
0,082	M.-%CEM
0,076	M.-%CEM

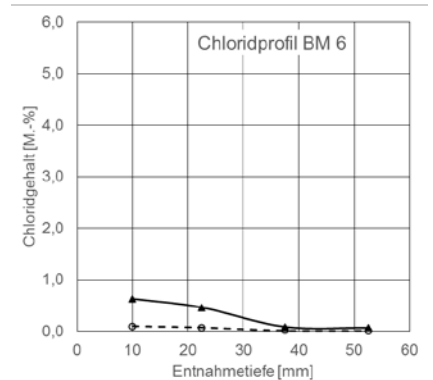
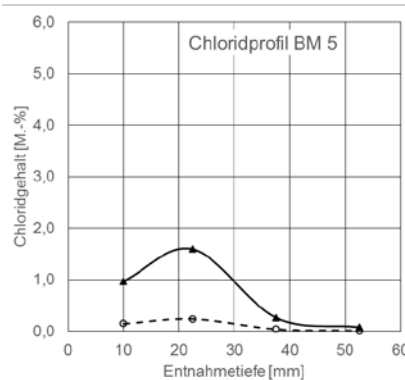
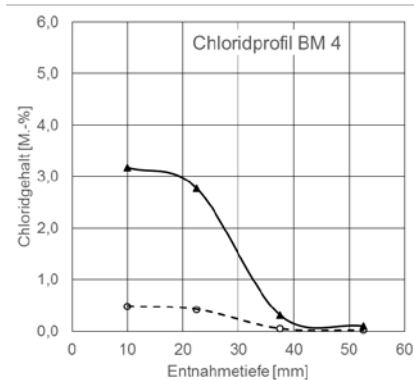
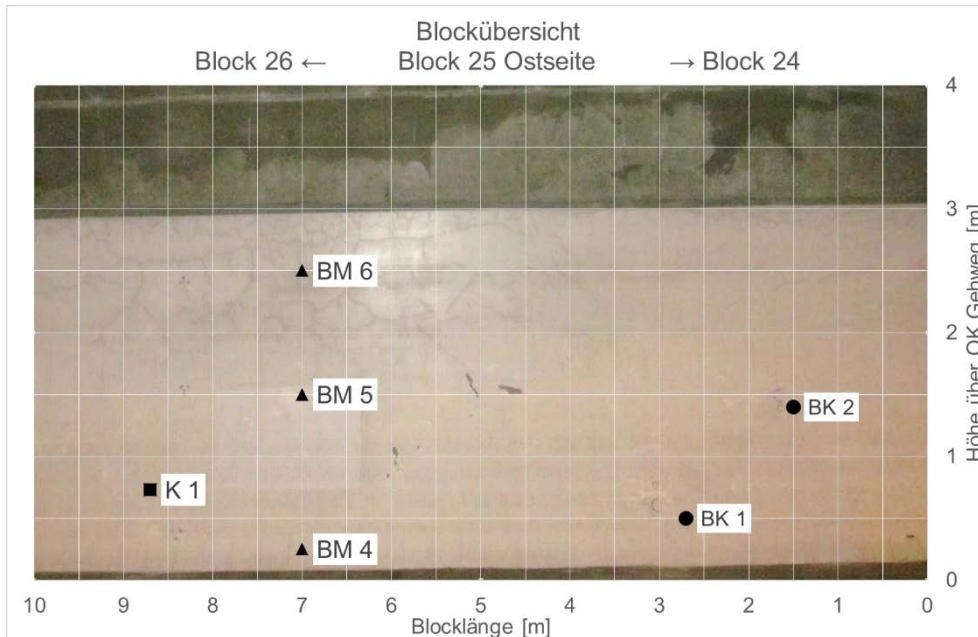
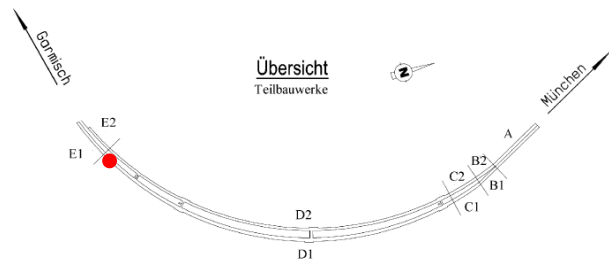
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Farchant Oströhre

Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



-○- CI [M.-%Beton] -▲- CI [M.-%CEM]

0 bis 15 [mm]	3,171 M.-% _{CEM}
15 bis 30 [mm]	2,767 M.-% _{CEM}
30 bis 45 [mm]	0,309 M.-% _{CEM}
45 bis 60 [mm]	0,098 M.-% _{CEM}

0 bis 15 [mm]	0,970 M.-% _{CEM}
15 bis 30 [mm]	1,592 M.-% _{CEM}
30 bis 45 [mm]	0,262 M.-% _{CEM}
45 bis 60 [mm]	0,077 M.-% _{CEM}

0 bis 15 [mm]	0,629 M.-% _{CEM}
15 bis 30 [mm]	0,460 M.-% _{CEM}
30 bis 45 [mm]	0,084 M.-% _{CEM}
45 bis 60 [mm]	0,066 M.-% _{CEM}

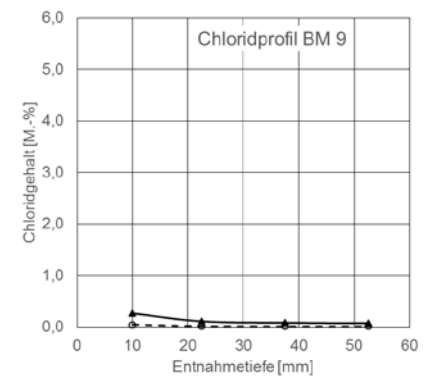
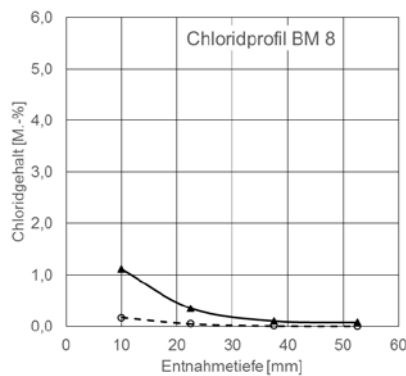
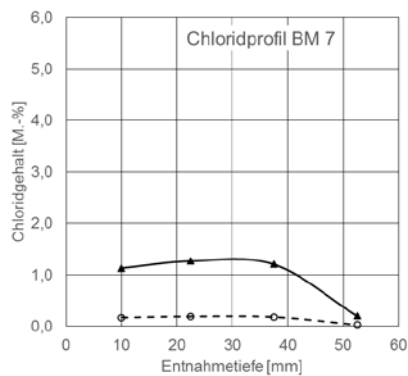
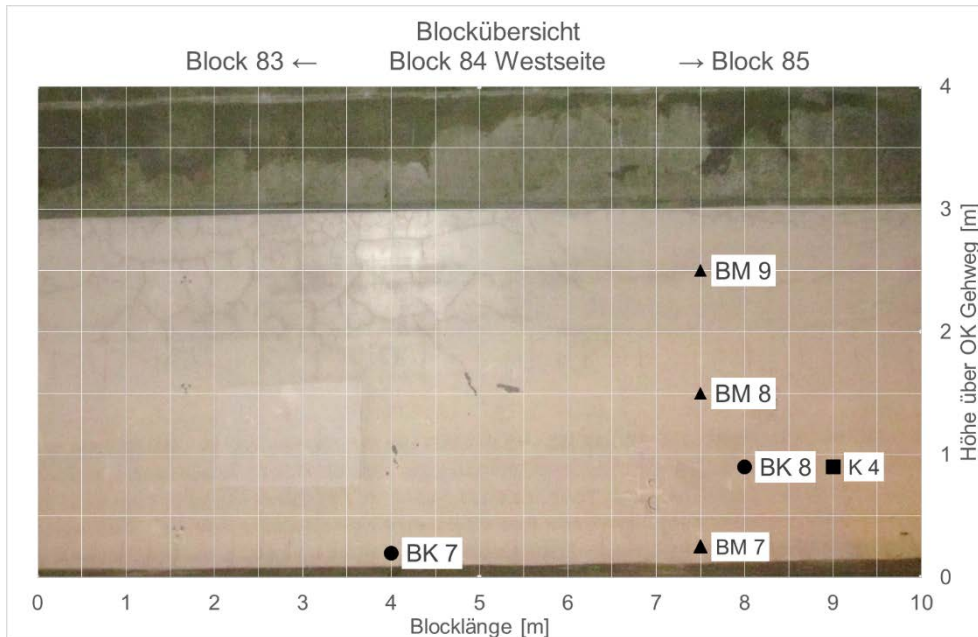
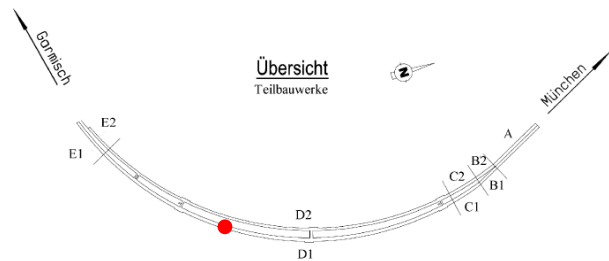
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Farchant Oströhre

Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



—○— CI [M.-%Beton] —▲— CI [M.-%CEM]

0 bis 15 [mm]	1,130 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	1,268 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	1,204 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,199 M.-%CEM

0 bis 15 [mm]	1,112 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	0,348 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,105 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,077 M.-%CEM

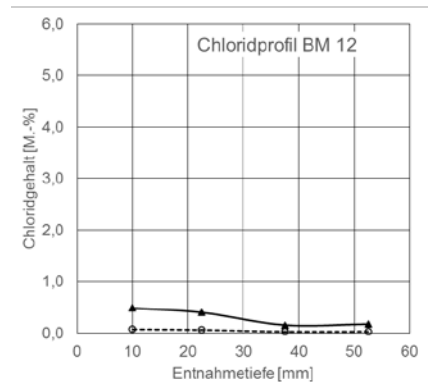
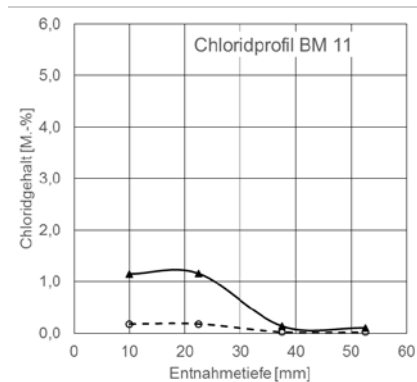
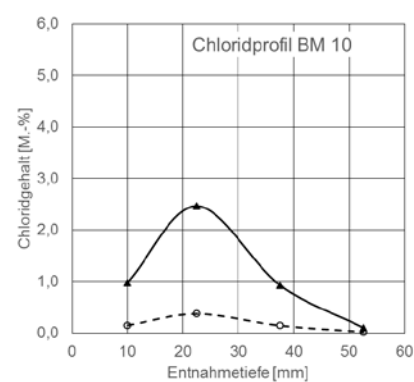
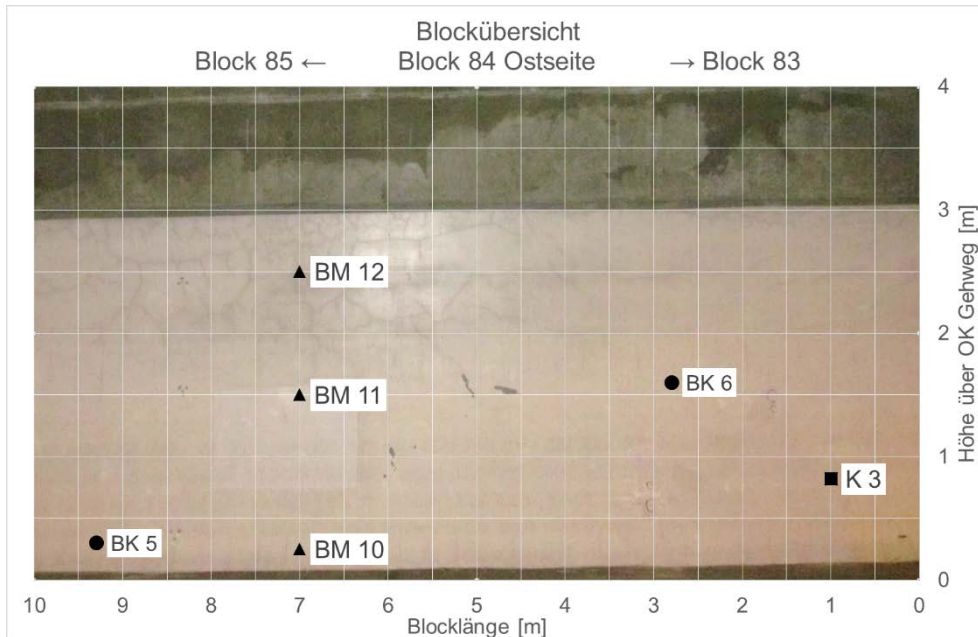
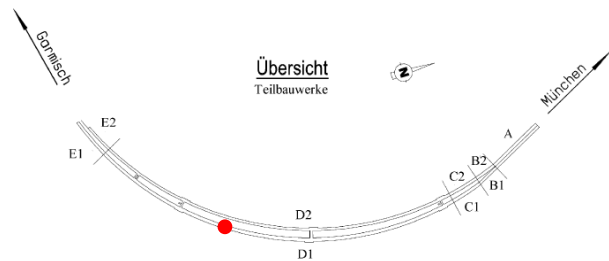
0 bis 15 [mm]	0,264 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	0,107 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,079 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,070 M.-%CEM

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Farchant Oströhre

Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]
 0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



-○- CI [M.-%Beton] -▲- CI [M.-%CEM]

Entnahmetiefe [mm]	CI [M.-%Beton]	CI [M.-%CEM]
0 bis 15 [mm]	0,975 M.-% _{CEM}	1,147 M.-% _{CEM}
15 bis 30 [mm]	2,461 M.-% _{CEM}	0,482 M.-% _{CEM}
30 bis 45 [mm]	0,924 M.-% _{CEM}	0,399 M.-% _{CEM}
45 bis 60 [mm]	0,103 M.-% _{CEM}	0,154 M.-% _{CEM}
		0,173 M.-% _{CEM}

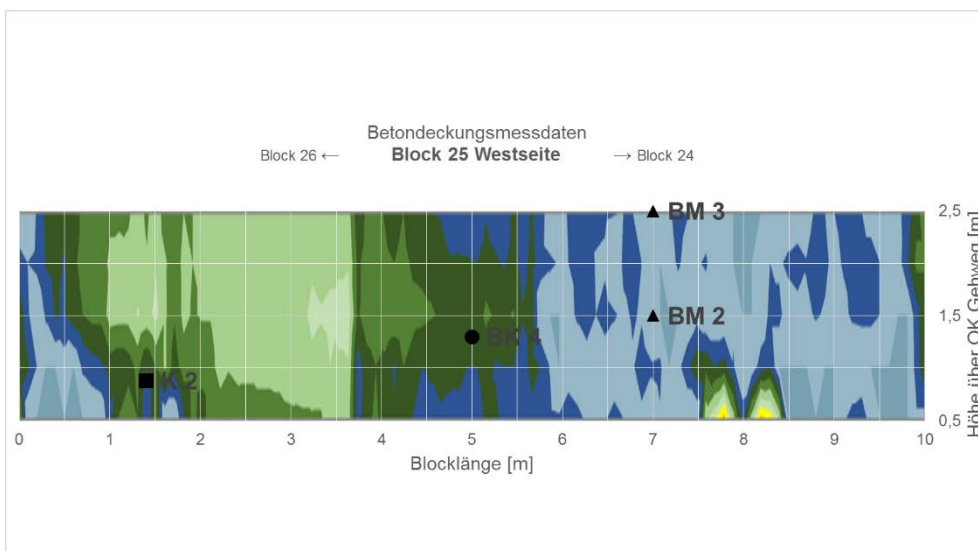
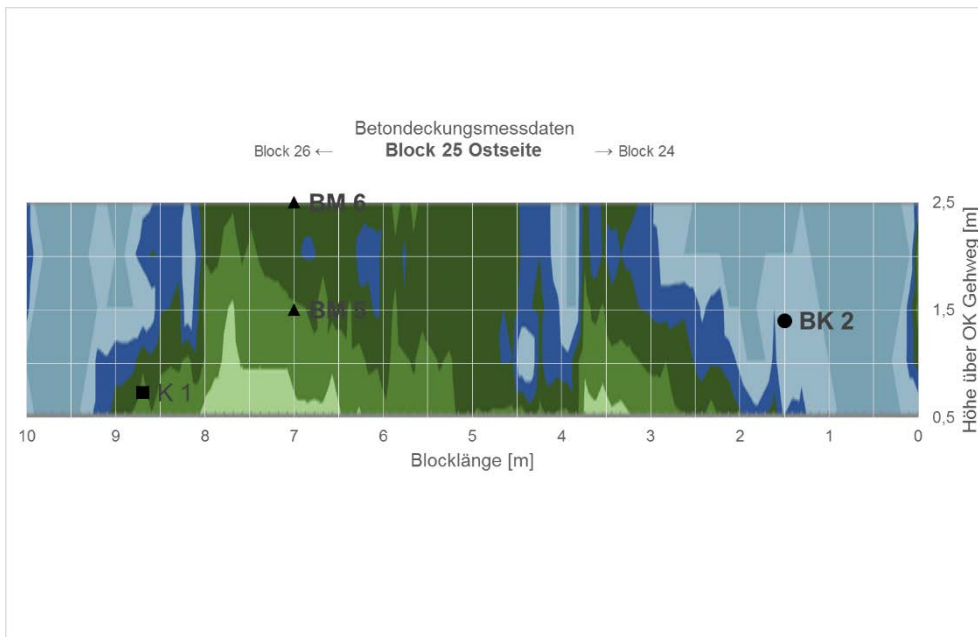
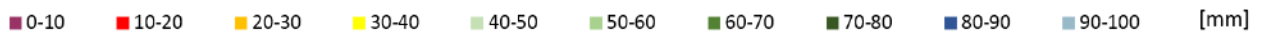
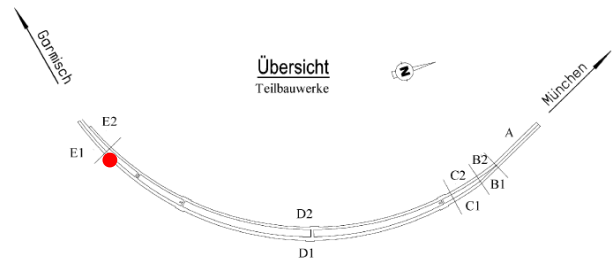
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 6 Betondeckungsmessung – Tunnel Farchant

Farchant Oströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Betondeckungsmessdaten

Messlinienabstand (Y 500 mm)

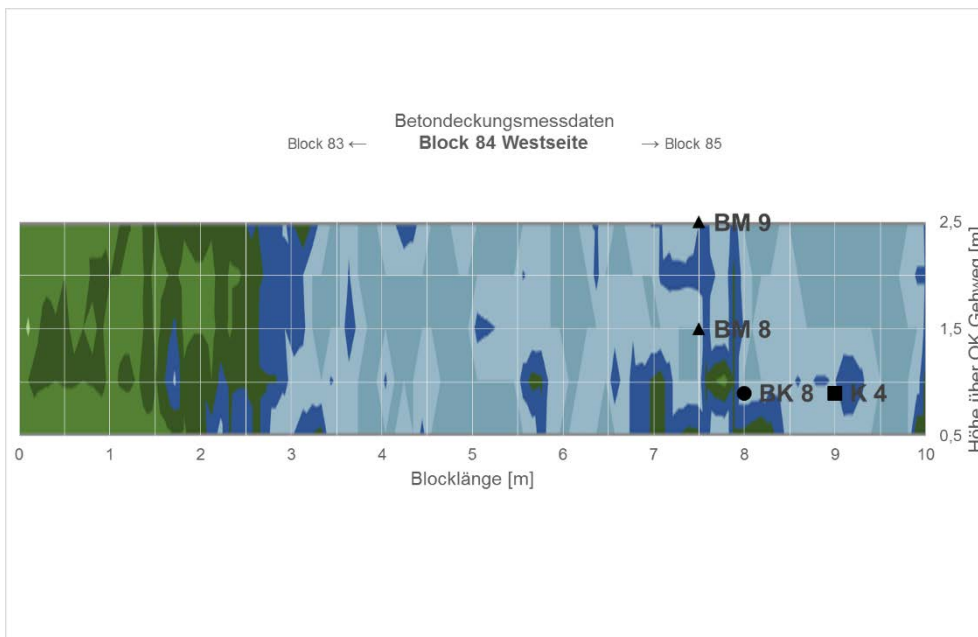
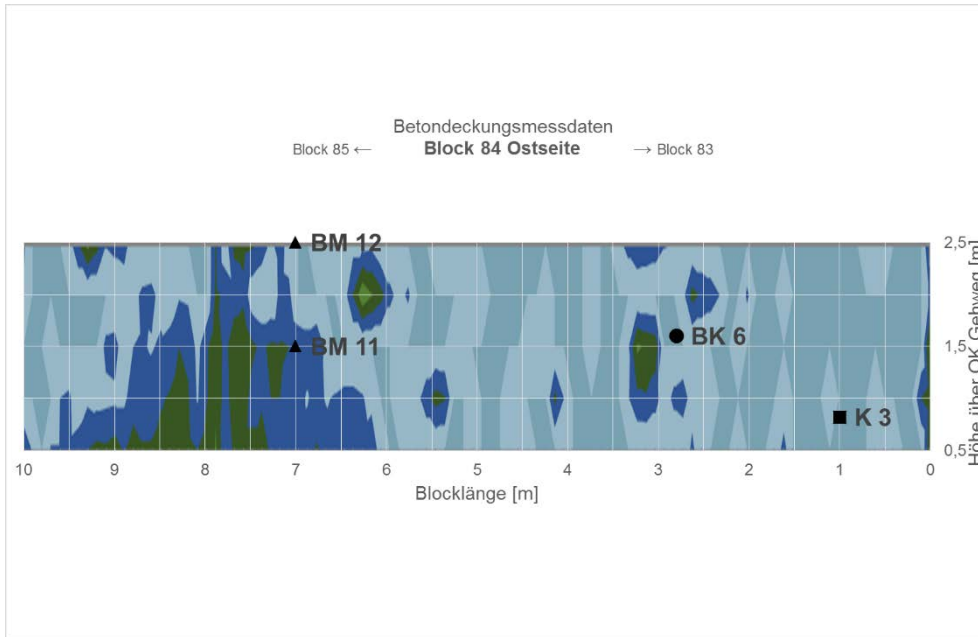
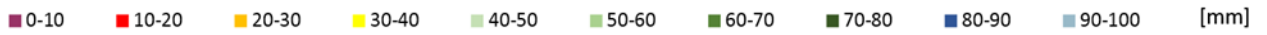
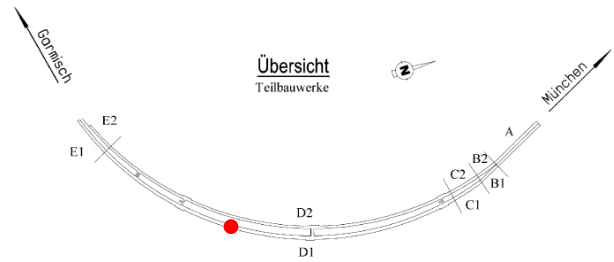


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Farchant Oströhre

**Grafische Darstellung aufgenommener
Betondeckungsmessdaten**

Messlinienabstand (Y 500 mm)



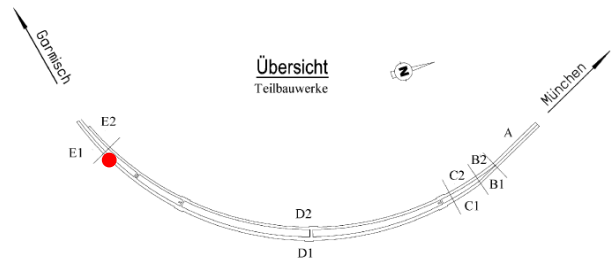
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 7 Potentialfeldmessung – Tunnel Farchant

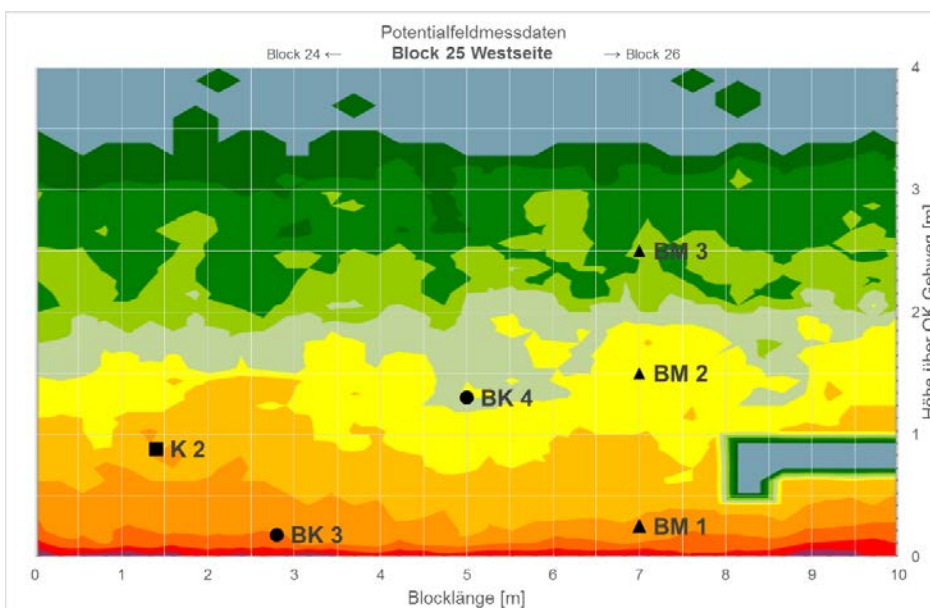
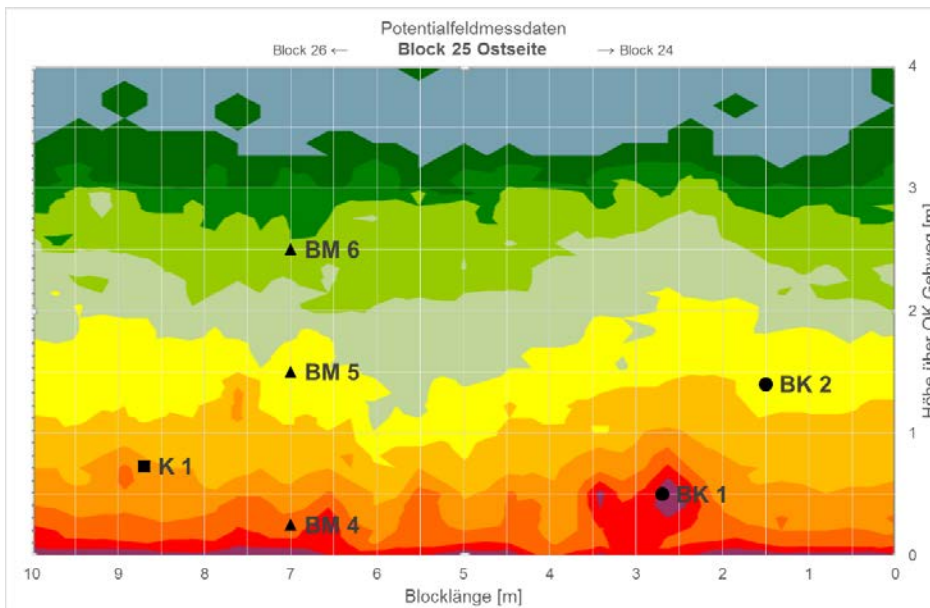
Farchant Oströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten

Messraster (X250;Y100 [mm])



■ -400--360
 ■ -360--320
 ■ -320--280
 ■ -280--240
 ■ -240--200
 ■ -200--160
 ■ -160--120
 ■ -120--80
 ■ -80--40
 ■ -40-0
 [mV]

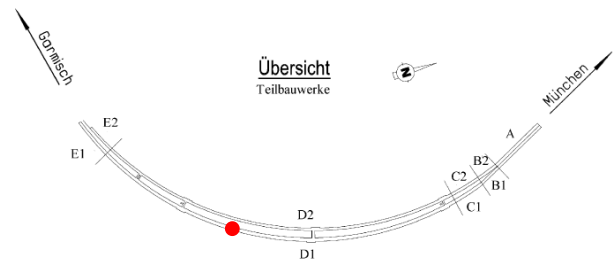


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

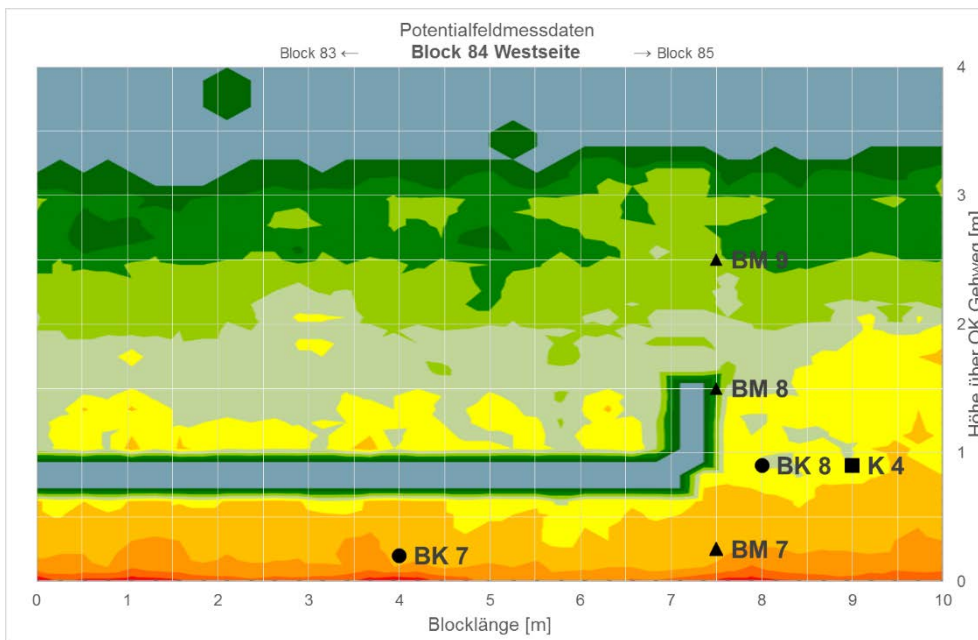
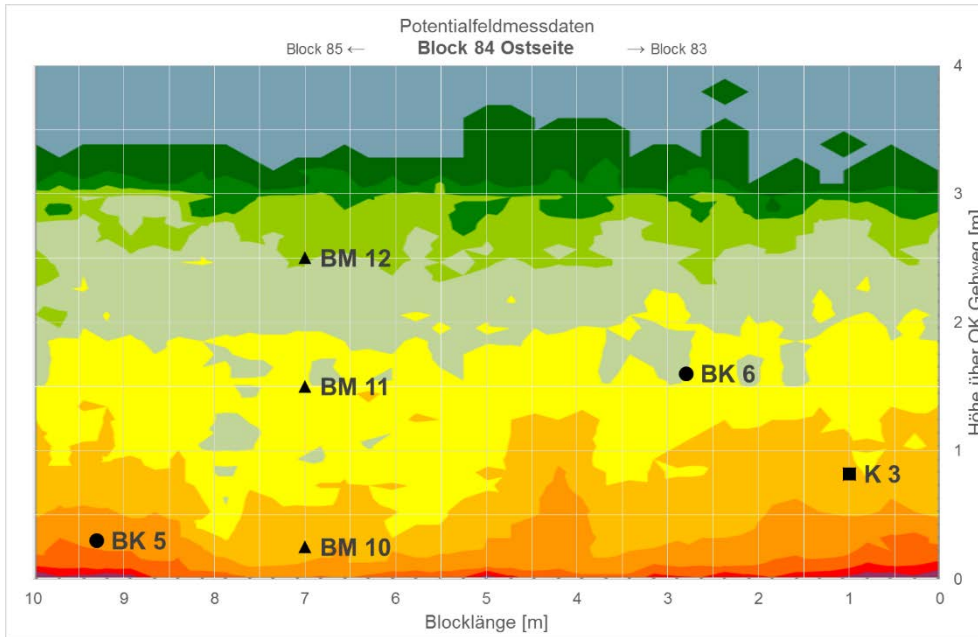
Farchant Oströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten

Messraster (X250;Y100 [mm])



■ -400--360
 ■ -360--320
 ■ -320--280
 ■ -280--240
 ■ -240--200
 ■ -200--160
 ■ -160--120
 ■ -120--80
 ■ -80--40
 ■ -40-0
 [mV]



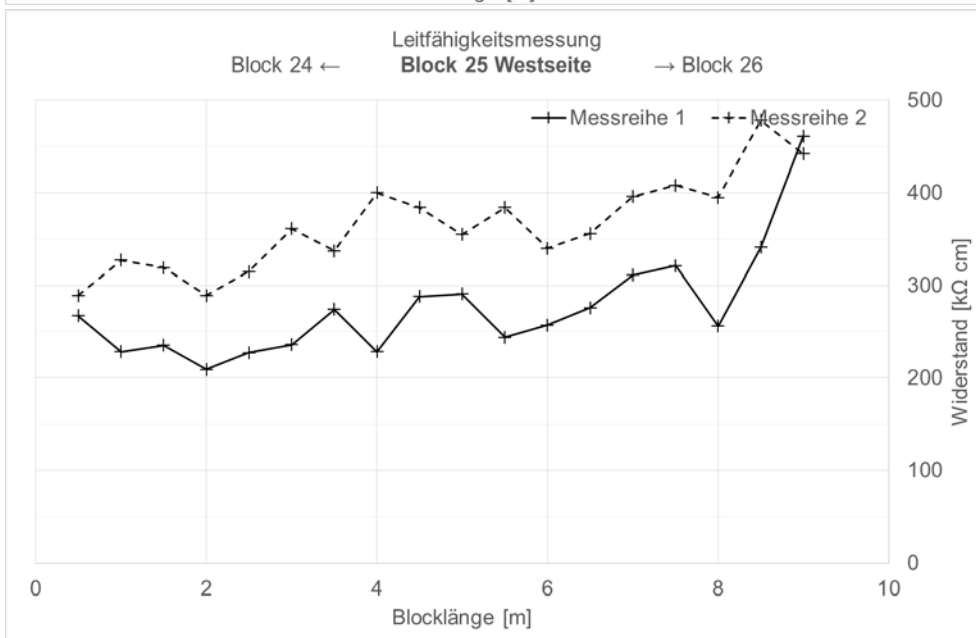
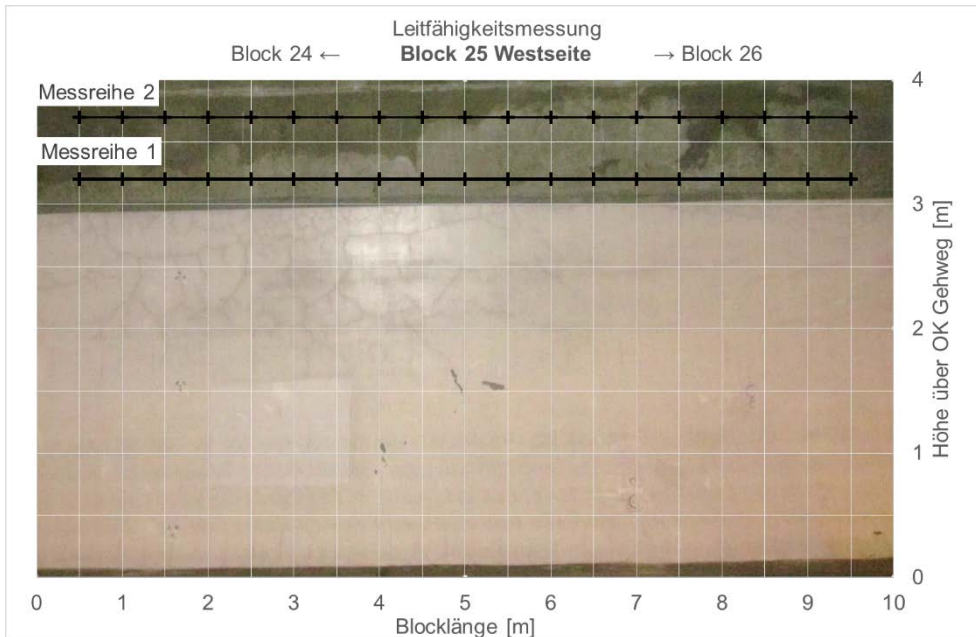
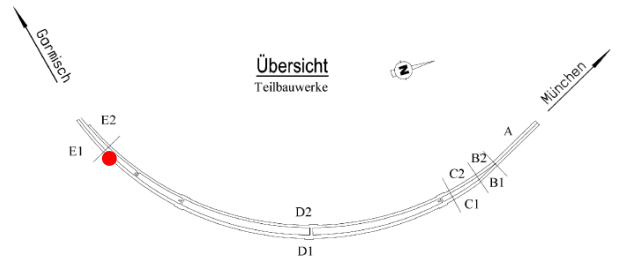
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 8 Leitfähigkeitsmessung Beton – Tunnel Farchant

Farchant Oströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

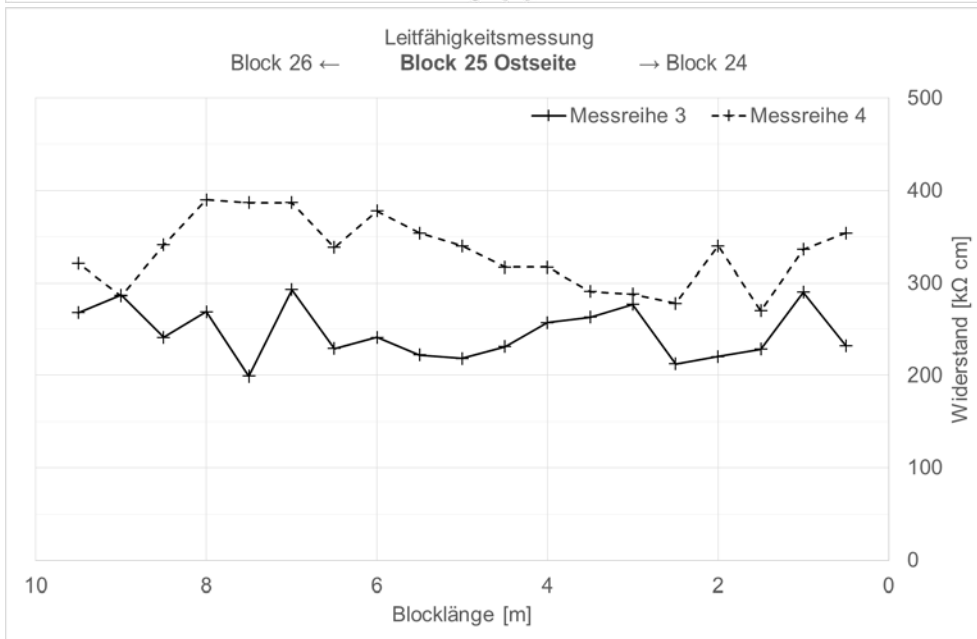
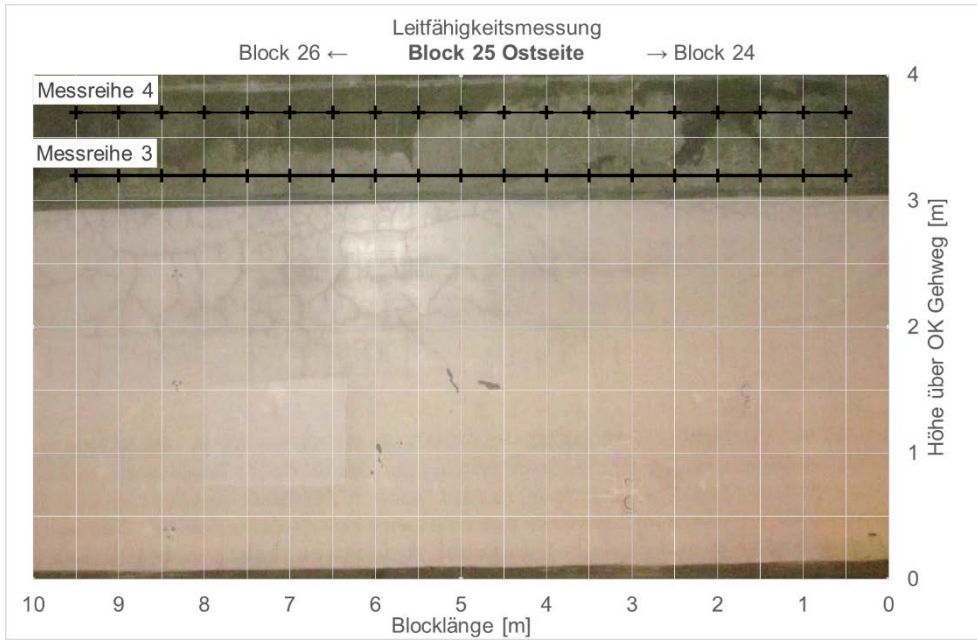
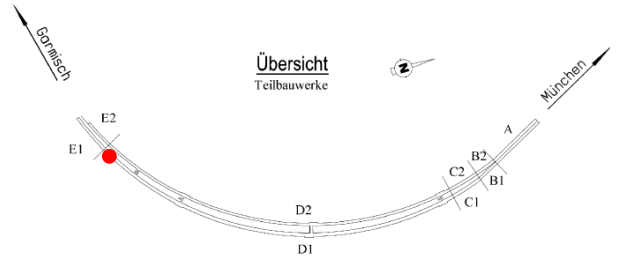


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 1	Messreihe 2
Mittelwert:	274	359
Min:	209	253
Max:	461	478

Farchant Oströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

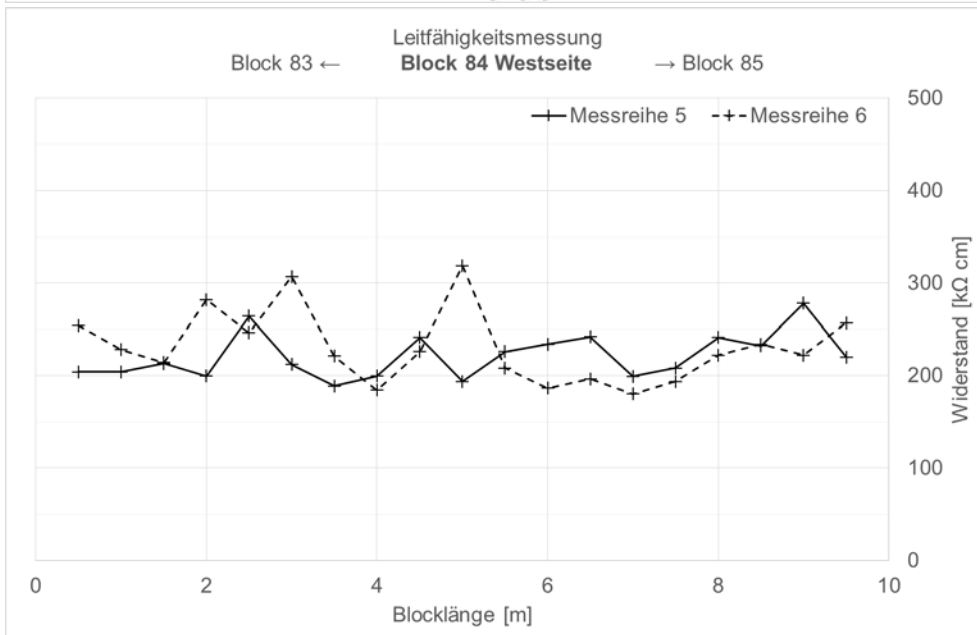
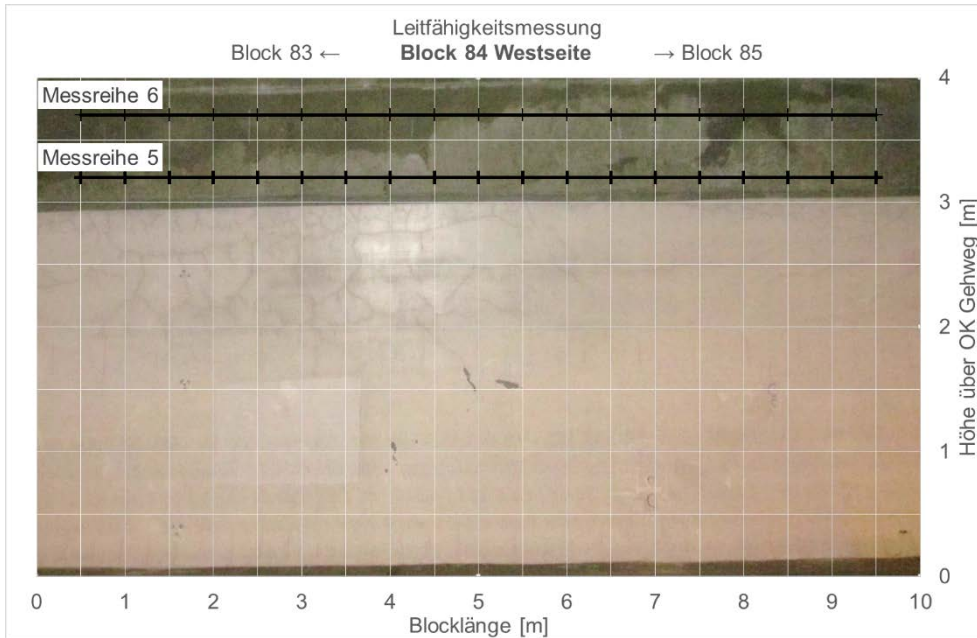
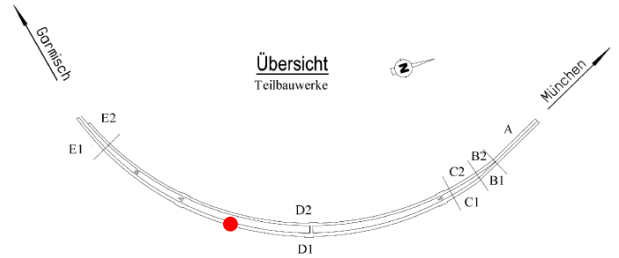


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 3	Messreihe 4
Mittelwert:	246	332
Min:	199	270
Max:	293	390

Farchant Oströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

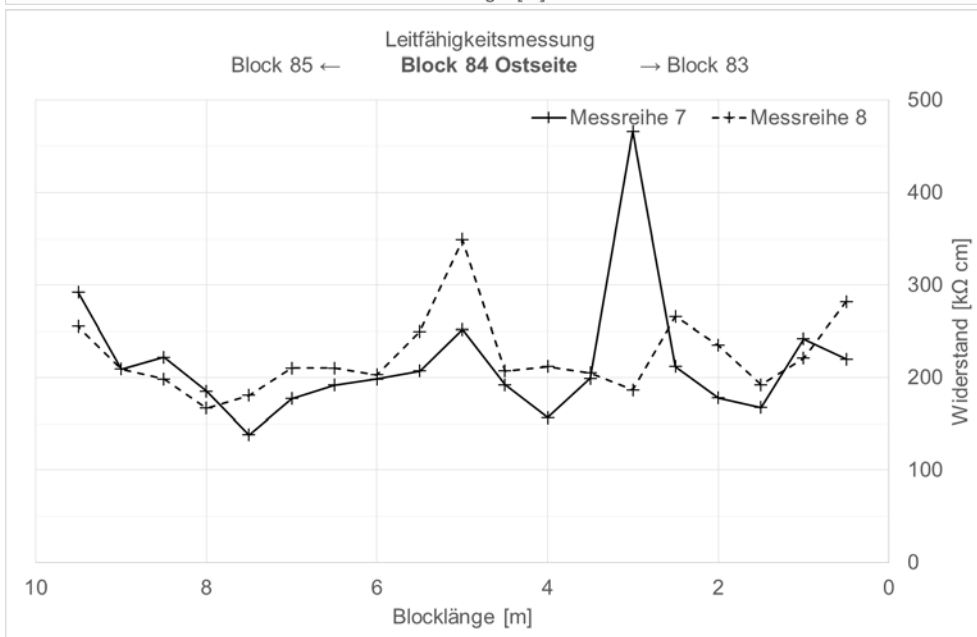
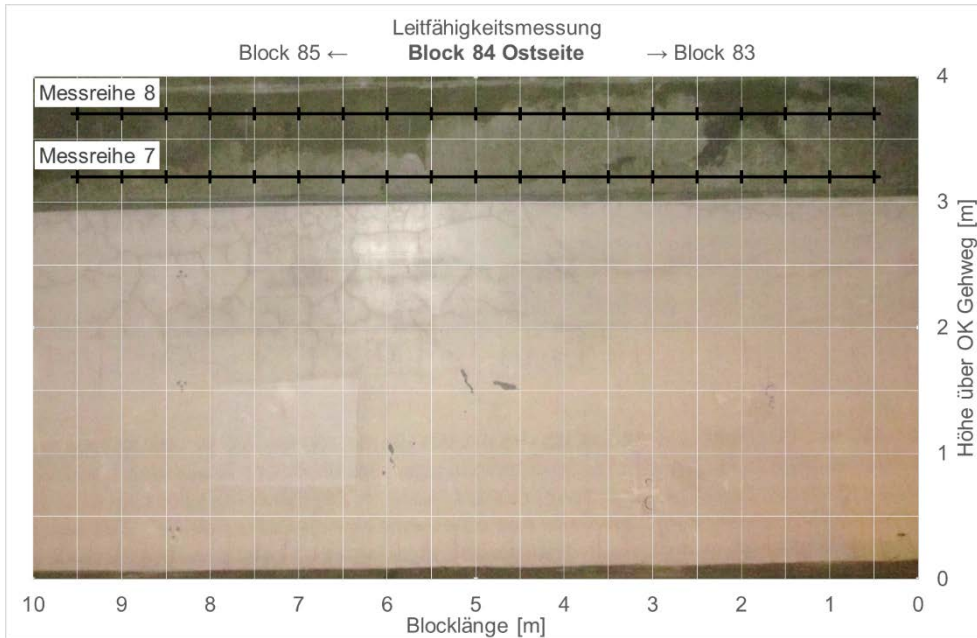
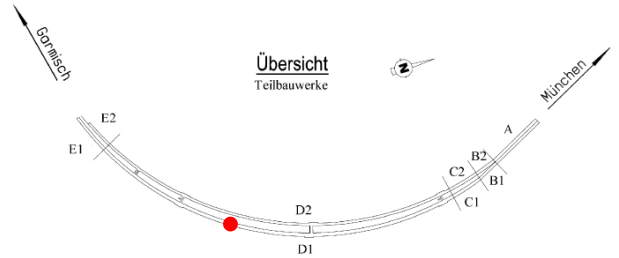


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 5	Messreihe 6
Mittelwert:	221	231
Min:	189	180
Max:	278	319

Farchant Oströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche



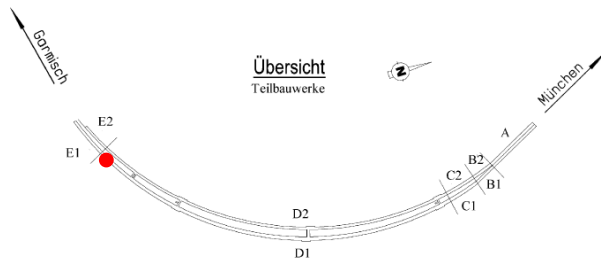
	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 7	Messreihe 8
Mittelwert:	216	223
Min:	138	167
Max:	466	349

Anlage 9 Permeabilitätsmessung – Tunnel Farchant

Farchant Oströhre

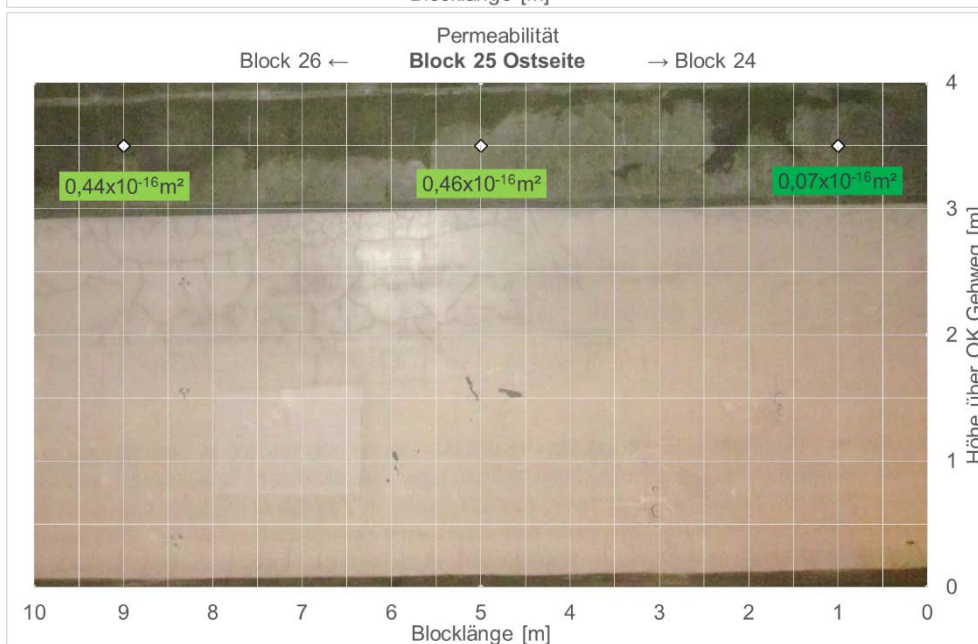
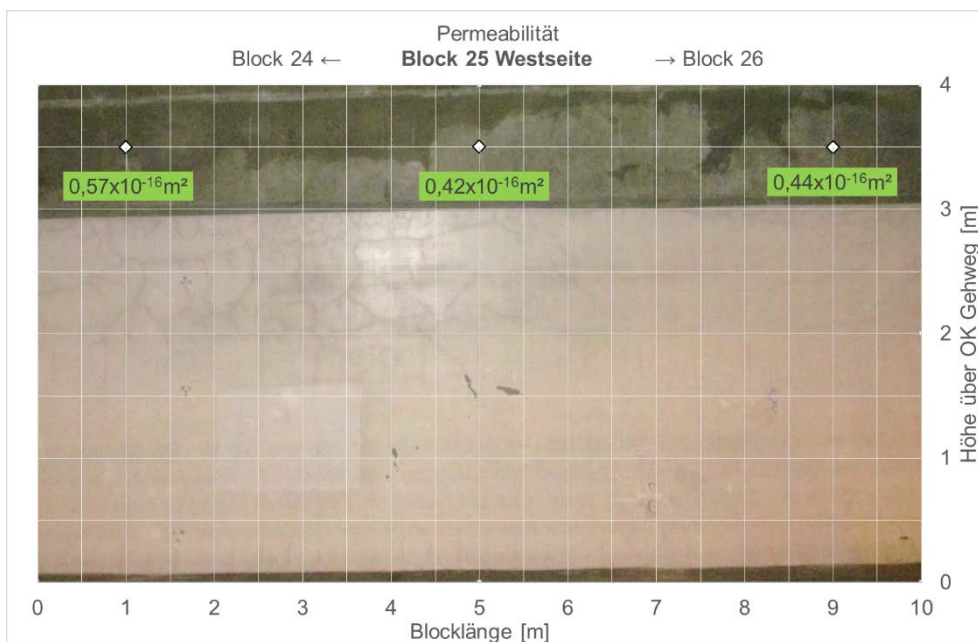
Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche



Sehr gut	<0,1 $10^{-16}m^2$	Gut	<0,5 $10^{-16}m^2$	Genügend	<1,0 $10^{-16}m^2$	Schlecht	<10,0 $10^{-16}m^2$	Sehr schlecht	>10,0 $10^{-16}m^2$
----------	-----------------------	-----	-----------------------	----------	-----------------------	----------	------------------------	---------------	------------------------

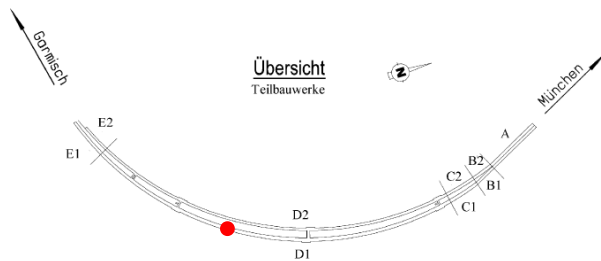
Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen - beton Heft 5/1999



Farchant Oströhre

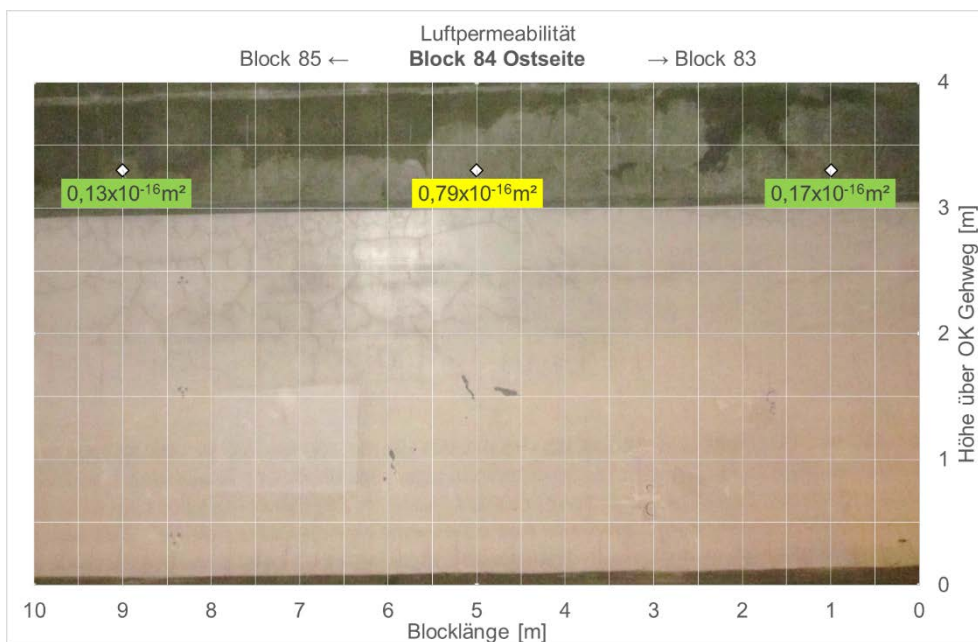
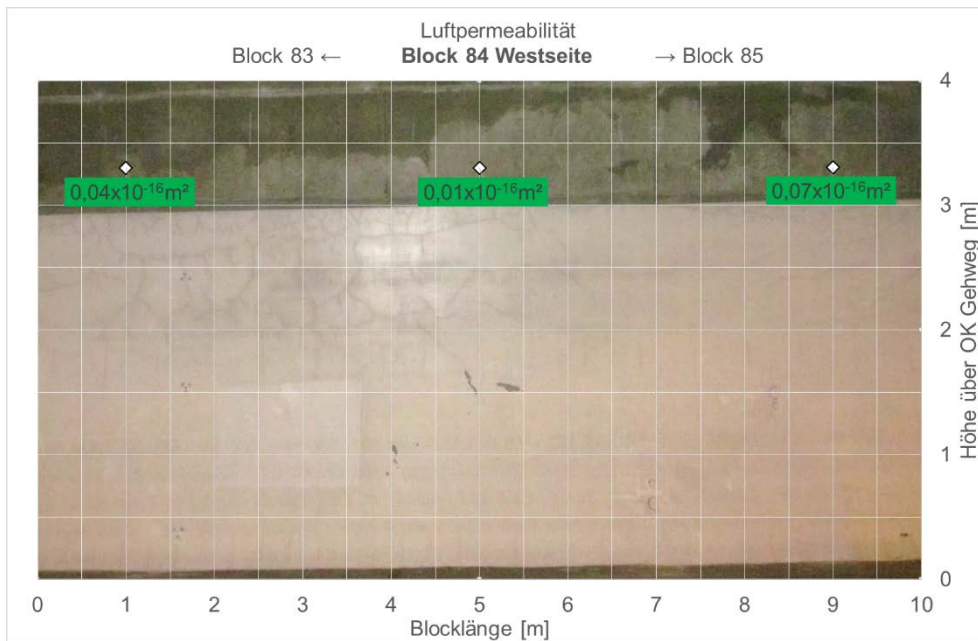
Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche



Sehr gut	<0,1 10 ⁻¹⁶ m ²	Gut	<0,5 10 ⁻¹⁶ m ²	Genügend	<1,0 10 ⁻¹⁶ m ²	Schlecht	<10,0 10 ⁻¹⁶ m ²	Sehr schlecht	>10,0 10 ⁻¹⁶ m ²
----------	--	-----	--	----------	--	----------	---	---------------	---

Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen - beton Heft 5/1999

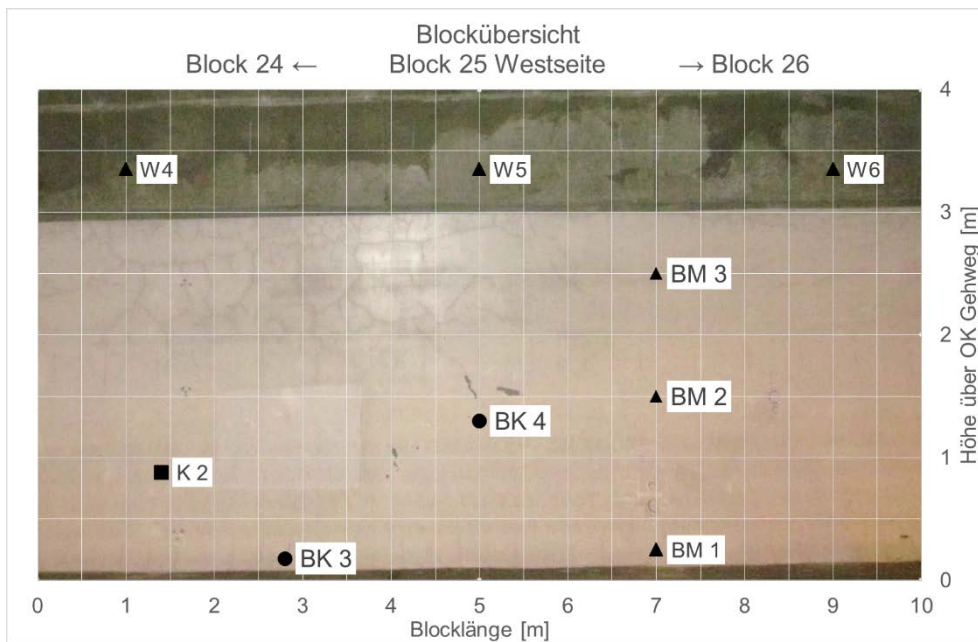
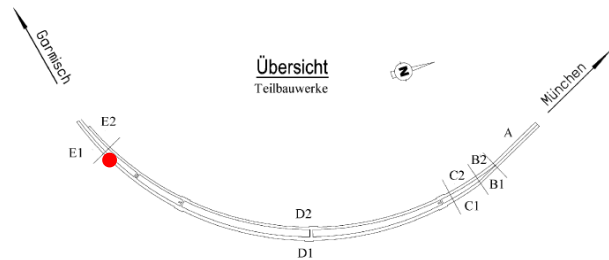


Anlage 10 kapillare Wasseraufnahme – Tunnel Farchant

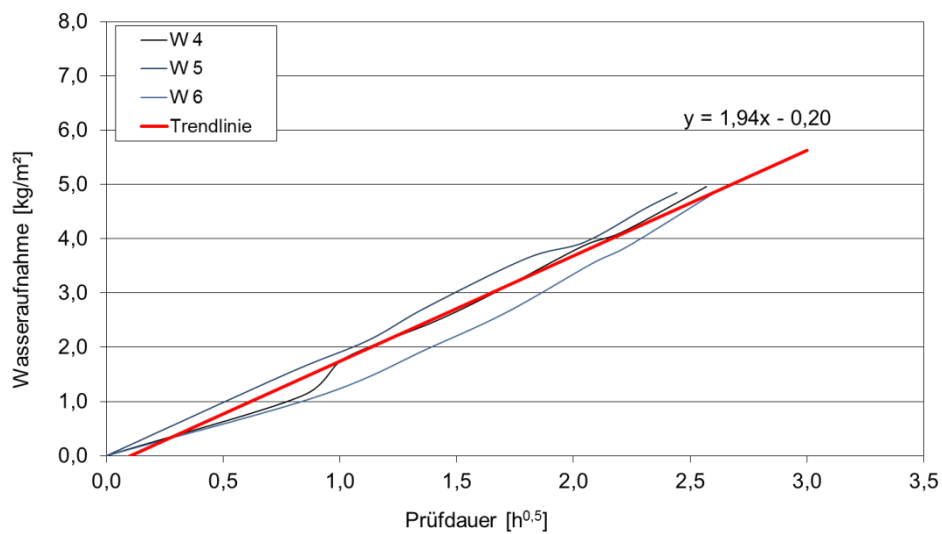
Farchant Oströhre

kapillare Wasseraufnahme der Bauteiloberfläche

Karstenseses Röhren



Wasseraufnahmekoeffizient

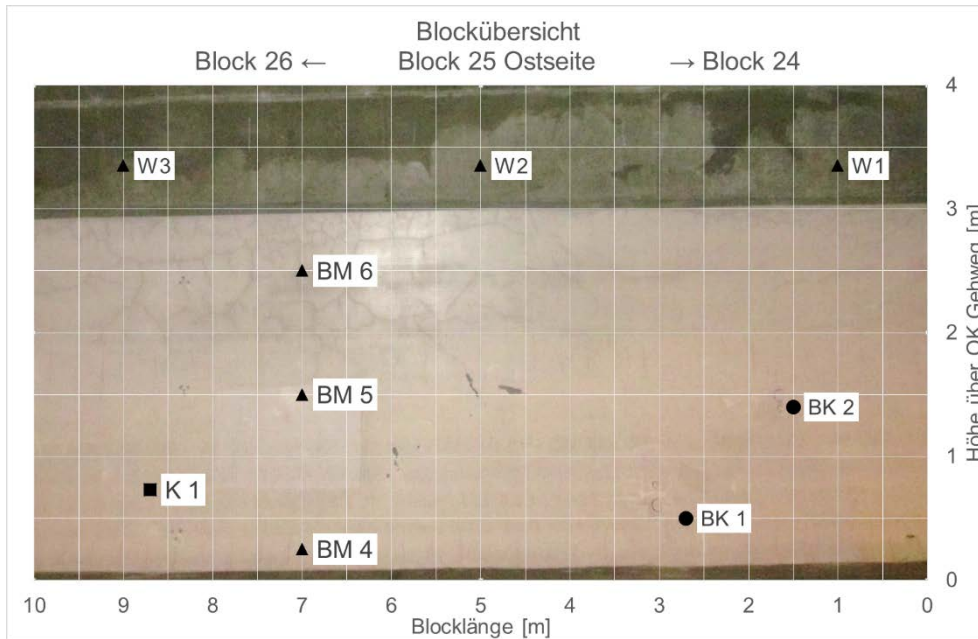


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

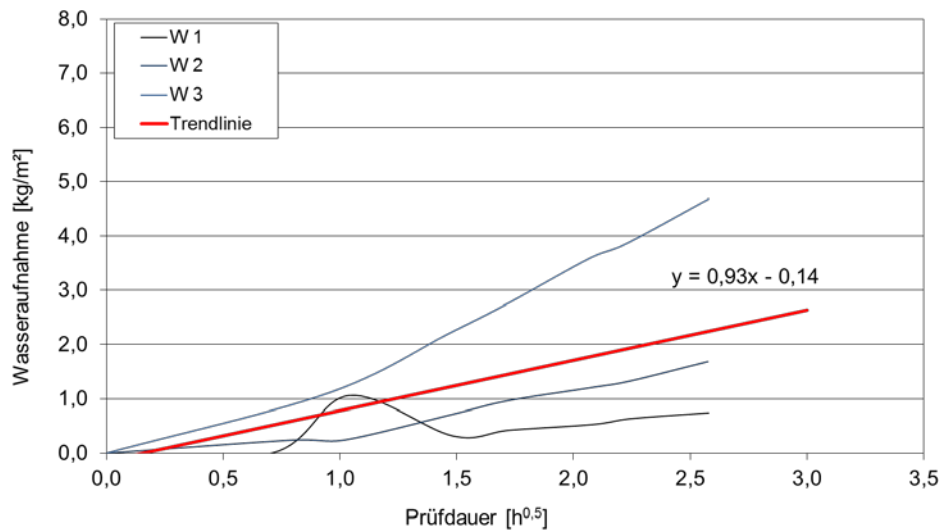
Farchant Oströhre

**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**

Karstensesches Röhrrchen



Wasseraufnahmekoeffizient

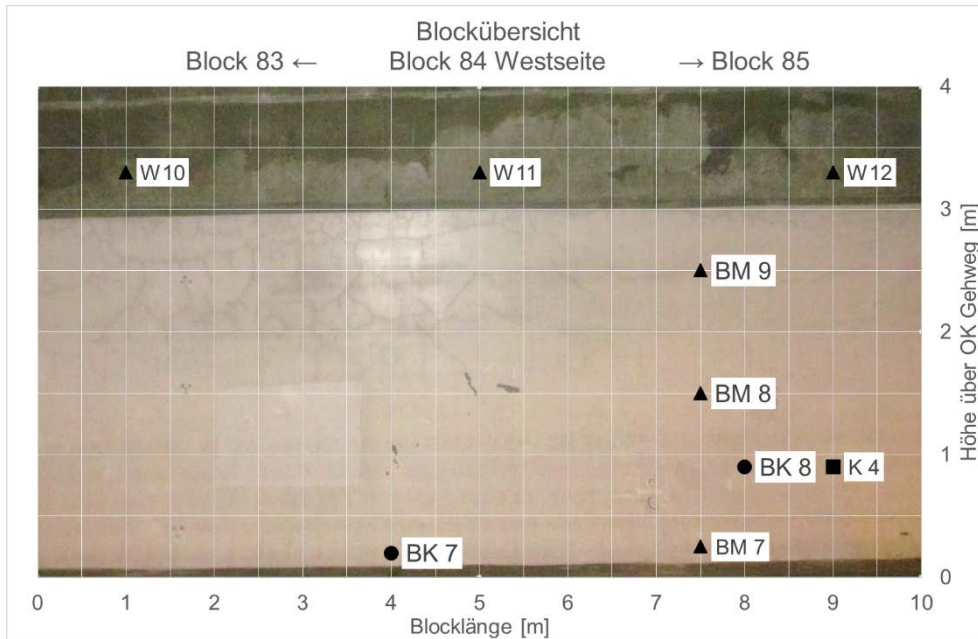
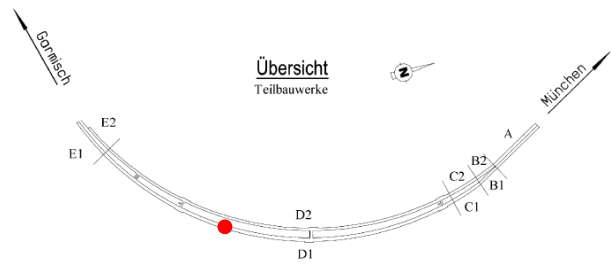


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

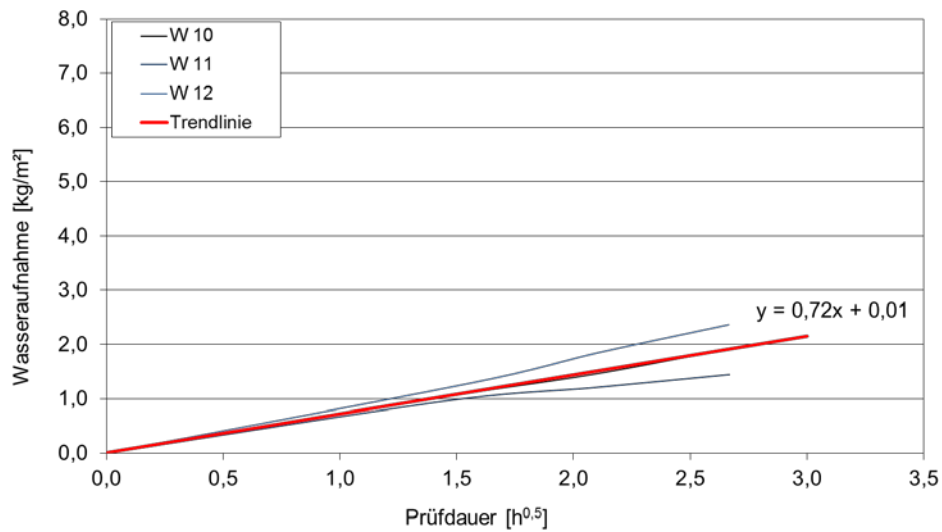
Farchant Oströhre

**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**

Karstensches Röhrrchen



Wasseraufnahmekoeffizient

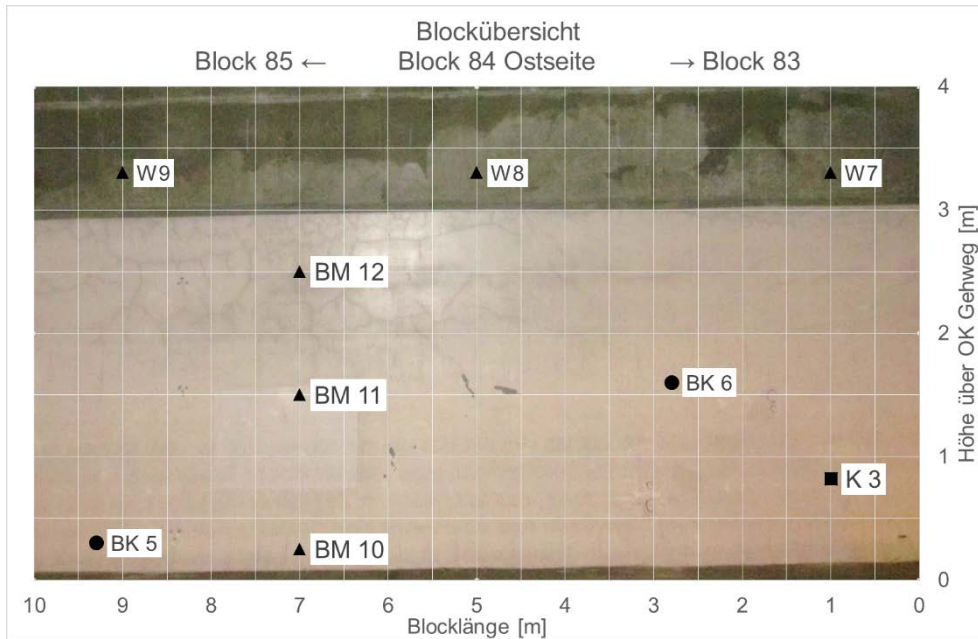
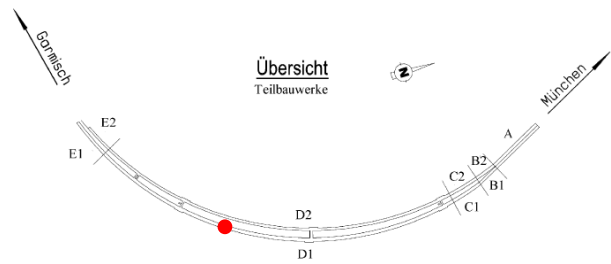


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

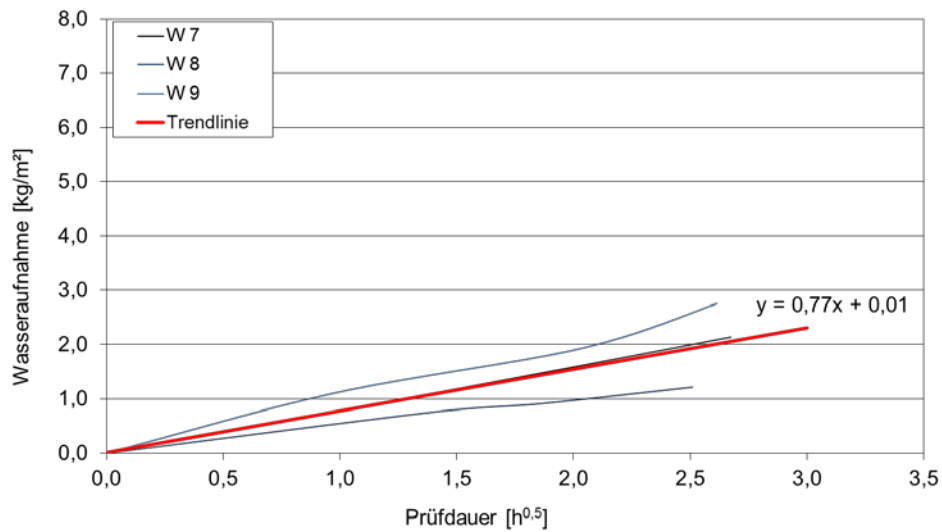
Farchant Oströhre

**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**

Karstensches Röhrrchen



Wasseraufnahmekoeffizient



- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 11 Korrosionszustand der Bewehrung – Tunnel Farchant

Farchant Oströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

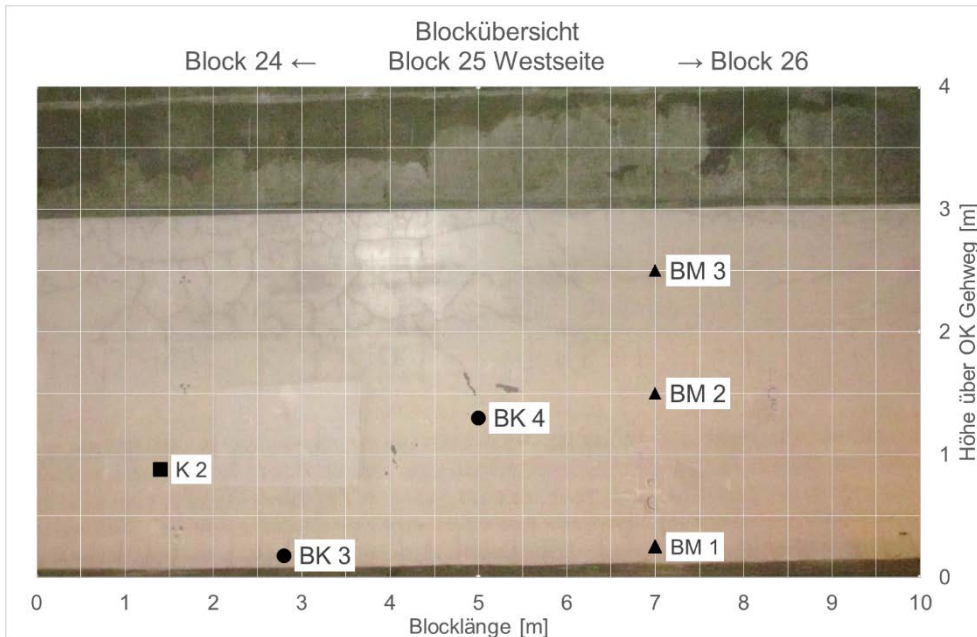
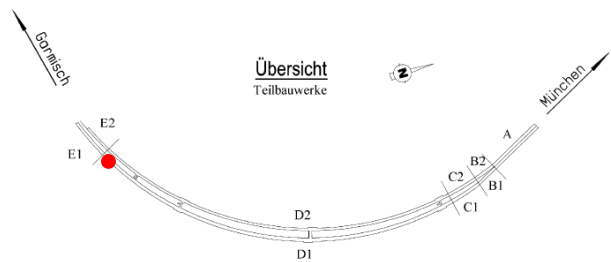


Bild 1: Stelle K 2
stellenweise angerostet



Bild 2: Stelle BK 3
in Teilflächen angerostet



Bild 3: Stelle BK 4
stellenweise angerostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Farchant Oströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

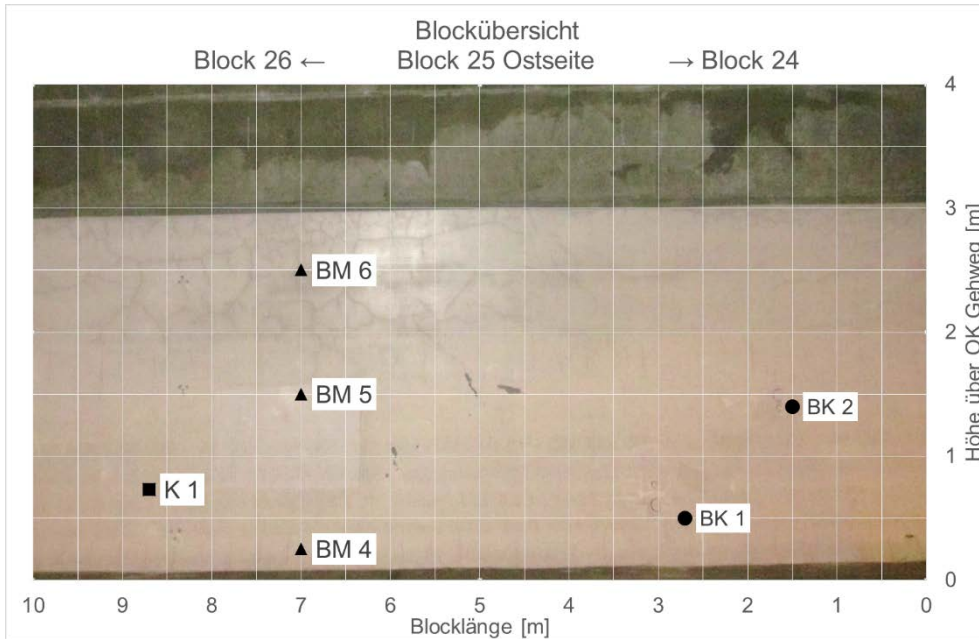
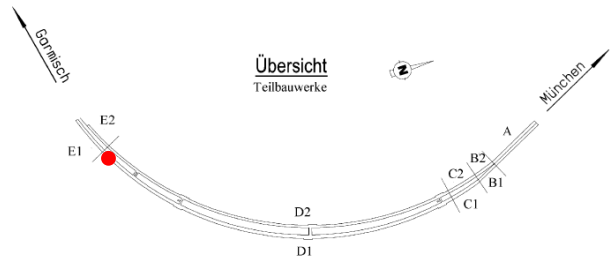


Bild 4: Stelle K 1
stellenweise angerostet



Bild 5: Stelle BK 1
Bewehrung rostet

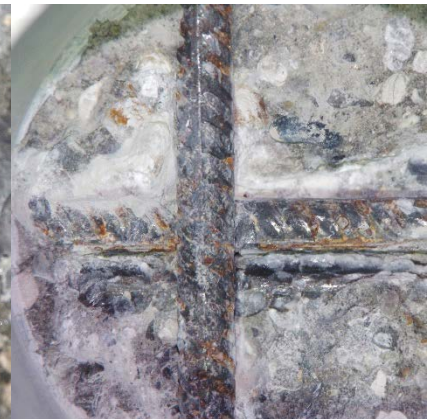


Bild 6: Stelle BK 2
stellenweise angerostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Farchant Oströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

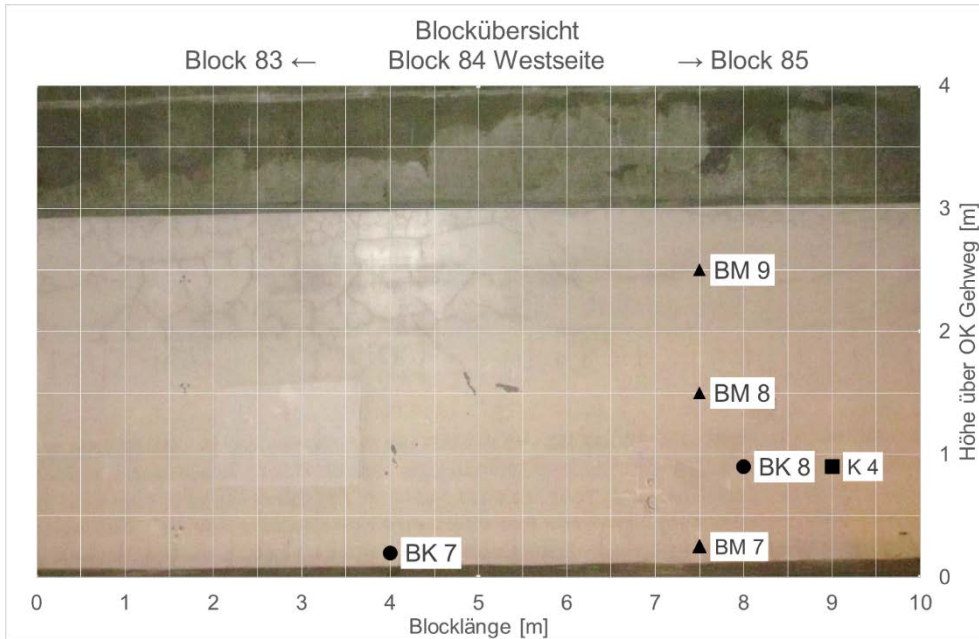
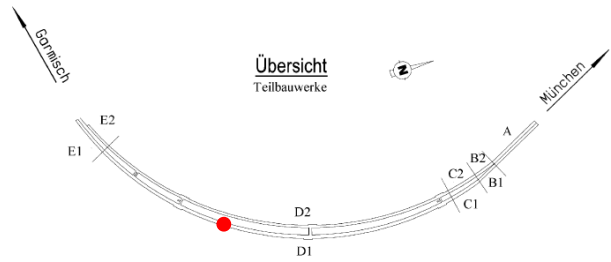


Bild 7: Stelle K 4
ohne Korrosion



Bild 8: Stelle BK 7
ohne Korrosion



Bild 9: Stelle BK 8
ohne Korrosion

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Farchant Oströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

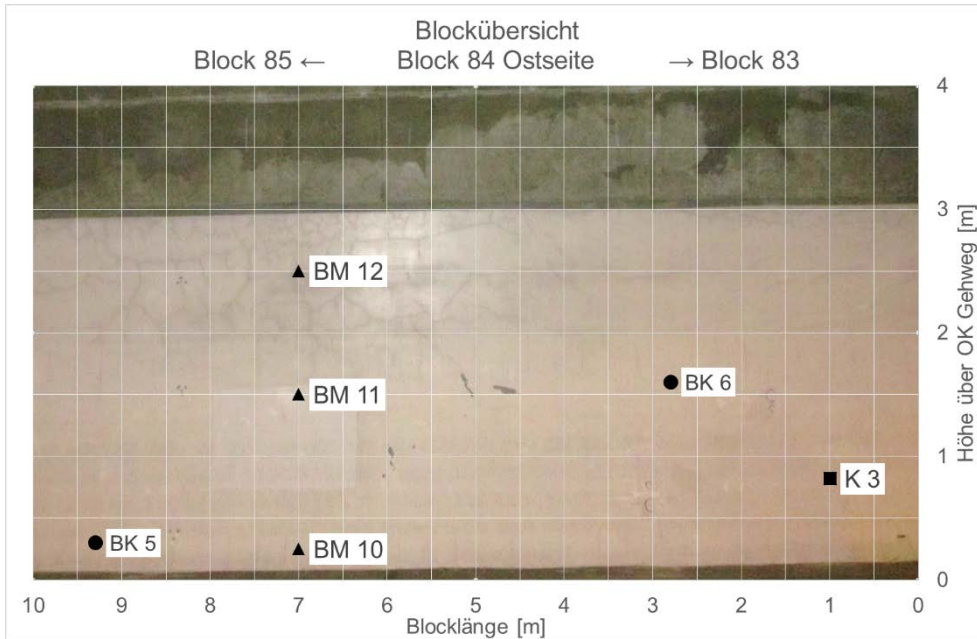
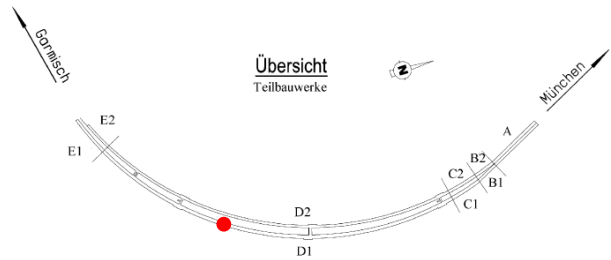


Bild 10: Stelle K 3
ohne Korrosion



Bild 11: Stelle BK 5
Bewehrung rostet



Bild 12: Stelle BK 6
ohne Korrosion

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 12 Fotodokumentation Tunnel Prüfening



Bild 1 Tunnel Prüfening, Innenansicht Weströhre



Bild 2 Tunnel Prüfening, Einfahrtbereich der Weströhre mit Lärmschutzelementen (im Bildhintergrund)



Bild 3 Block 50, westliche Wand



Bild 4 Block 51, westliche Wand



Bild 5 Blockfuge 51/52



Bild 6 Block 23, westliche Wand



Bild 7 Block 24, westliche Wand



Bild 8 durchgehende Verfärbung am Wandfuß



Bild 9 ausgeprägte Verwitterung am Wandfuß



Bild 10 Messung der Luftpermeabilität



Bild 11 Messung der Luftpermeabilität (Messsonde links) und der kapillaren Wasseraufnahme

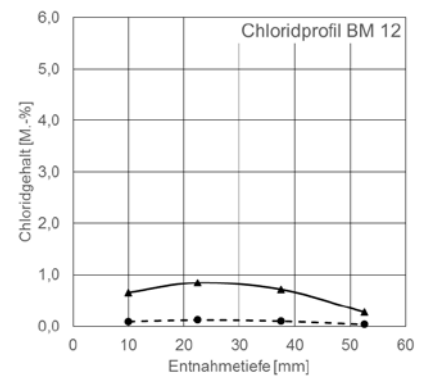
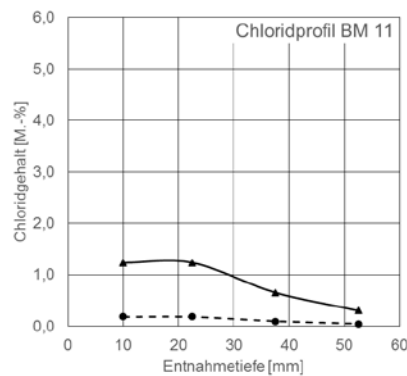
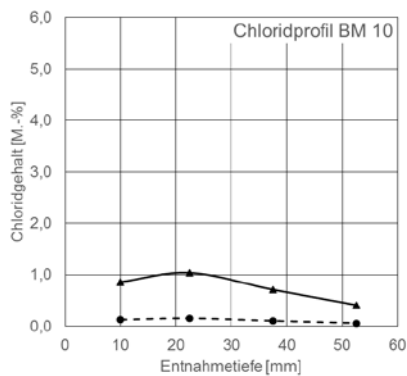
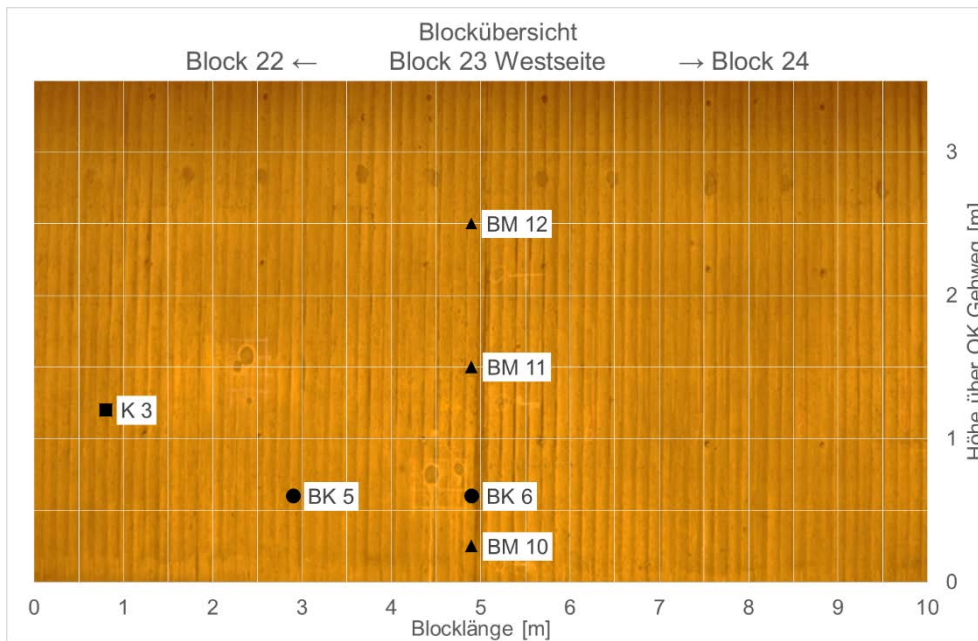
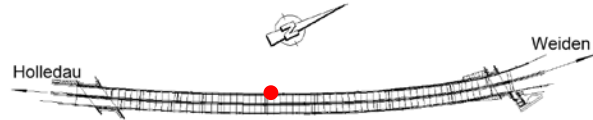
Anlage 13 Chloridgehalt des Betons – Tunnel Prüfening

Prüfening Weströhre

Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



—●— Cl [M.-%Beton] —▲— Cl [M.-%CEM]

0 bis 15 [mm]	0,859 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	1,040 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,712 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,414 M.-%CEM

1,233 M.-%CEM
1,235 M.-%CEM
0,655 M.-%CEM
0,305 M.-%CEM

0,655 M.-%CEM
0,845 M.-%CEM
0,714 M.-%CEM
0,276 M.-%CEM

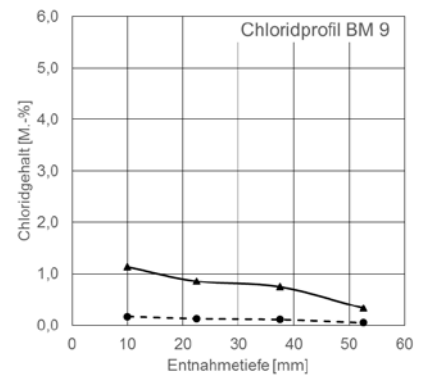
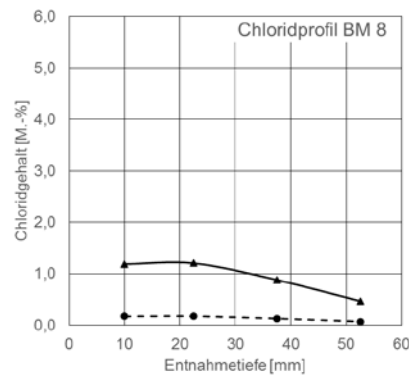
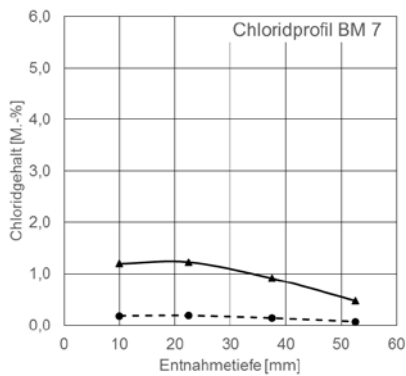
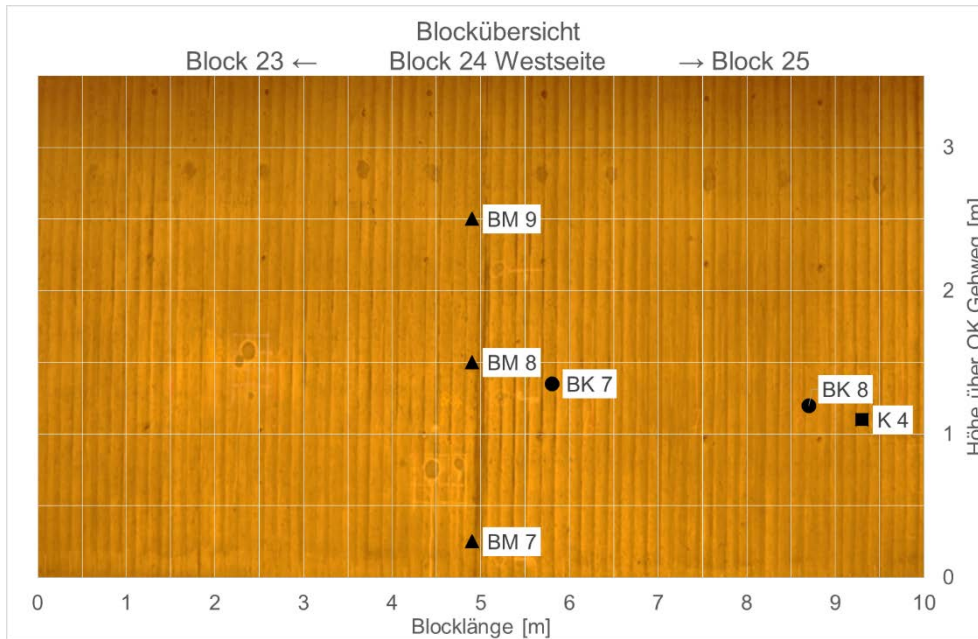
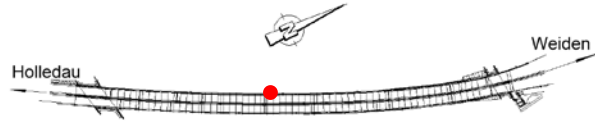
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



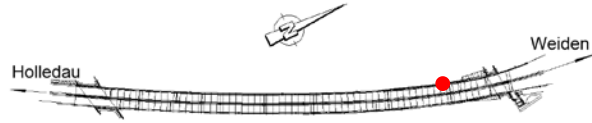
-○- Cl [M.-%Beton] -▲- Cl [M.-%CEM]

Entnahmetiefe [mm]	Cl [M.-%CEM]	Cl [M.-%Beton]
0 bis 15 [mm]	1,191 M.-%CEM	1,186 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	1,221 M.-%CEM	0,856 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,912 M.-%CEM	0,743 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,481 M.-%CEM	0,334 M.-%CEM

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

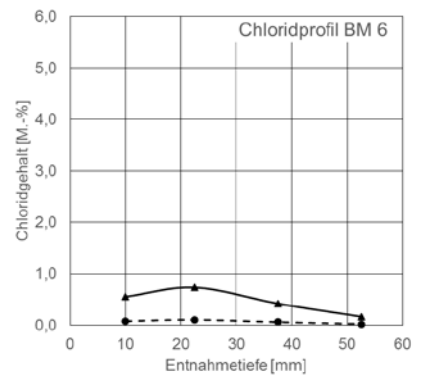
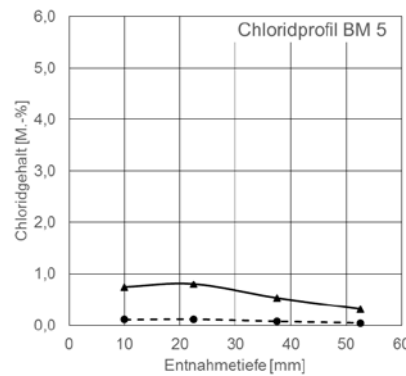
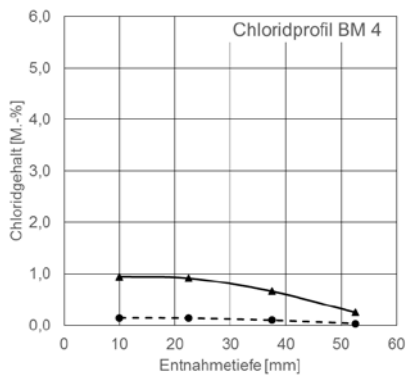
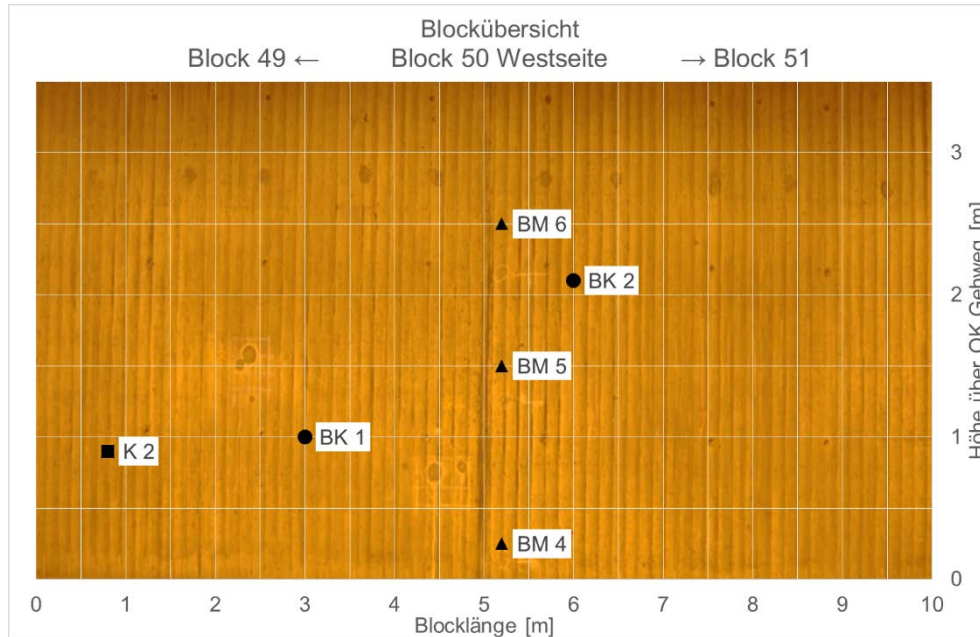
Prüfung Weströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben



Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



- ○ - CI [M.-%Beton] - ▲ - CI [M.-%CEM]

Entnahmetiefe [mm]	CI [M.-%Beton]	CI [M.-%CEM]
0 bis 15 [mm]	0,946 M.-%Beton	0,946 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	0,915 M.-%Beton	0,915 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,660 M.-%Beton	0,660 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,249 M.-%Beton	0,249 M.-%CEM

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

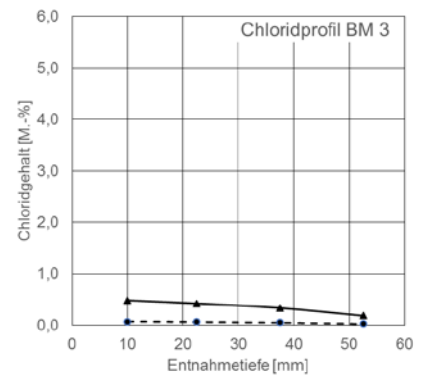
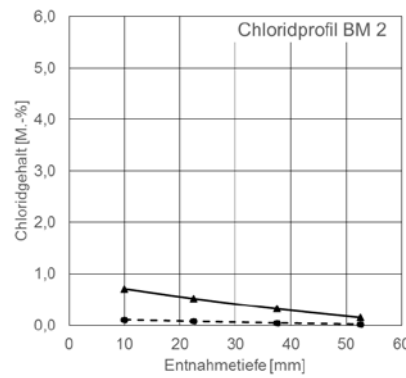
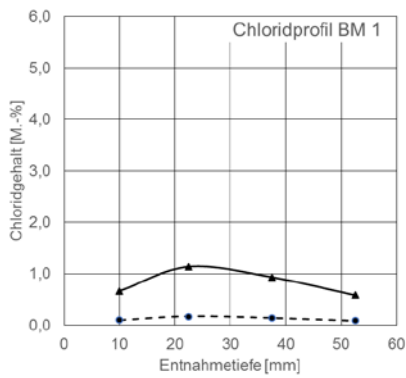
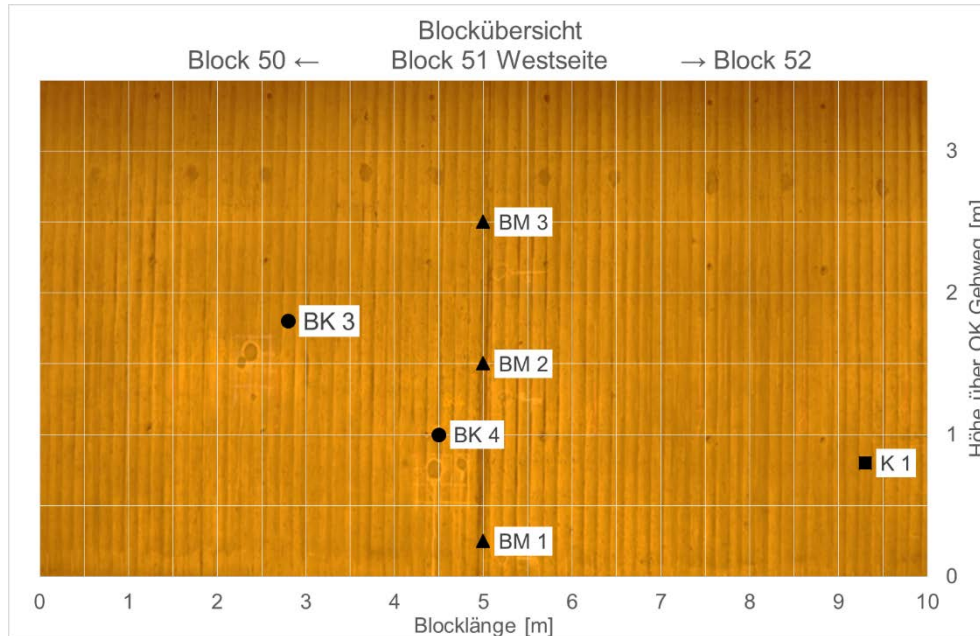


Grafische Darstellung aufgenommener Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben



Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



-●- Cl [M.-%Beton] -▲- Cl [M.-%CEM]

Entnahmetiefe [mm]	Chloridgehalt [M.-%CEM]	Chloridgehalt [M.-%Beton]
0 bis 15 [mm]	0,667 M.-%CEM	0,704 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	1,138 M.-%CEM	0,422 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,933 M.-%CEM	0,337 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,585 M.-%CEM	0,185 M.-%CEM

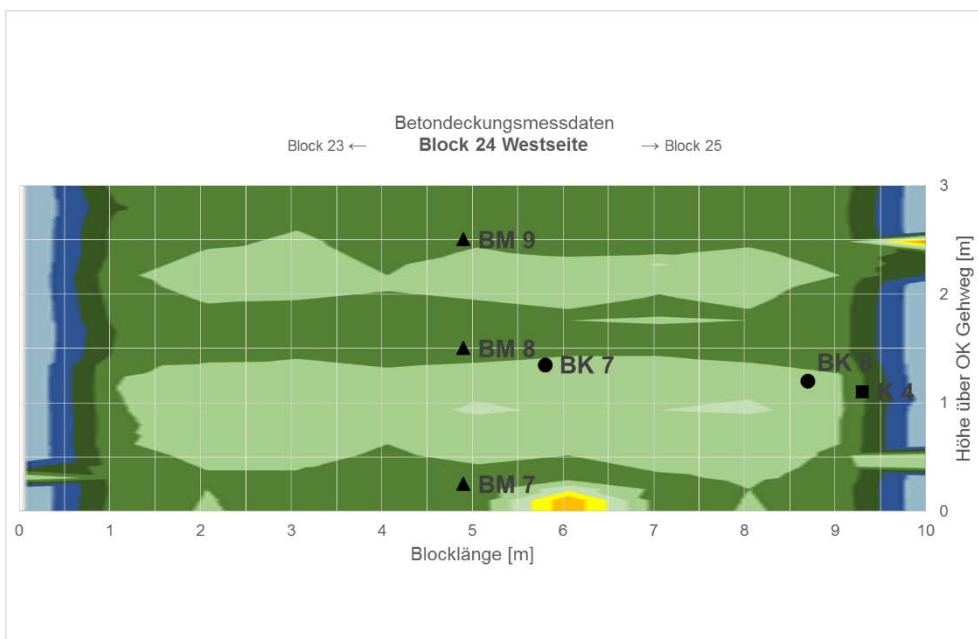
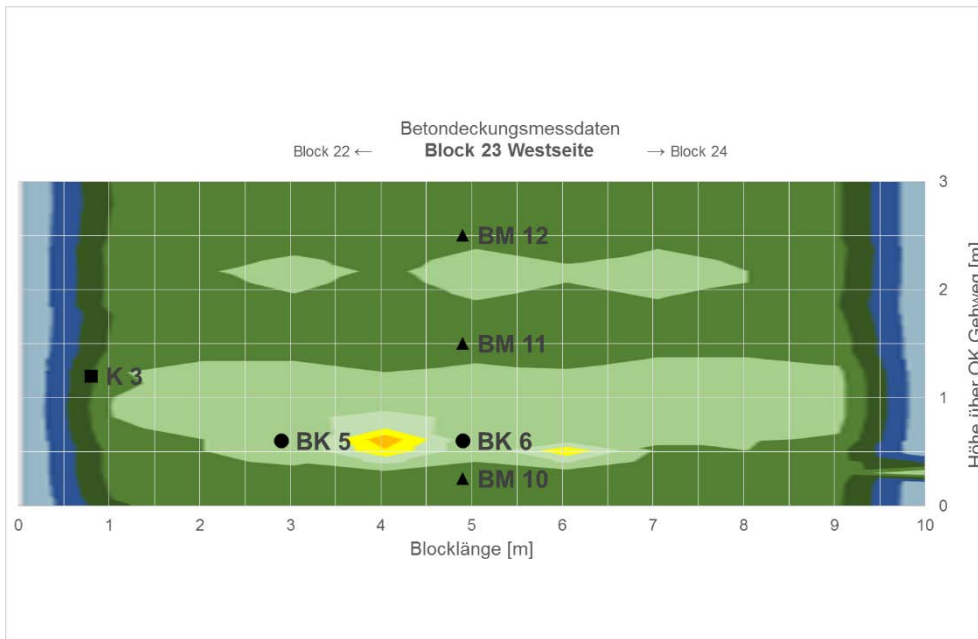
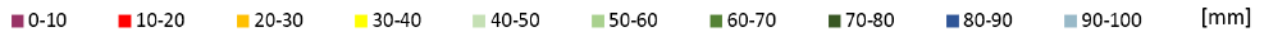
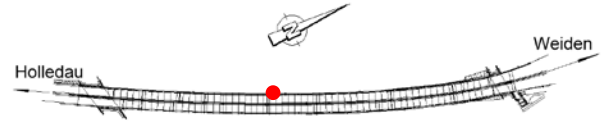
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 14 Betondeckungsmessung – Tunnel Prüfung

Prüfung Weströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Betondeckungsmessdaten

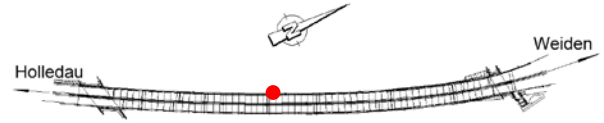
Messlinienabstand (X 1000 mm)



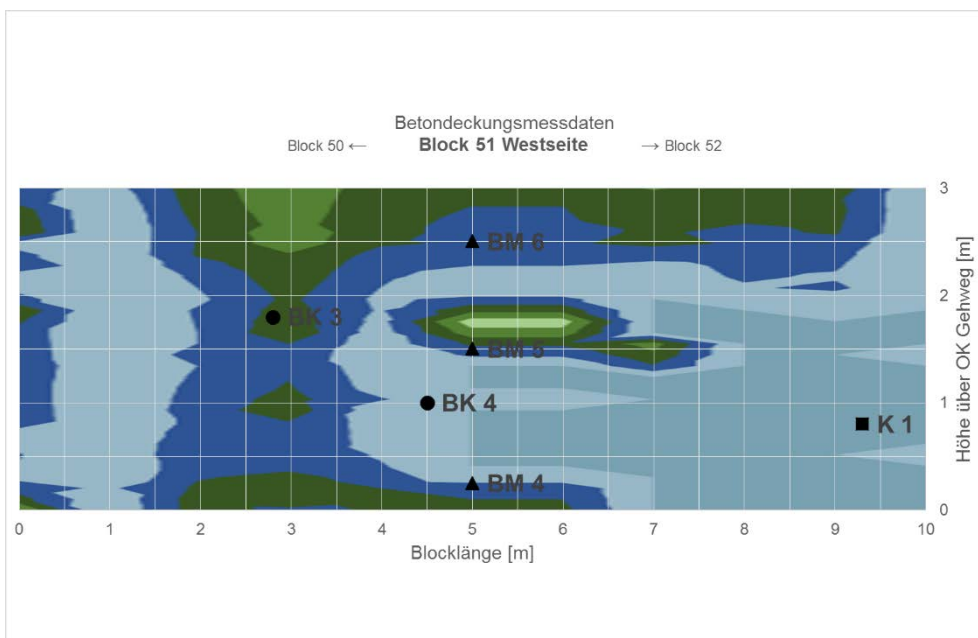
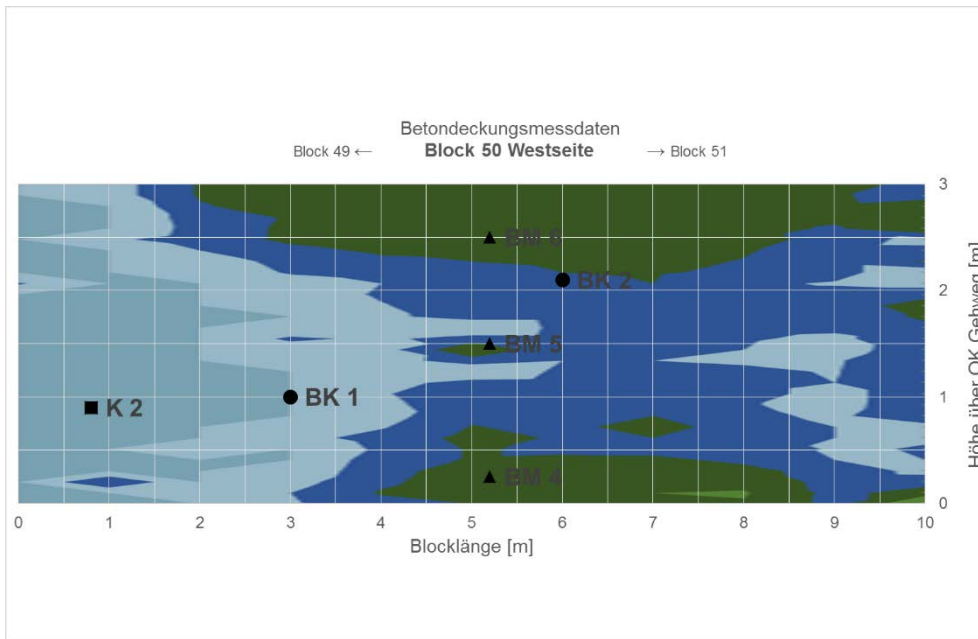
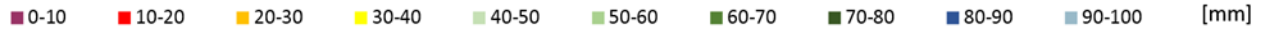
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

**Grafische Darstellung aufgenommener
Betondeckungsmessdaten**



Messlinienabstand (X 1000 mm)



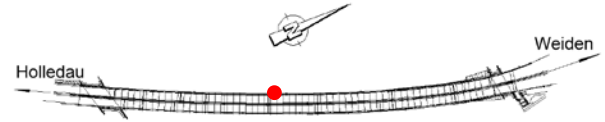
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 15 Potentialfeldmessung – Tunnel Prüfening

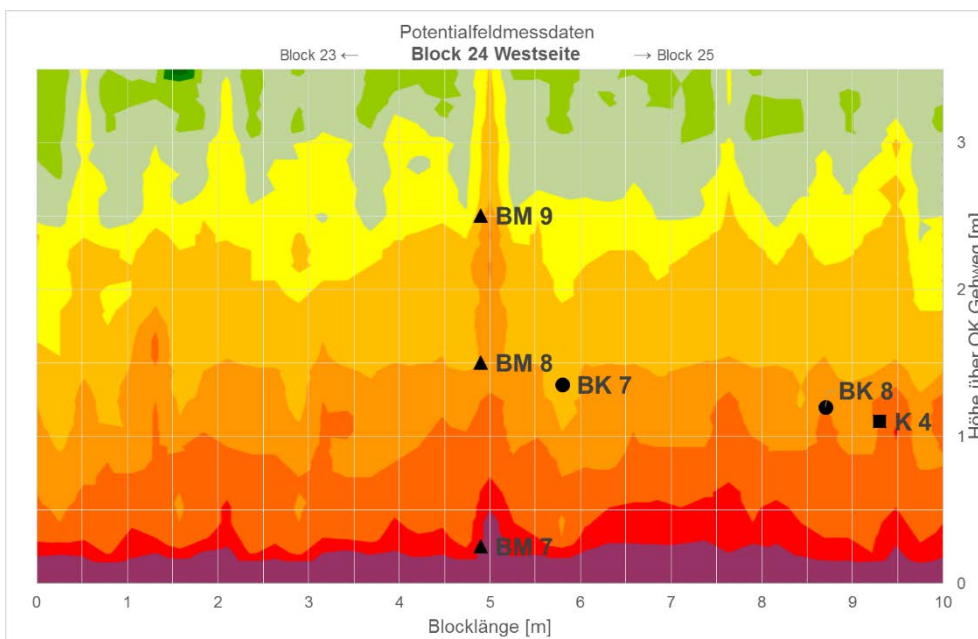
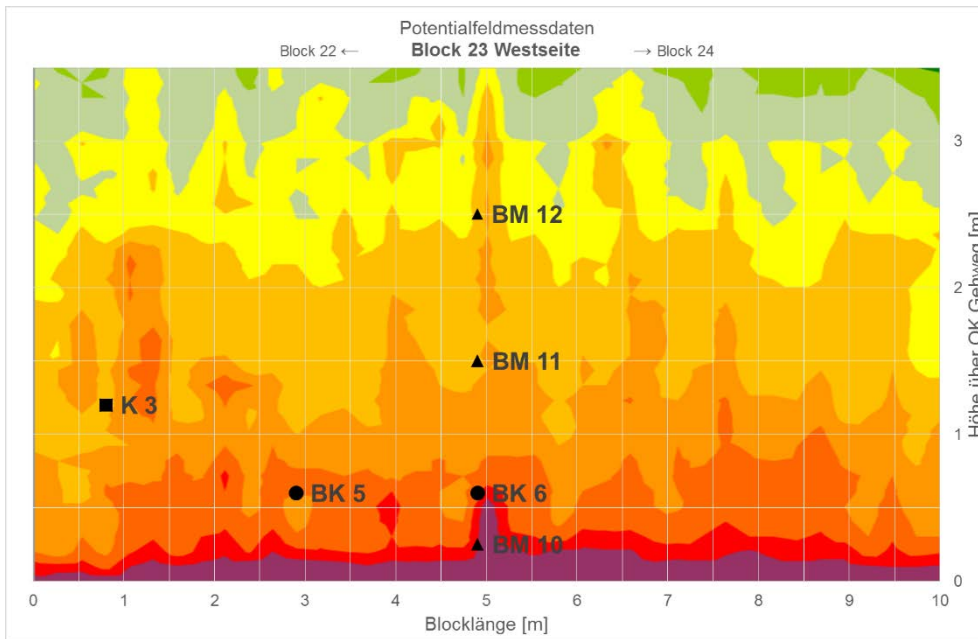
Prüfening Weströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten

Messraster (X250;Y100 [mm])



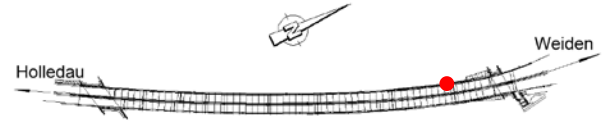
■ -400--360
 ■ -360--320
 ■ -320--280
 ■ -280--240
 ■ -240--200
 ■ -200--160
 ■ -160--120
 ■ -120--80
 ■ -80--40
 ■ -40-0
 [mV]



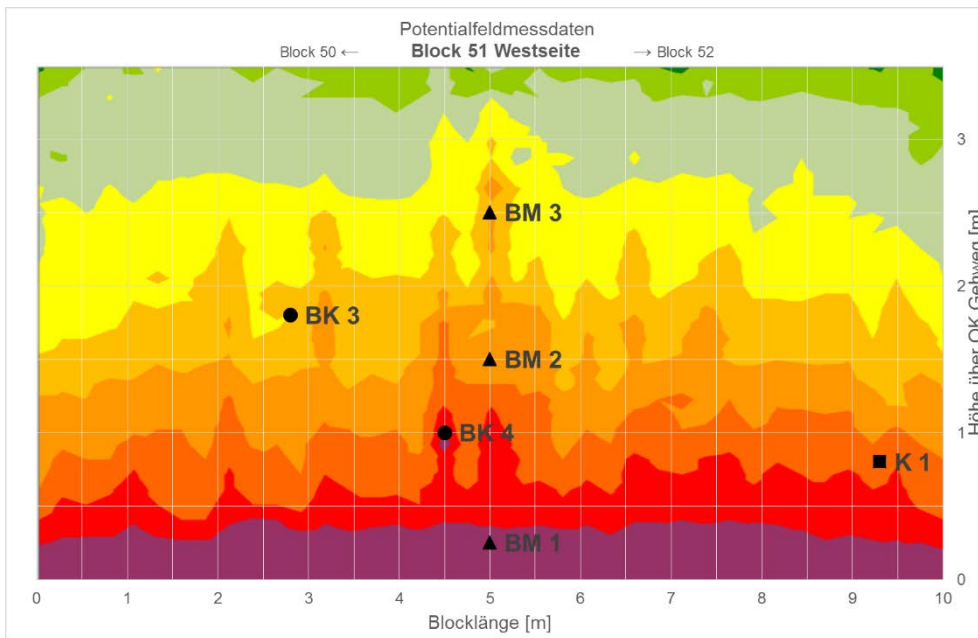
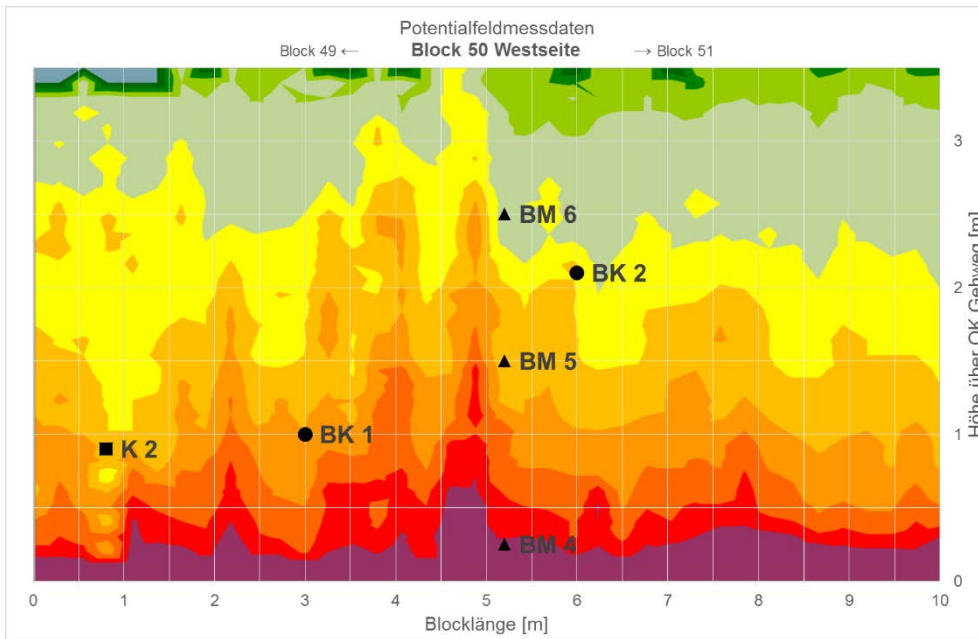
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten



Messraster (X250;Y100 [mm])



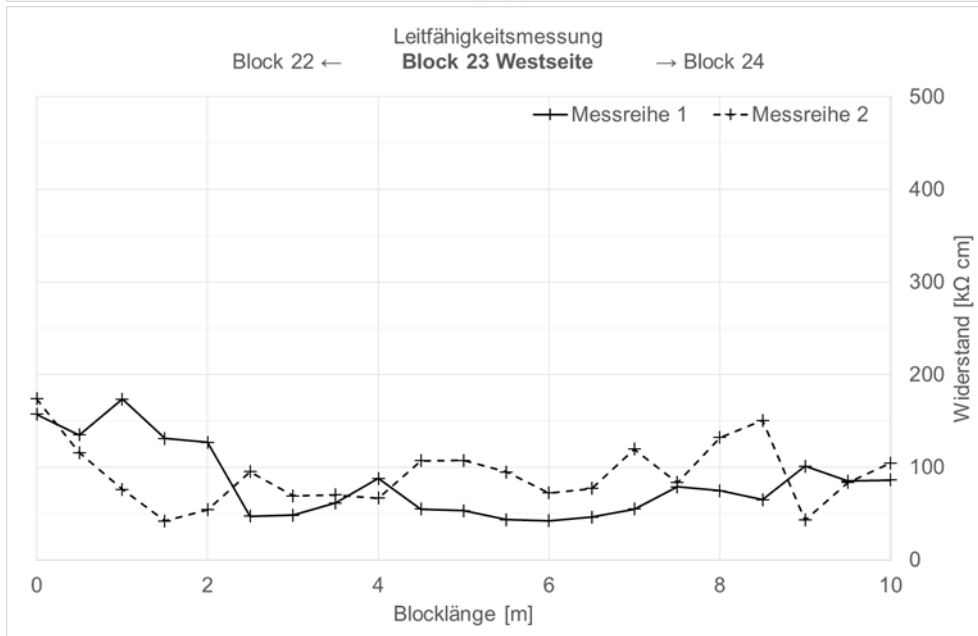
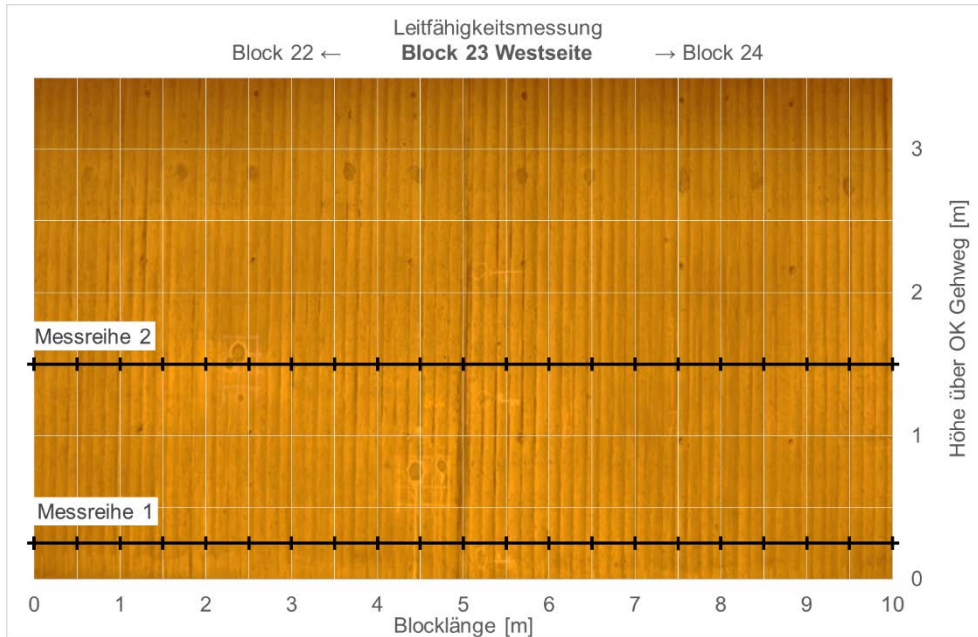
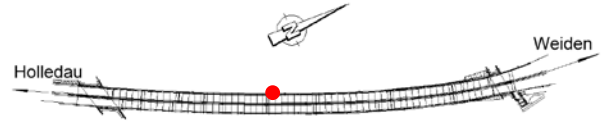
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 16 Leitfähigkeitsmessung Beton – Tunnel Prüfening

Prüfung Weströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

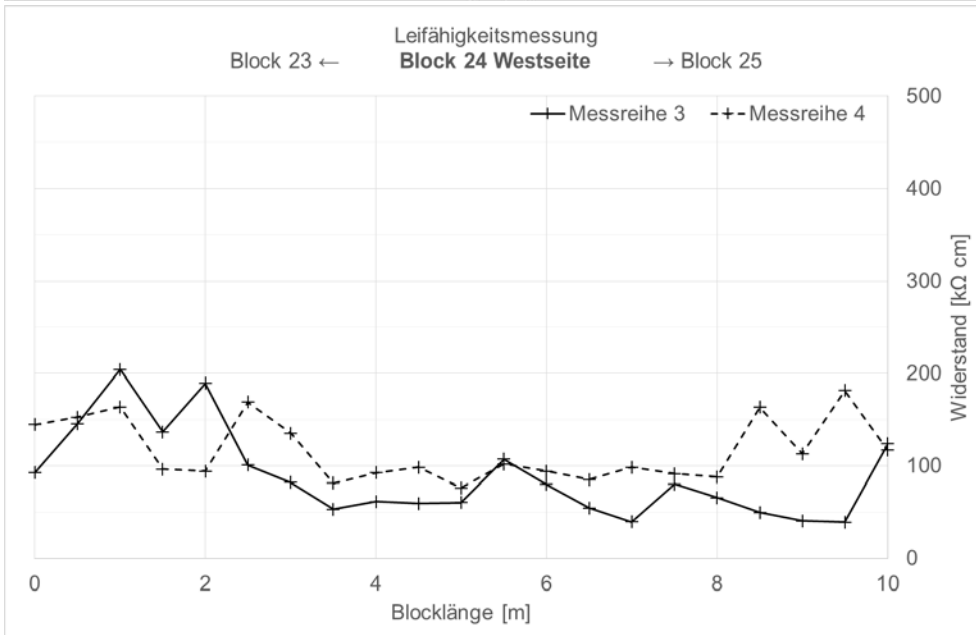
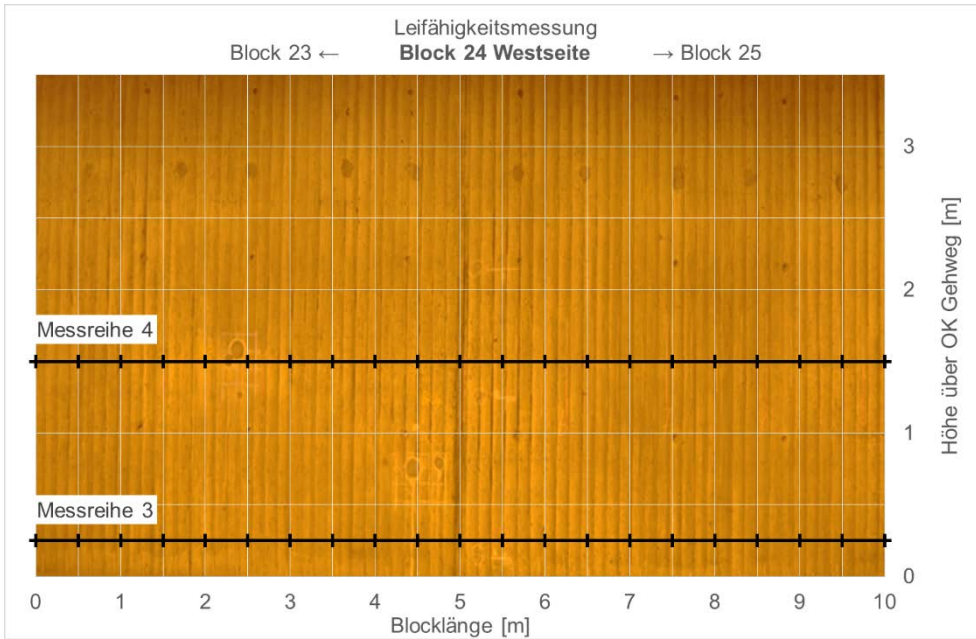
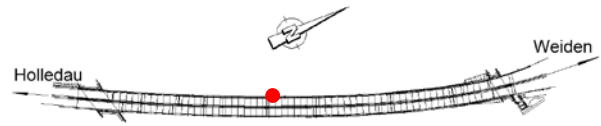


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 1	Messreihe 2
Mittelwert:	83	92
Min:	42	42
Max:	174	174

Prüfung Weströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

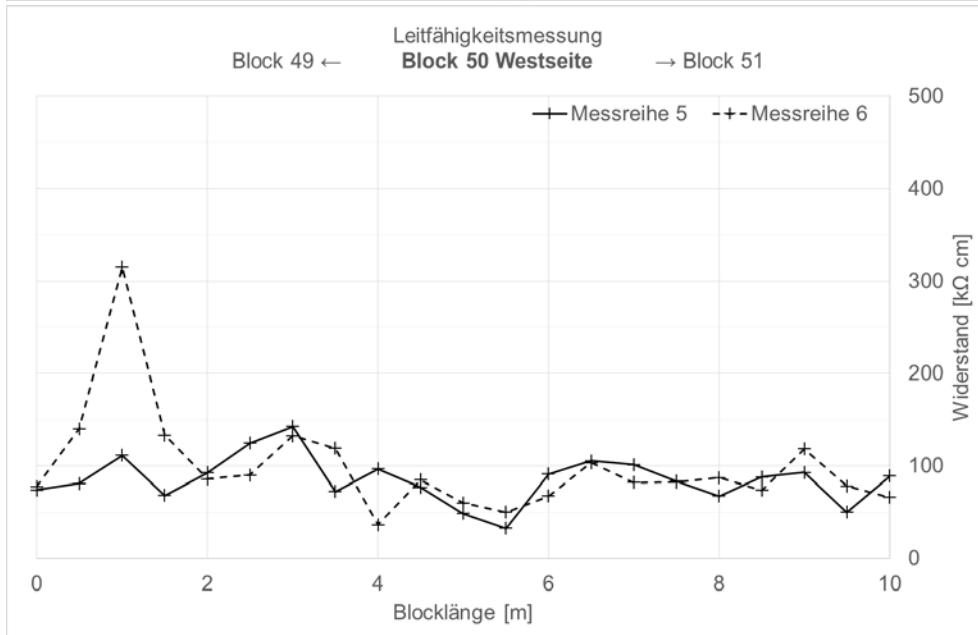
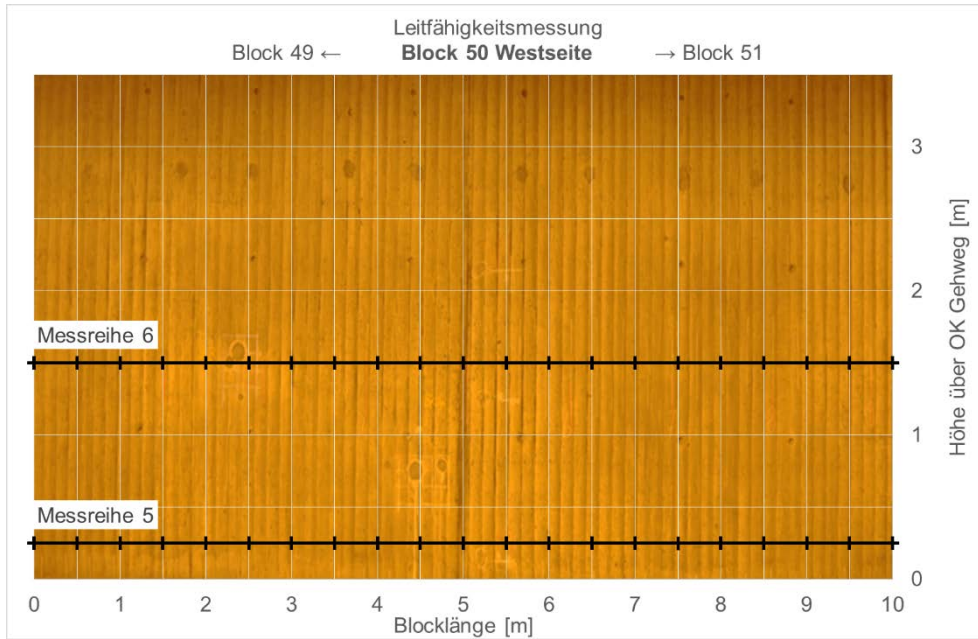
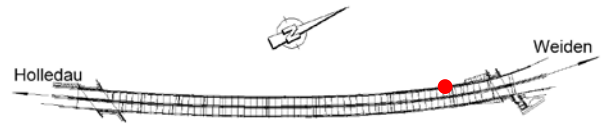


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 3	Messreihe 4
Mittelwert:	89	116
Min:	39	76
Max:	204	182

Prüfung Weströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

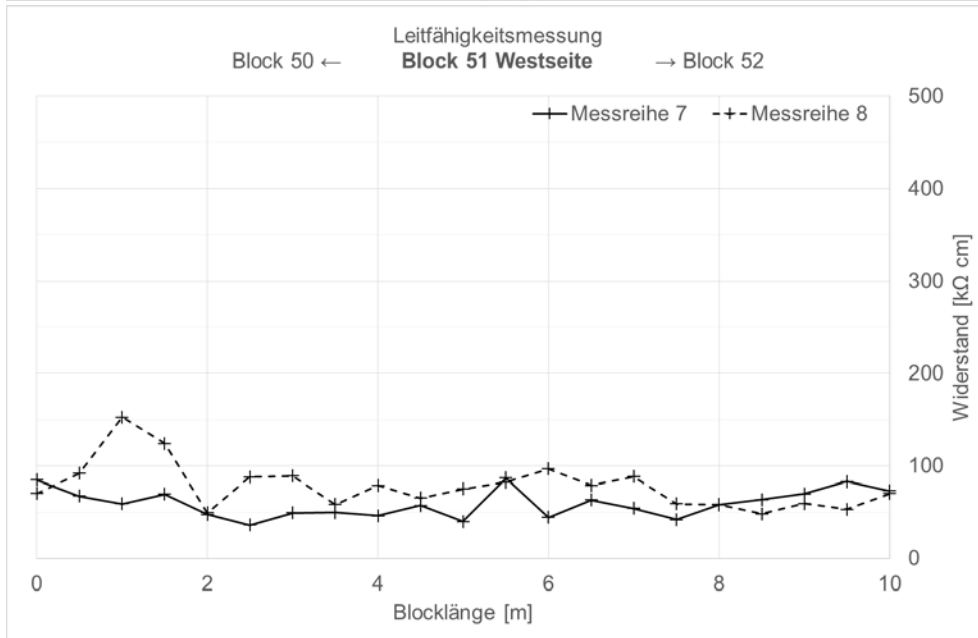
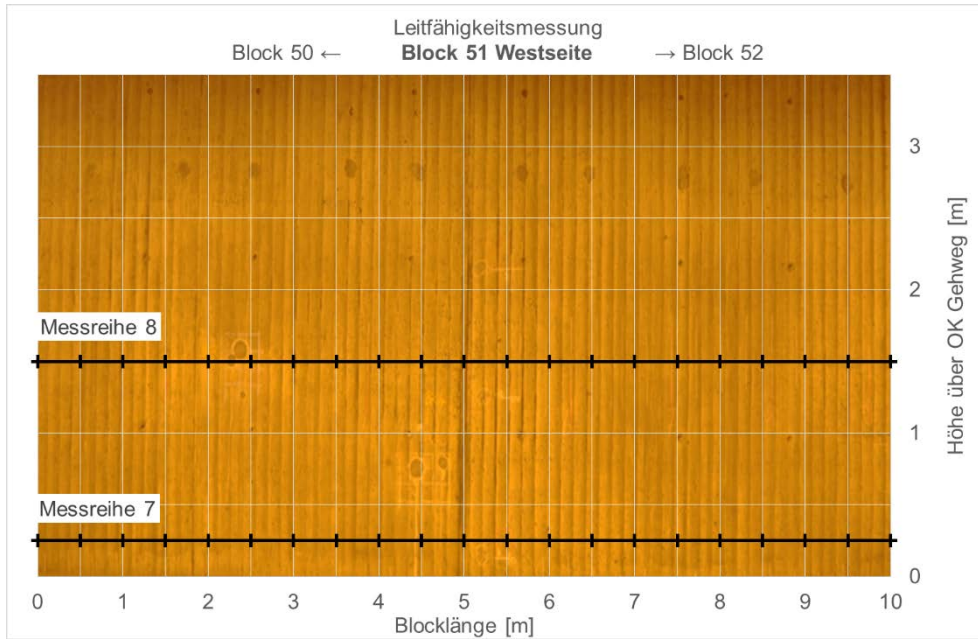
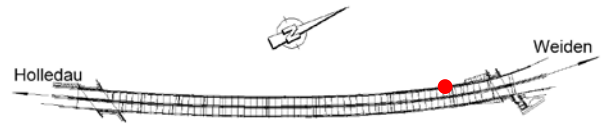


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 5	Messreihe 6
Mittelwert:	85	99
Min:	33	36
Max:	142	315

Prüfung Weströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche



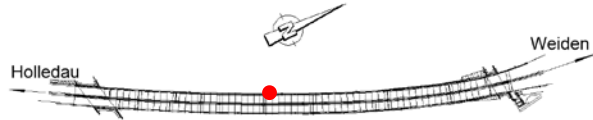
	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 7	Messreihe 8
Mittelwert:	59	78
Min:	36	48
Max:	87	153

Anlage 17 Permeabilitätsmessung – Tunnel Prüfening

Prüfung Weströhre

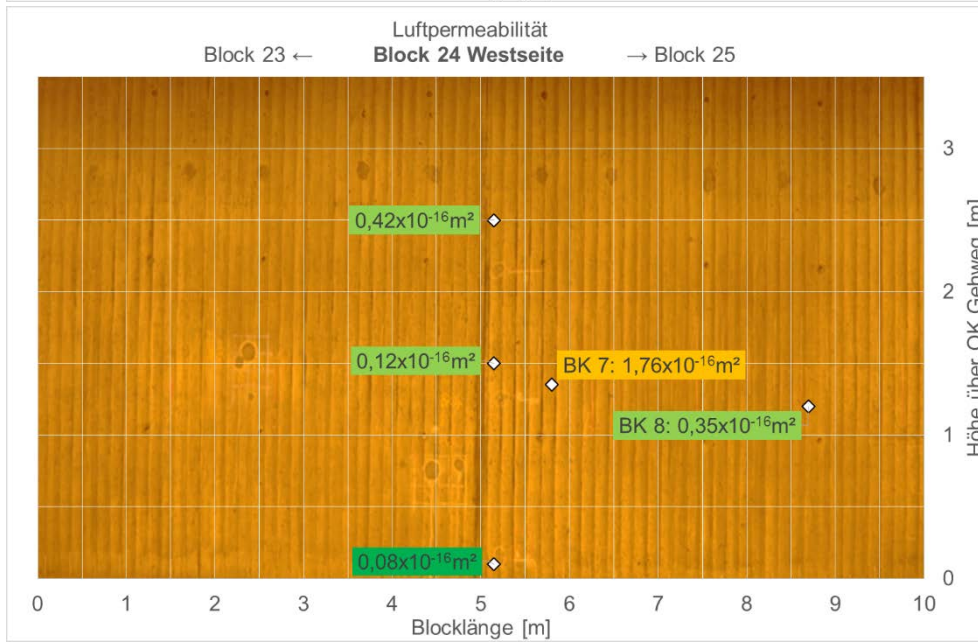
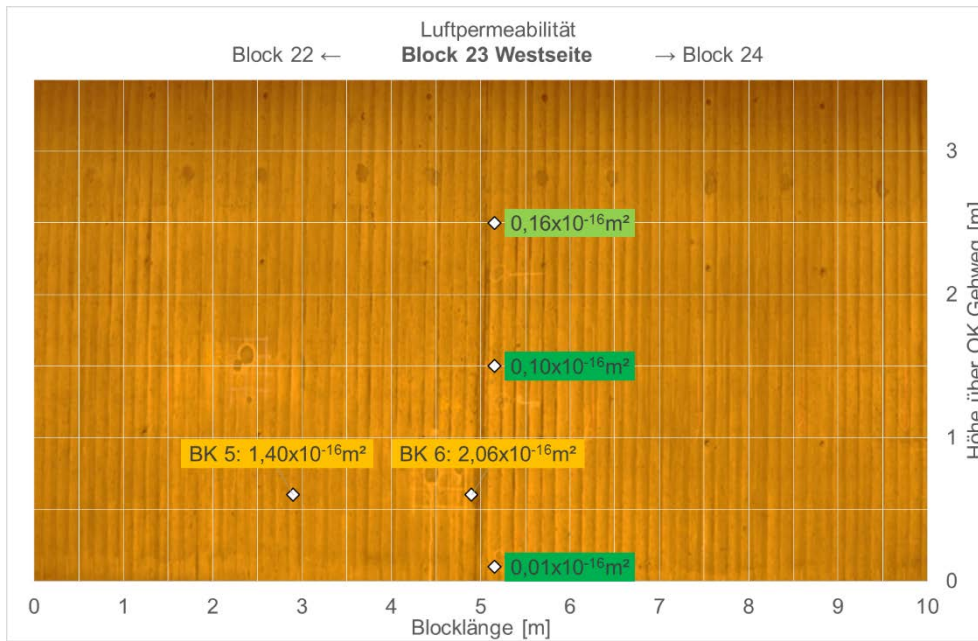
Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche



Sehr gut	<0,1 $10^{-16}m^2$	Gut	<0,5 $10^{-16}m^2$	Genügend	<1,0 $10^{-16}m^2$	Schlecht	<10,0 $10^{-16}m^2$	Sehr schlecht	>10,0 $10^{-16}m^2$
----------	-----------------------	-----	-----------------------	----------	-----------------------	----------	------------------------	---------------	------------------------

Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen - beton Heft 5/1999



Prüfung Weströhre



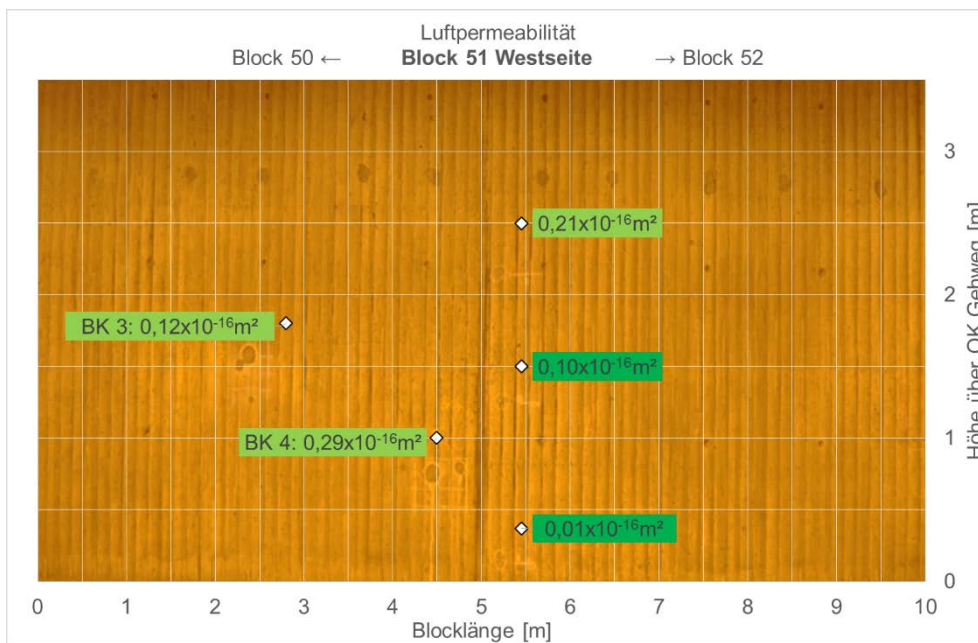
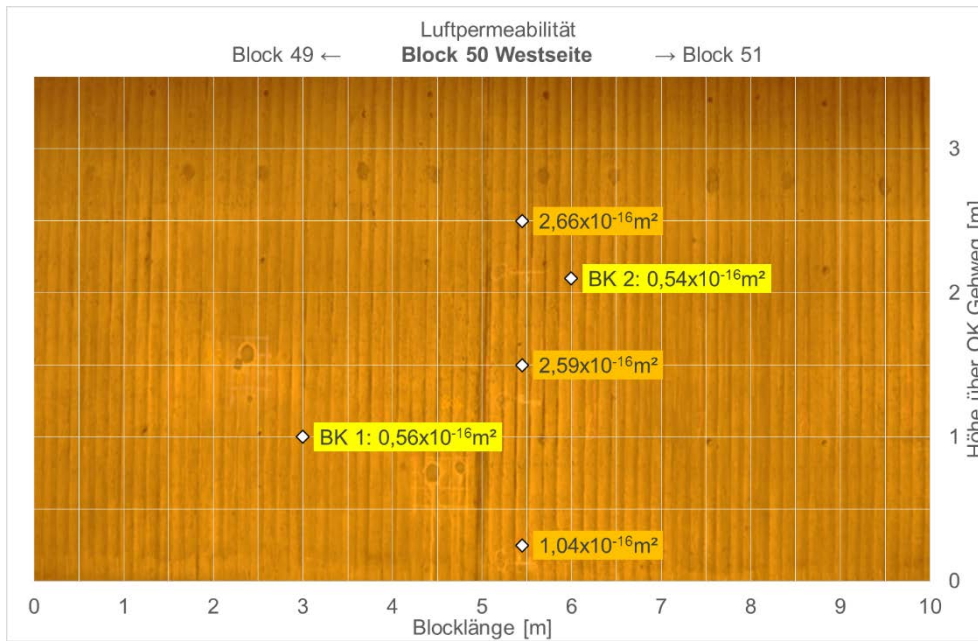
Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche



Sehr gut	<0,1 $10^{-16}m^2$	Gut	<0,5 $10^{-16}m^2$	Genügend	<1,0 $10^{-16}m^2$	Schlecht	<10,0 $10^{-16}m^2$	Sehr schlecht	>10,0 $10^{-16}m^2$
----------	-----------------------	-----	-----------------------	----------	-----------------------	----------	------------------------	---------------	------------------------

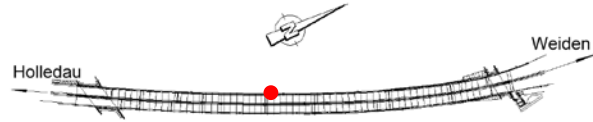
Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen - beton Heft 5/1999



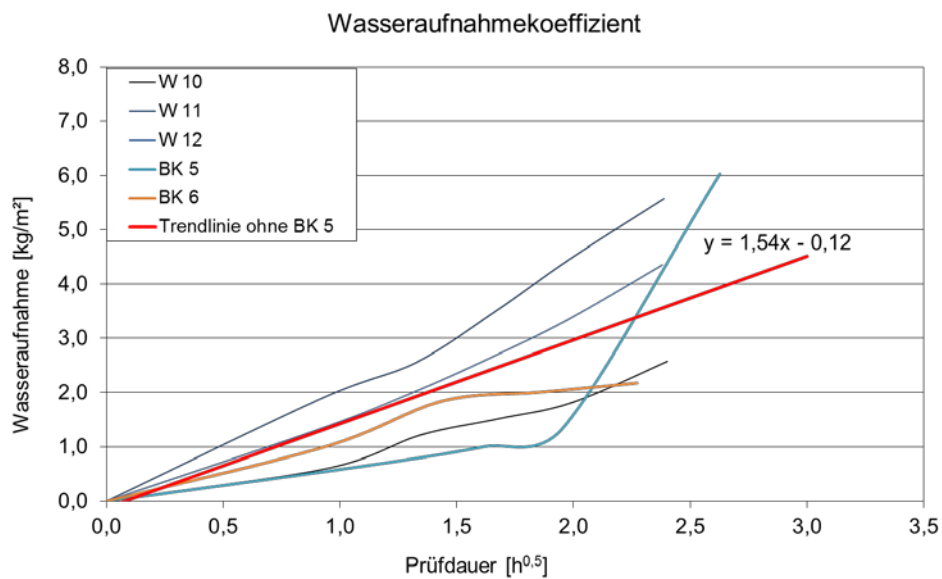
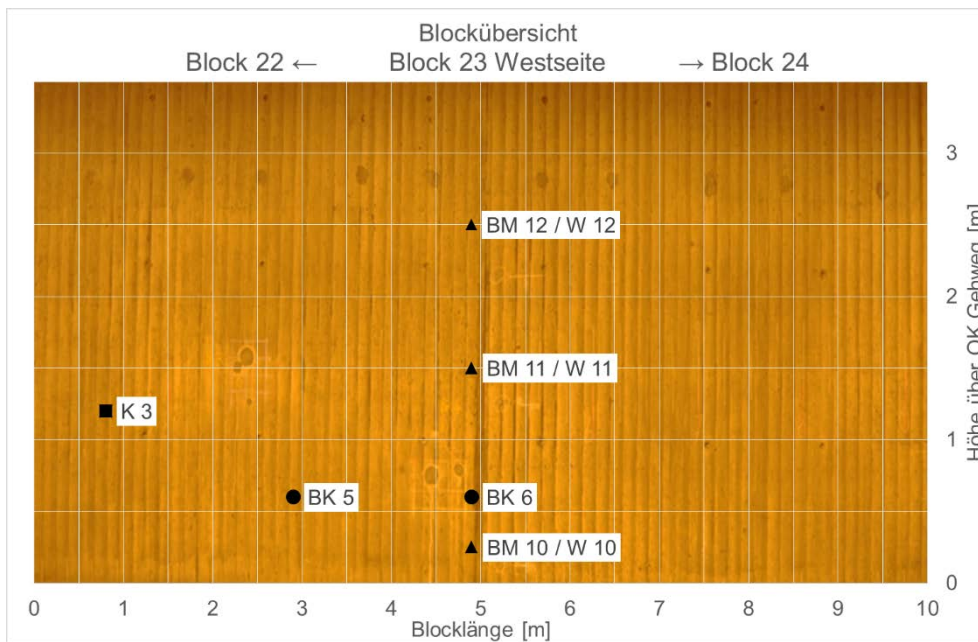
Anlage 18 kapillare Wasseraufnahme – Tunnel Prüfening

Prüfung Weströhre

kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche



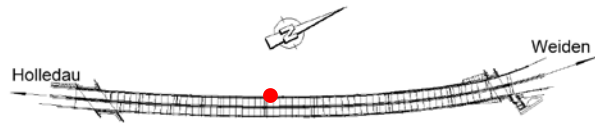
Karstensches Röhrrchen



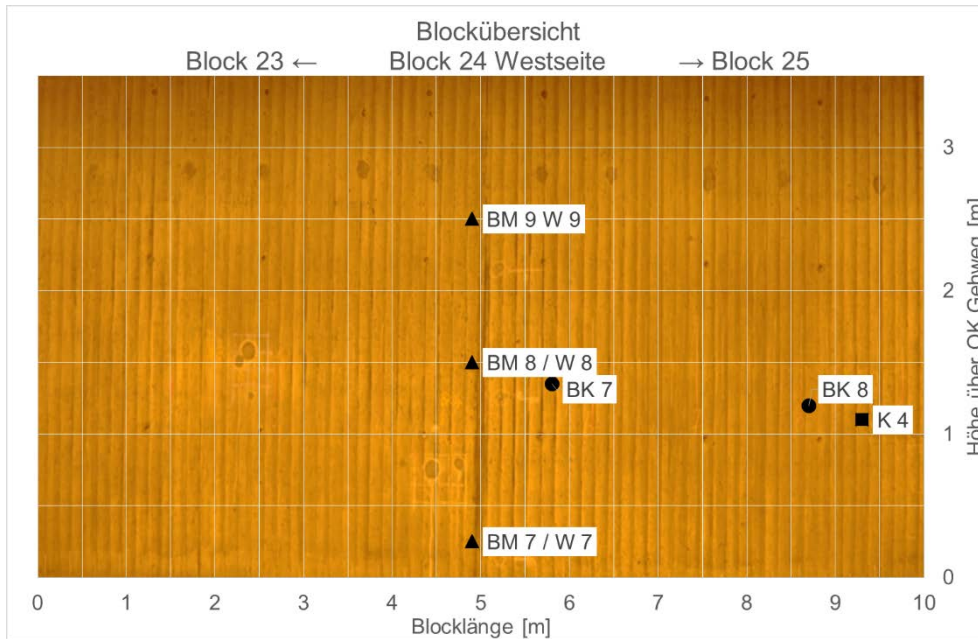
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

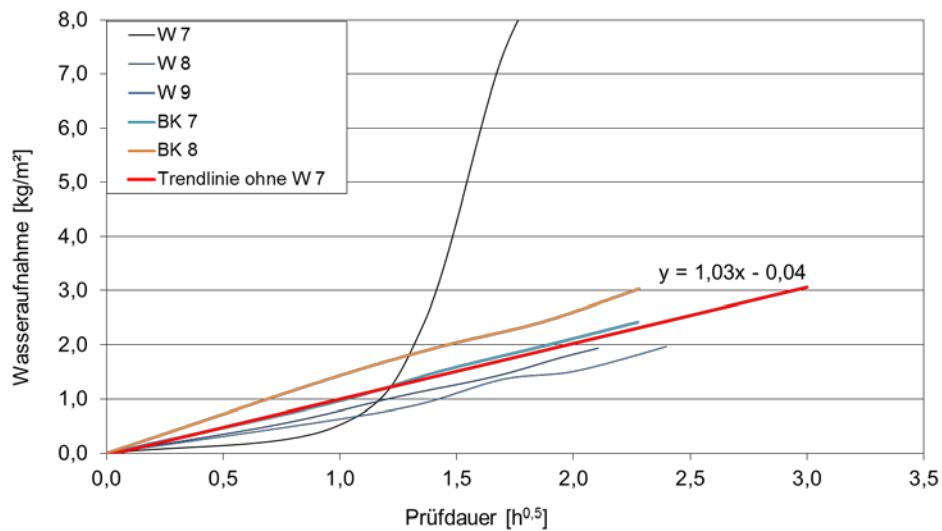
**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**



Karstensisches Röhrcchen



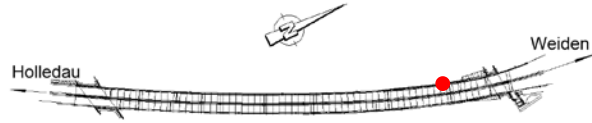
Wasseraufnahmekoeffizient



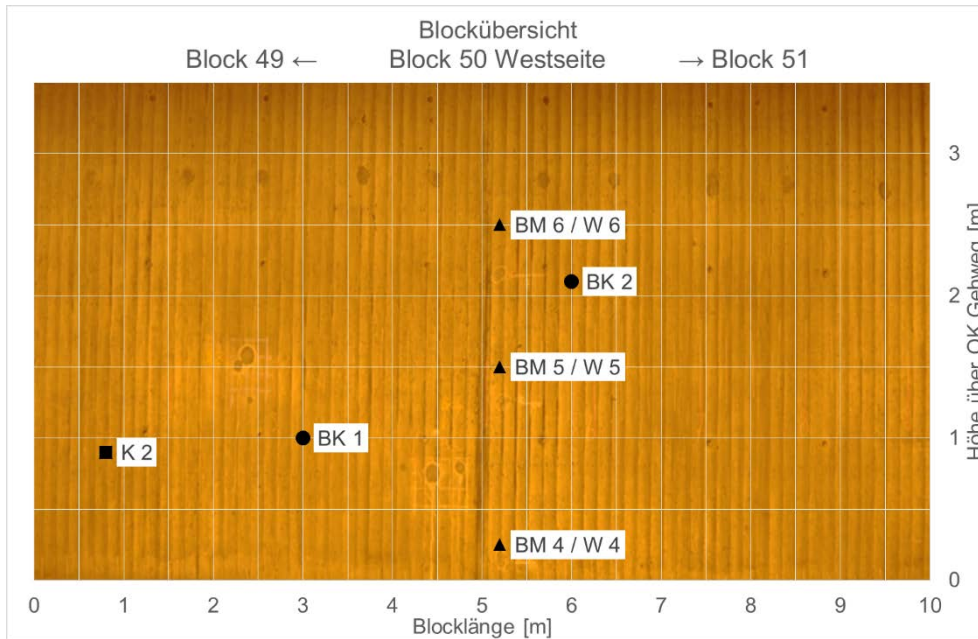
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

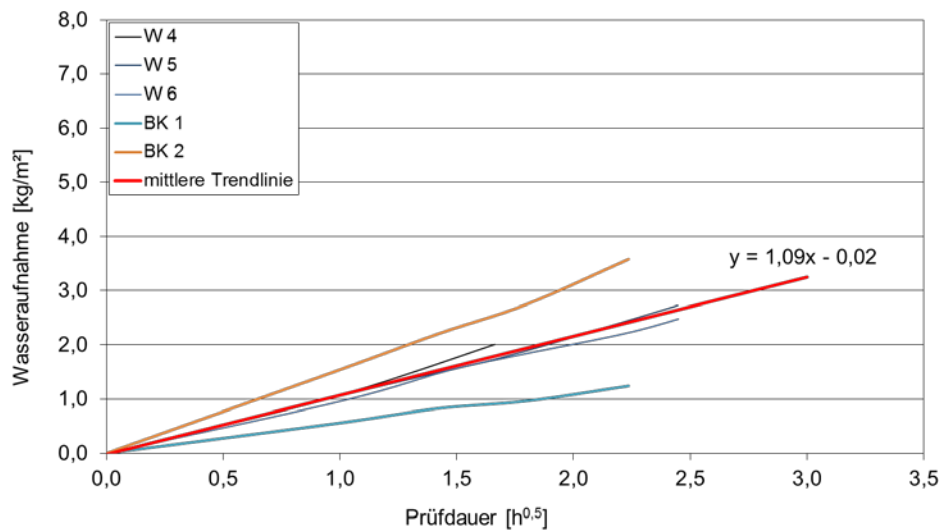
**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**



Karstensches Röhrenchen



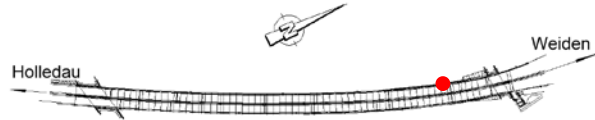
Wasseraufnahmekoeffizient



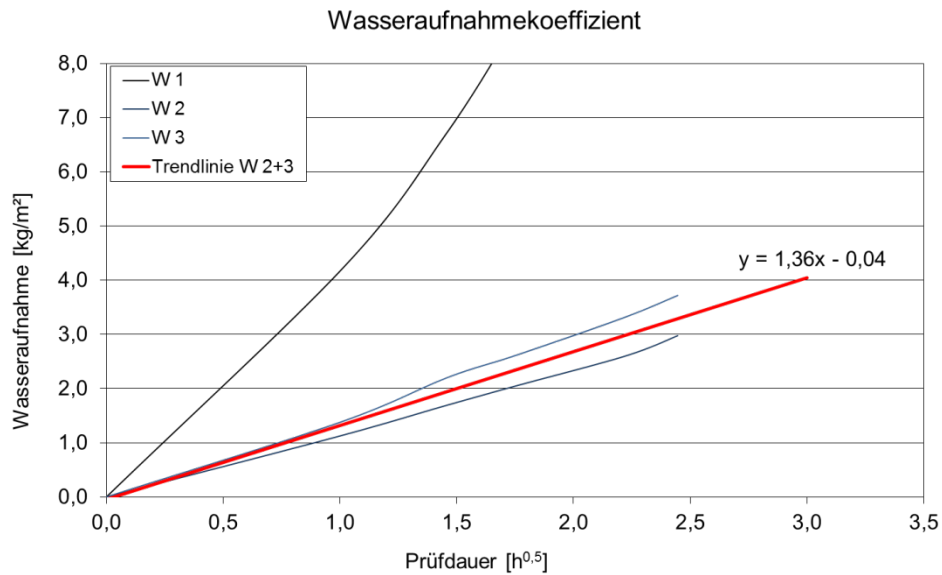
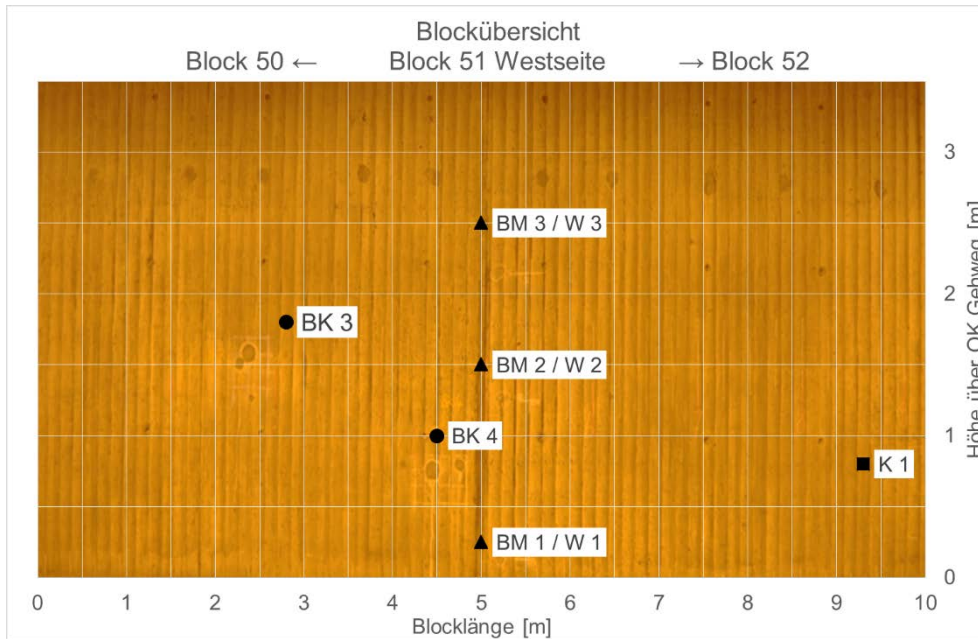
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**



Karstensches Röhrenchen



- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 19 Korrosionszustand der Bewehrung – Tunnel Prüfening

Prüfening Weströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

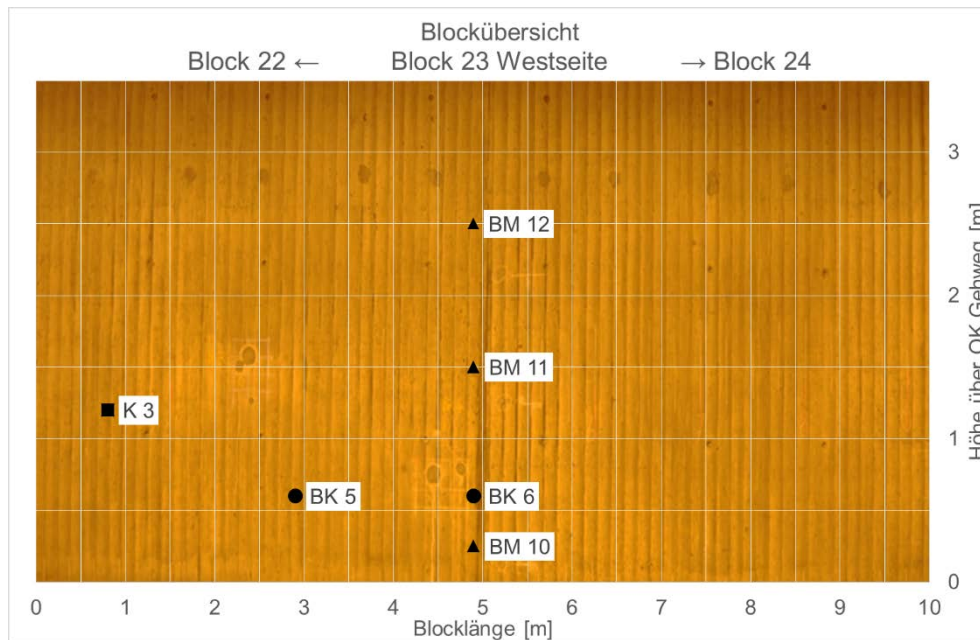
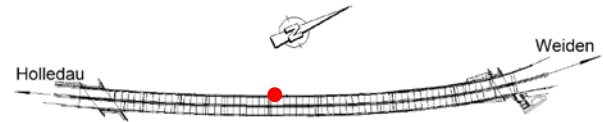


Bild 1: Stelle BK 5
ohne Korrosion



Bild 2: Stelle BK 6
in Teilflächen angerostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

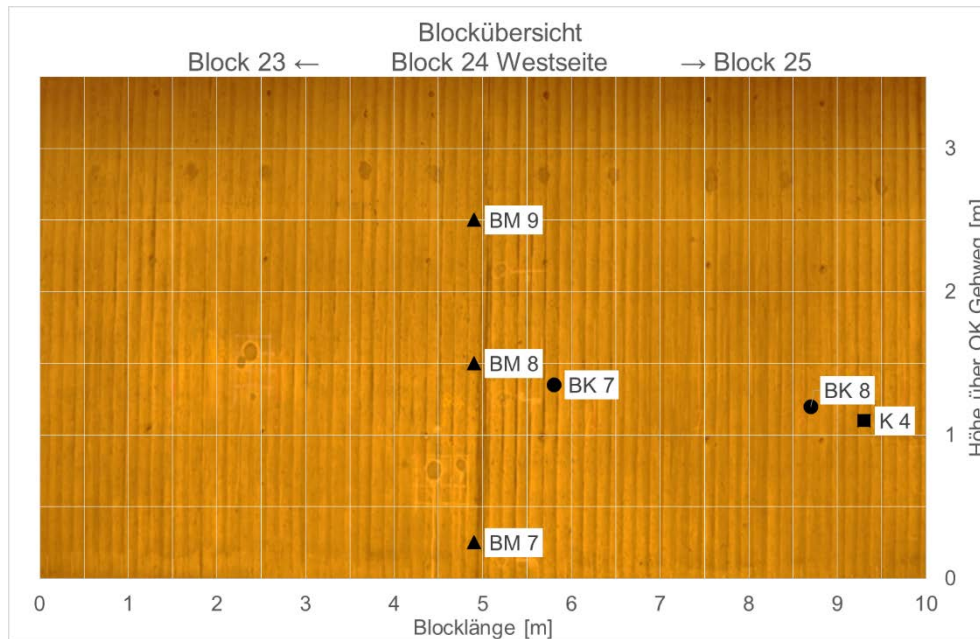
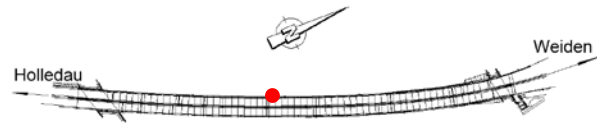


Bild 3: Stelle BK 7
ohne Korrosion



Bild 4: Stelle BK 8
in Teilflächen angerostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

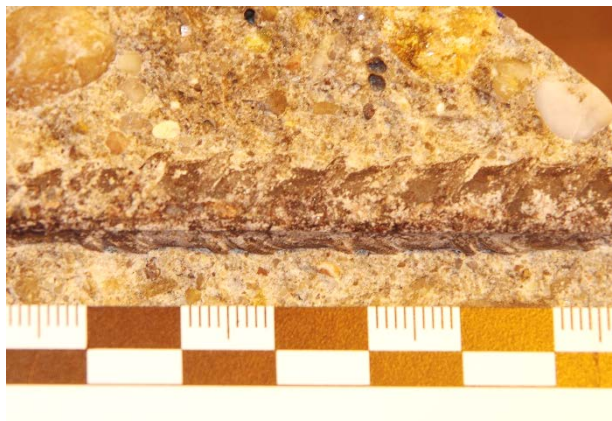
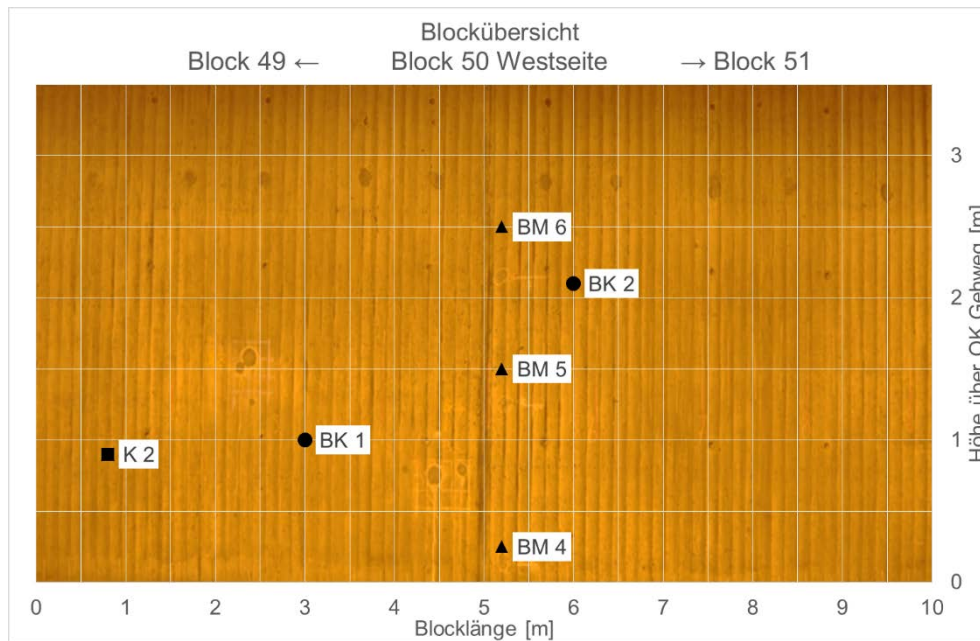
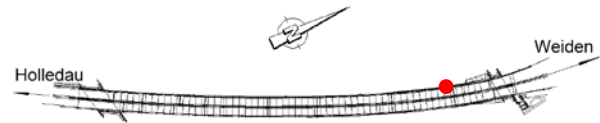


Bild 5: Stelle BK 1
ohne Korrosion



Bild 6: Stelle BK 2
ohne Korrosion

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Prüfung Weströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

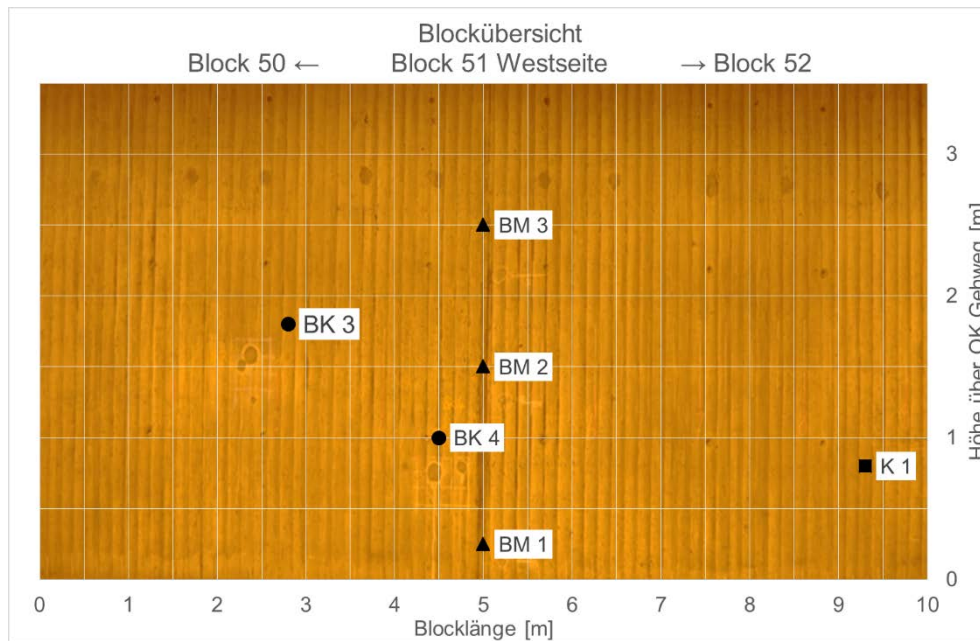
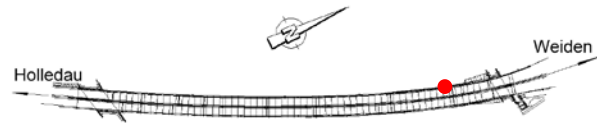


Bild 7: Stelle BK 3
ohne Korrosion



Bild 8: Stelle BK 4
stellenweise angerostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 20 Fotodokumentation Tunnel Pfaffenstein



Bild 1 Tunnel Pfaffenstein, Einfahrt Oströhre



Bild 2 Tunnel Pfaffenstein, Innenansicht Oströhre



Bild 3 Tunnel Pfaffenstein, Untersuchungsbereich an der östlichen Wand



Bild 4 Tunnel Pfaffenstein, Untersuchungsbereich an der westlichen Wand



Bild 5 Leitungskanal, Block 76



Bild 6 Tunnelschale Block 81, Ostseite



Bild 7 Tunnelschale Block 81, Westseite

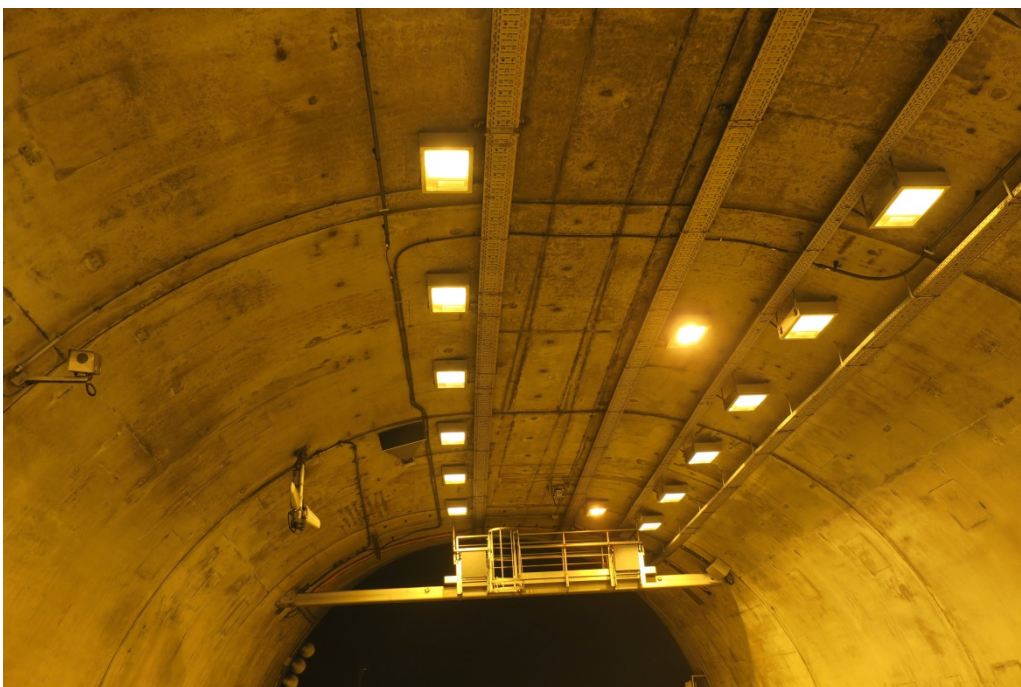


Bild 8 Firste, Bereich um Block 86



Bild 9 Freiliegende rostende Bewehrung, Block 80

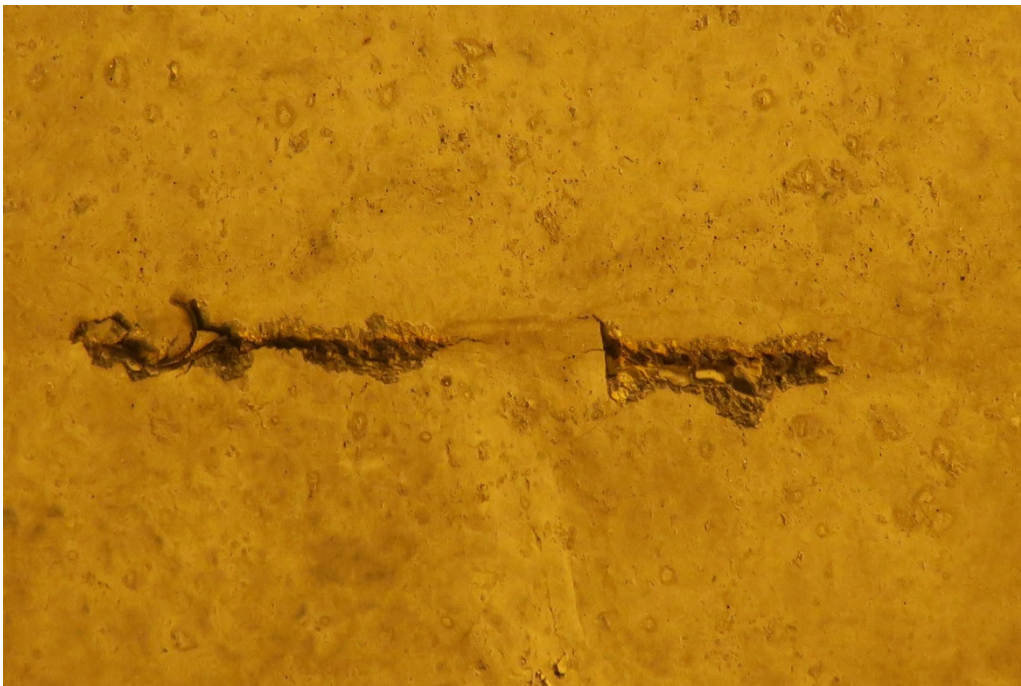


Bild 10 Detail zu Bild 9



Bild 11 Schrägriss mit Aussinterungen, Block 82



Bild 12 Schrägriss oberhalb des Leitungskanals



Bild 13 Bohrmehlentnahme mit Entnahmeggerät



Bild 14 Potentialmessung unterhalb des Leitungskanals

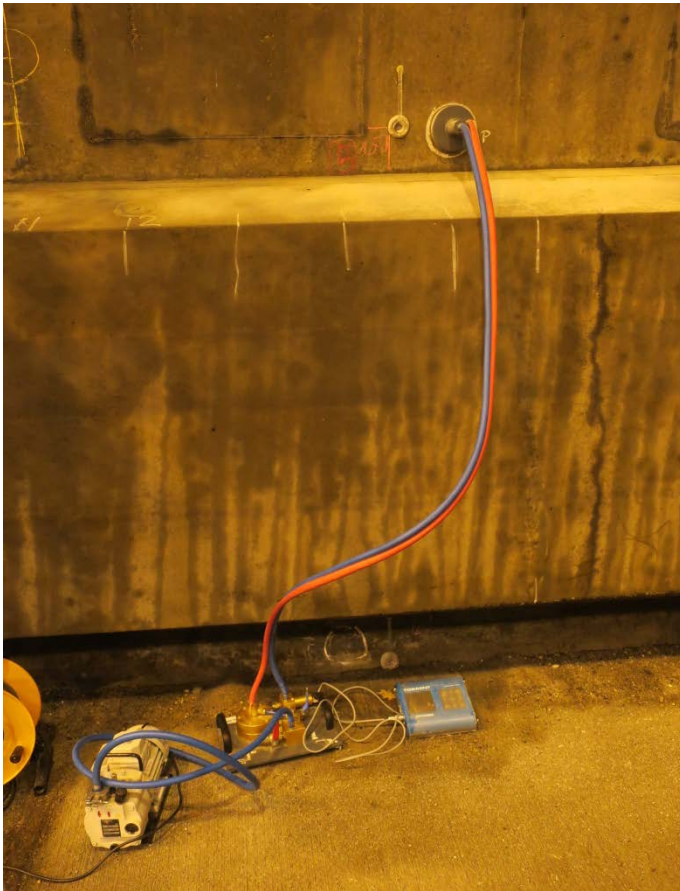


Bild 15 Messung der Luftpermeabilität und der kapillaren Wasseraufnahme



Bild 16 Bewehrungsortung mit Radar

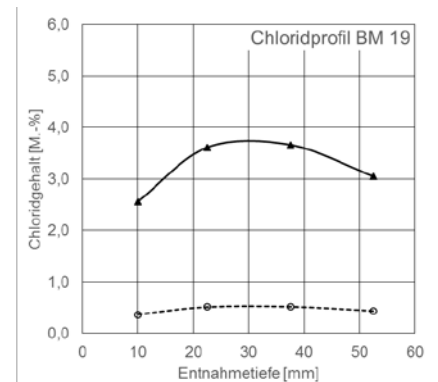
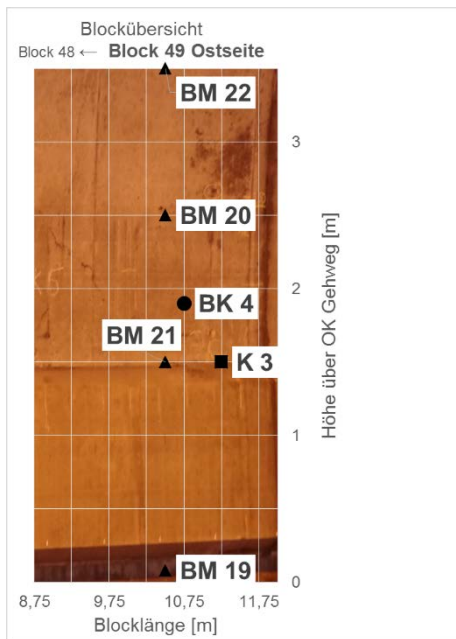
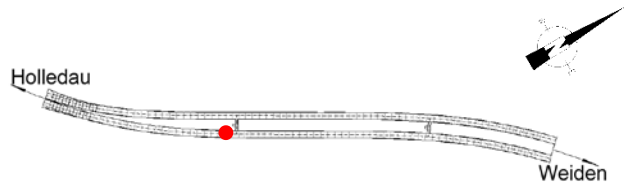
Anlage 21 Chloridgehalt des Betons – Tunnel Pfaffenstein

Pfaffenstein Oströhre

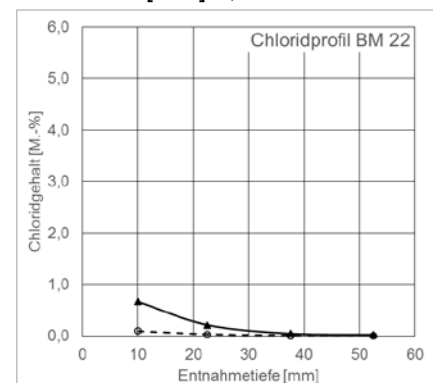
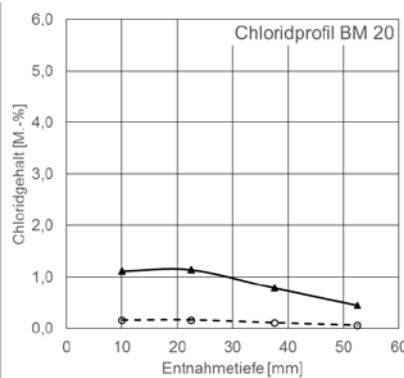
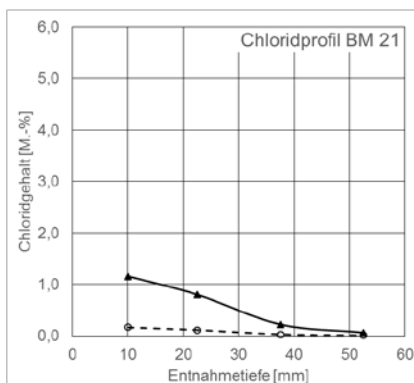
Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



0 bis 15 [mm] 2,562 M.-%_{CEM}
 15 bis 30 [mm] 3,614 M.-%_{CEM}
 30 bis 45 [mm] 3,664 M.-%_{CEM}
 45 bis 60 [mm] 3,052 M.-%_{CEM}



- ○ - Cl [M.-%_{Beton}] —▲— Cl [M.-%_{CEM}]

0 bis 15 [mm] 1,159 M.-%_{CEM}
 15 bis 30 [mm] 0,802 M.-%_{CEM}
 30 bis 45 [mm] 0,223 M.-%_{CEM}
 45 bis 60 [mm] 0,065 M.-%_{CEM}

1,110 M.-%_{CEM}
 1,134 M.-%_{CEM}
 0,783 M.-%_{CEM}
 0,452 M.-%_{CEM}

0,667 M.-%_{CEM}
 0,214 M.-%_{CEM}
 0,045 M.-%_{CEM}
 0,024 M.-%_{CEM}

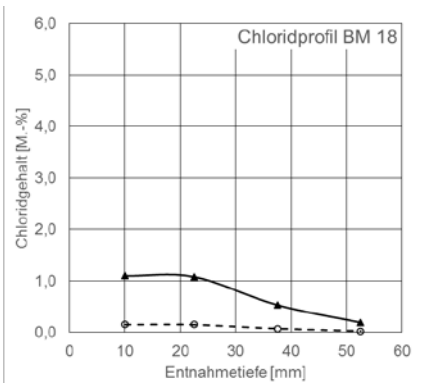
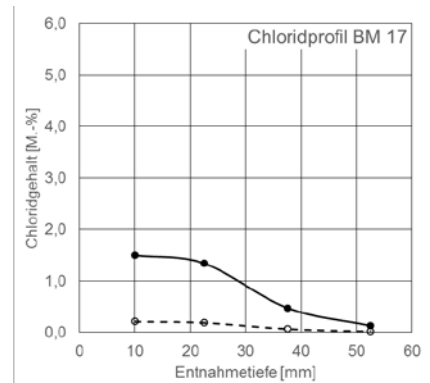
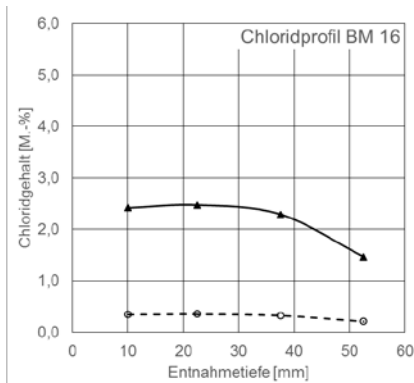
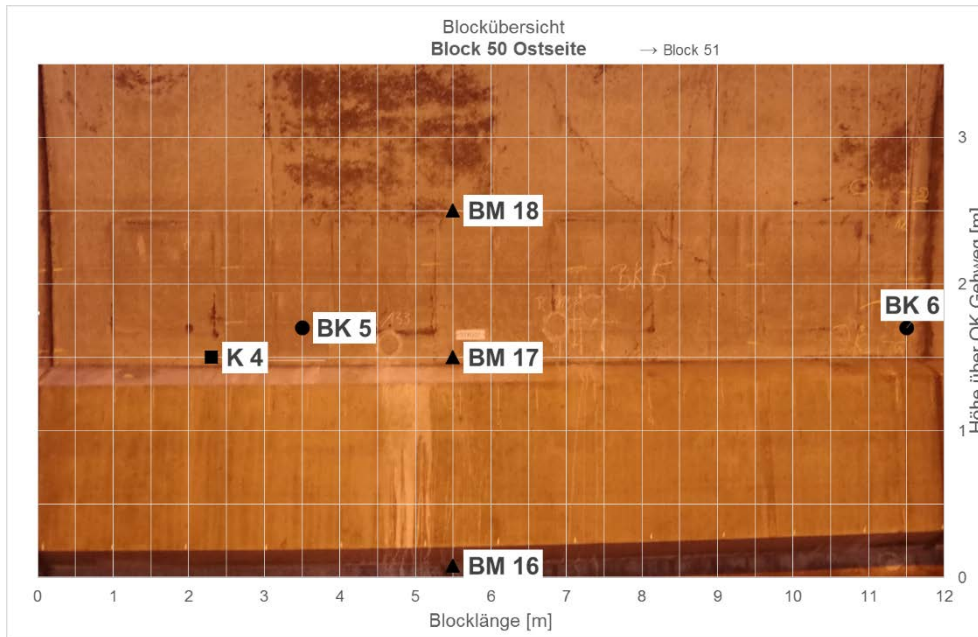
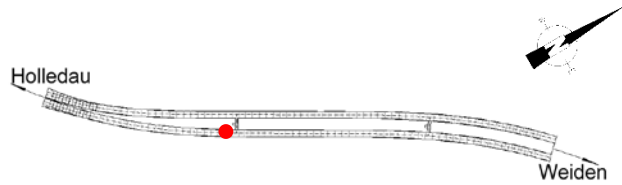
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



- ○ - Cl [M.-%Beton] — ▲ — Cl [M.-%CEM]

0 bis 15 [mm]	2,416 M.-%CEM	1,499 M.-%CEM	1,097 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	2,473 M.-%CEM	1,341 M.-%CEM	1,079 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	2,293 M.-%CEM	0,476 M.-%CEM	0,531 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	1,469 M.-%CEM	0,131 M.-%CEM	0,193 M.-%CEM

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

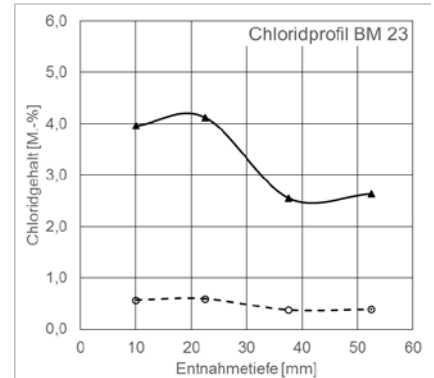
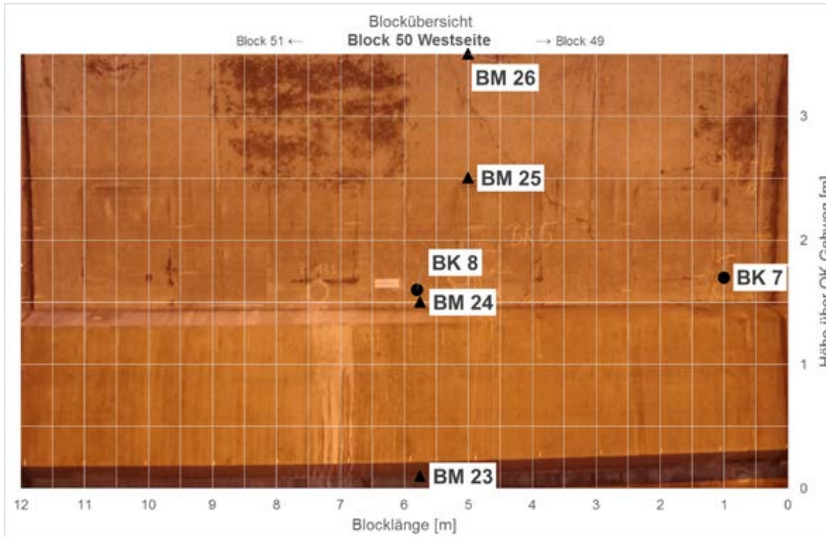
Pfaffenstein Oströhre



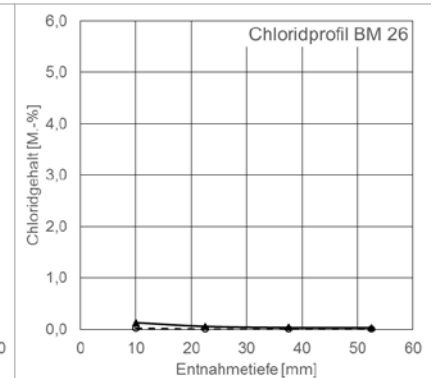
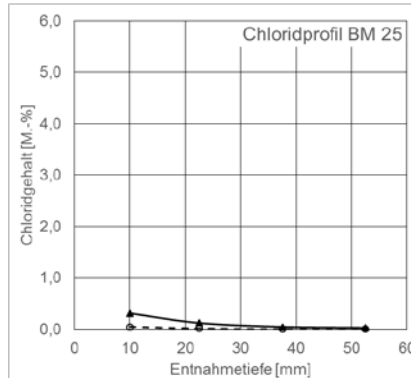
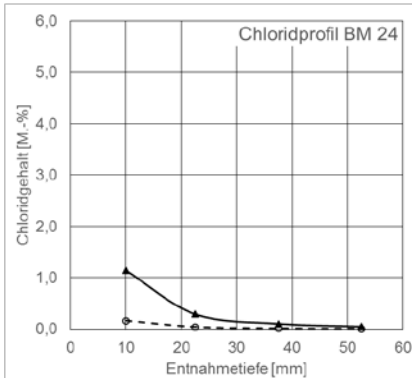
Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



0 bis 15 [mm]	3,952 M.-% _{CEM}
15 bis 30 [mm]	4,117 M.-% _{CEM}
30 bis 45 [mm]	2,553 M.-% _{CEM}
45 bis 60 [mm]	2,634 M.-% _{CEM}



- ○ - CI [M.-%Beton] - ▲ - CI [M.-%CEM]

0 bis 15 [mm]	1,142 M.-% _{CEM}	0,311 M.-% _{CEM}	0,130 M.-% _{CEM}
15 bis 30 [mm]	0,290 M.-% _{CEM}	0,122 M.-% _{CEM}	0,059 M.-% _{CEM}
30 bis 45 [mm]	0,102 M.-% _{CEM}	0,046 M.-% _{CEM}	0,035 M.-% _{CEM}
45 bis 60 [mm]	0,047 M.-% _{CEM}	0,029 M.-% _{CEM}	0,035 M.-% _{CEM}

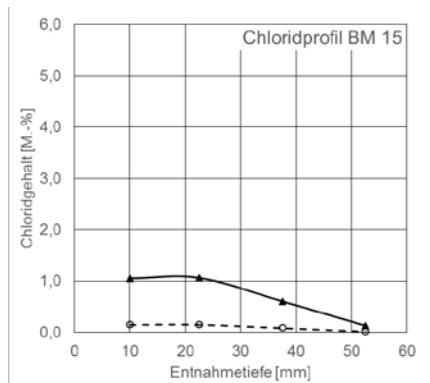
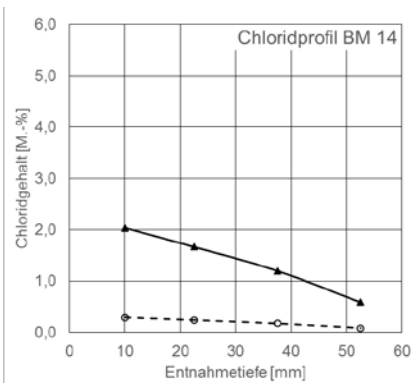
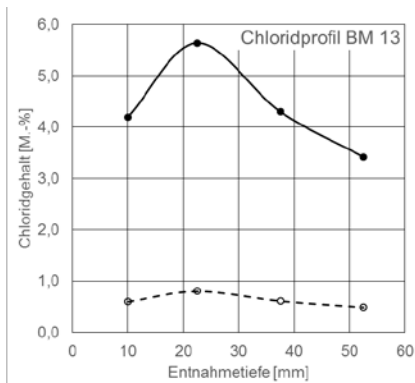
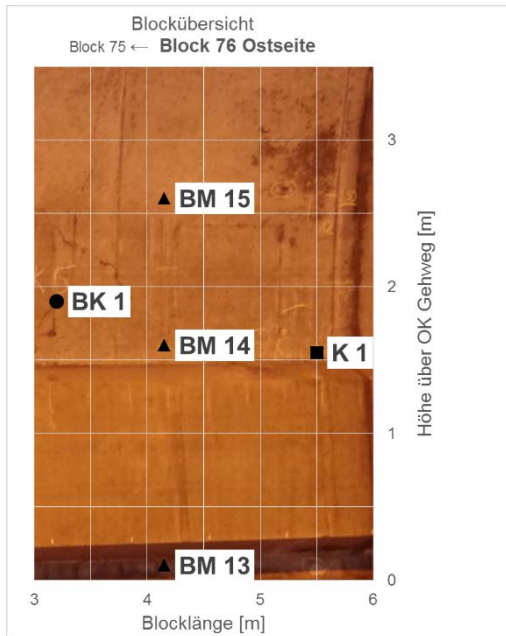
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss



Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

0 bis 15; 15 bis 30; 30 bis 45; 45 bis 60



—○— CI [M.-%Beton] —▲— CI [M.-%CEM]

0 bis 15 [mm]	4,196 M.-%CEM	2,037 M.-%CEM	1,052 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	5,638 M.-%CEM	1,664 M.-%CEM	1,065 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	4,298 M.-%CEM	1,200 M.-%CEM	0,606 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	3,419 M.-%CEM	0,585 M.-%CEM	0,130 M.-%CEM

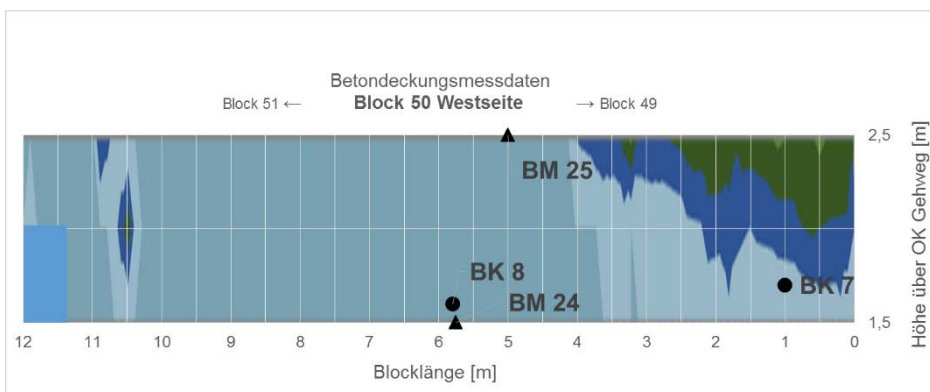
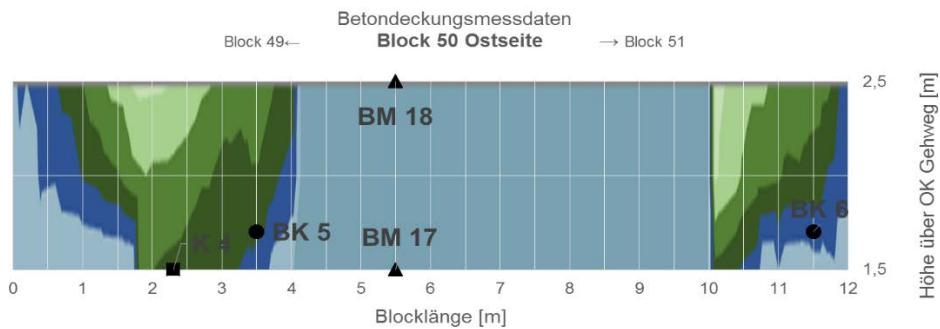
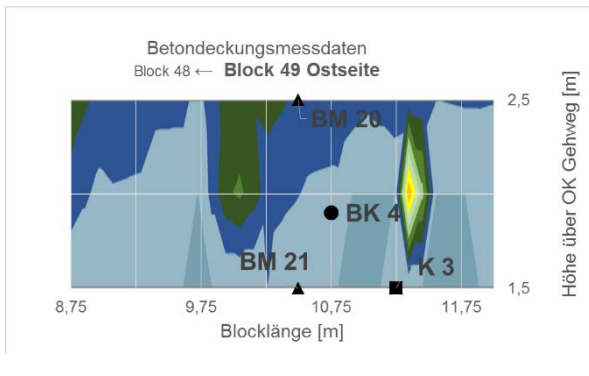
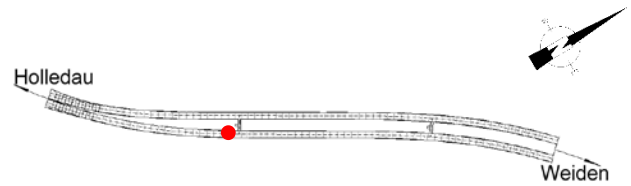
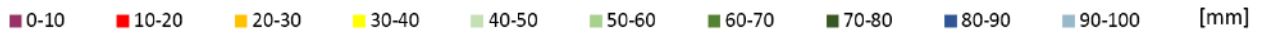
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 22 Betondeckungsmessung – Tunnel Pfaffenstein

Pfaffenstein Oströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Betondeckungsmessdaten

Messlinienabstand (Y 500 mm)

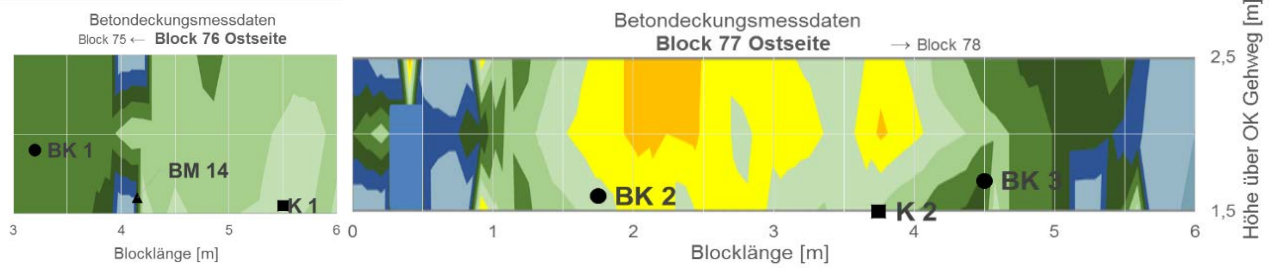
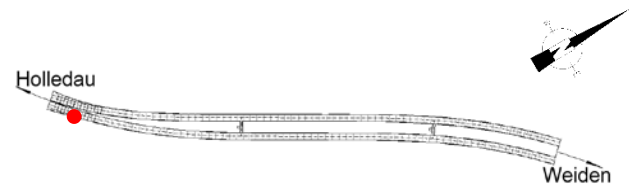
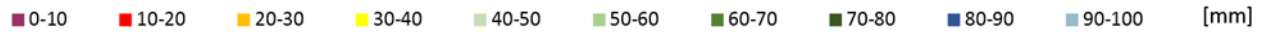


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Betondeckungsmessdaten

Messlinienabstand (Y 500 mm)



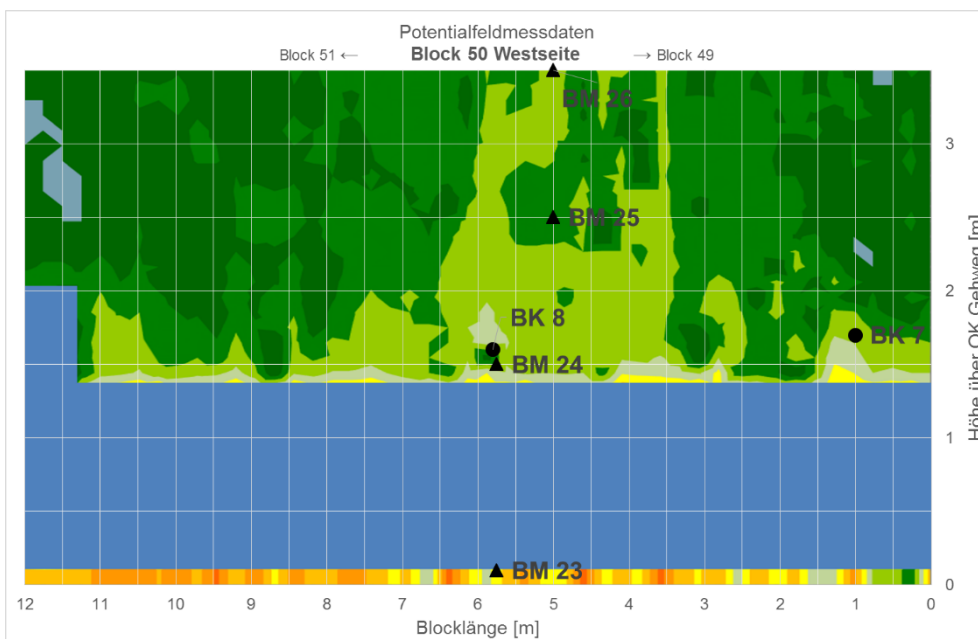
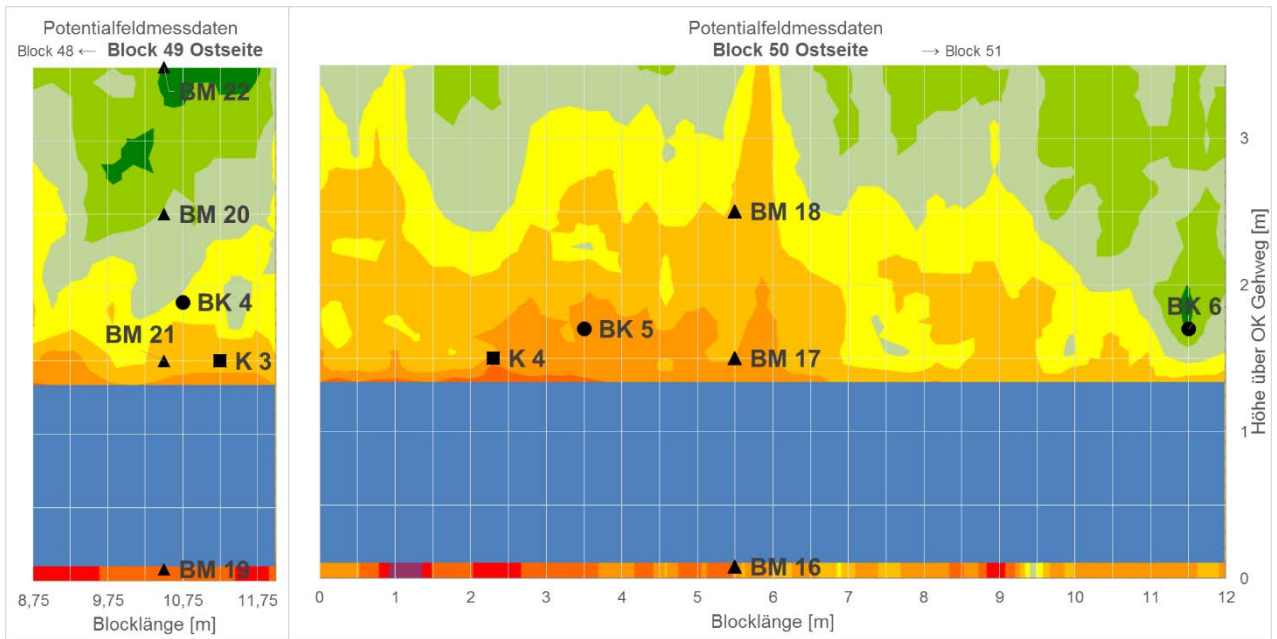
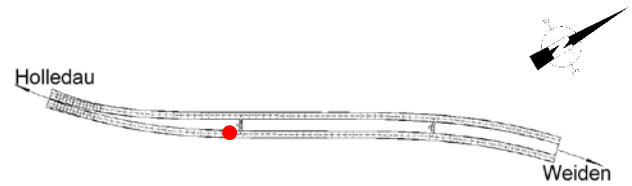
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 23 Potentialfeldmessung – Tunnel Pfaffenstein

Pfaffenstein Oströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten

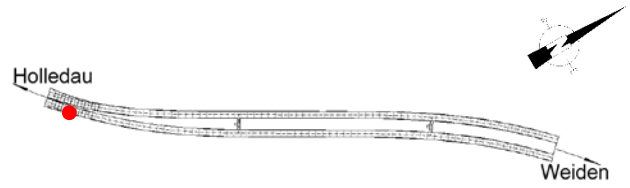
Messraster (X250;Y100 [mm])



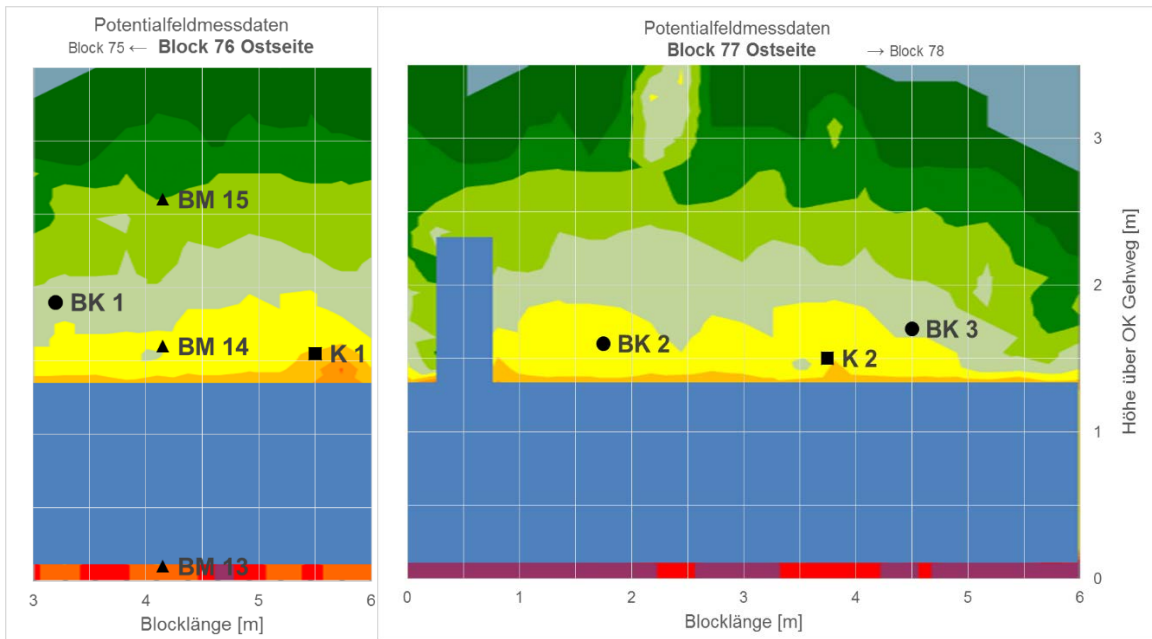
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten



Messraster (X250;Y100 [mm])



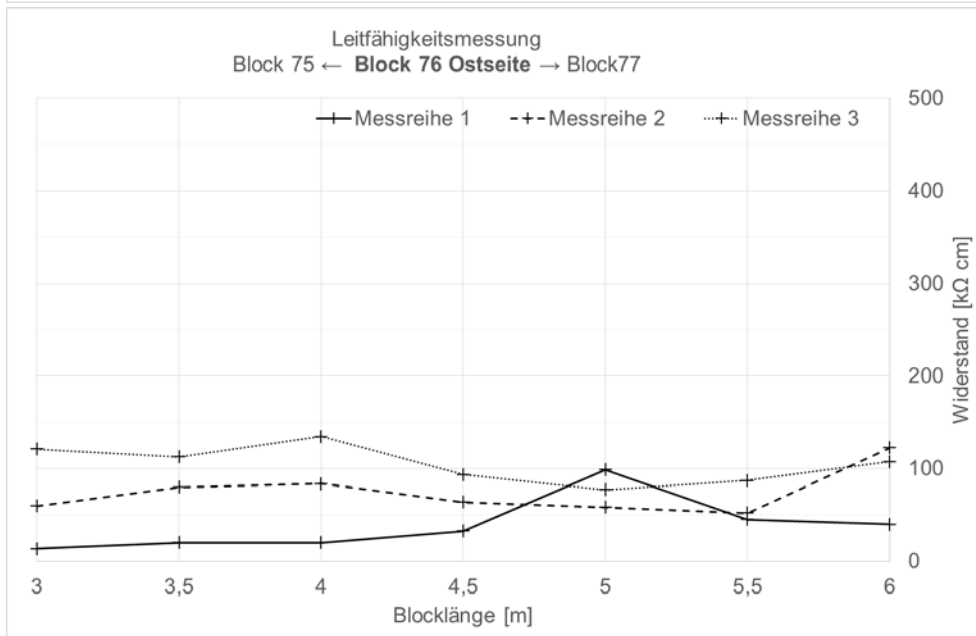
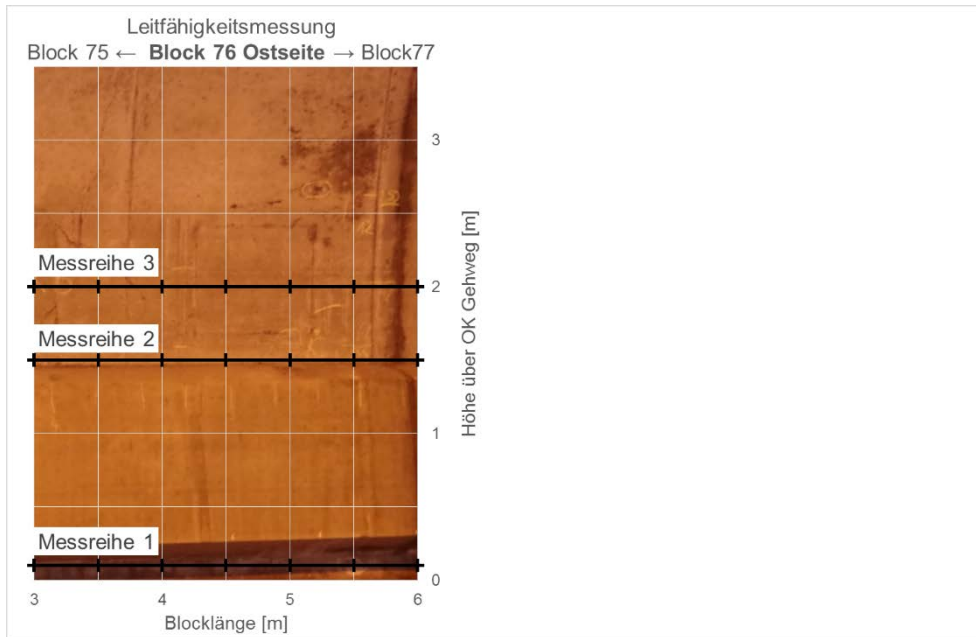
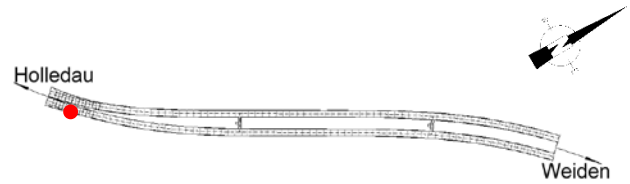
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM– Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 24 Leitfähigkeitsmessung Beton – Tunnel Pfaffenstein

Pfaffenstein Oströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

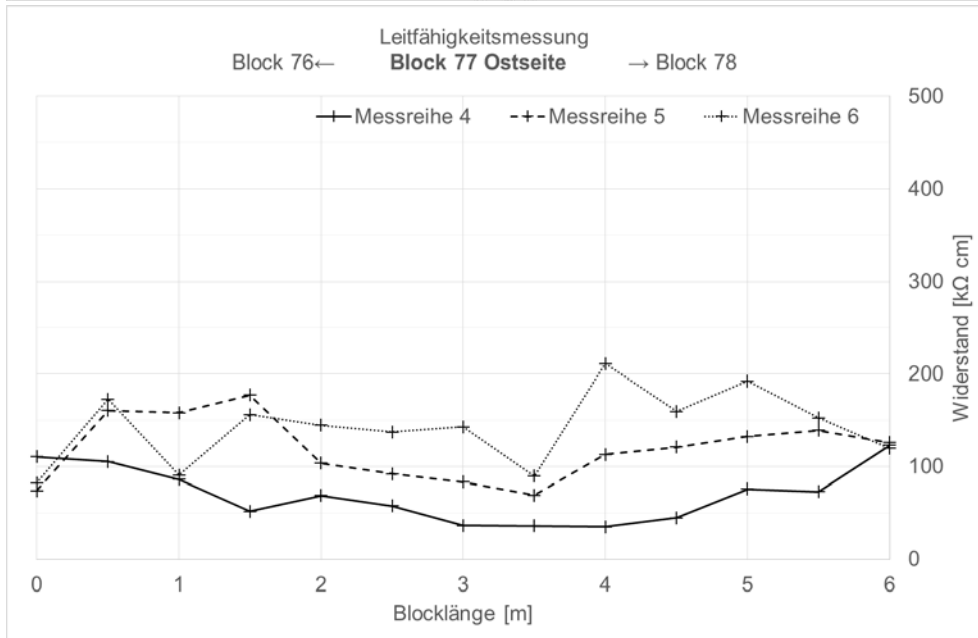
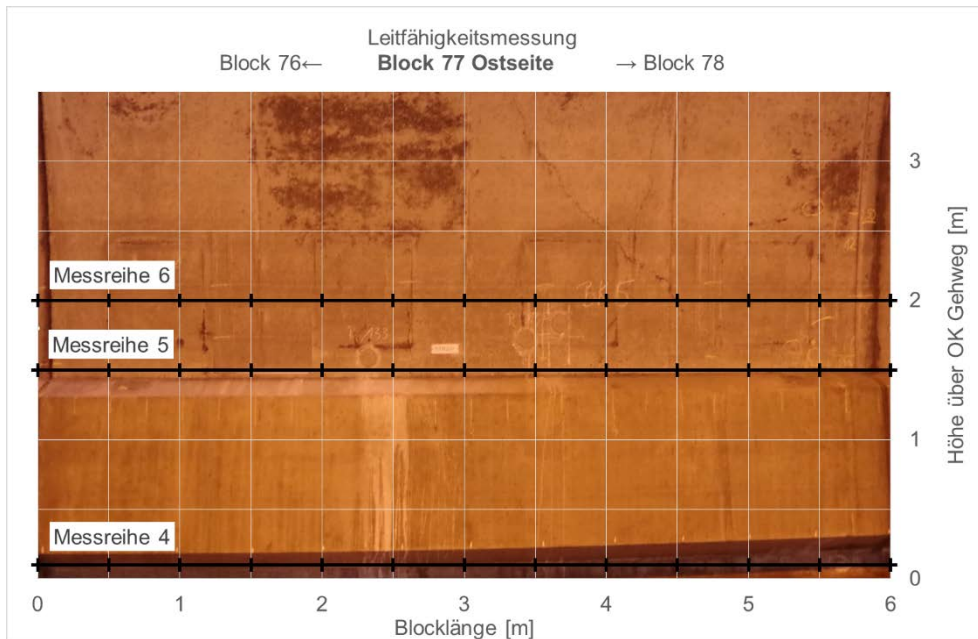
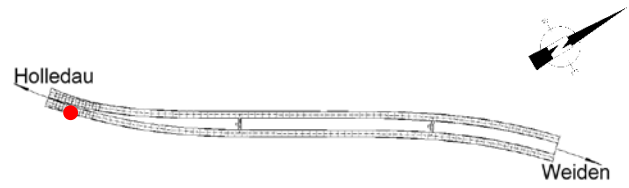


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3
Mittelwert:	39	74	105
Min:	13	52	77
Max:	99	122	135

Pfaffenstein Oströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

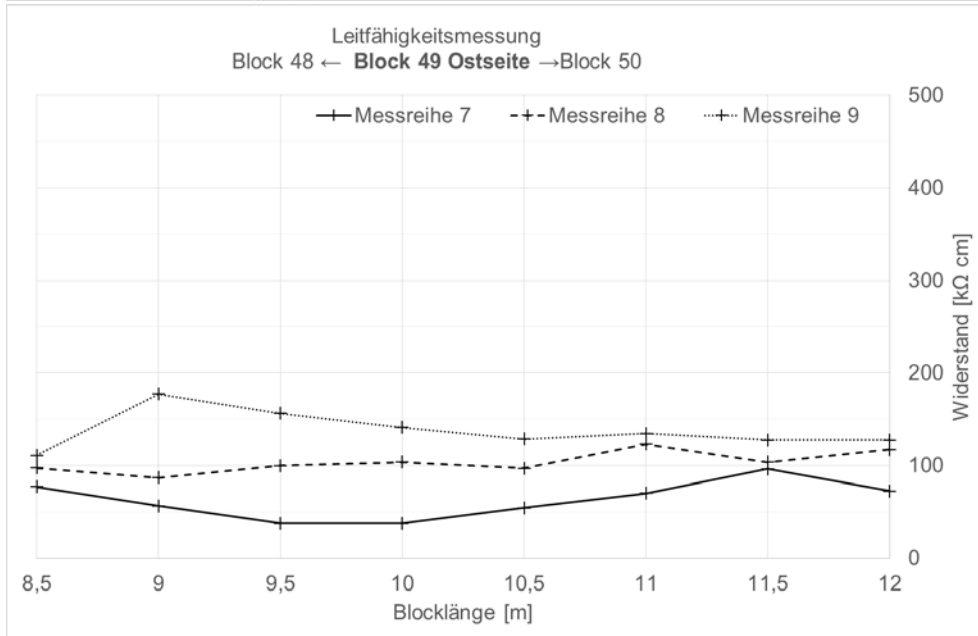
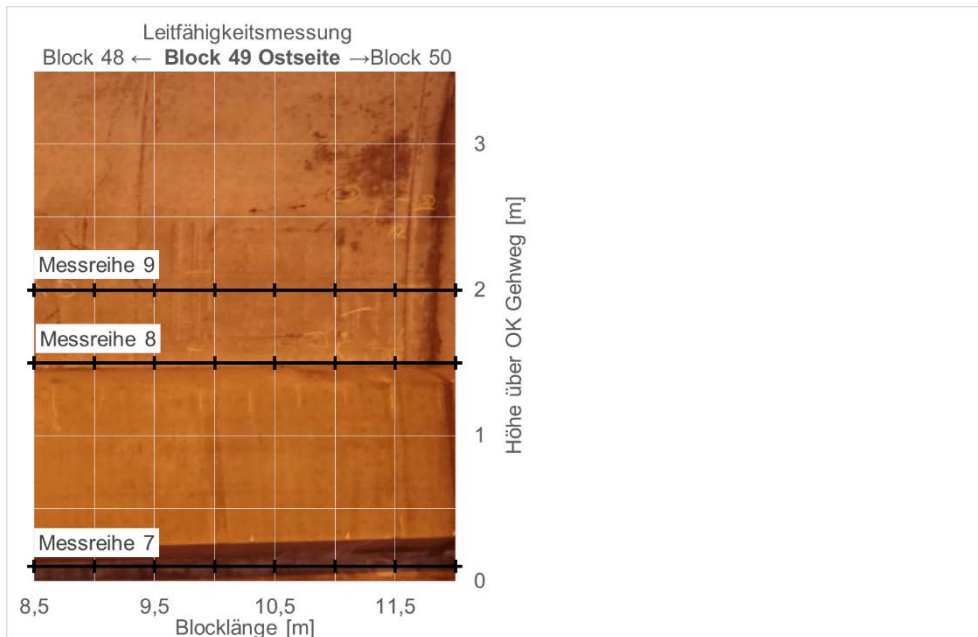
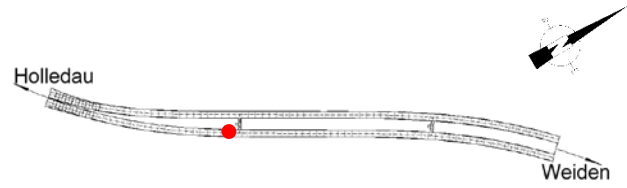


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 4	Messreihe 5	Messreihe 6
Mittelwert:	70	119	142
Min:	35	69	82
Max:	123	178	211

Pfaffenstein Oströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

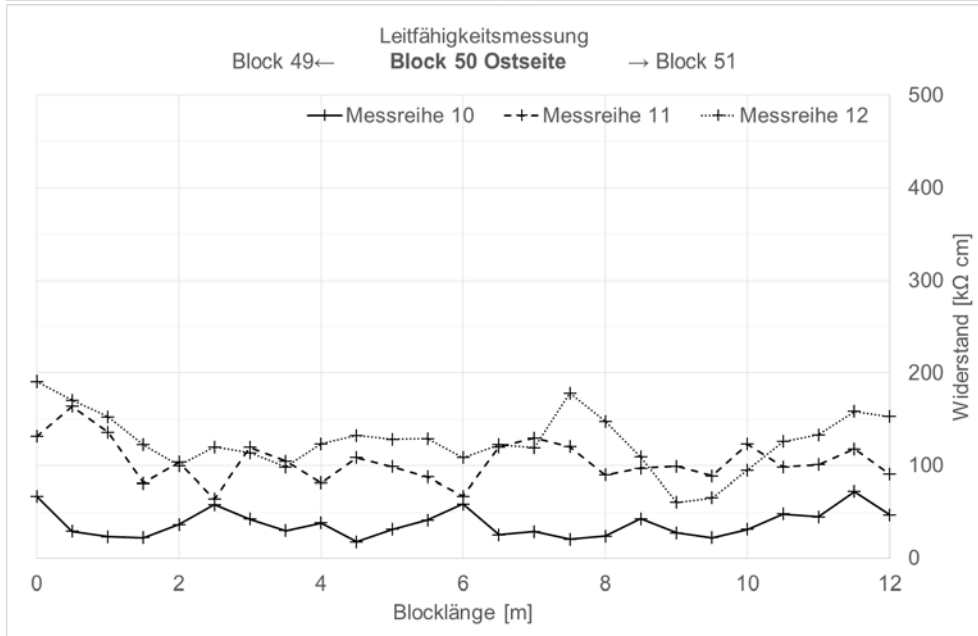
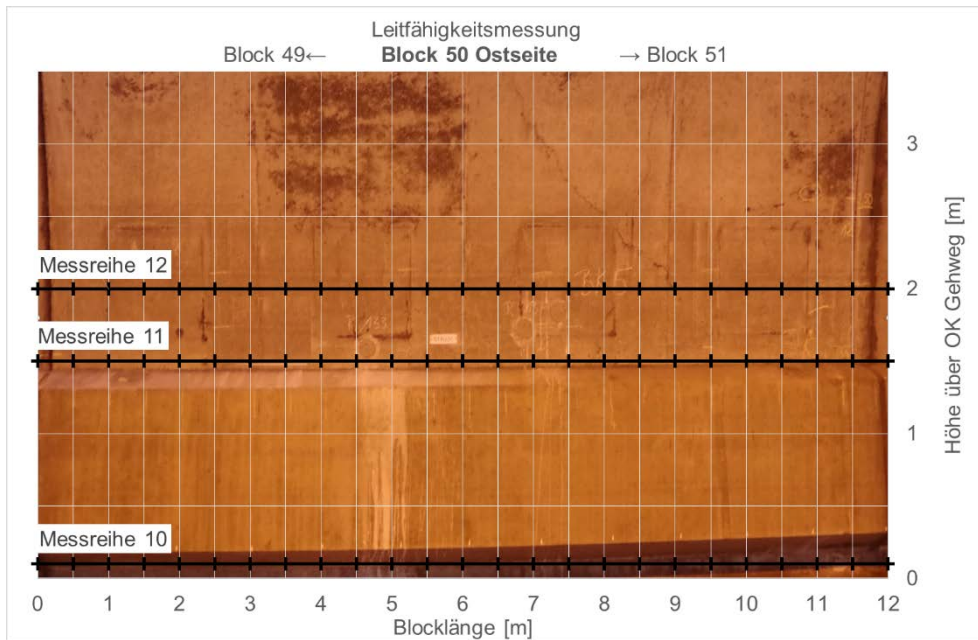
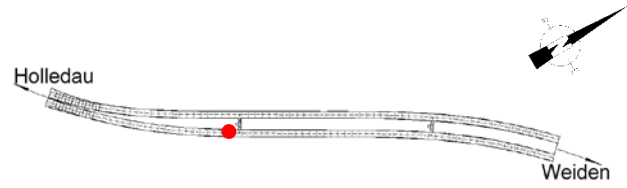


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 9
Mittelwert:	63	103	138
Min:	38	87	111
Max:	96	123	177

Pfaffenstein Oströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

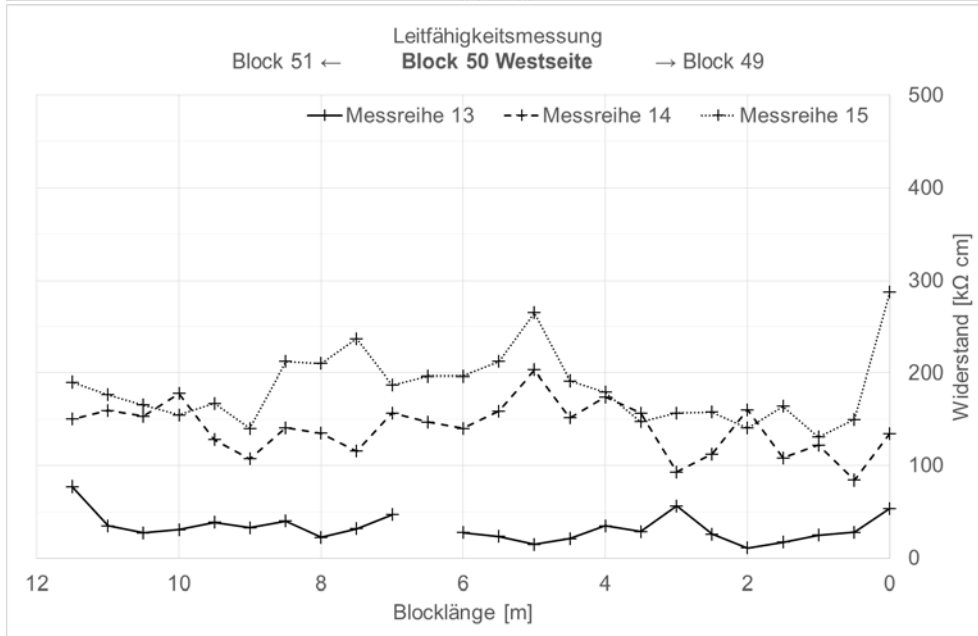
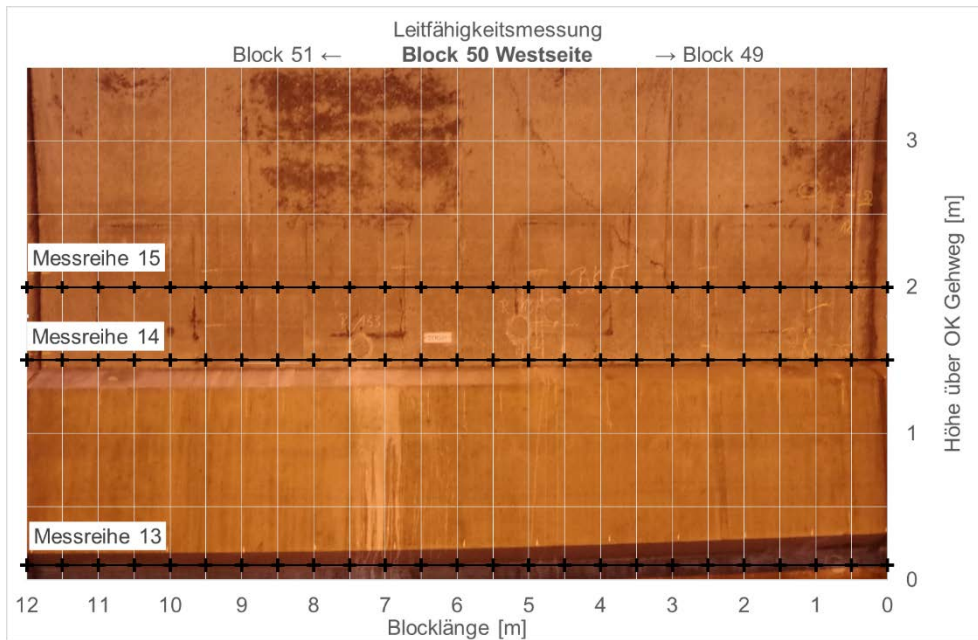
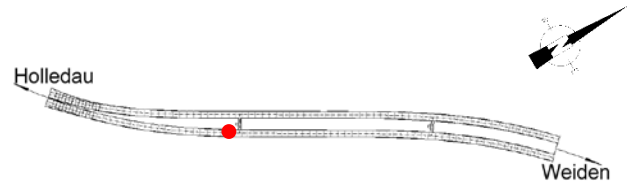


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 10	Messreihe 11	Messreihe 12
Mittelwert:	37	105	126
Min:	18	64	60
Max:	72	164	191

Pfaffenstein Oströhre

Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche



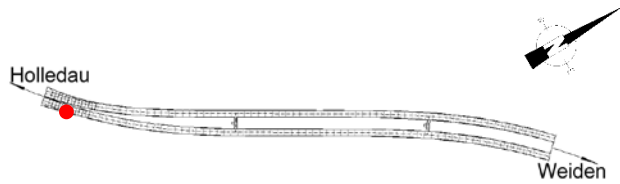
	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 13	Messreihe 14	Messreihe 15
Mittelwert:	33	140	184
Min:	11	84	131
Max:	78	203	287

Anlage 25 Permeabilitätsmessung – Tunnel Pfaffenstein

Pfaffenstein Oströhre

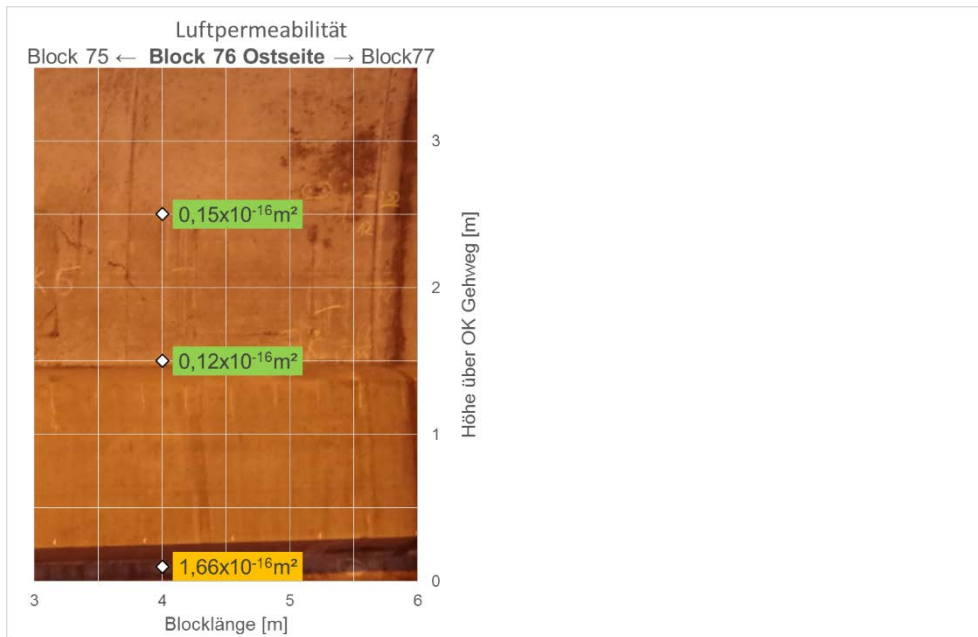
Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche

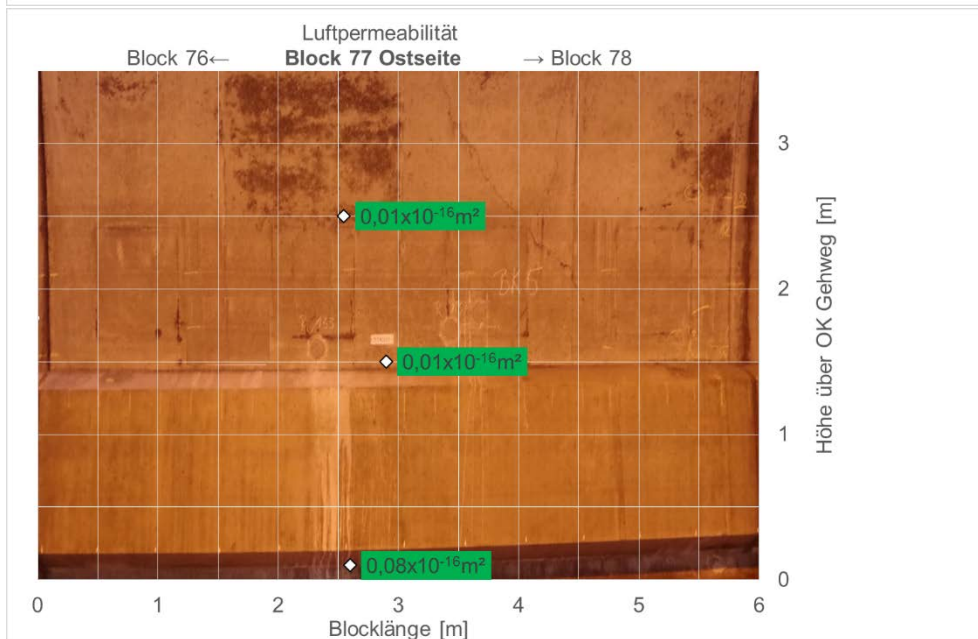


Sehr gut	<0,1 $10^{-16}m^2$	Gut	<0,5 $10^{-16}m^2$	Genügend	<1,0 $10^{-16}m^2$	Schlecht	<10,0 $10^{-16}m^2$	Sehr schlecht	>10,0 $10^{-16}m^2$
----------	-----------------------	-----	-----------------------	----------	-----------------------	----------	------------------------	---------------	------------------------

Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen - beton Heft 5/1999



Nr.:	Wert
1	$1,66 \times 10^{-16}m^2$
2	$0,12 \times 10^{-16}m^2$
3	$0,15 \times 10^{-16}m^2$



Nr.:	Wert
4	$0,08 \times 10^{-16}m^2$
5	$0,01 \times 10^{-16}m^2$
6	$0,01 \times 10^{-16}m^2$

Pfaffenstein Oströhre



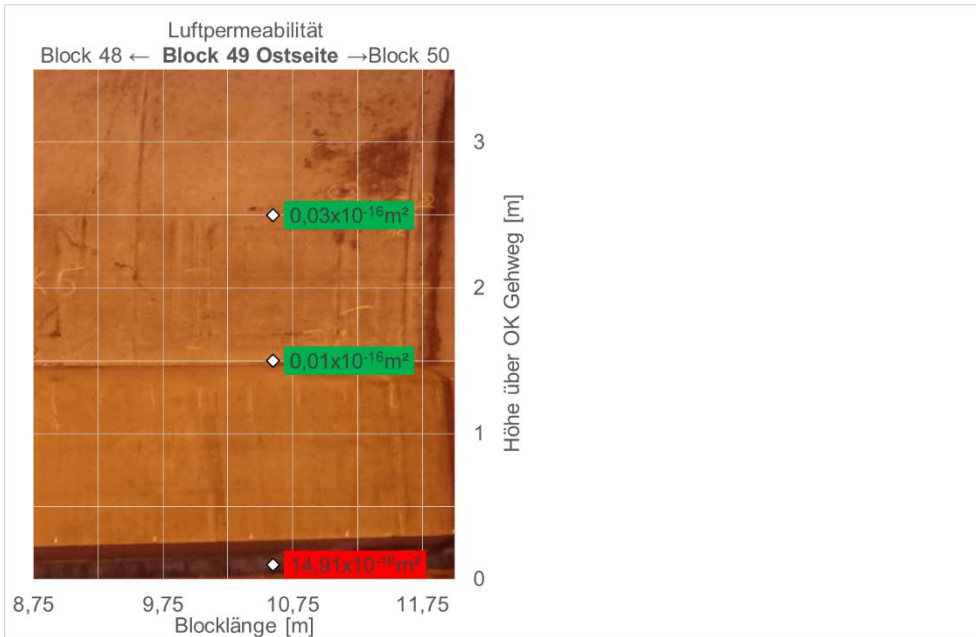
Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche

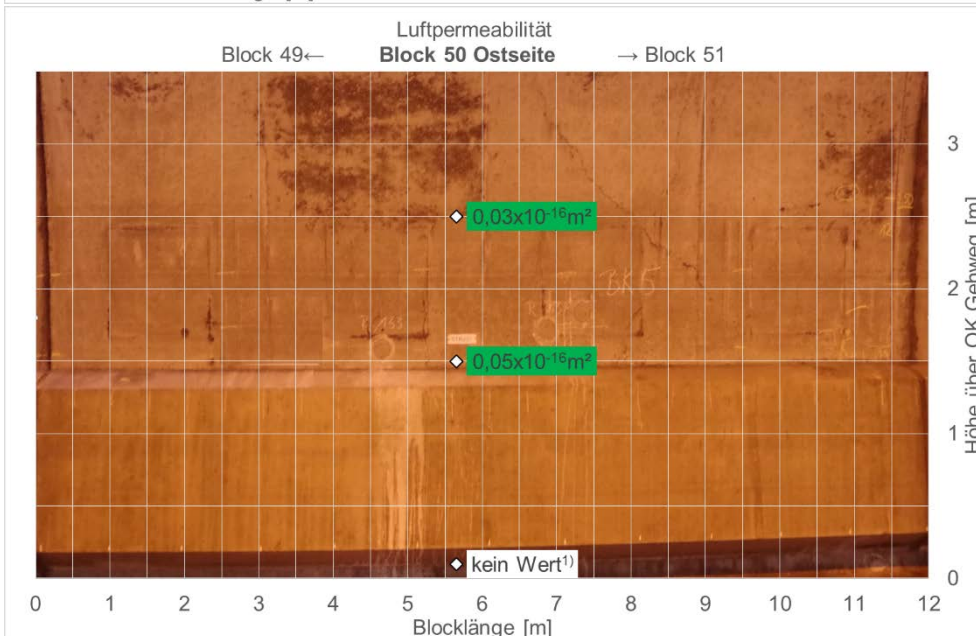


Sehr gut	<0,1 10 ⁻¹⁶ m ²	Gut	<0,5 10 ⁻¹⁶ m ²	Genügend	<1,0 10 ⁻¹⁶ m ²	Schlecht	<10,0 10 ⁻¹⁶ m ²	Sehr schlecht	>10,0 10 ⁻¹⁶ m ²
----------	--	-----	--	----------	--	----------	---	---------------	---

Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen - beton Heft 5/1999



Nr.:	Wert
7	14,91 x10 ⁻¹⁶ m ²
8	0,01 x10 ⁻¹⁶ m ²
9	0,03 x10 ⁻¹⁶ m ²



Nr.:	Wert
10	-1)
11	0,05 x10 ⁻¹⁶ m ²
12	0,03 x10 ⁻¹⁶ m ²

Anmerkung: ¹⁾keine Prüfung aufgrund schlechter Bauteiloberfläche möglich

Pfaffenstein Oströhre



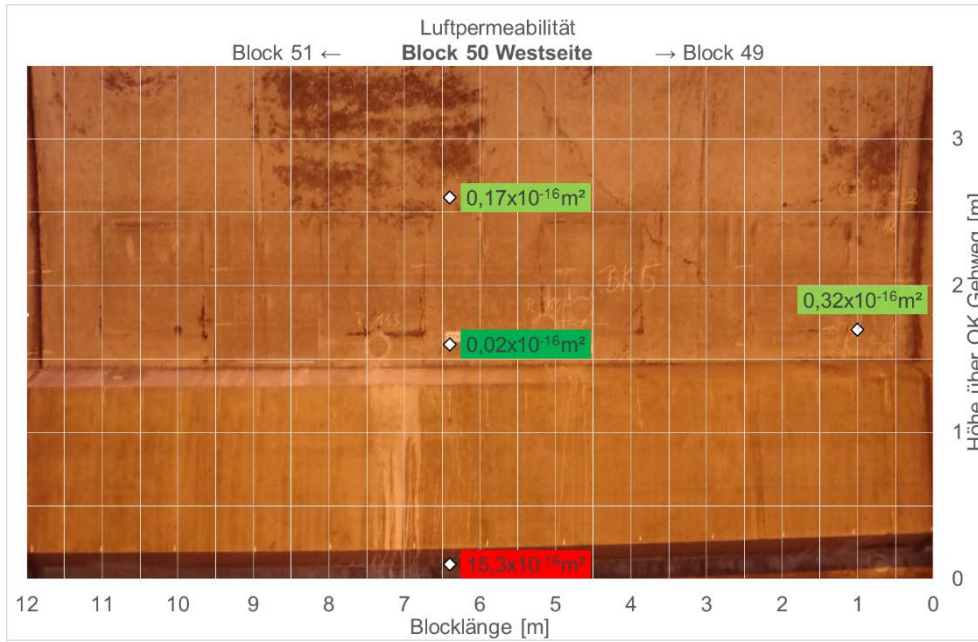
Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche



Sehr gut	<0,1 $10^{-16}m^2$	Gut	<0,5 $10^{-16}m^2$	Genügend	<1,0 $10^{-16}m^2$	Schlecht	<10,0 $10^{-16}m^2$	Sehr schlecht	>10,0 $10^{-16}m^2$
----------	-----------------------	-----	-----------------------	----------	-----------------------	----------	------------------------	---------------	------------------------

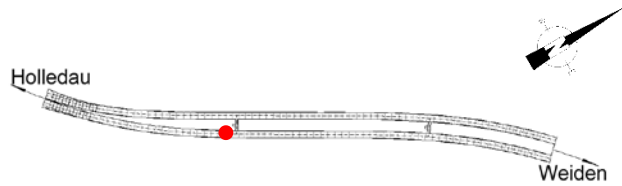
Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen - beton Heft 5/1999



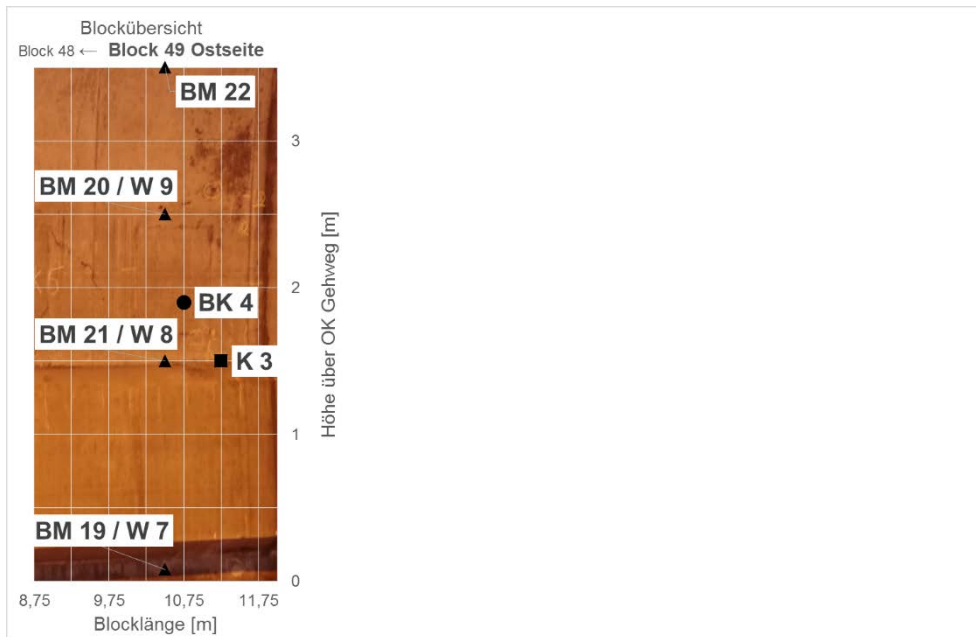
Anlage 26 kapillare Wasseraufnahme – Tunnel Pfaffenstein

Pfaffenstein Oströhre

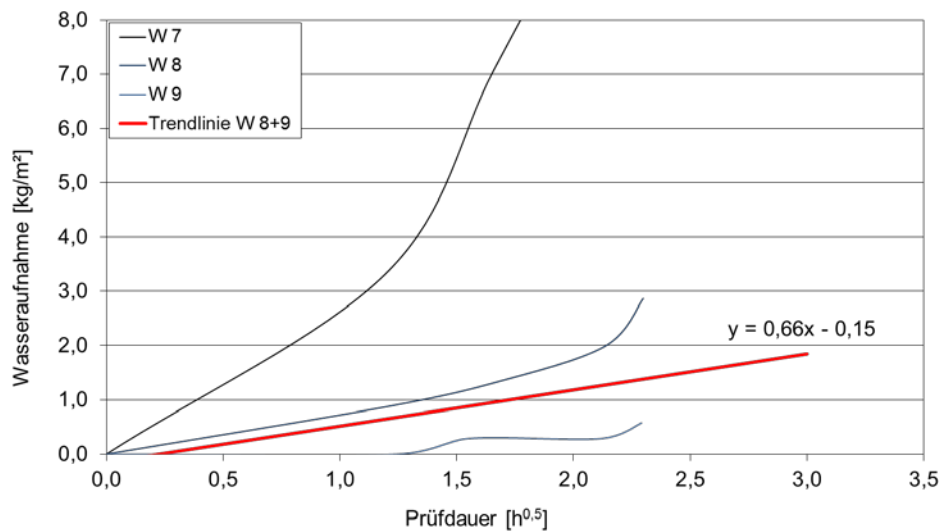
kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche



Karstisches Röhrrchen



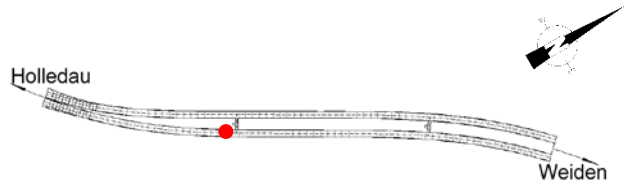
Wasseraufnahmekoeffizient



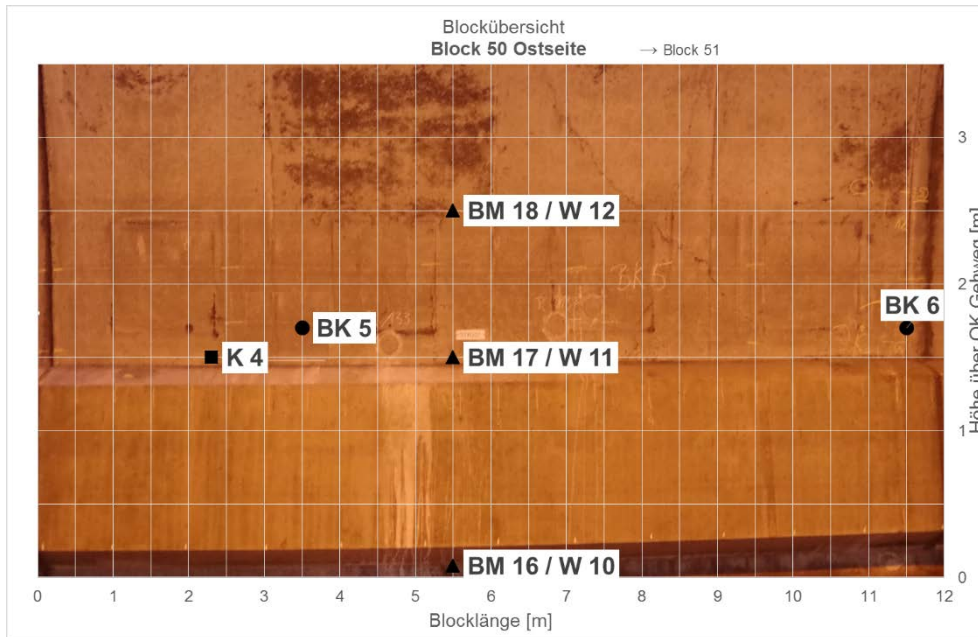
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

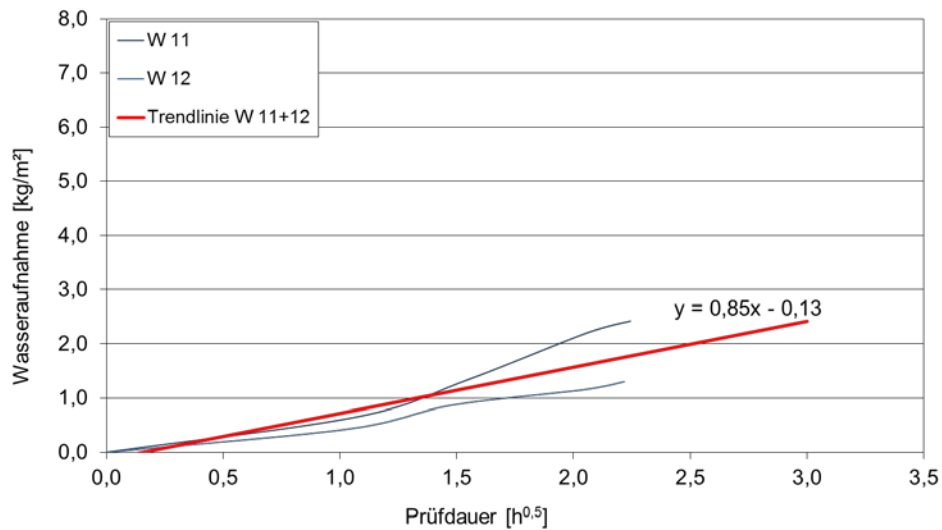
**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**



Karstensches Röhrcchen



Wasseraufnahmekoeffizient

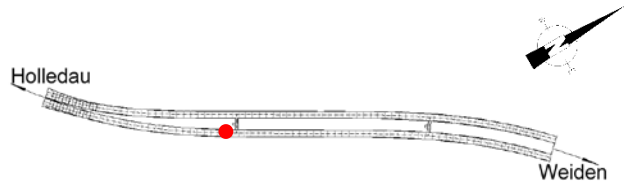


Aufgrund der Beschaffenheit der Bauteiloberfläche am Punkt W 10, war das Anbringen und vollständige Abdichten der Messröhrchen nicht möglich.

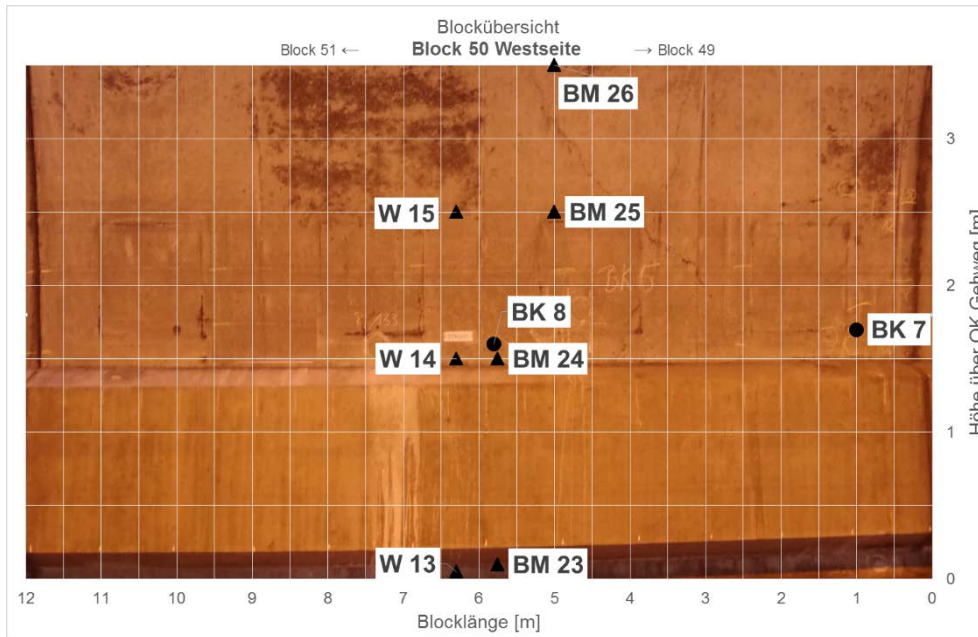
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

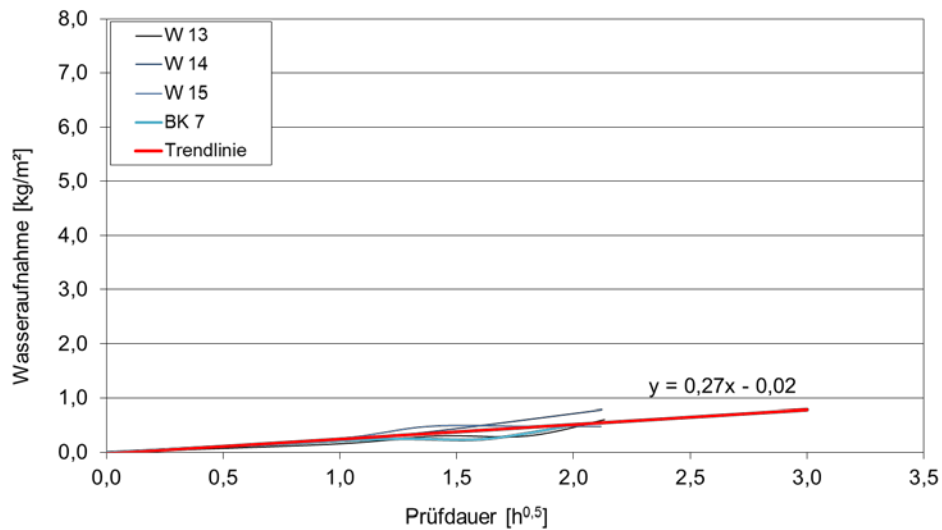
**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**



Karstisches Röhrcchen



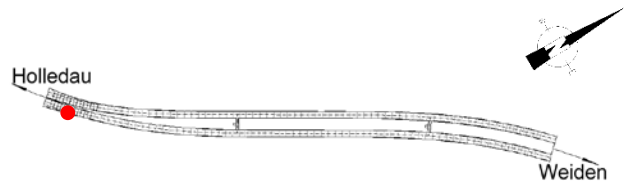
Wasseraufnahmekoeffizient



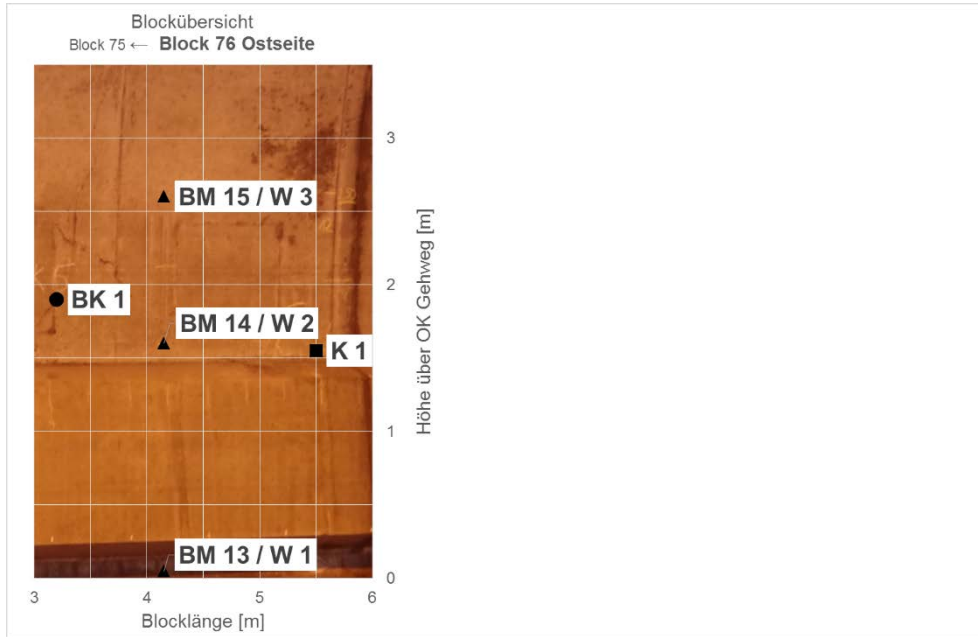
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

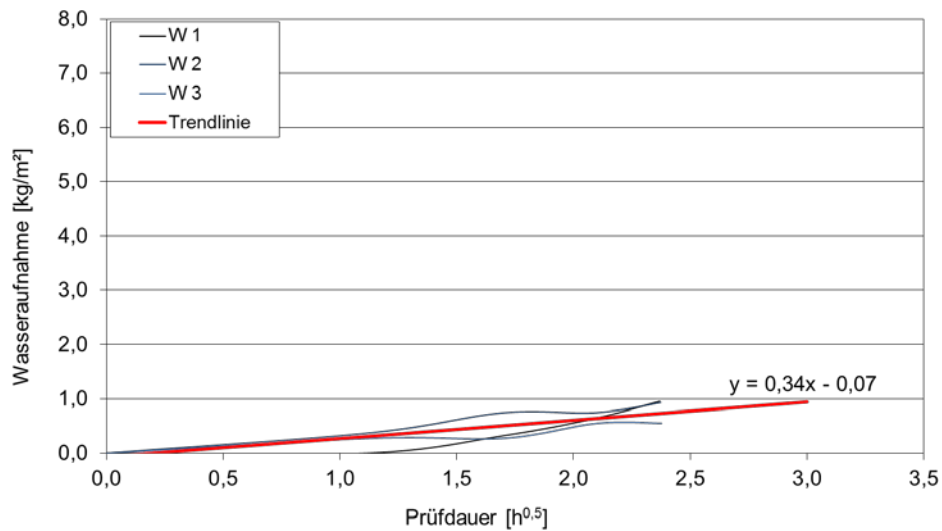
**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**



Karstensches Röhchen



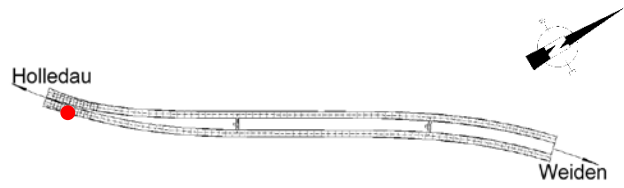
Wasseraufnahmekoeffizient



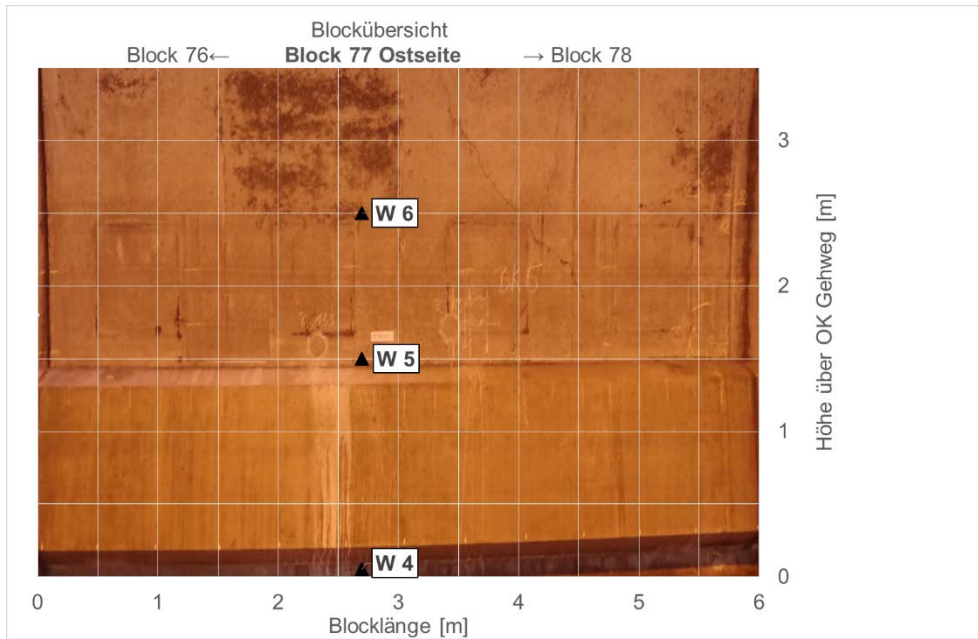
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

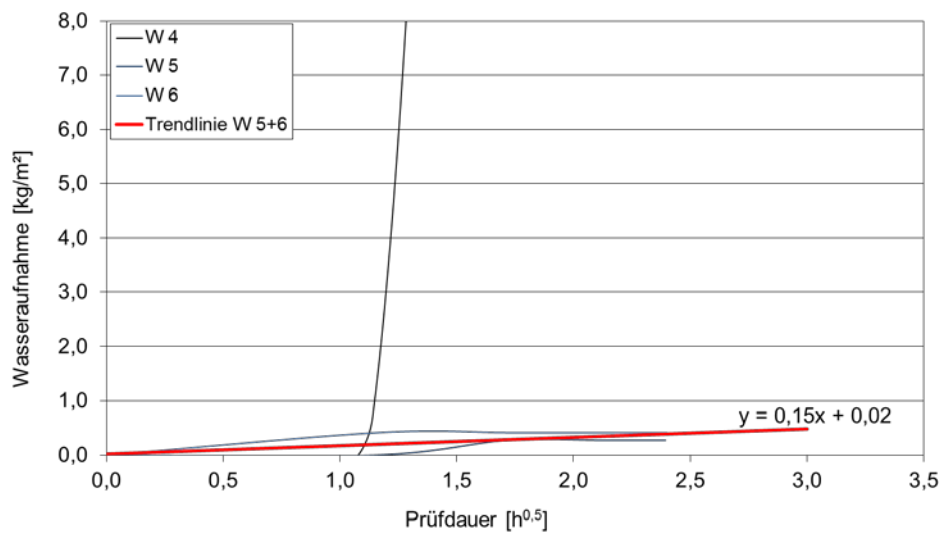
**kapillare Wasseraufnahme
der Bauteiloberfläche**



Karstisches Röhrcben



Wasseraufnahmekoeffizient



- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Anlage 27 Korrosionszustand der Bewehrung – Tunnel Pfaffenstein

Pfaffenstein Oströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

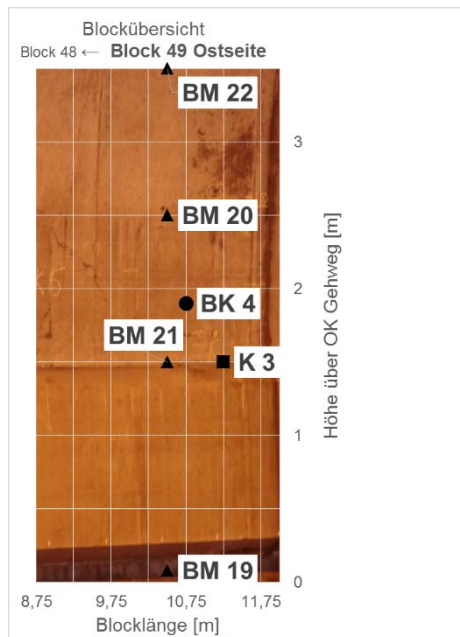
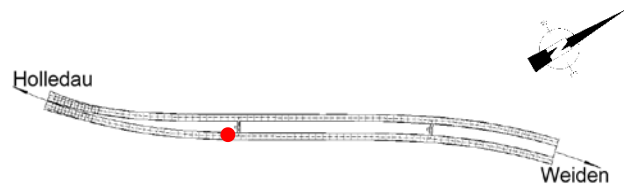


Bild 1: Stelle K 3
flächig angerostet



Bild 2: Stelle BK 4
Bewehrung rostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

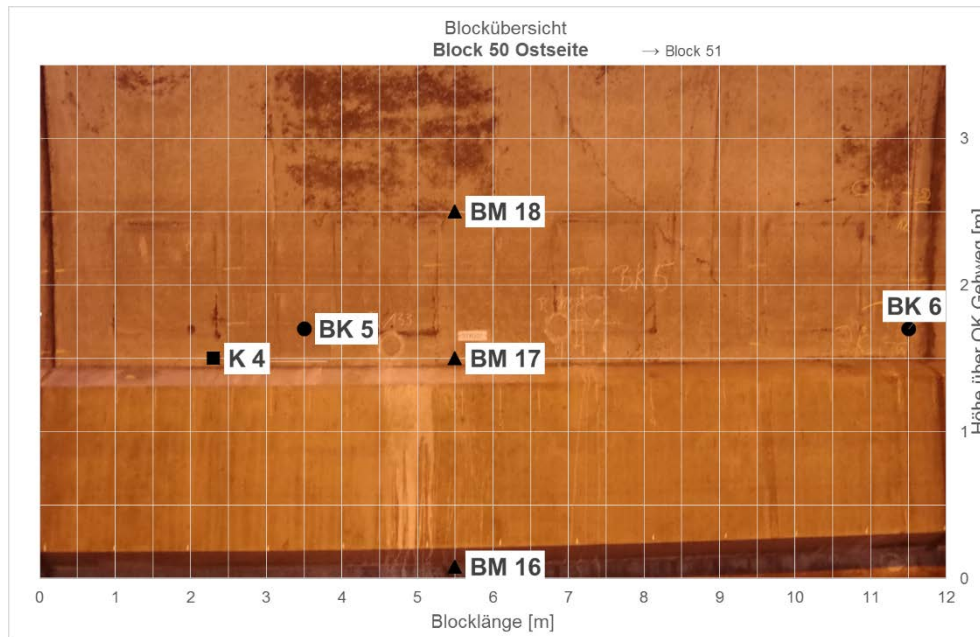
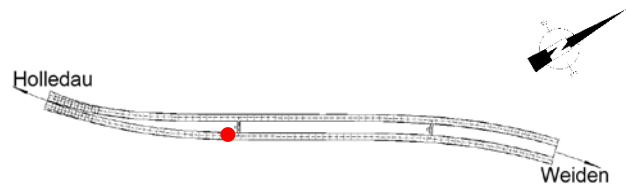


Bild 3: Stelle K 4
flächig angerostet



Bild 4: Stelle BK 5
flächig angerostet



Bild 5: Stelle BK 6
flächig angerostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

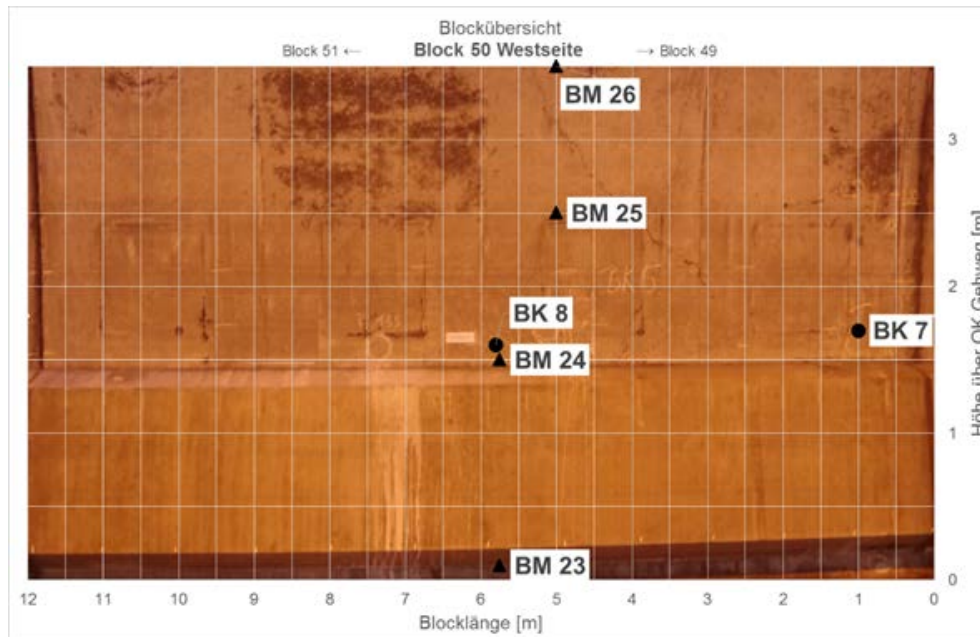
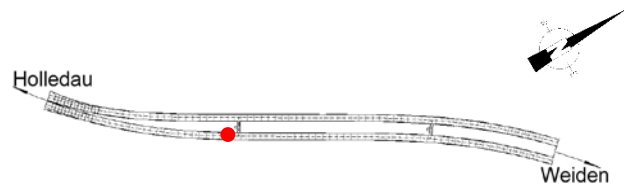


Bild 6: Stelle BK 7
flächig angerostet

Bild 7: Stelle BK 8
flächig angerostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

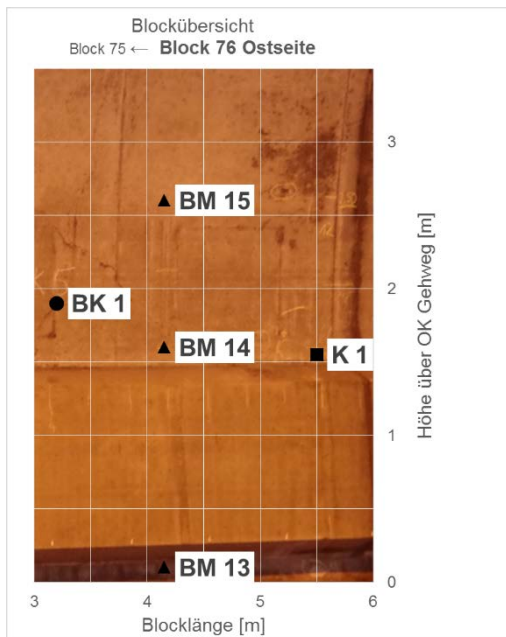
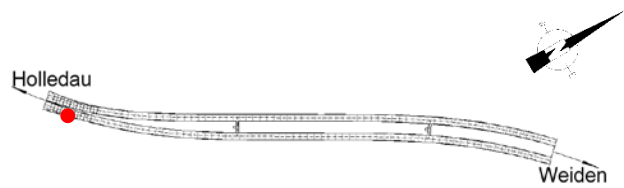


Bild 8: Stelle K 1
stellenweise angerostet



Bild 9: Stelle BK 1
flächig angerostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

Pfaffenstein Oströhre

Fotodokumentation

Korrosionszustand der Bewehrung

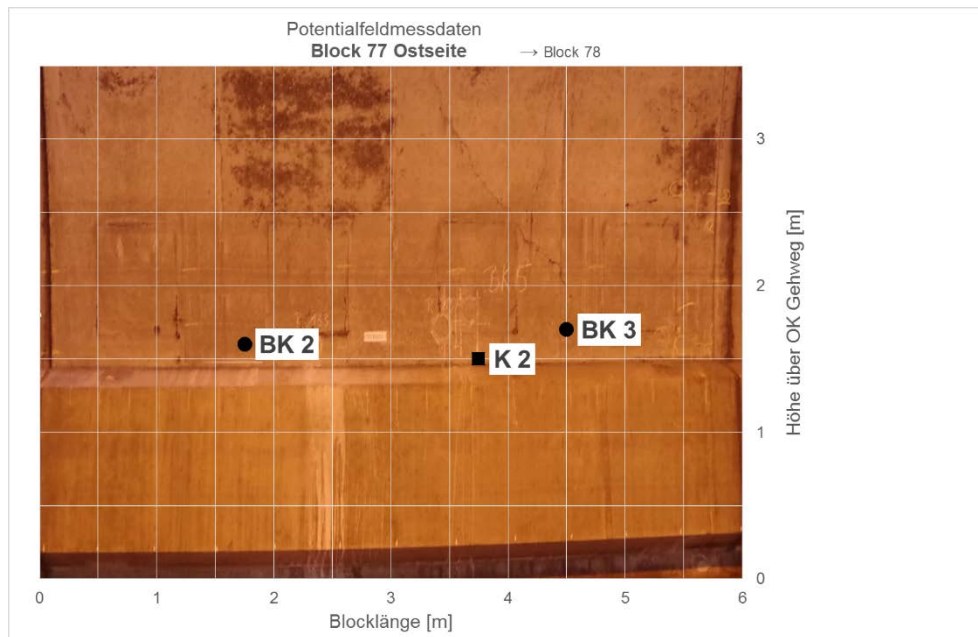
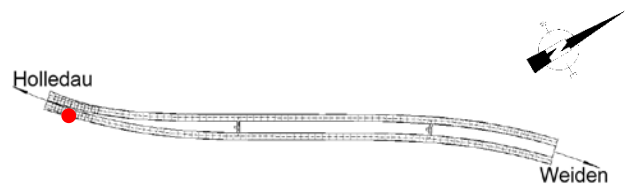


Bild 10: Stelle BK 2
flächig angerostet



Bild 11: Stelle BK 3
flächig angerostet



Bild 12: Stelle K 2
flächig angerostet

- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss