

**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			$320 \leq z$ <sup>1)</sup>	$w/z \leq 0,60$ <sup>2)</sup>	$c_{min.} = 3,5 \text{ cm}$	
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 <sup>3)</sup>	$w/z \leq 0,50$	$c_{min.} = 4,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 4,5 \text{ cm}$ $d \geq 10 \text{ mm}$ <sup>4)</sup>	$d \geq 30 \text{ cm}$ (Gewölbe)
ab 1999	ZTV-Tunnel T. 1					$c_{min.} = 6,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 2,0 \text{ cm}$ <sup>5)</sup>	
ab 2001	DIN EN 206 DIN 1045-2	XD1 / XD3 <sup>6)</sup>	C30/37 / C35/45	$300 \text{ kg} \leq z$ $320 \text{ kg} \leq z$ CEM I, CEM II <sup>7)</sup>			
ab 2003	ZTV-ING	XD1 <sup>8)</sup> XD2 <sup>9)</sup>	C30/37	--	--	$c_{min.} = 5,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 6,0 \text{ cm}$ $c_{min.} = 6,0 \text{ cm}$ <sup>10)</sup>	
2015	EN 1992 +NA	XD1 XD3 <sup>11)</sup>	C30/37 C35/45			$c_{min.} = 4,0 \text{ cm}$ $c_{nom.} = 5,5 \text{ cm}$	
2018	ZTV-ING	XD1 <sup>8)</sup> XD2 <sup>9)</sup>	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 <sup>3</sup> ]	Gehalt [kg/m <sup>3</sup> ]	Stoffraum [dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Luftgehalt <sup>1)</sup>	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 <sup>2)</sup>	0,5	1,1	1,7	1,6
Wasser - Leitungswasser	-	1,0	187,0	187,0
<b>Summe:</b>			<b>2.350</b>	<b>1.000</b>
<b>w/z-Wert</b>	<b>0,55</b>			

Anmerkung: <sup>1)</sup> Vor der Betonherstellung angenommener Wert für den Luftgehalt.

<sup>2)</sup> 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 <sup>3</sup> ]	Gehalt [kg/m <sup>3</sup> ]	Stoffraum [dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Luftgehalt <sup>1)</sup>	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 <sup>2)</sup>	1,0	1,1	3,4	3,2
Wasser - Leitungswasser	-	1,0	170,0	170,0
<b>Summe:</b>			<b>2.370</b>	<b>1.000</b>
<b>w/z-Wert</b>	<b>0,50</b>			

Anmerkung: <sup>1)</sup> Vor der Betonherstellung angenommener Wert für den Luftgehalt.

<sup>2)</sup> 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 <sup>3</sup> ]	Gehalt [kg/m <sup>3</sup> ]	Stoffraum [dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Luftgehalt <sup>1)</sup>	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 <sup>2)</sup>	0,5	1,1	1,7	1,6
Wasser - Leitungswasser	-	1,0	187,0	187,0
<b>Summe:</b>			<b>2.340</b>	<b>1.000</b>
<b>w/z-Wert</b>	<b>0,55</b>			

Anmerkung: <sup>1)</sup> Vor der Betonherstellung angenommener Wert für den Luftgehalt.

<sup>2)</sup> 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 <sup>3</sup> ]	Gehalt [kg/m <sup>3</sup> ]	Stoffraum [dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Luftgehalt <sup>1)</sup>	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 <sup>2)</sup>	1,0	1,1	3,4	3,2
Wasser - Leitungswasser	-	1,0	170,0	170,0
<b>Summe:</b>			<b>2.350</b>	<b>1.000</b>
<b>w/z-Wert</b>	<b>0,50</b>			

Anmerkung: <sup>1)</sup> Vor der Betonherstellung angenommener Wert für den Luftgehalt.

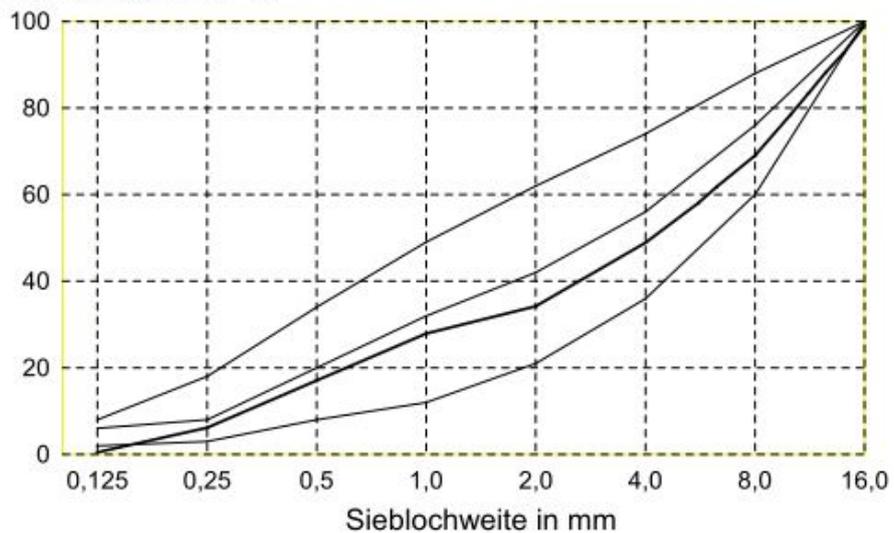
<sup>2)</sup> Theoretischer Fließmittelgehalt, dieser wird durch Verarbeitungsversuche konkretisiert. Die Art des FM steht zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht fest. Es werden Fließmittel auf Naphtalinsulfonat bzw. Naphtalinsulfonat/Melaminsulfonat Basis verwendet.

## 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
<b>8%</b>	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
<b>27%</b>	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
<b>30%</b>	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
<b>35%</b>	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
<b>Summe</b>	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 <sup>3</sup>
Herstdatum: 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 <sup>3</sup> ]	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 <sub>c</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Volumen V [dm <sup>3</sup> ]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit <sup>1)</sup>	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f <sub>c,dry</sub>	f <sub>c,cube</sub>
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	<b>44,4</b>	<b>40,8</b>

Anmerkung: <sup>1)</sup> f<sub>c, cube</sub> = f<sub>c, dry</sub> \* 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 <sup>3</sup>
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		∑ 300	

Abbildung 2: Ausbreitmaß

Tabelle 12: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 2

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	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 <sub>c</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Volumen V [dm <sup>3</sup> ]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit <sup>1)</sup>	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f <sub>c,dry</sub>	f <sub>c,cube</sub>
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	<b>53,8</b>	<b>49,5</b>

Anmerkung: <sup>1)</sup> f<sub>c, cube</sub> = f<sub>c, dry</sub> \* 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 <sup>3</sup> )		Mischnummer: 3
Mischer: Pemat PMM	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 221 l
Betonrezeptur: CEM I 0,55	w/z-Wert 0,55	Zementgehalt: 340 kg/m <sup>3</sup>
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	∑ 300	

Abbildung 3: Ausbreitmaß

Tabelle 16: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 1

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	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 <sub>c</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Volumen V [dm <sup>3</sup> ]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit <sup>1)</sup>	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f <sub>c,dry</sub>	f <sub>c,cube</sub>
28 d – Betondruckfestigkeit		Prüfung: 19.07.2018			Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft					
W 3										
W 4										
W 5										
<b>Mittelwert:</b>										

Anmerkung: <sup>1)</sup> f<sub>c, cube</sub> = f<sub>c, dry</sub> \* 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 <sup>3</sup> )		Mischnummer: 4
Mischer: Pemat PMM	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 221 l
Betonrezeptur: CEM I 0,50	w/z-Wert 0,50	Zementgehalt: 340 kg/m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup> ]	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 <sub>c</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Volumen V [dm <sup>3</sup> ]	Masse m [g]	Rohddichte ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit <sup>1)</sup>	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f <sub>c,dry</sub>	f <sub>c,cube</sub>
28 d – Betondruckfestigkeit      Prüfung: 19.07.2018      Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft										
W 6										
W 7										
W 8										
<b>Mittelwert:</b>										

Anmerkung: <sup>1)</sup> f<sub>c, cube</sub> = f<sub>c, dry</sub> \* 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 <sup>3</sup>
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		Σ 300	

Abbildung 11: Ausbreitmaß

Tabelle 24: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 3

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- roh-dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	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 <sub>c</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Volumen V [dm <sup>3</sup> ]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit <sup>1)</sup>	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f <sub>c,dry</sub>	f <sub>c,cube</sub>
28 d – Betondruckfestigkeit		Prüfung: 23.07.2018			Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft					
W 9										

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

## 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 <sup>3</sup>
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- rohddichte [kg/m <sup>3</sup> ]	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 <sub>c</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Volumen V [dm <sup>3</sup> ]	Masse m [g]	Rohddichte ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit <sup>1)</sup>	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f <sub>c,dry</sub>	f <sub>c,cube</sub>
28 d – Betondruckfestigkeit				Prüfung: 23.07.2018		Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft				
W 10										

Anmerkung: <sup>1)</sup> f<sub>c, cube</sub> = f<sub>c, dry</sub> \* 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 <sup>3</sup> )		Mischnummer: 7
Mischer: Pemat PMM	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 221 l
Betonrezeptur: CEM II 0,55	w/z-Wert 0,55	Zementgehalt: 340 kg/m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup> ]	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 <sub>c</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Volumen V [dm <sup>3</sup> ]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit <sup>1)</sup>	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f <sub>c,dry</sub>	f <sub>c,cube</sub>
28 d – Betondruckfestigkeit		Prüfung: 24.07.2018			Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft					
W 11										
W 12										
W 13										
<b>Mittelwert:</b>										

Anmerkung: <sup>1)</sup> f<sub>c,cube</sub> = f<sub>c,dry</sub> \* 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 <sup>3</sup> )		Mischnummer: 8
Mischer: Pemat PMM	Drehrichtung: Gleichstrom	Chargengröße: 221 l
Betonrezeptur: CEM II 0,50	w/z-Wert 0,50	Zementgehalt: 340 kg/m <sup>3</sup>
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		∑ 300	

Abbildung 14: Ausbreitmaß

Tabelle 36: Frischbetoneigenschaften DIN EN 12350 – Serie 4

Ausbreitmaß [mm]	Frischbeton- temperatur [°C]	Frischbeton- rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	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 <sub>c</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Volumen V [dm <sup>3</sup> ]	Masse m [g]	Rohdichte ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruch- kraft F [kN]	Druck-festig- keit <sup>1)</sup>	
	l [mm]	b [mm]	h [mm]						f <sub>c,dry</sub>	f <sub>c,cube</sub>
28 d – Betondruckfestigkeit				Prüfung: 24.07.2018		Lagerung: 6 d unter Wasser 21 d an der Luft				
W 14										
W 15										
W 16										
<b>Mittelwert:</b>										

Anmerkung: <sup>1)</sup> f<sub>c, cube</sub> = f<sub>c, dry</sub> \* 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 <sub>App</sub> in V	T mittel in °C	t in h	L in mm	xd in mm	Berechnung nach BAW	
								Migrationskoeffizient x 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /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 <sub>App</sub> in V	T mittel in °C	t in h	L in mm	xd in mm	Berechnung nach BAW	
								Migrationskoeffizient x 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /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

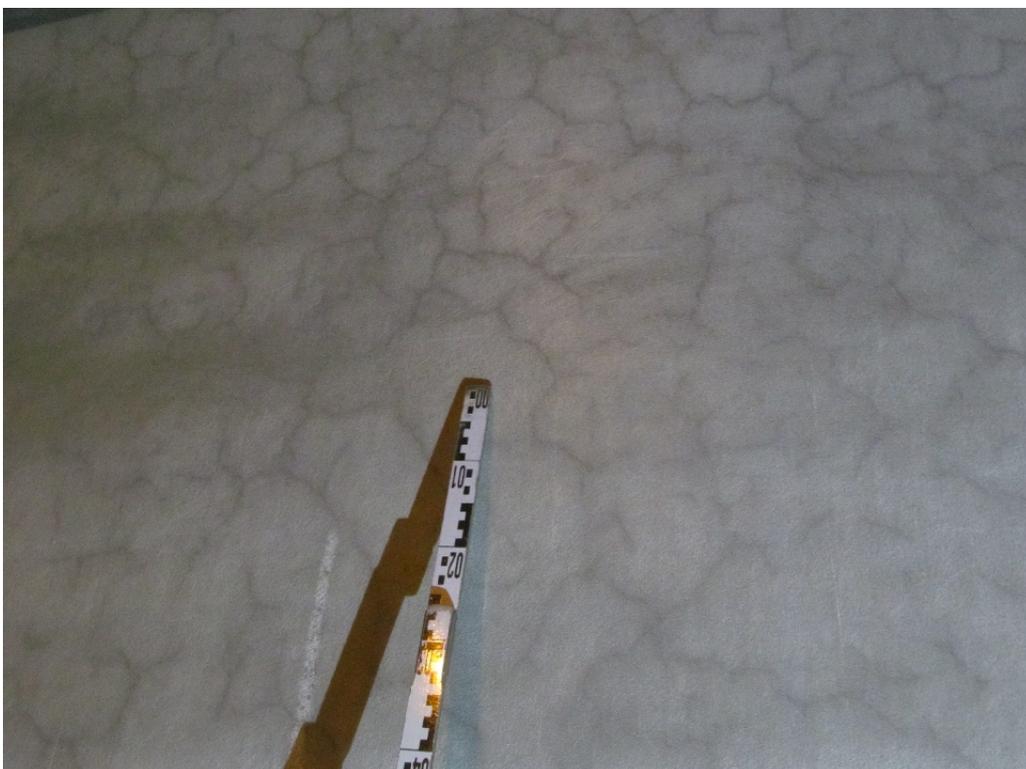


Bild 6 Netzrisse oben, Detail zu Bild 5



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

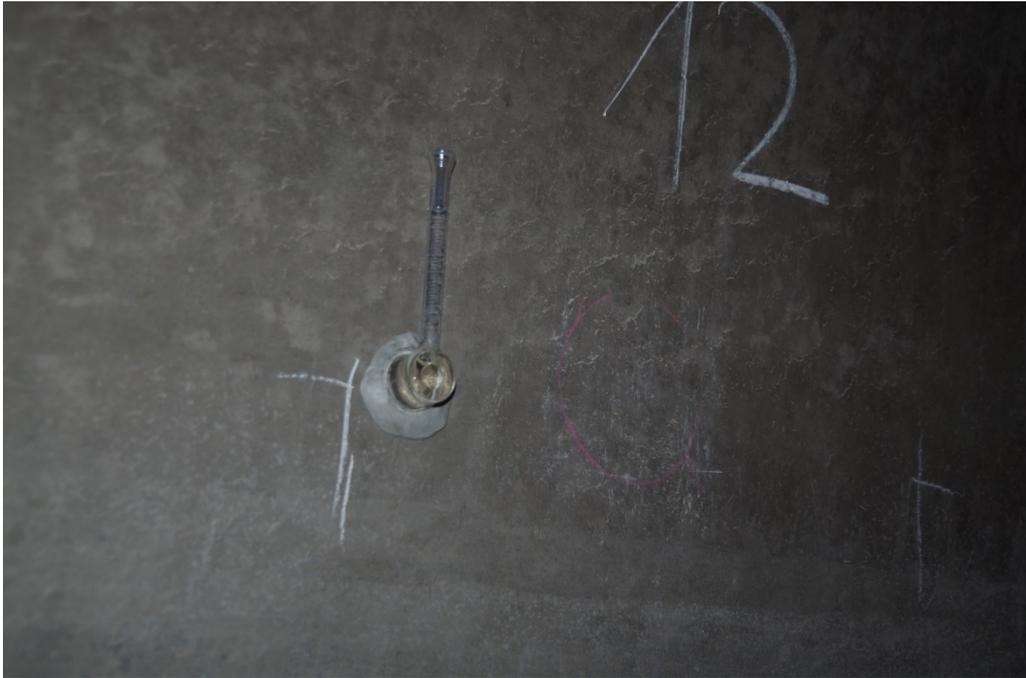


Bild 11 Messung der kapillaren Wasseraufnahme

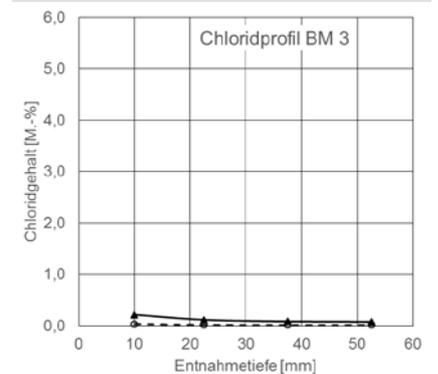
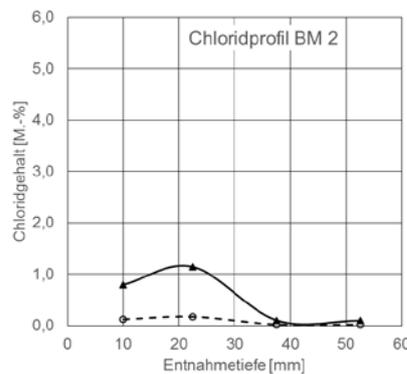
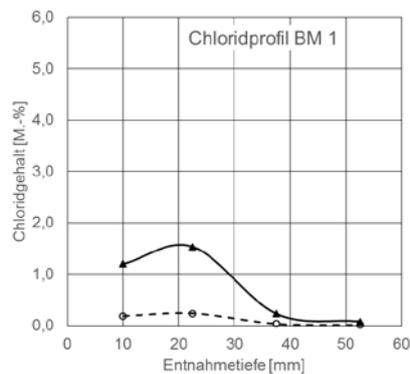
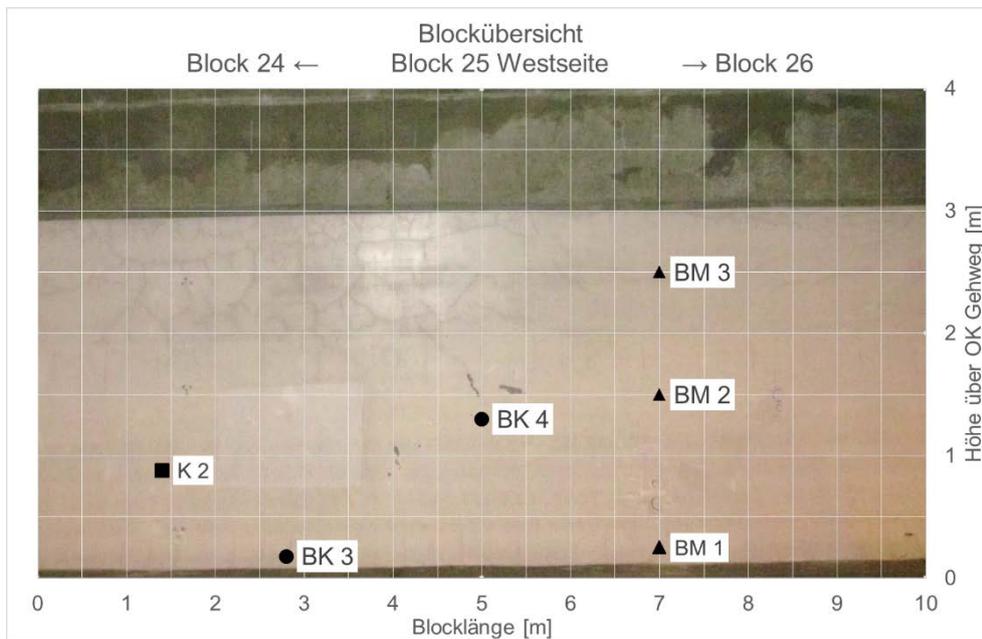
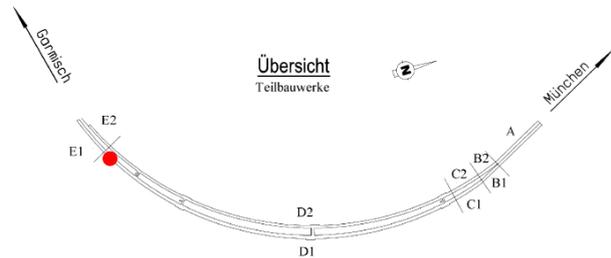
## Anlage 5 Chloridgehalt des Betons – Tunnel Farchant

### 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 bis 15 [mm]	0,791	M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	1,141	M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,101	M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,095	M.-%CEM

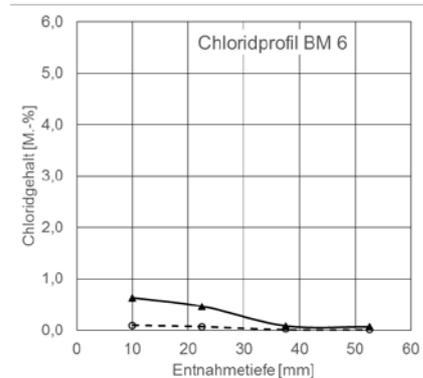
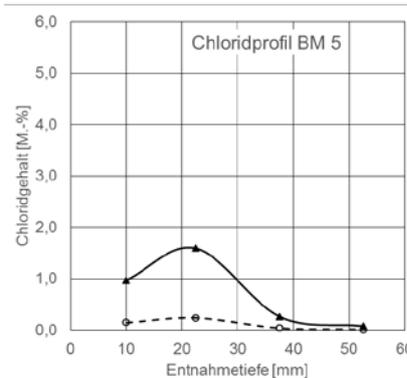
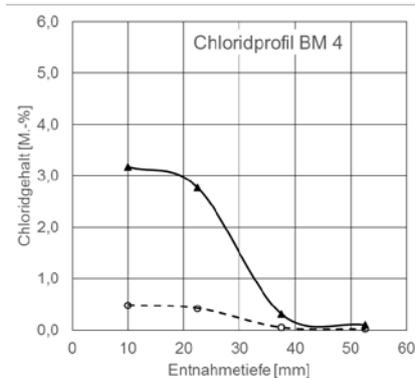
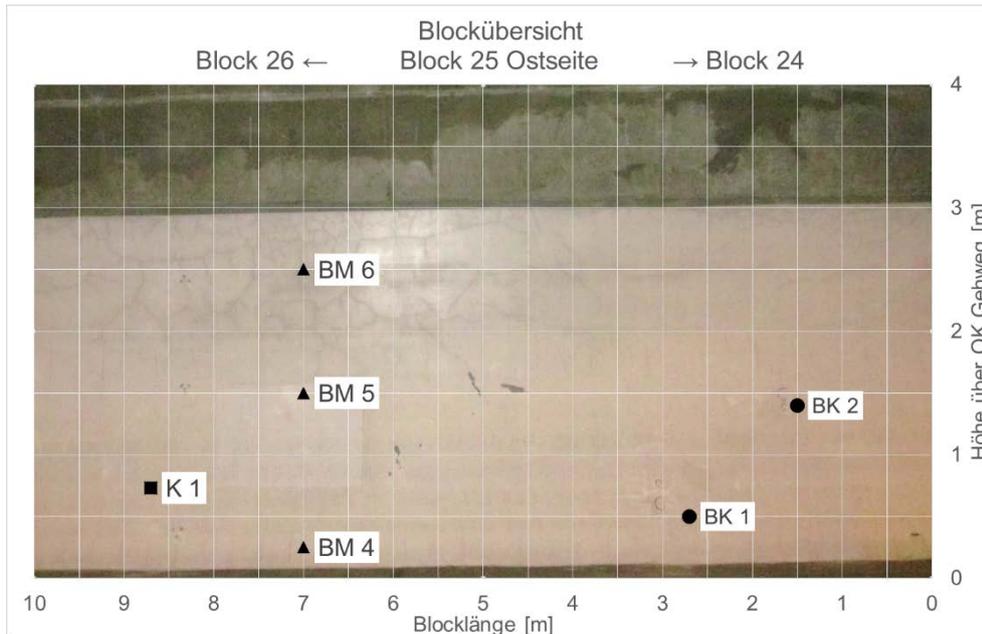
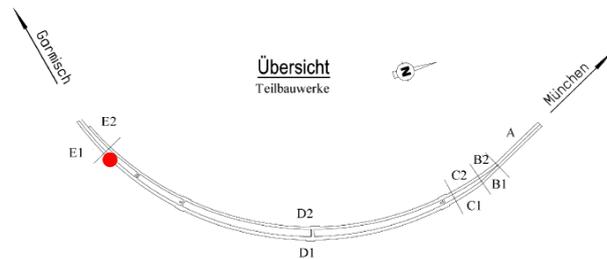
0 bis 15 [mm]	0,215	M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	0,115	M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,082	M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,076	M.-%CEM

- 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]

Entnahmetiefe [mm]	CI [M.-%CEM]	CI [M.-%Beton]
0 bis 15 [mm]	3,171 M.-%CEM	0,970 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	2,767 M.-%CEM	1,592 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,309 M.-%CEM	0,262 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,098 M.-%CEM	0,077 M.-%CEM

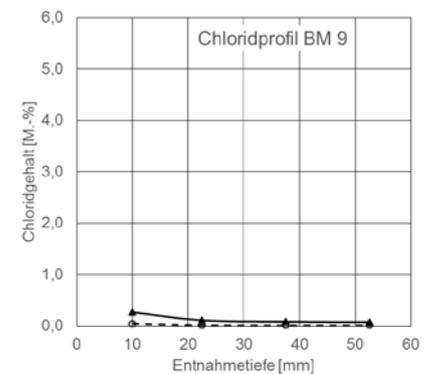
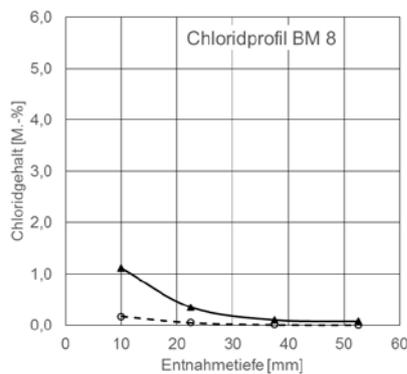
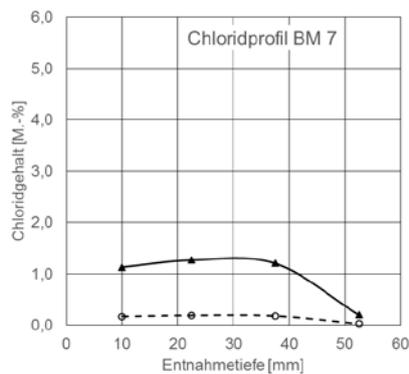
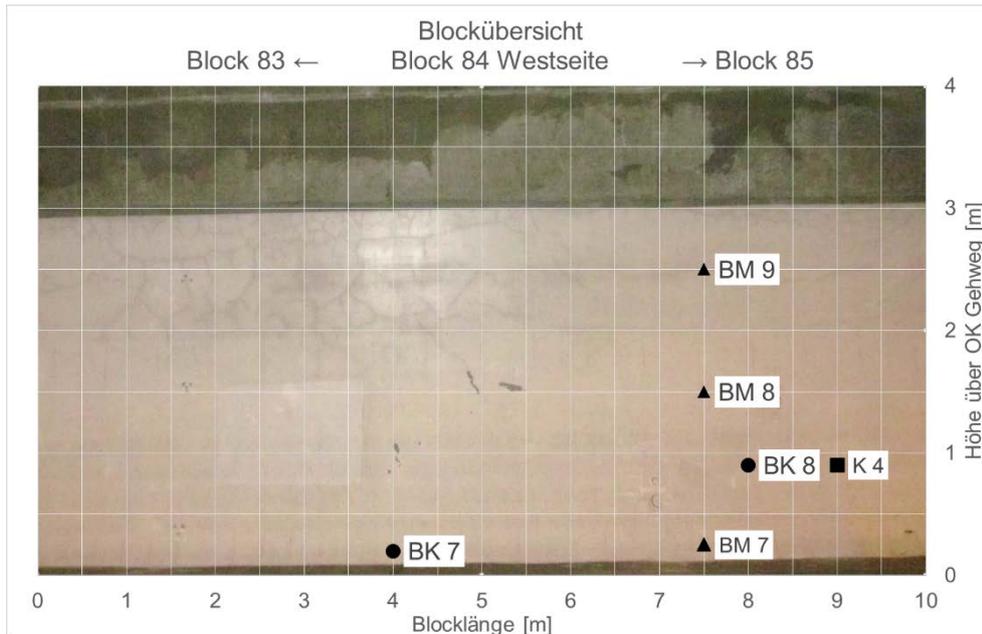
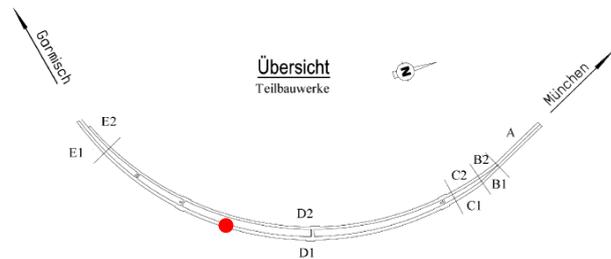
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**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]

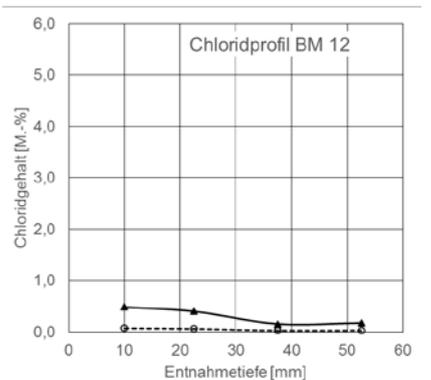
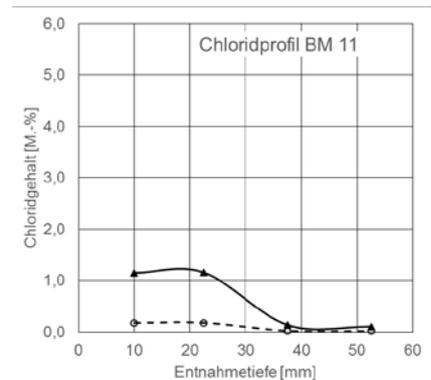
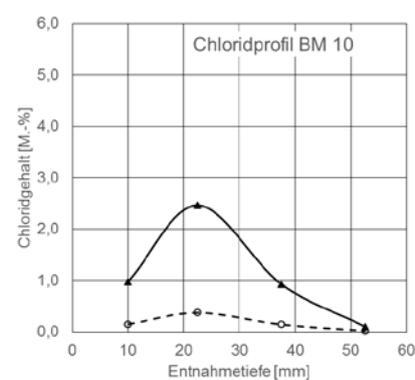
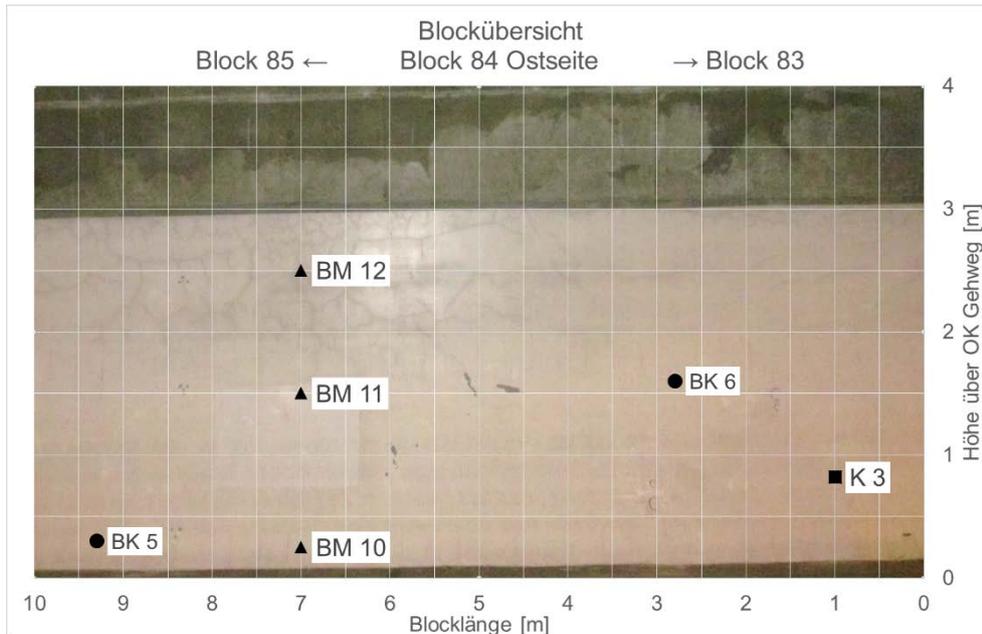
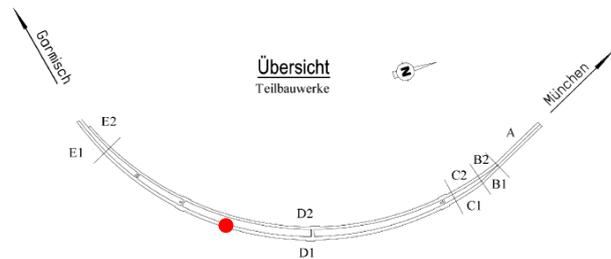
Entnahmetiefe [mm]	CI [M.-%Beton]	CI [M.-%CEM]
0 bis 15 [mm]	0,199 M.-%	1,130 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	0,105 M.-%	1,268 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,077 M.-%	1,204 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,070 M.-%	0,112 M.-%CEM

- 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.-% <sub>CEM</sub>	1,147 M.-% <sub>CEM</sub>
15 bis 30 [mm]	2,461 M.-% <sub>CEM</sub>	0,482 M.-% <sub>CEM</sub>
30 bis 45 [mm]	0,924 M.-% <sub>CEM</sub>	0,399 M.-% <sub>CEM</sub>
45 bis 60 [mm]	0,103 M.-% <sub>CEM</sub>	0,154 M.-% <sub>CEM</sub>

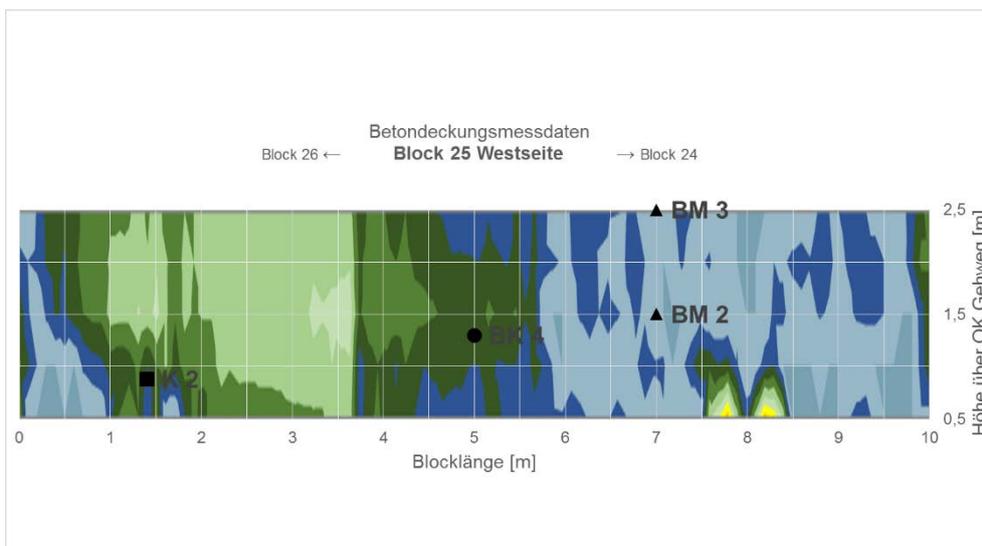
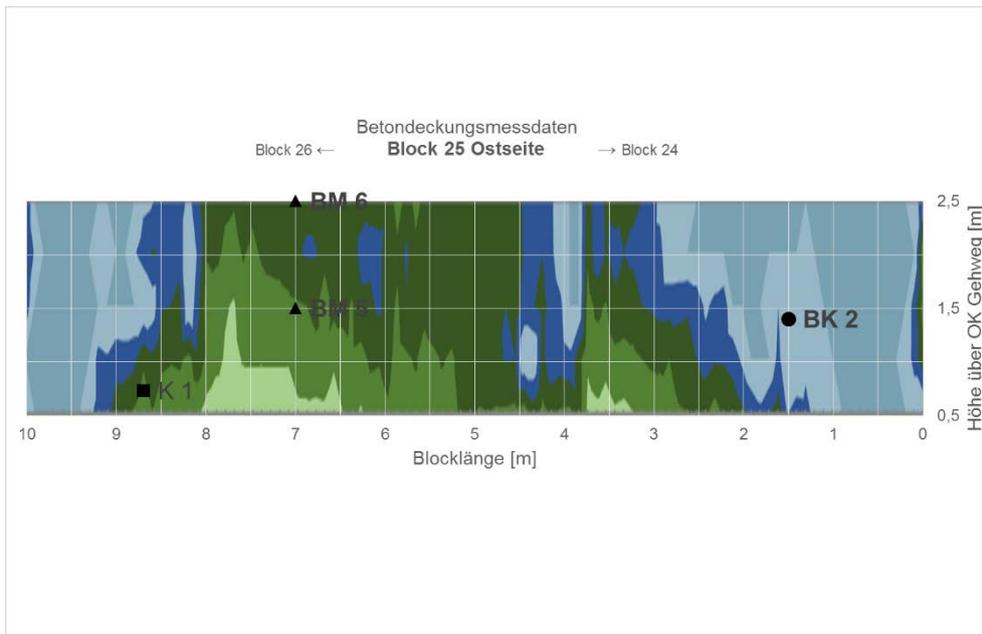
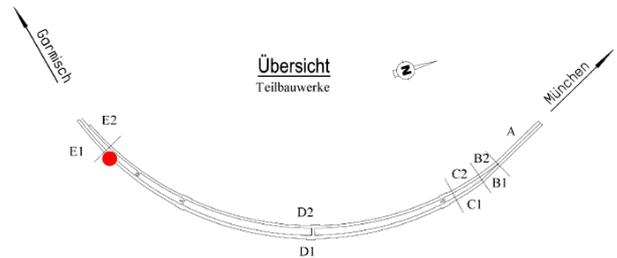
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

## Anlage 6 Betondeckungsmessung – Tunnel Farchant

### Farchant Oströhre

#### Grafische Darstellung aufgenommener Betondeckungsmessdaten

Messlinienabstand (Y 500 mm)

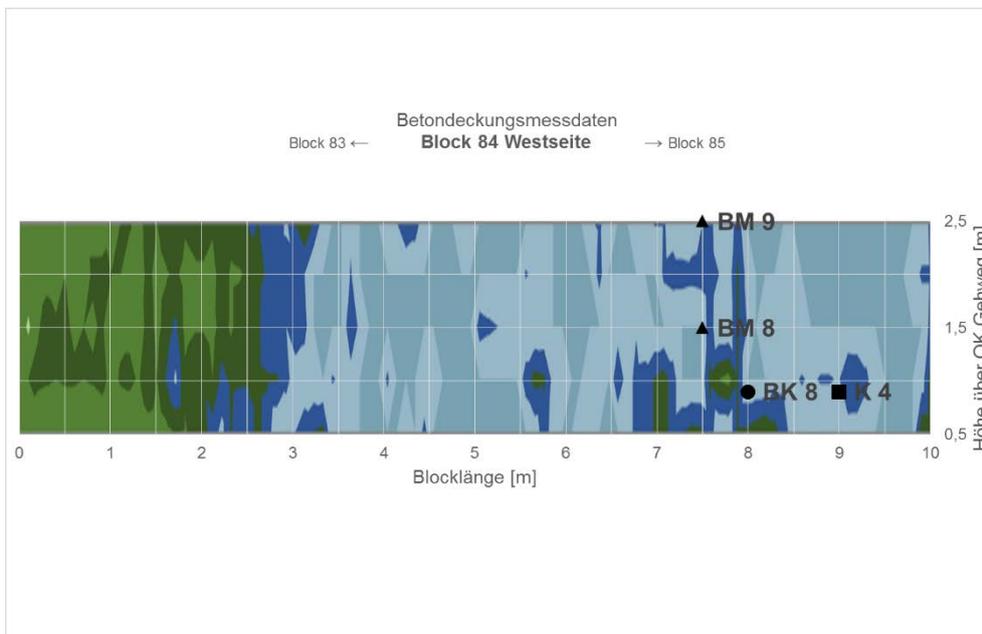
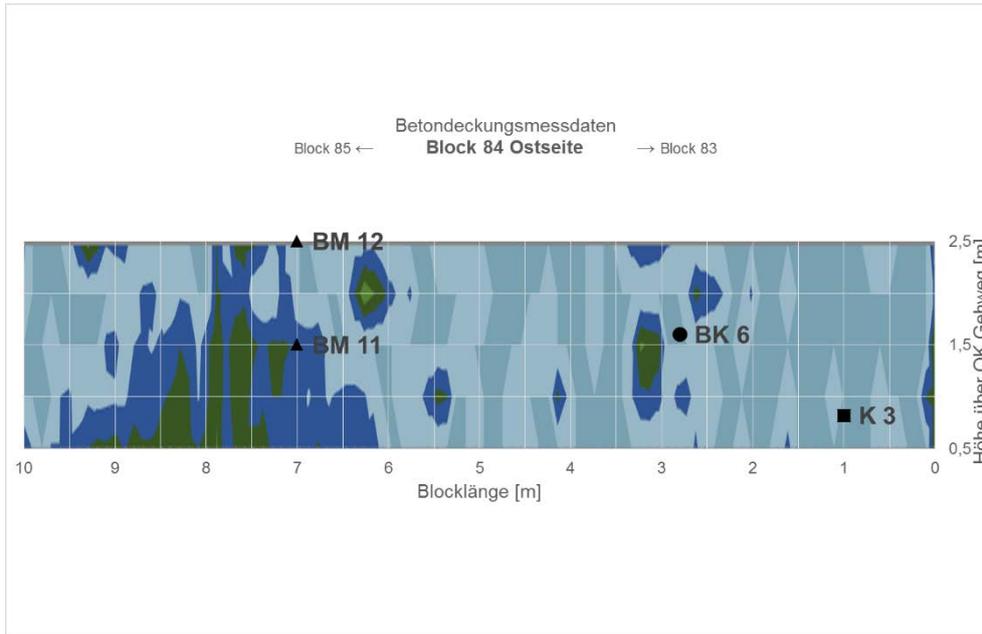
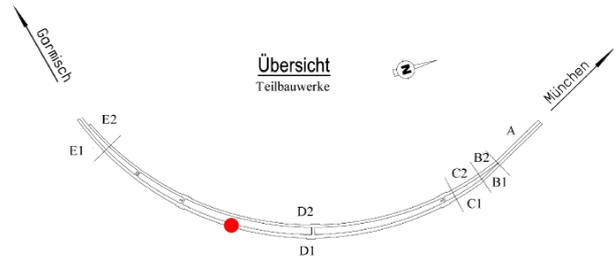


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Farchant Oströhre**

**Grafische Darstellung aufgenommener  
Betondeckungsmessdaten**

Messlinienabstand (Y 500 mm)



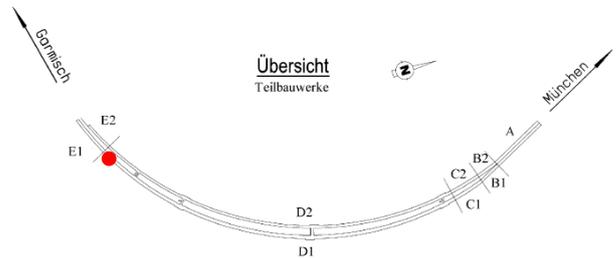
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

## Anlage 7 Potentialfeldmessung – Tunnel Farchant

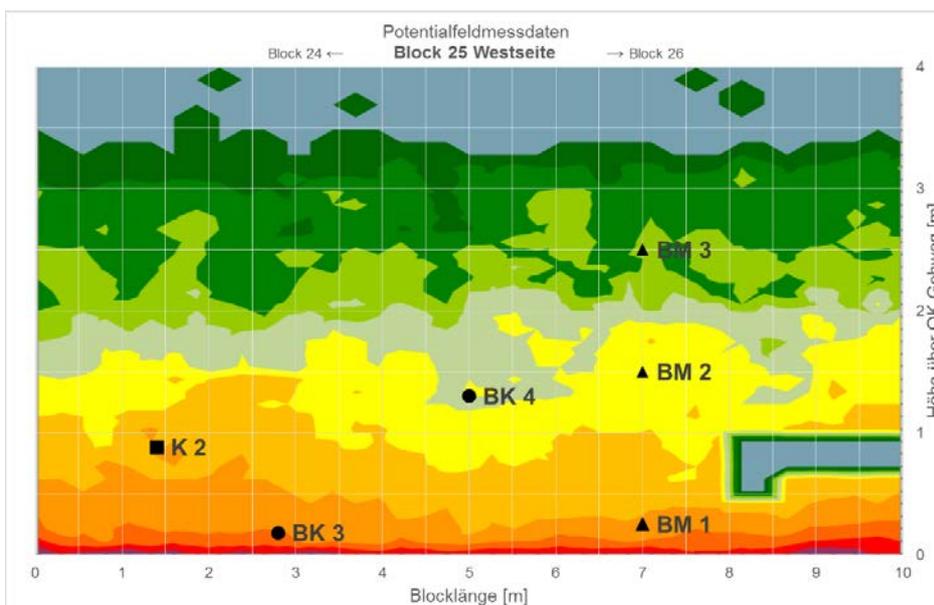
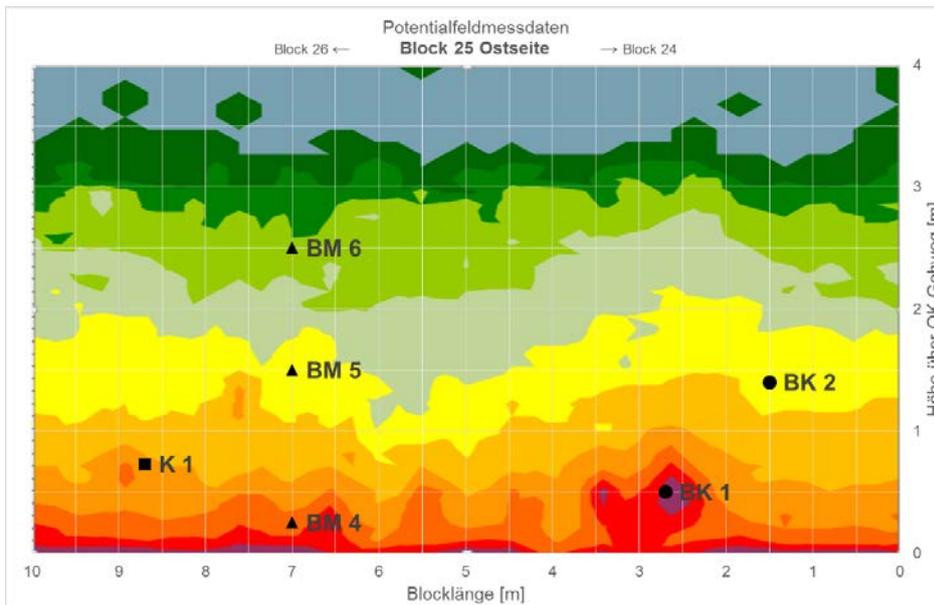
### Farchant Oströhre

#### 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]

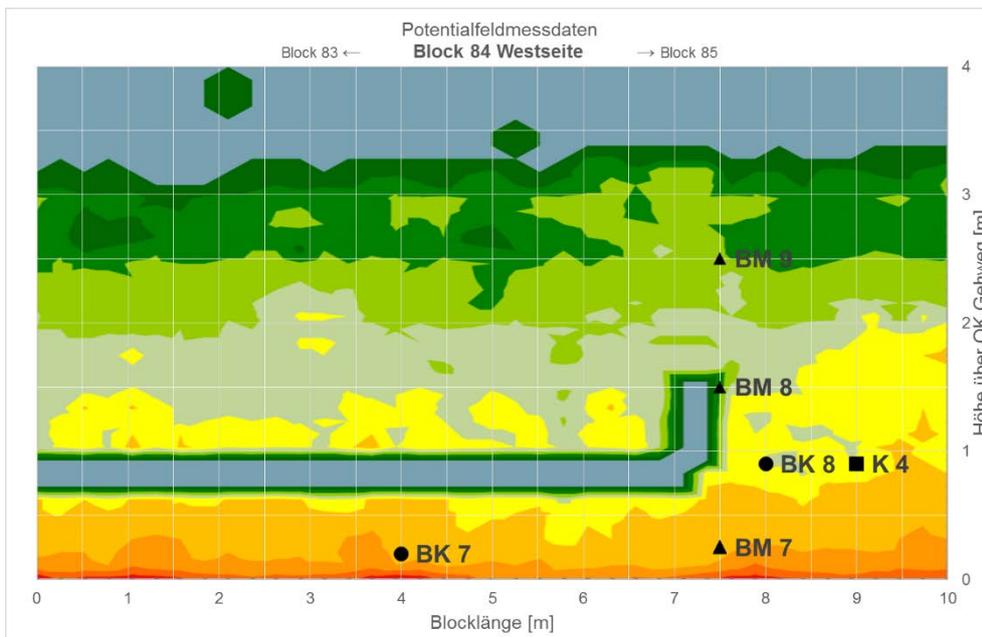
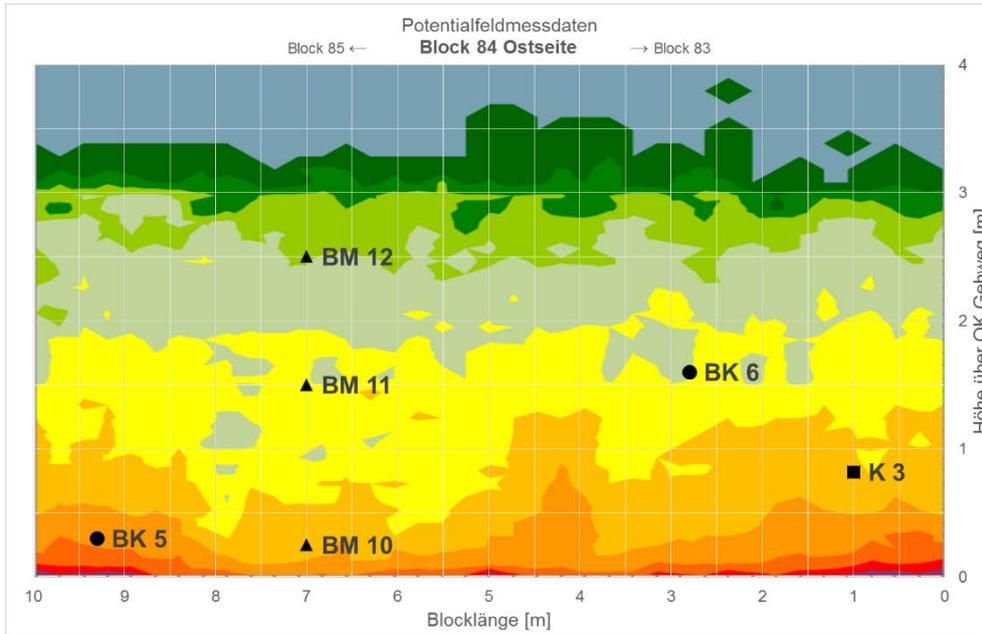
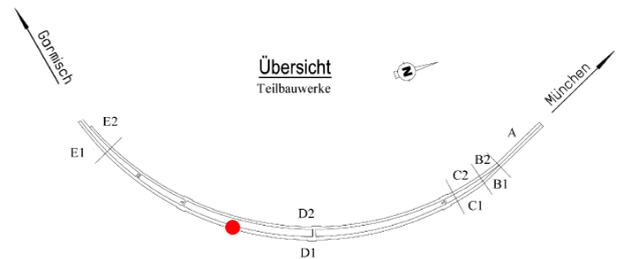


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Farchant Oströhre**

**Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten**

Messraster (X250;Y100 [mm])



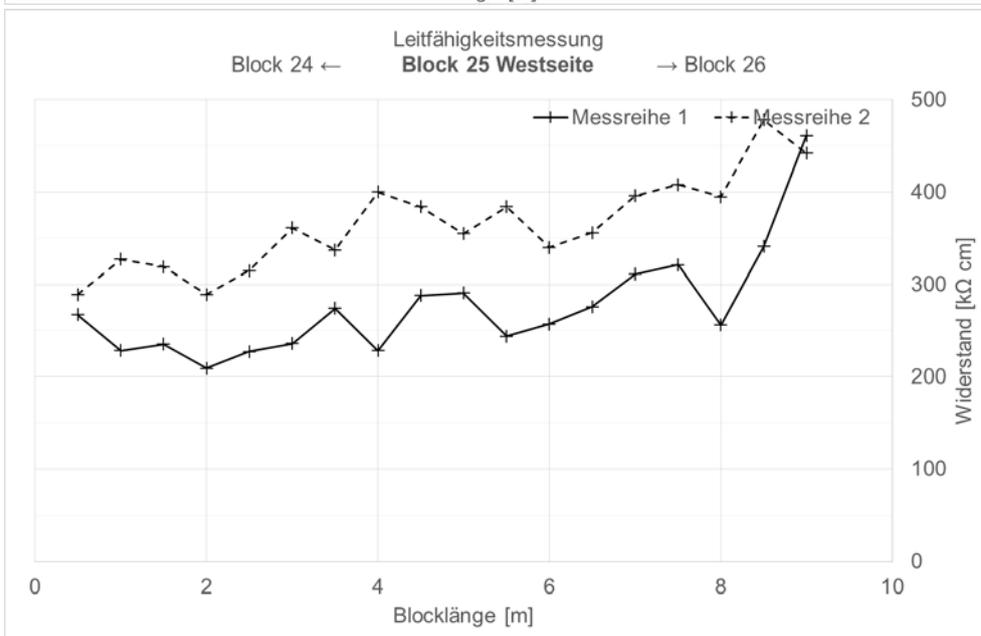
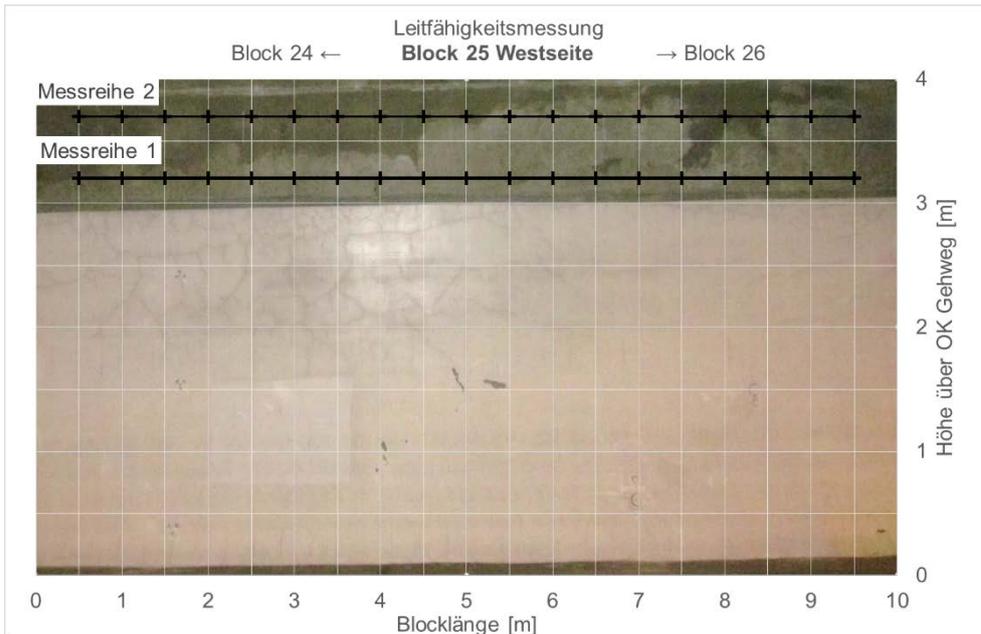
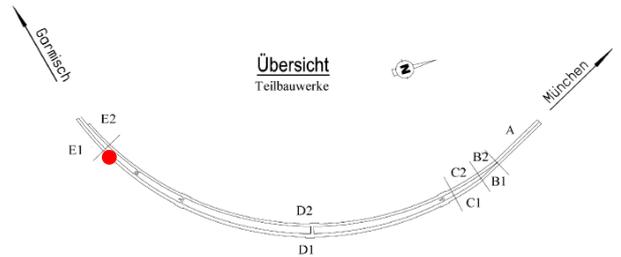
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

## Anlage 8 Leitfähigkeitsmessung Beton – Tunnel Farchant

### Farchant Oströhre

### Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

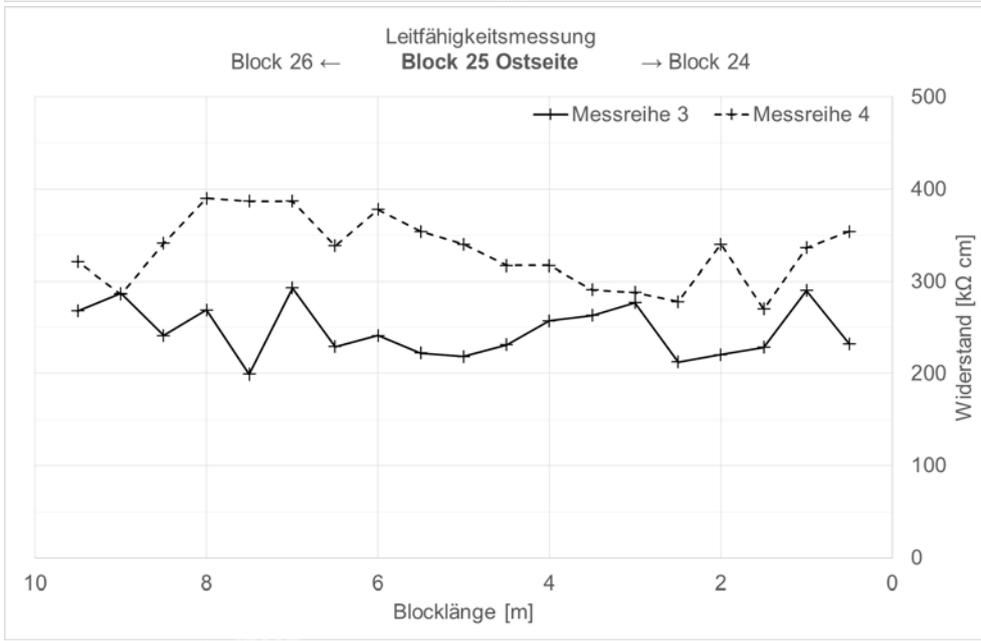
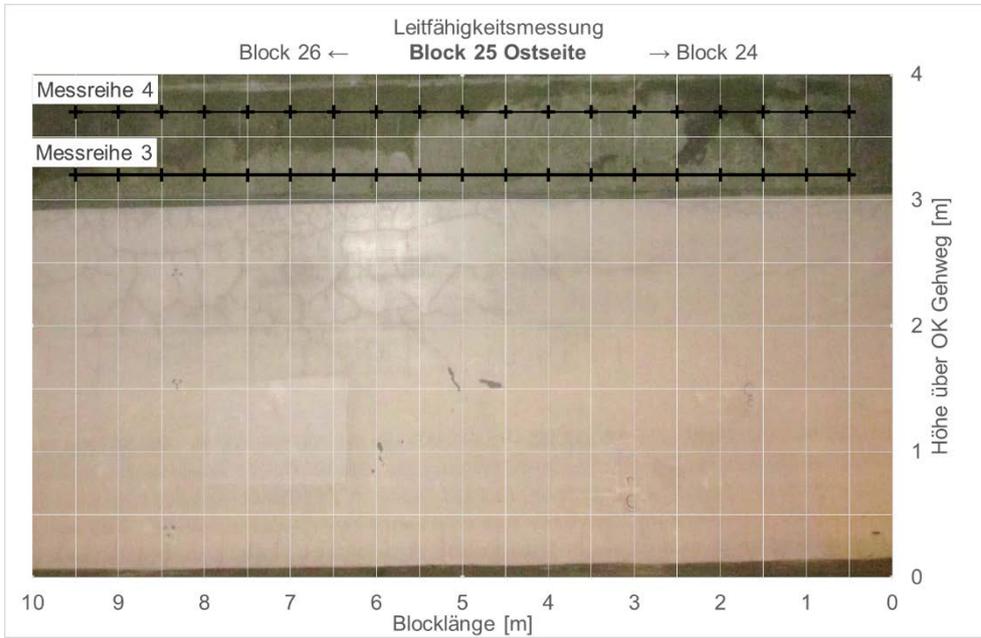
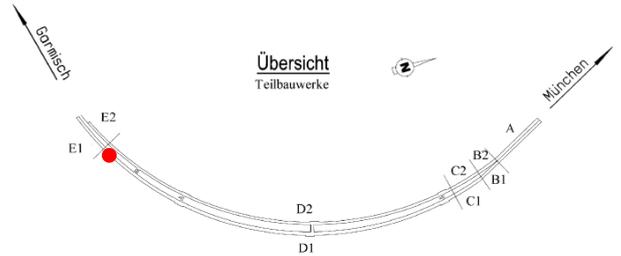


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 1	Messreihe 2
Mittelwert:	274	359
Min:	209	253
Max:	461	478

**Farchant Oströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche

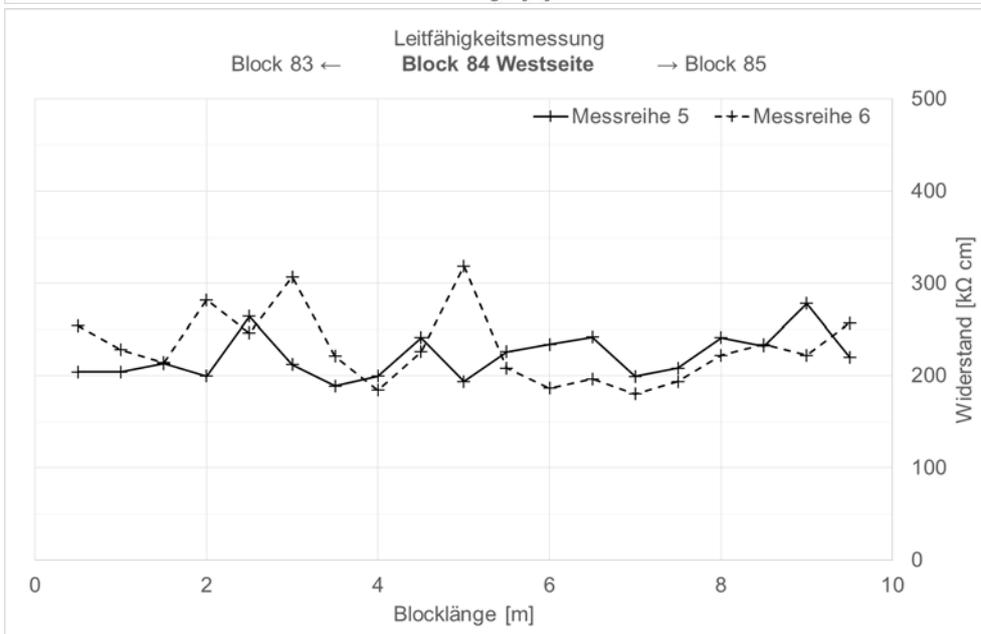
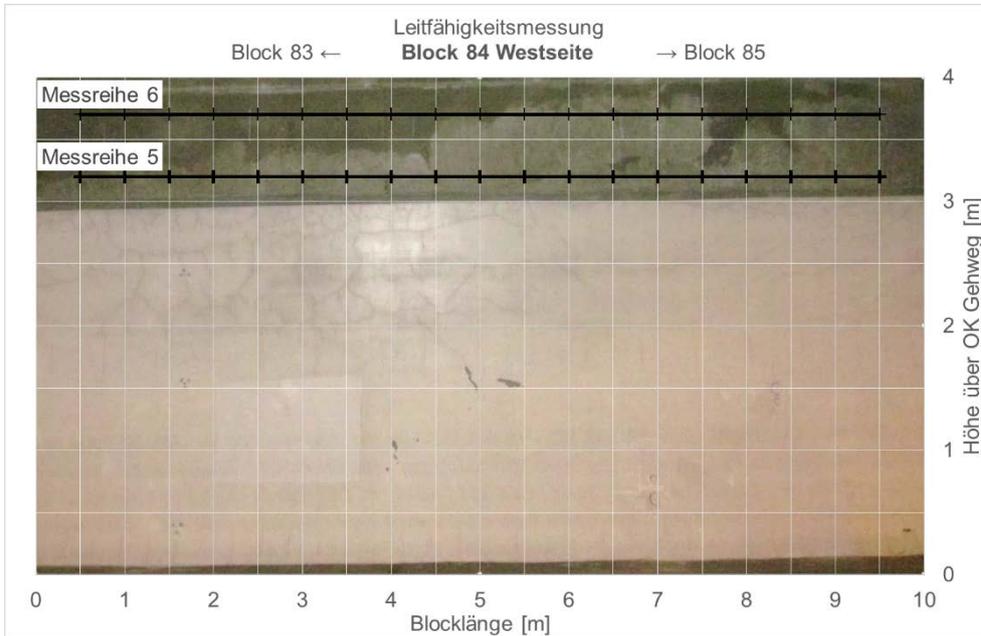
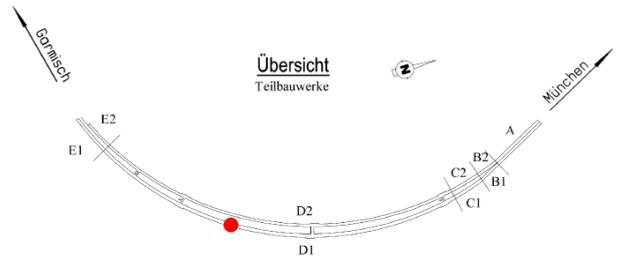


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 3	Messreihe 4
Mittelwert:	246	332
Min:	199	270
Max:	293	390

**Farchant Oströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche

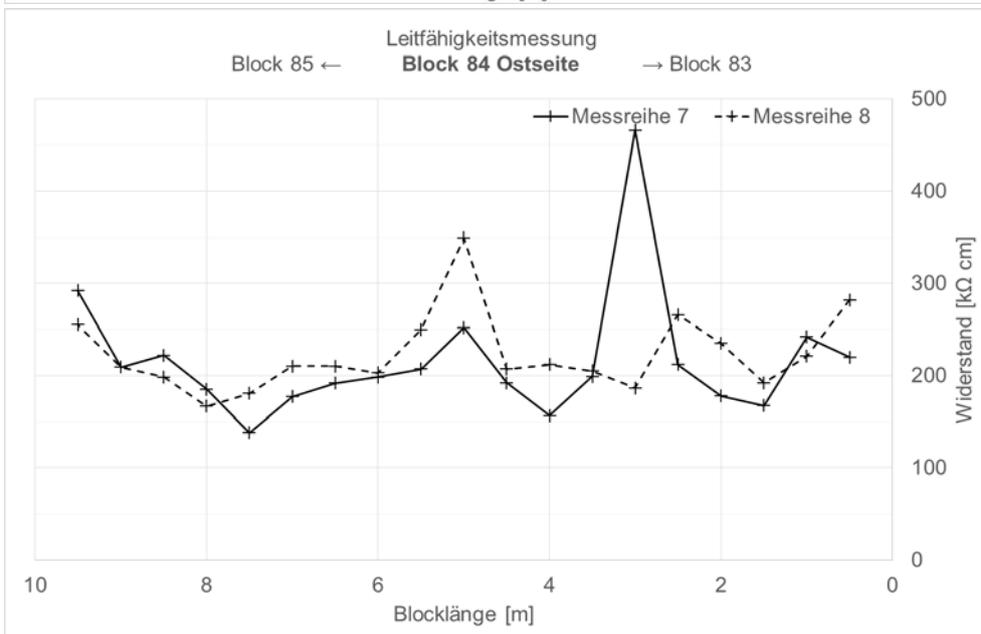
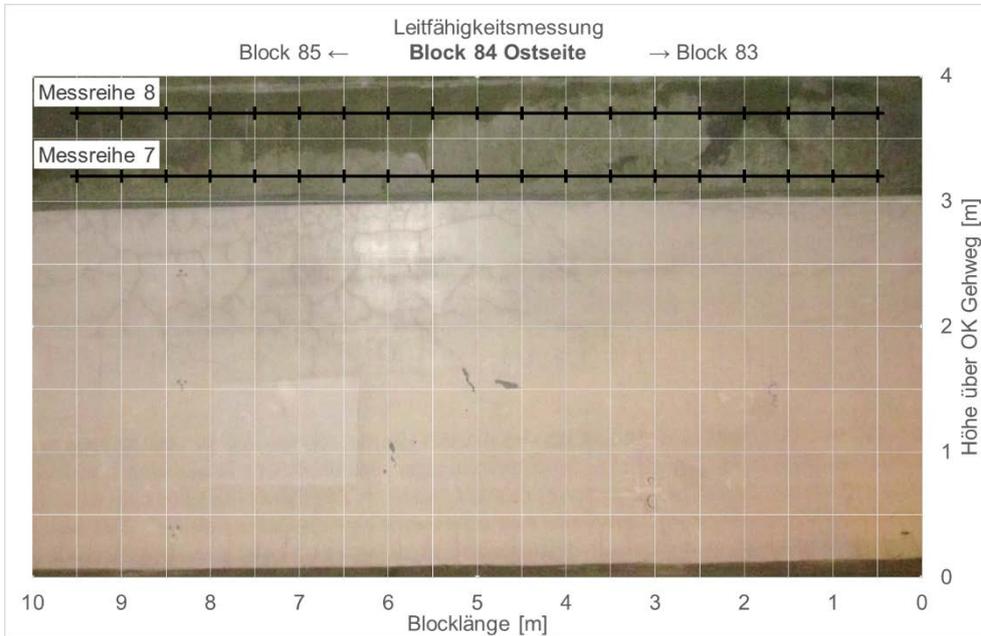
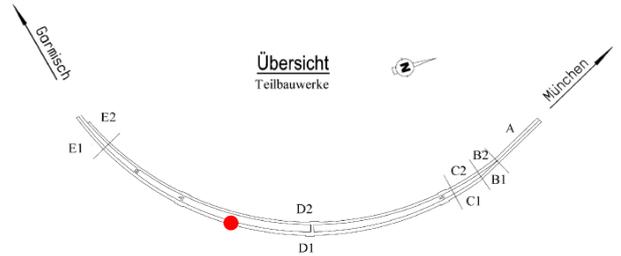


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 5	Messreihe 6
Mittelwert:	221	231
Min:	189	180
Max:	278	319

**Farchant Oströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche



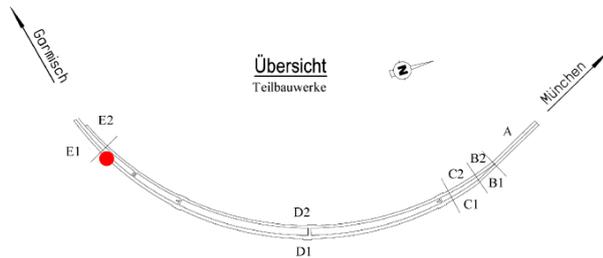
	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 7	Messreihe 8
Mittelwert:	216	223
Min:	138	167
Max:	466	349

## Anlage 9 Permeabilitätsmessung – Tunnel Farchant

### Farchant Oströhre

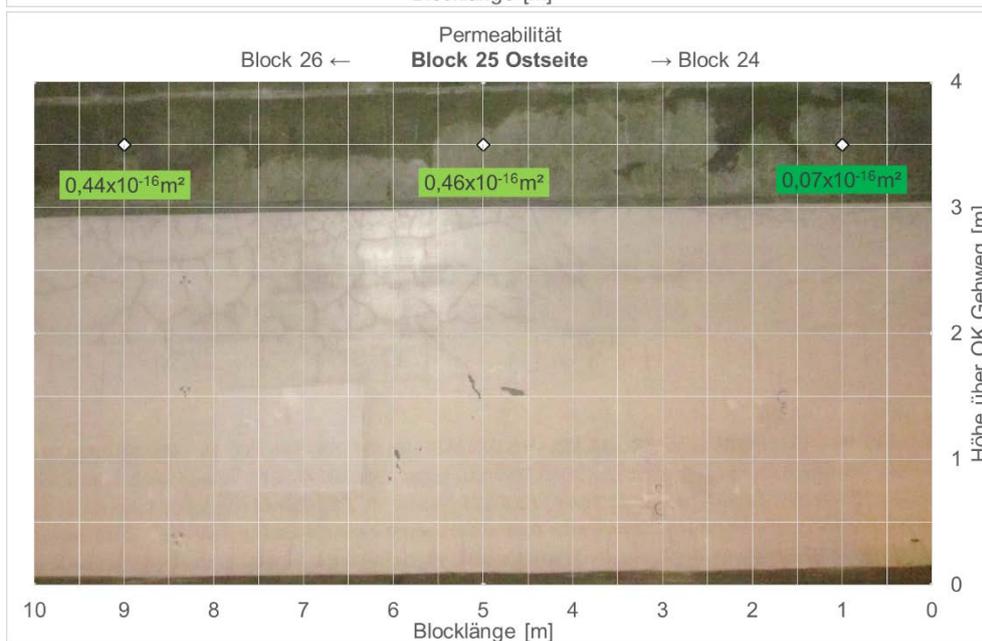
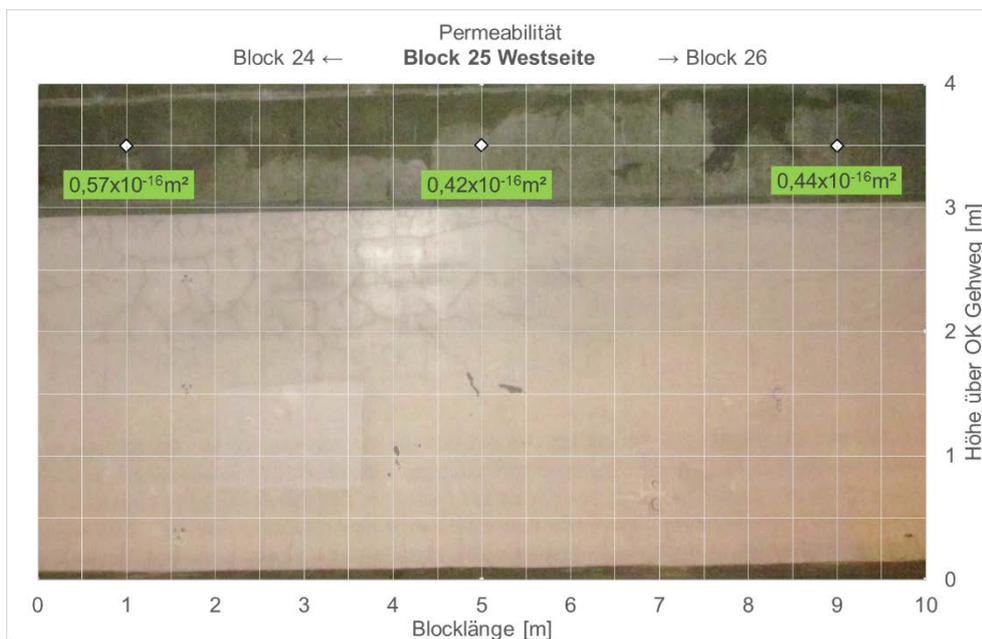
#### Luftpermeabilitätsmesswerte

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 $10^{-16}m^2$
----------	-----------------------	-----	-----------------------	----------	-----------------------	----------	------------------------	---------------	------------------------

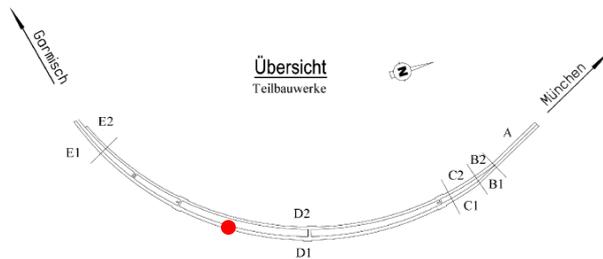
Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen - beton Heft 5/1999



**Farchant Oströhre**

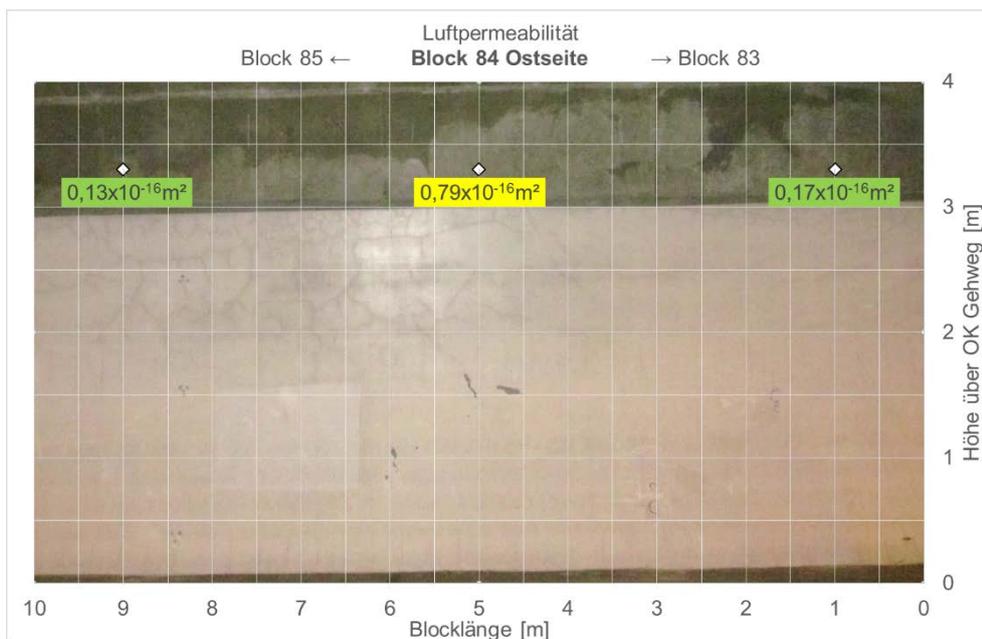
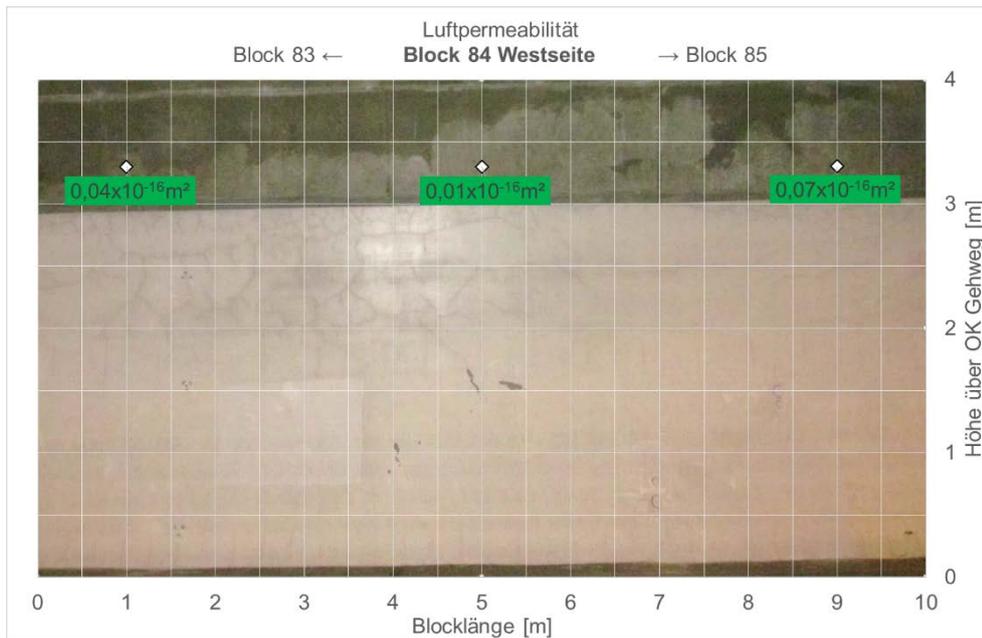
**Luftpermeabilitätsmesswerte**

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche



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

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

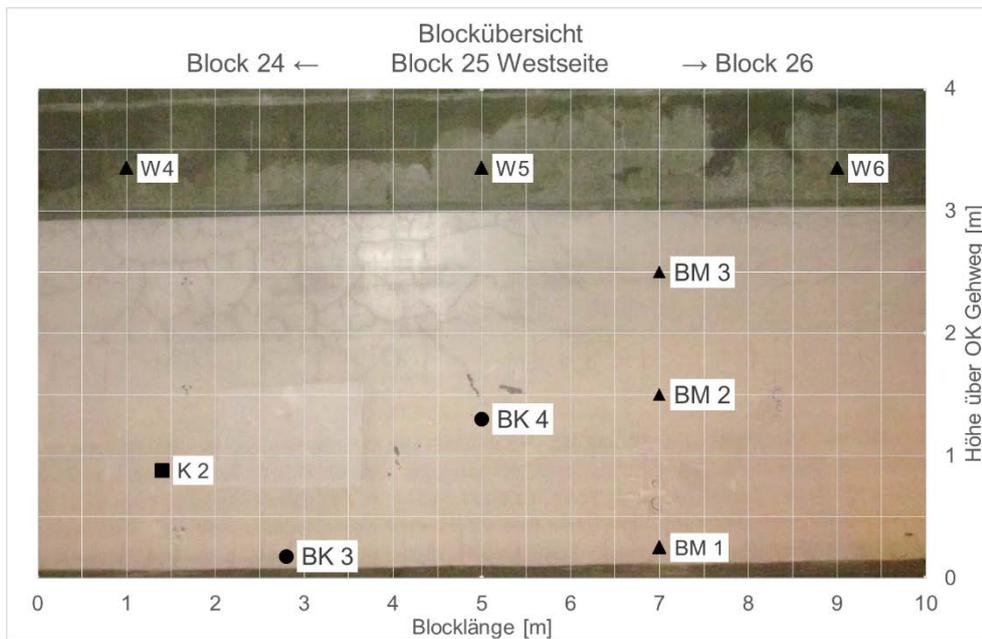
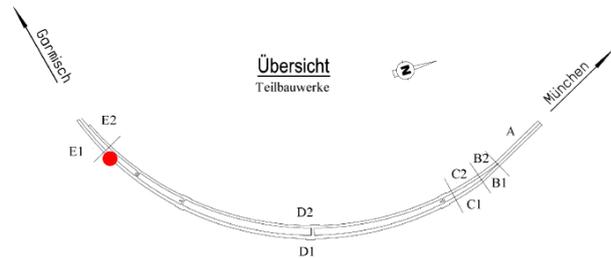


## Anlage 10 kapillare Wasseraufnahme – Tunnel Farchant

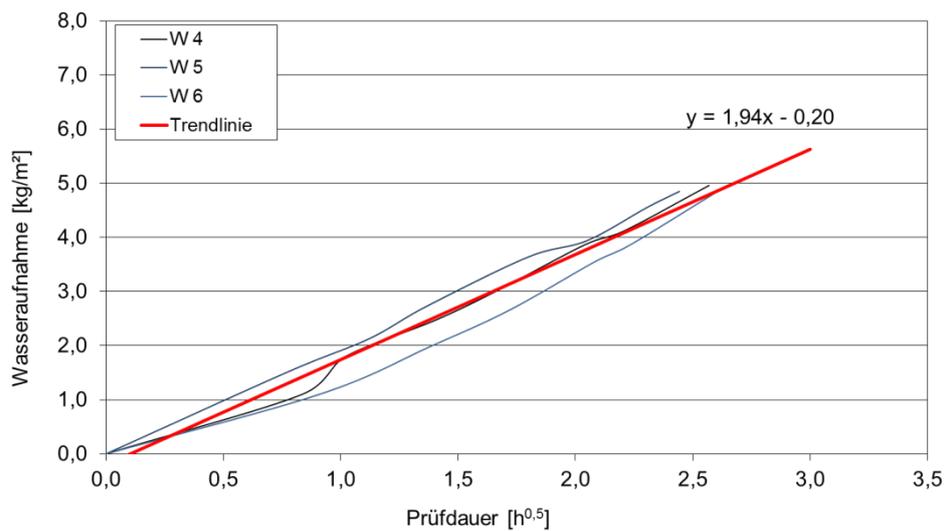
### Farchant Oströhre

#### kapillare Wasseraufnahme der Bauteiloberfläche

Karstensesches Röhrrchen



Wasseraufnahmekoeffizient

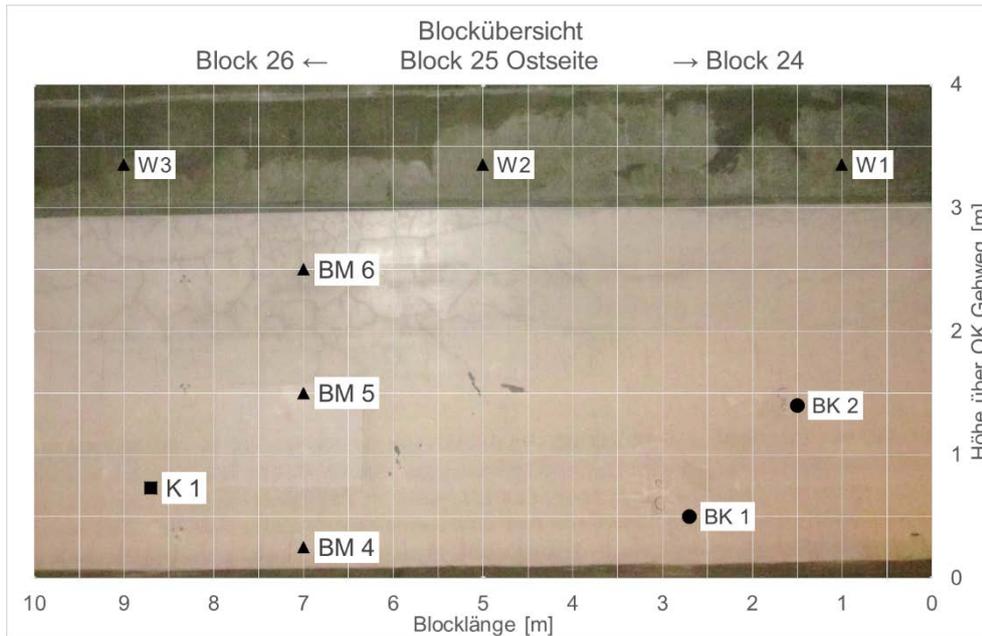
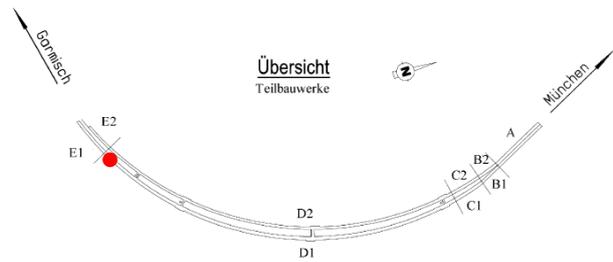


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

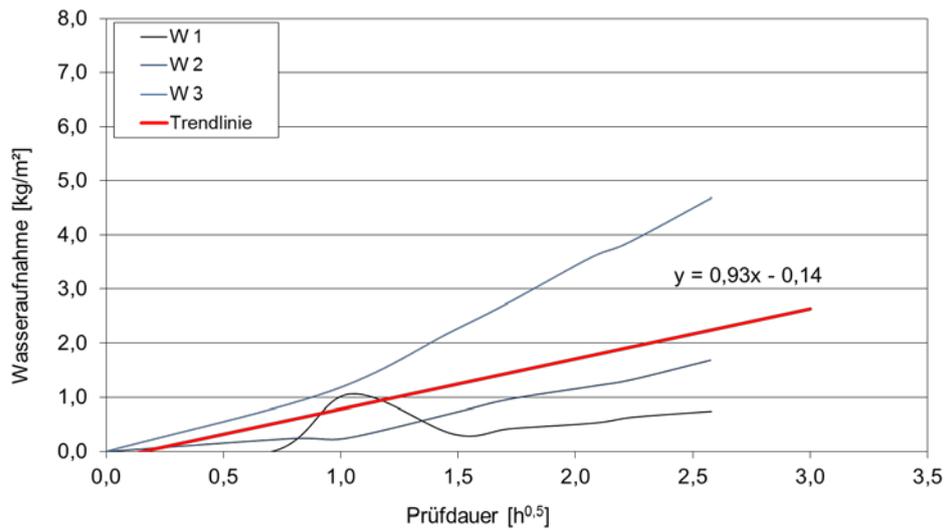
**Farchant Oströhre**

**kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche**

Karstensesches Röhrrchen



**Wasseraufnahmekoeffizient**

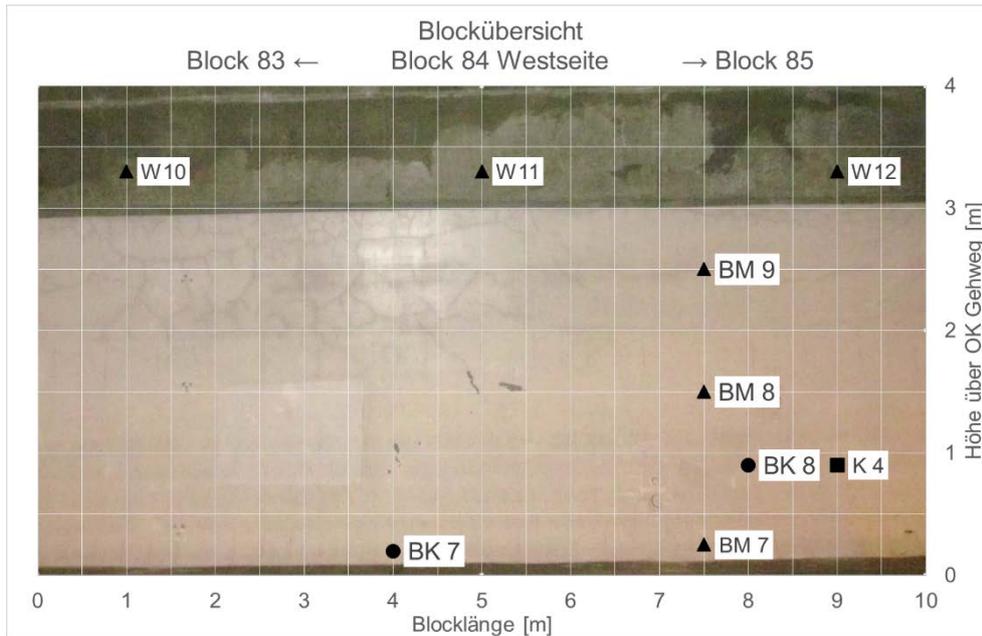
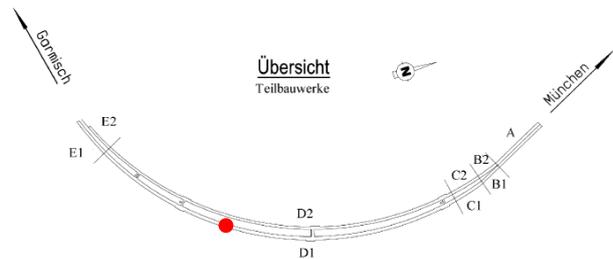


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

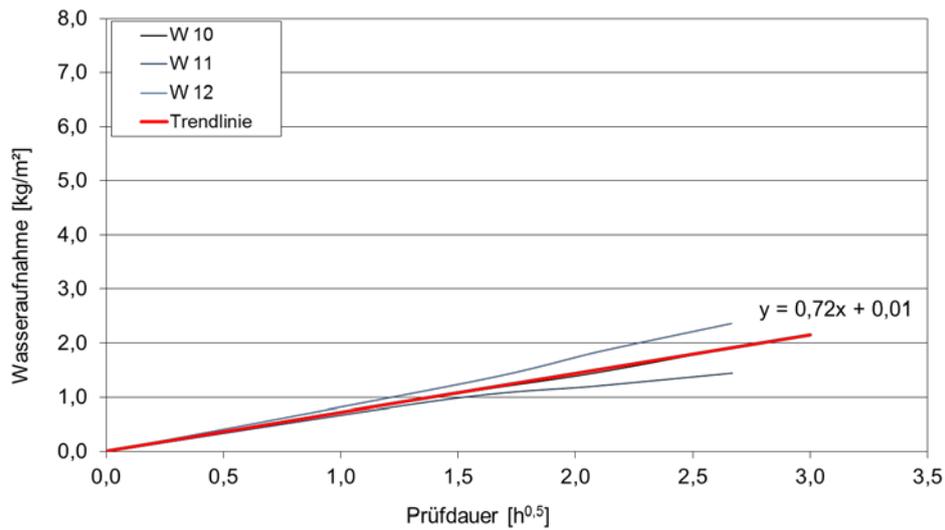
**Farchant Oströhre**

**kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche**

Karstensches Röhrrchen



Wasseraufnahmekoeffizient

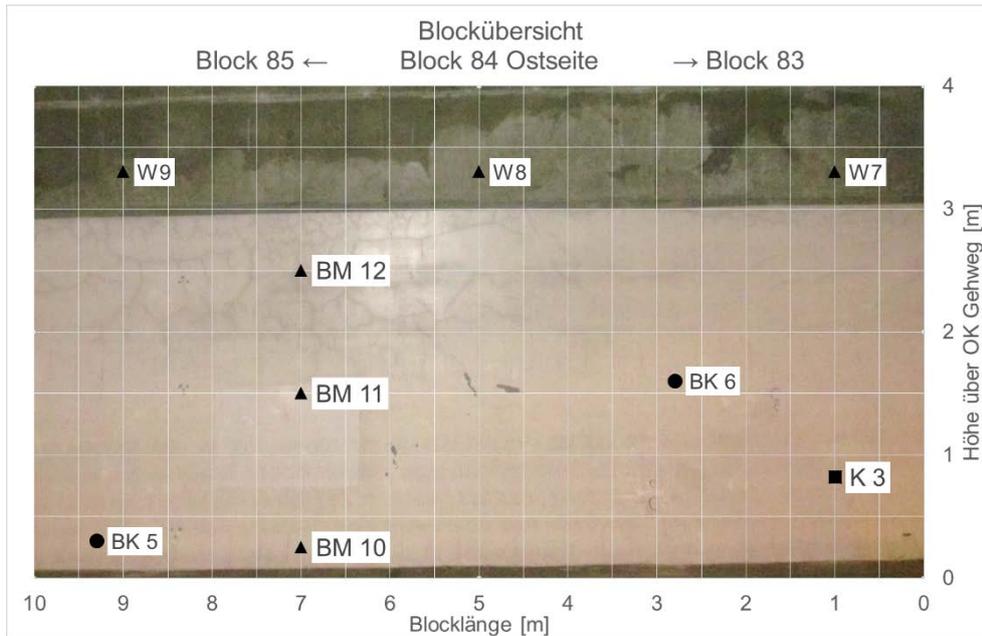
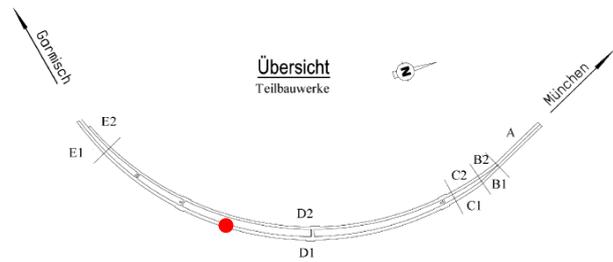


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

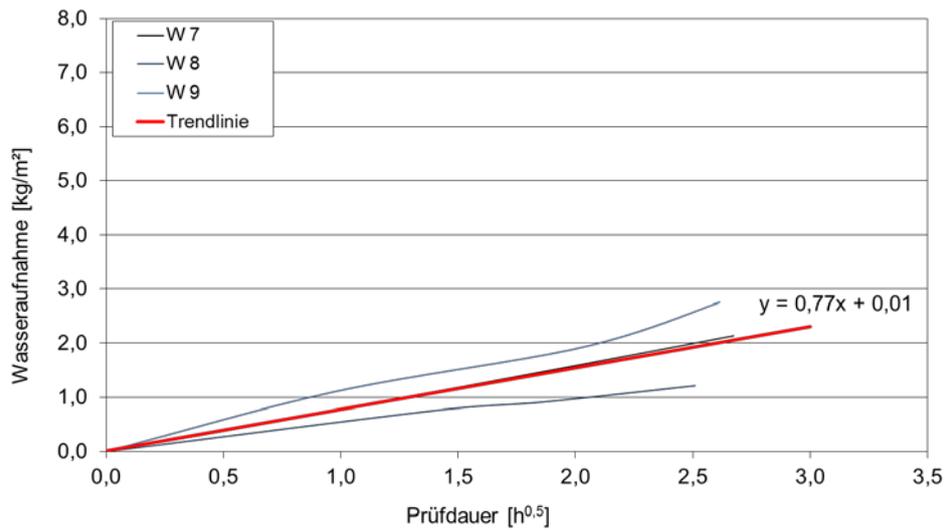
**Farchant Oströhre**

**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

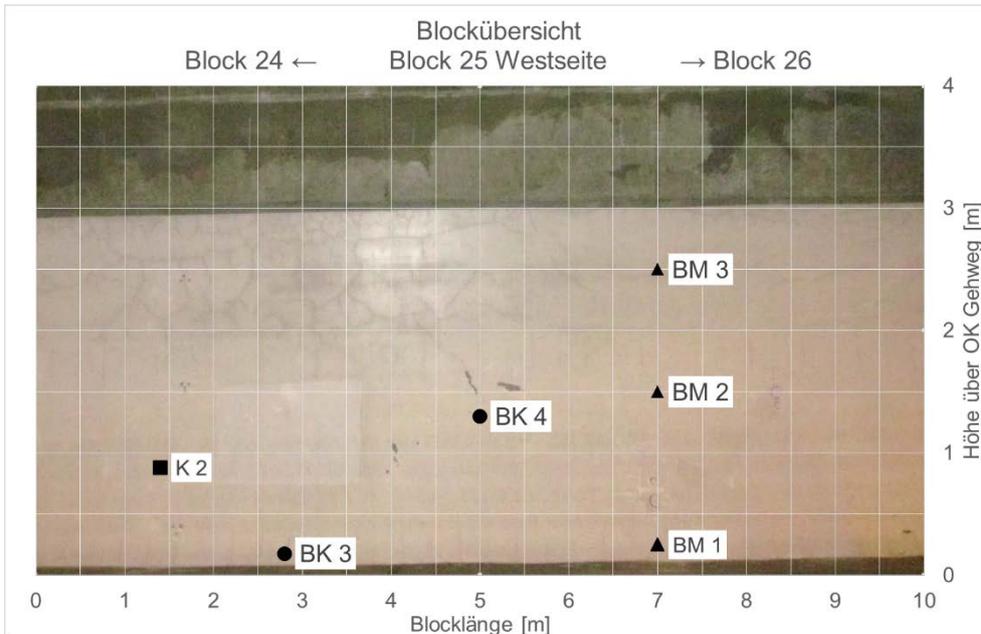
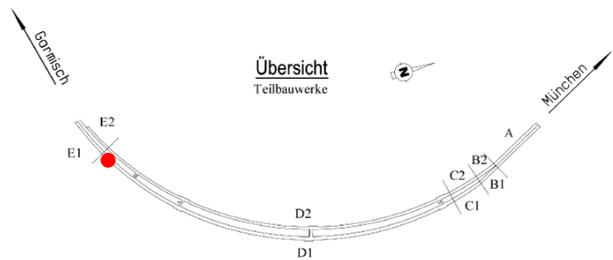


Bild 1: Stelle K 2  
stellenweise angerostet



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**

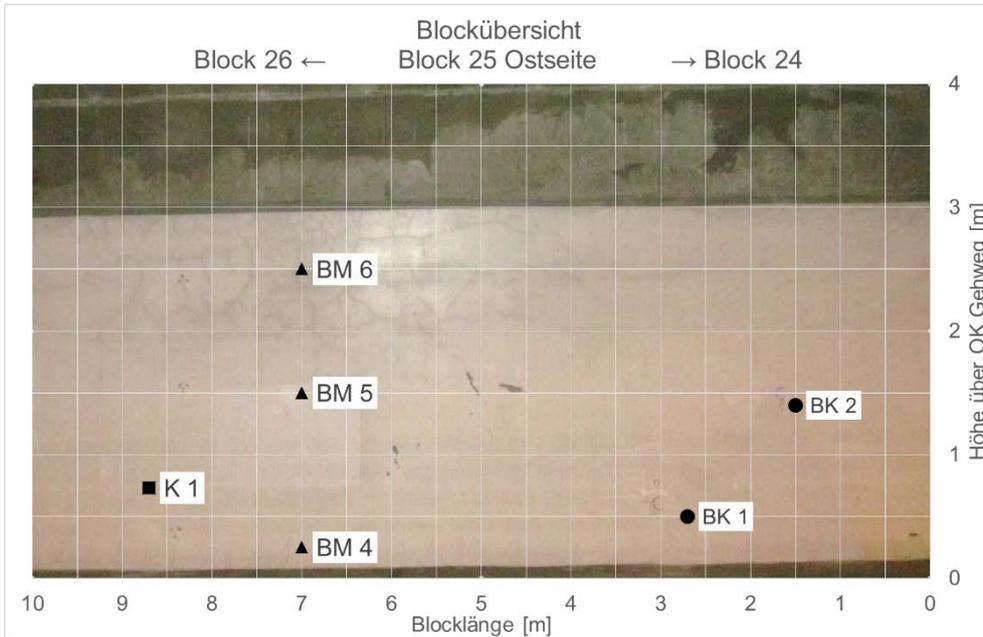
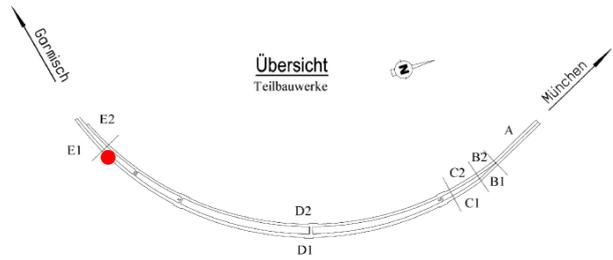


Bild 4: Stelle K 1  
stellenweise angerostet



Bild 5: Stelle BK 1  
Bewehrung rostet

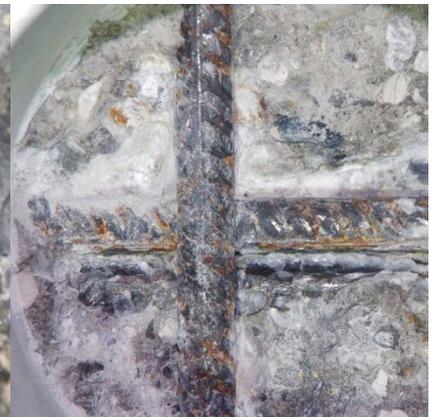


Bild 6: Stelle BK 2  
stellenweise angerostet

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

**Farchant Oströhre**

**Fotodokumentation**

**Korrosionszustand der Bewehrung**

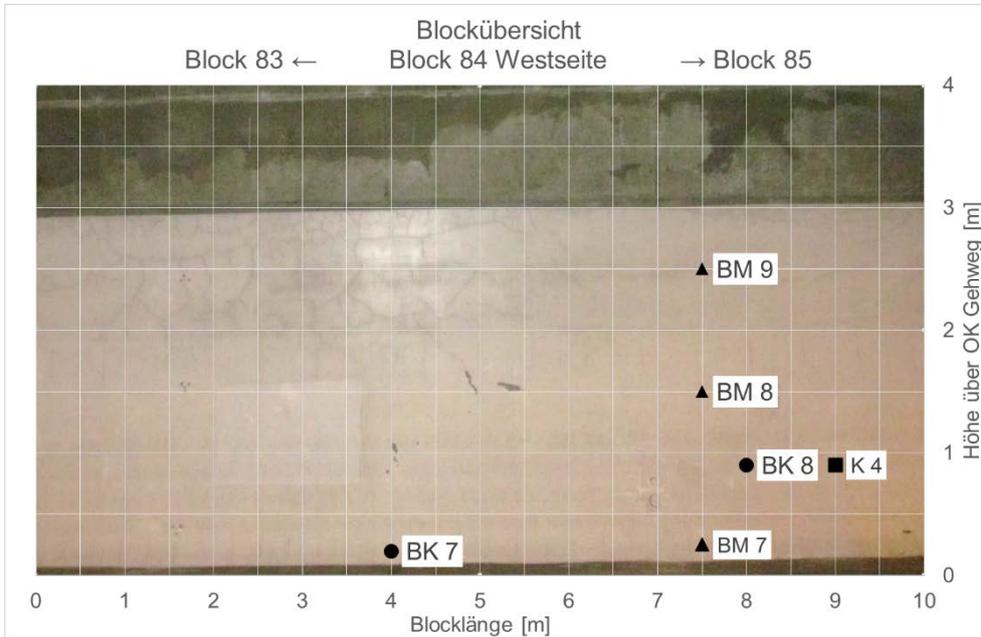
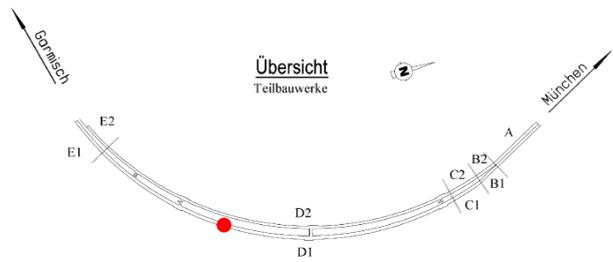


Bild 7: Stelle K 4  
ohne Korrosion



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**

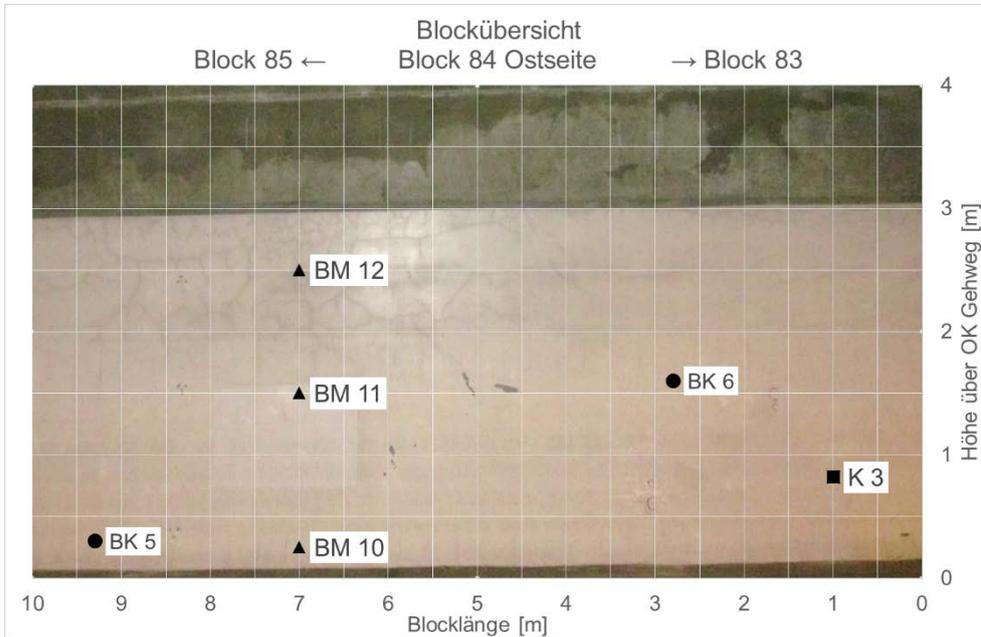
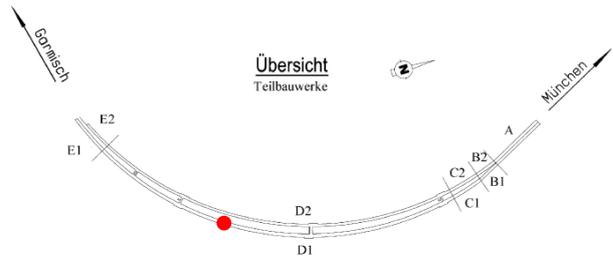


Bild 10: Stelle K 3  
ohne Korrosion



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

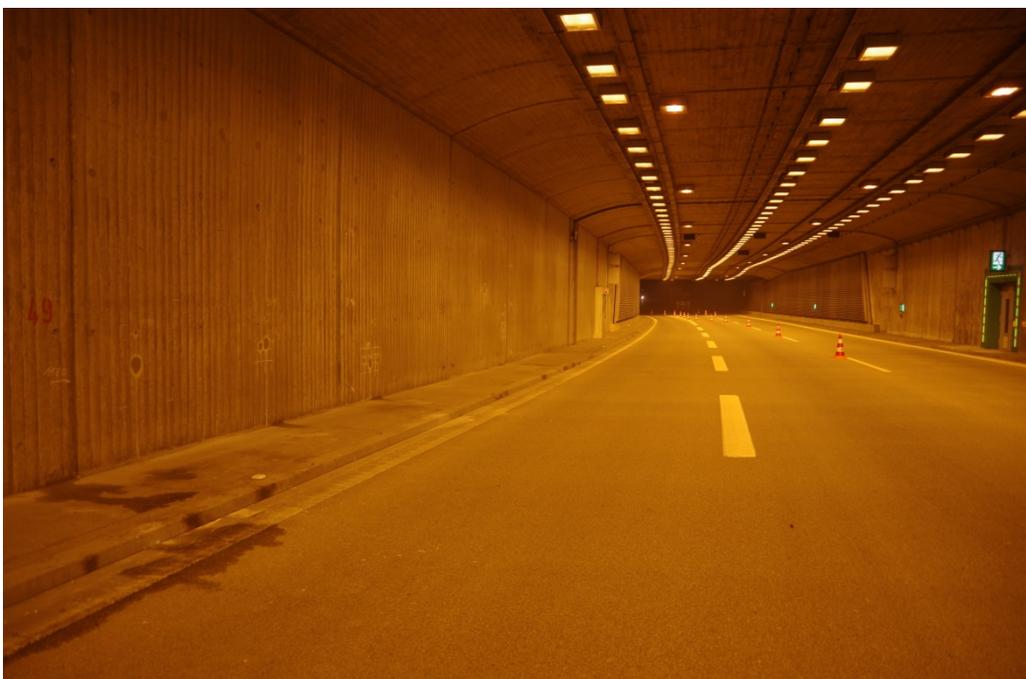


Bild 2 Tunnel Prüfening, Einfahrtbereich der Weströhre mit Lärmschutzelementen (im Bildhintergrund)



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

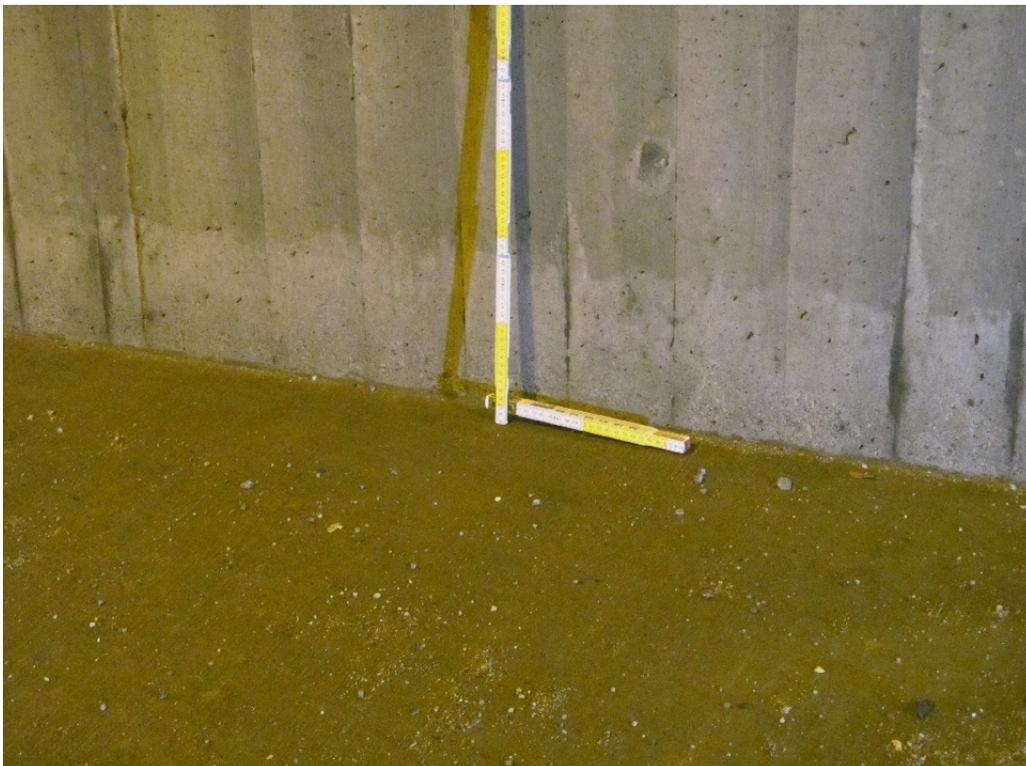


Bild 8 durchgehende Verfärbung am Wandfuß



Bild 9 ausgeprägte Verwitterung am Wandfuß



Bild 10 Messung der Luftpermeabilität



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

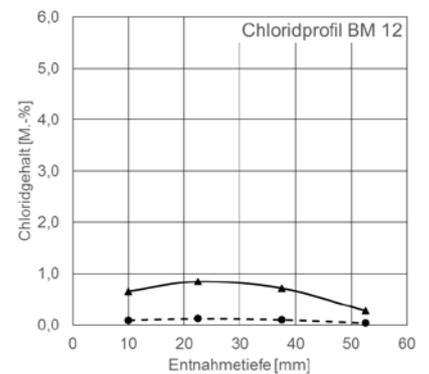
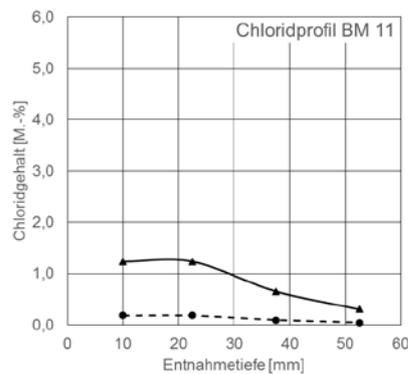
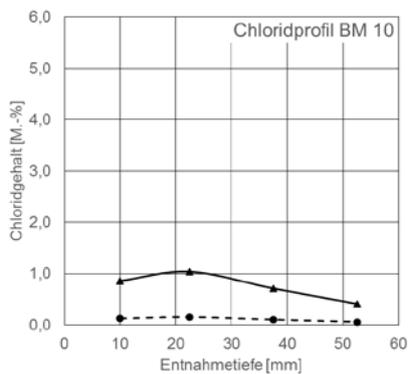
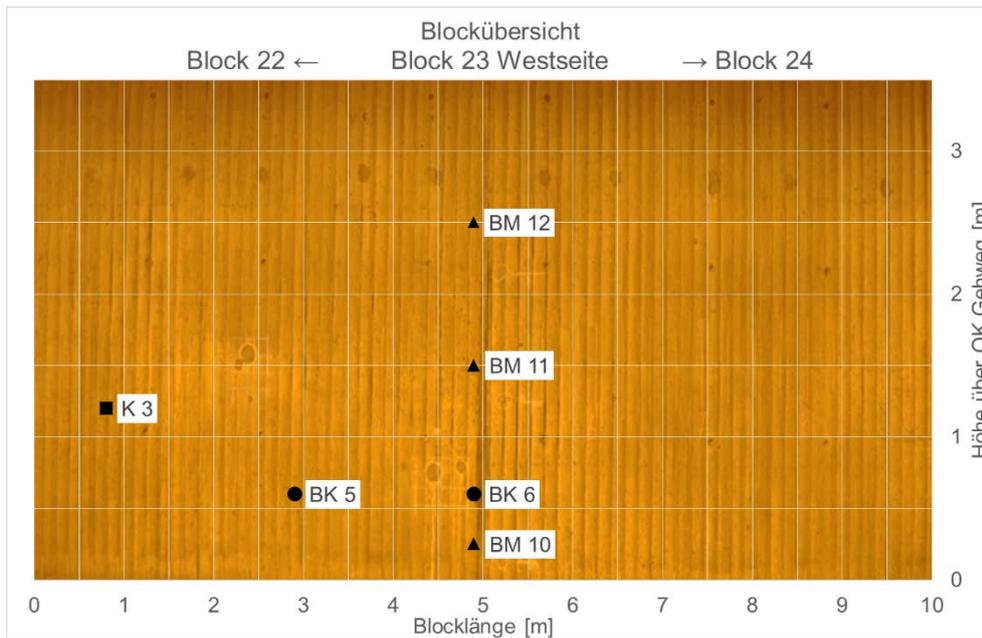
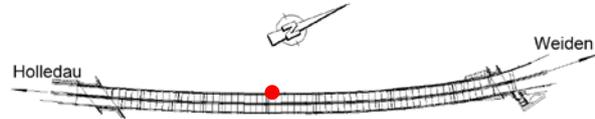
## Anlage 13 Chloridgehalt des Betons – Tunnel Prüfening

### Prüfening Weströhre

#### Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

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



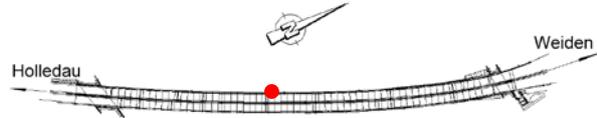
—●— Cl [M.-%Beton]    —▲— Cl [M.-%CEM]

Entnahmetiefe [mm]	0,859 M.-%CEM	1,233 M.-%CEM	0,655 M.-%CEM
0 bis 15 [mm]	0,859 M.-%CEM	1,233 M.-%CEM	0,655 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	1,040 M.-%CEM	1,235 M.-%CEM	0,845 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,712 M.-%CEM	0,655 M.-%CEM	0,714 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,414 M.-%CEM	0,305 M.-%CEM	0,276 M.-%CEM

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

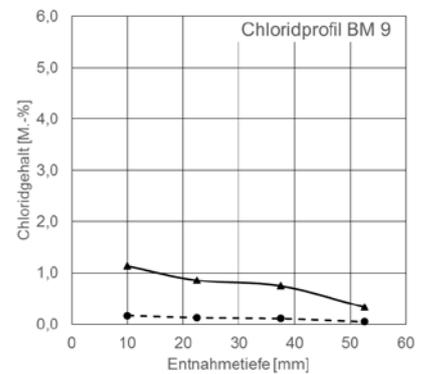
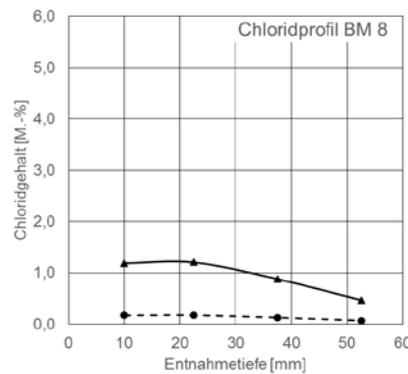
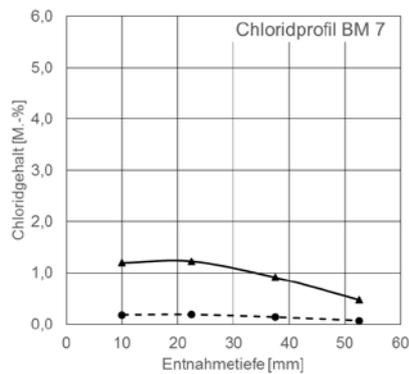
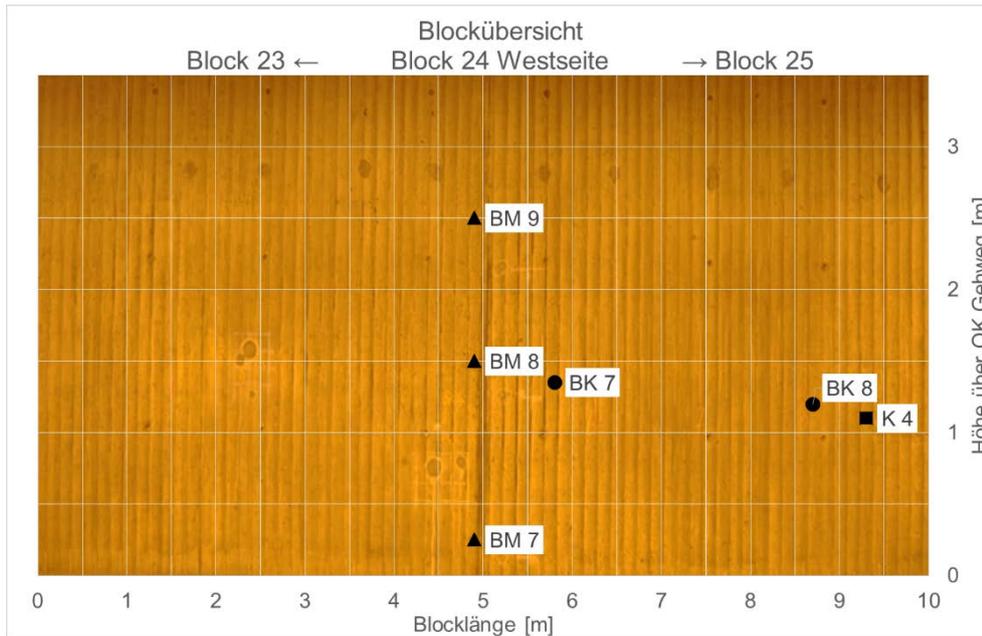
**Prüfung Weströhre**

**Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben**



Entnahmetiefe [mm]

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



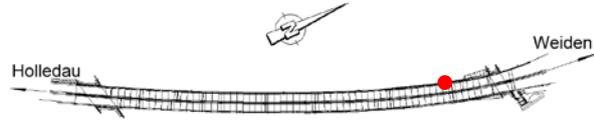
-○- Cl [M.-%Beton]    -▲- Cl [M.-%CEM]

Entnahmetiefe [mm]	Cl [M.-%CEM] (BM 7)	Cl [M.-%CEM] (BM 8)	Cl [M.-%CEM] (BM 9)
0 bis 15 [mm]	1,191 M.-%CEM	1,186 M.-%CEM	1,132 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	1,221 M.-%CEM	1,203 M.-%CEM	0,856 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,912 M.-%CEM	0,880 M.-%CEM	0,743 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,481 M.-%CEM	0,472 M.-%CEM	0,334 M.-%CEM

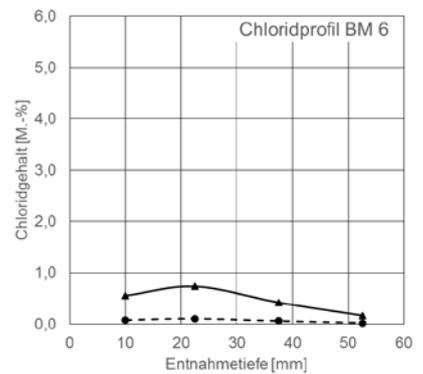
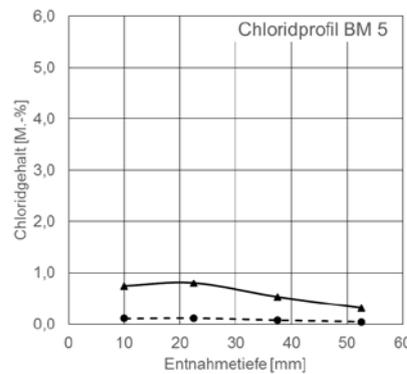
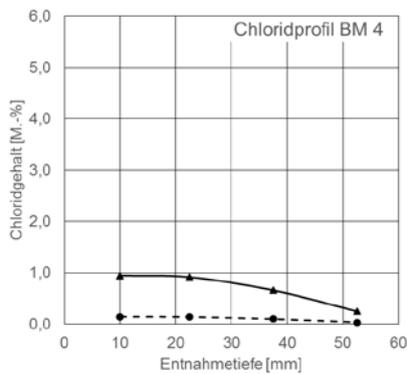
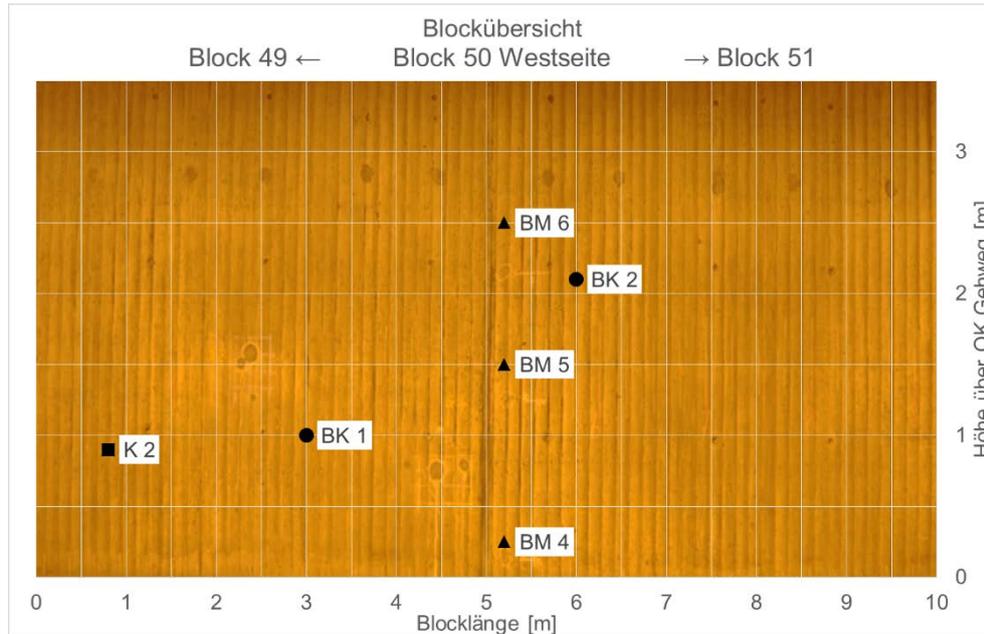
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Prüfung Weströhre**

**Grafische Darstellung aufgenommener Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben**



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



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

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

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

**Prüfung Weströhre**

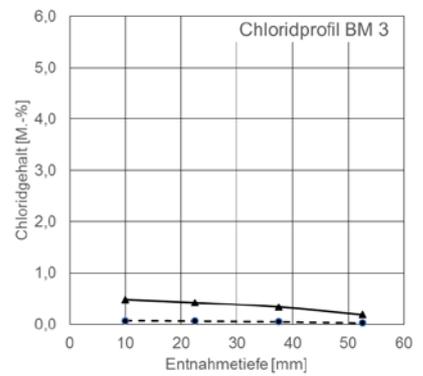
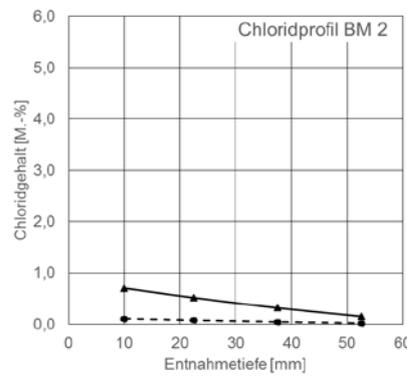
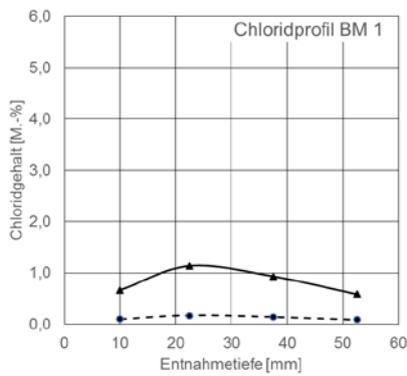
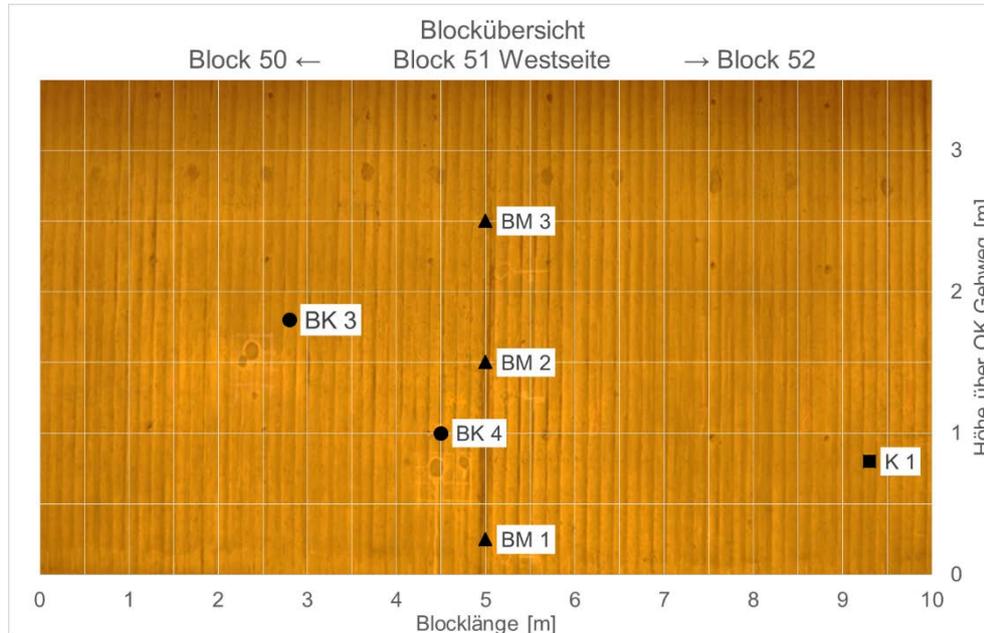


### Grafische Darstellung aufgenommener Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben



Entnahmetiefe [mm]

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



-●- Cl [M.-%Beton]    -▲- Cl [M.-%CEM]

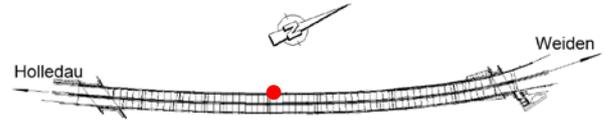
Entnahmetiefe [mm]	0,667 M.-%CEM	0,704 M.-%CEM	0,484 M.-%CEM
0 bis 15 [mm]	0,667 M.-%CEM	0,704 M.-%CEM	0,484 M.-%CEM
15 bis 30 [mm]	1,138 M.-%CEM	0,516 M.-%CEM	0,422 M.-%CEM
30 bis 45 [mm]	0,933 M.-%CEM	0,320 M.-%CEM	0,337 M.-%CEM
45 bis 60 [mm]	0,585 M.-%CEM	0,154 M.-%CEM	0,185 M.-%CEM

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

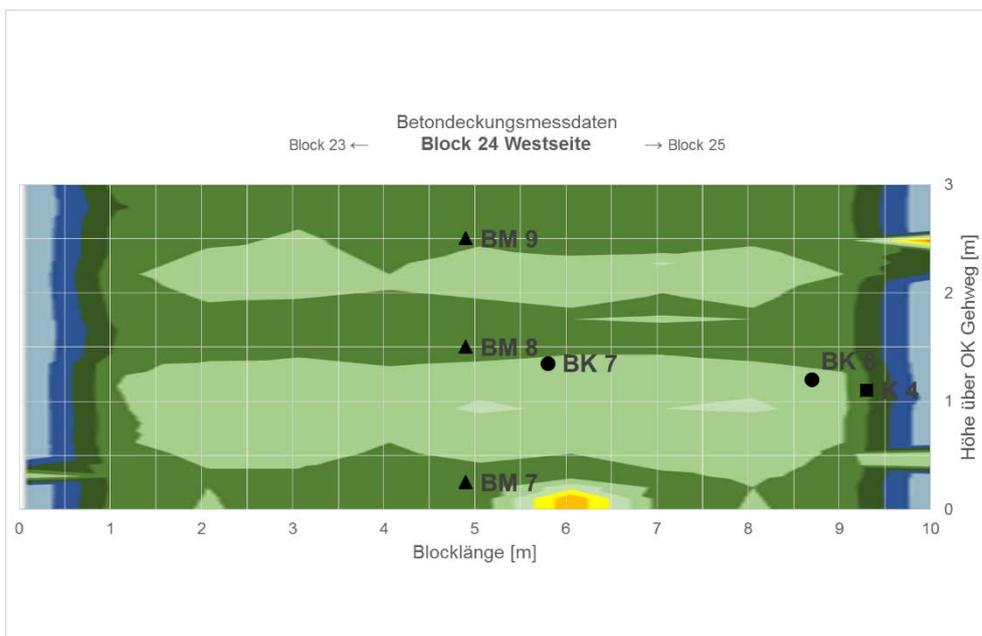
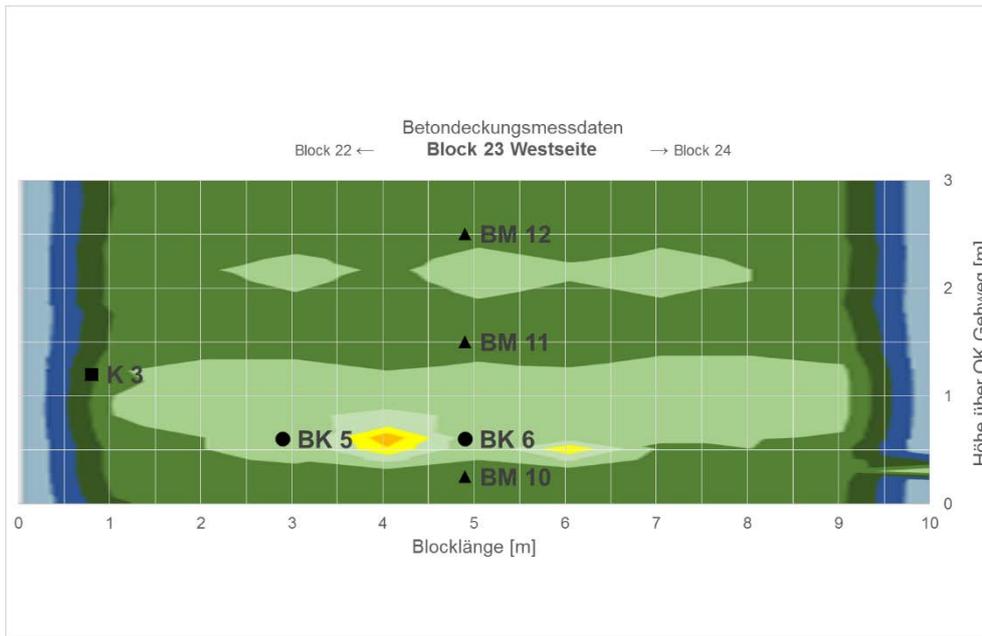
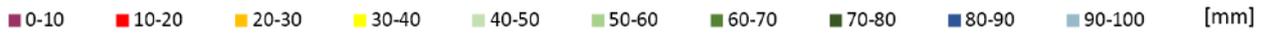
## Anlage 14 Betondeckungsmessung – Tunnel Prüfung

### Prüfung Weströhre

#### Grafische Darstellung aufgenommener Betondeckungsmessdaten



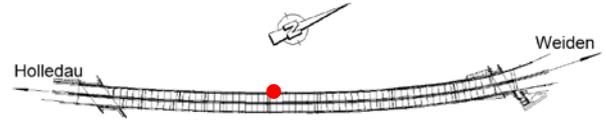
Messlinienabstand (X 1000 mm)



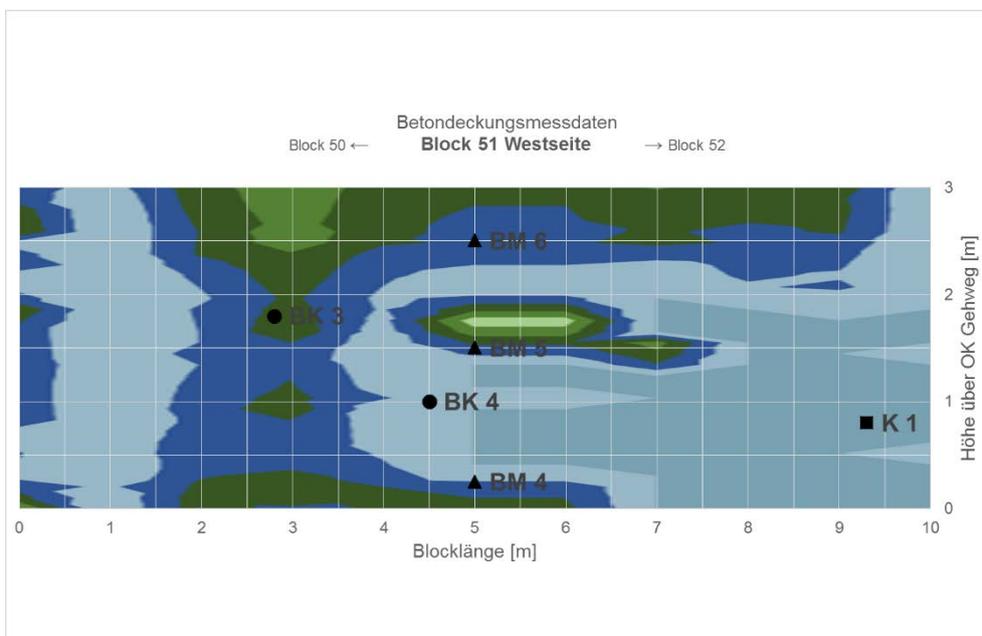
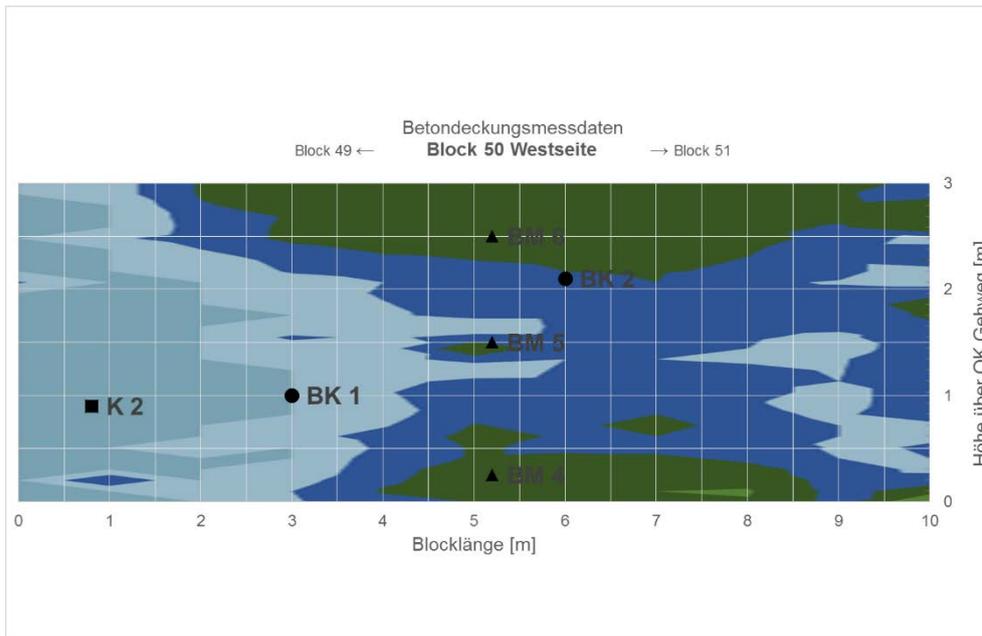
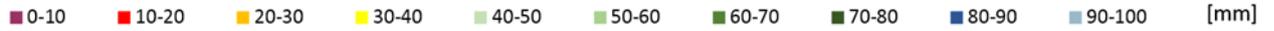
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Prüfung Weströhre**

**Grafische Darstellung aufgenommener  
Betondeckungsmessdaten**



Messlinienabstand (X 1000 mm)



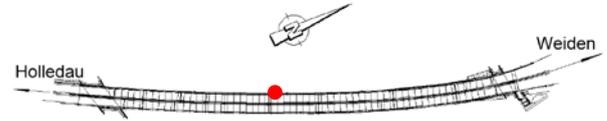
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

## Anlage 15 Potentialfeldmessung – Tunnel Prüfening

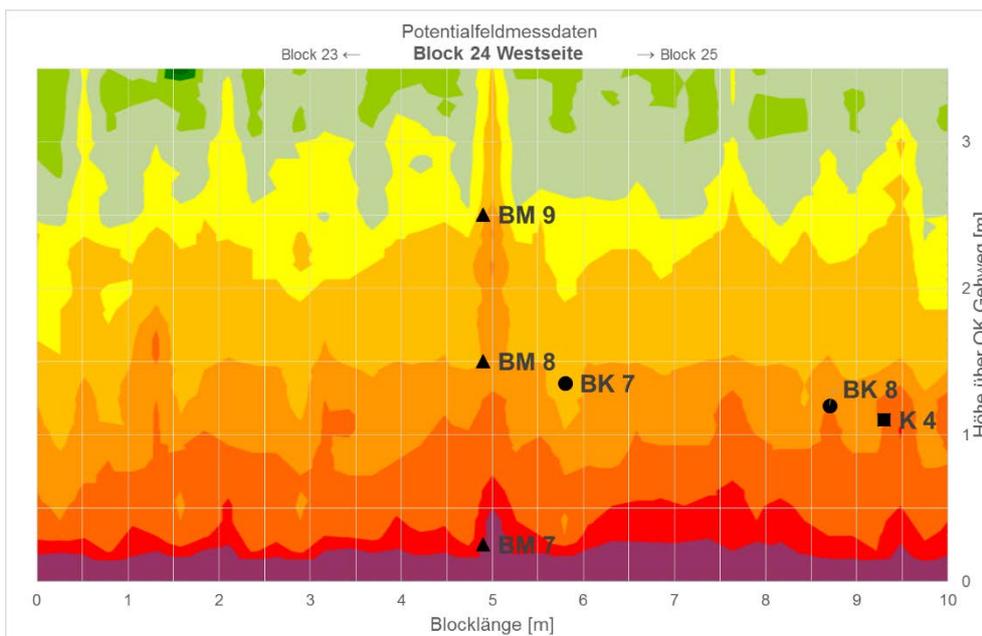
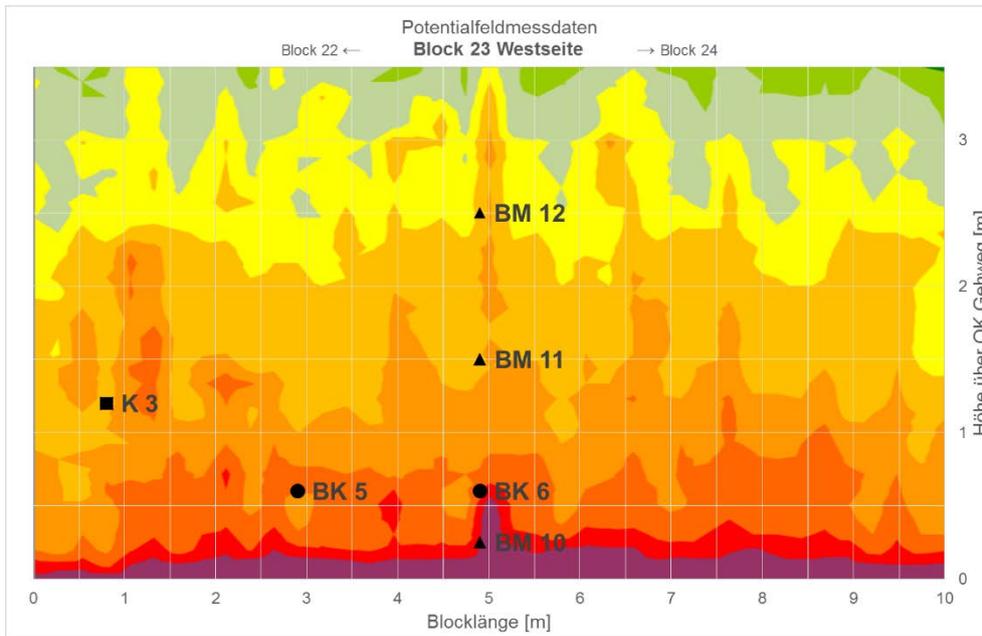
### Prüfening Weströhre

#### Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten

Messraster (X250;Y100 [mm])



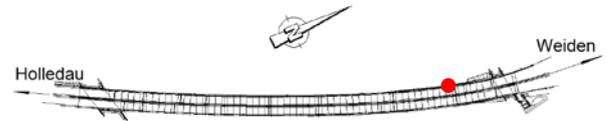
■ -400--360  
 ■ -360--320  
 ■ -320--280  
 ■ -280--240  
 ■ -240--200  
 ■ -200--160  
 ■ -160--120  
 ■ -120--80  
 ■ -80--40  
 ■ -40-0  
 [mV]



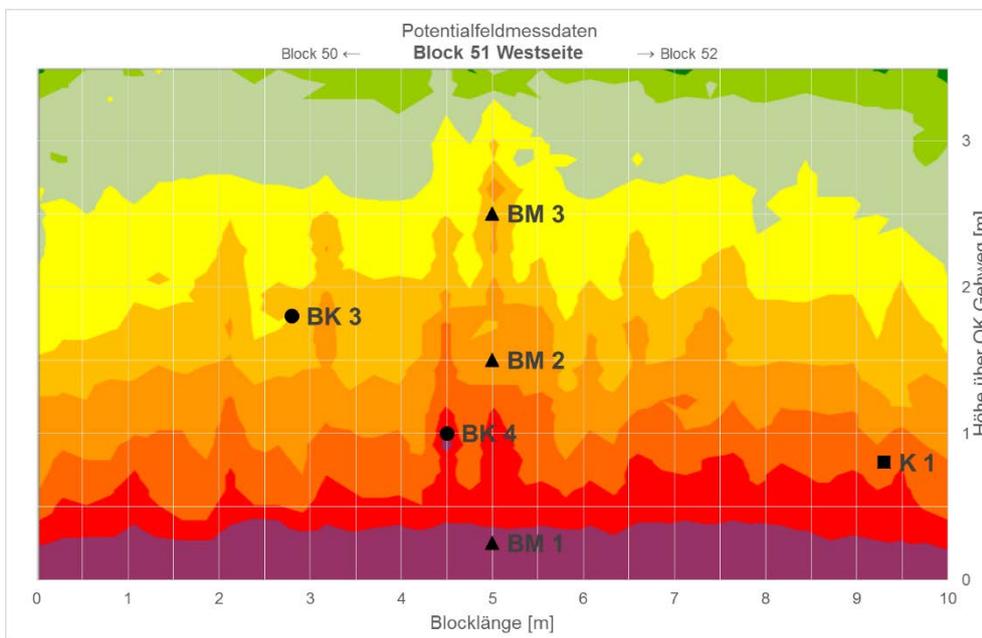
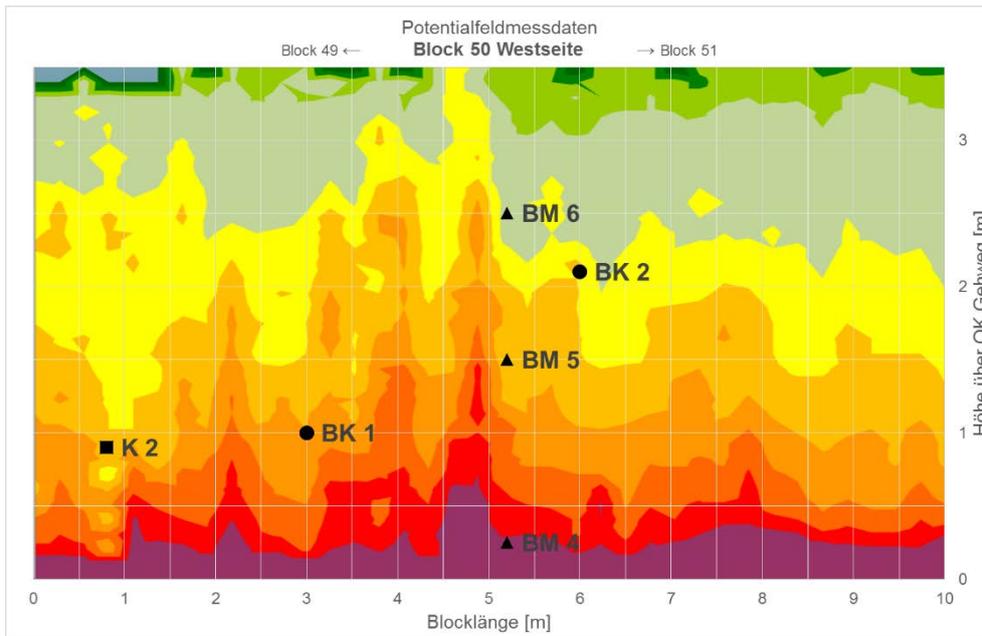
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Prüfung Weströhre**

**Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten**



Messraster (X250;Y100 [mm])



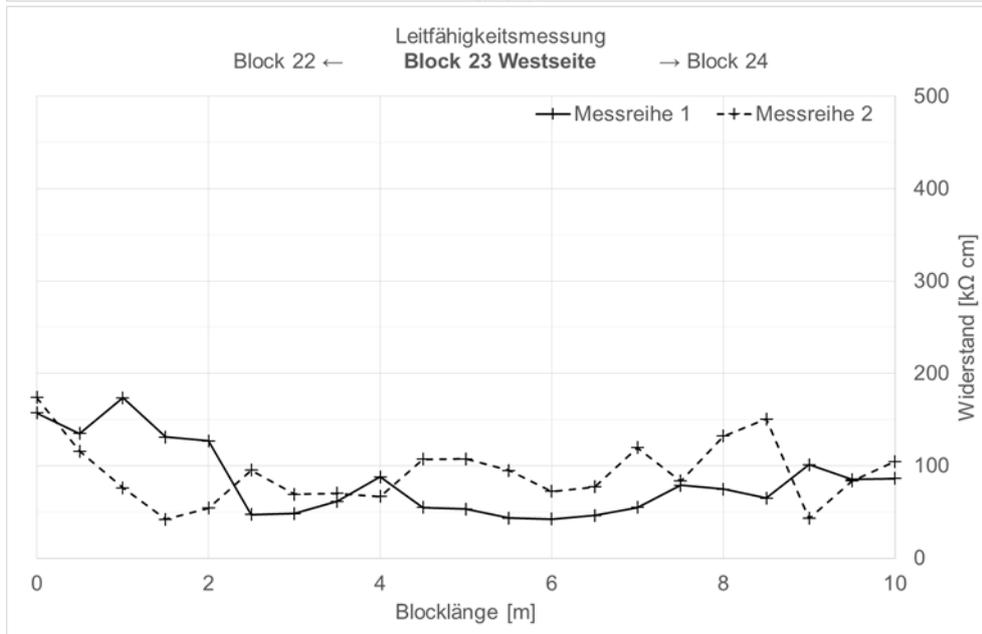
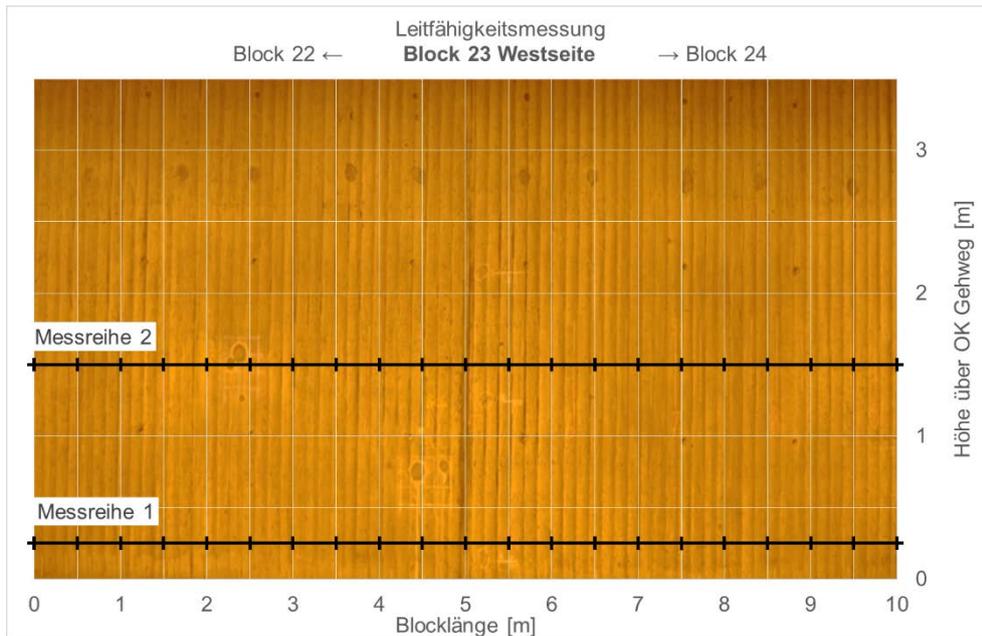
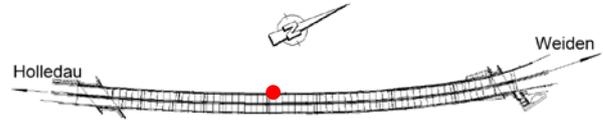
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

## Anlage 16 Leitfähigkeitsmessung Beton – Tunnel Prüfening

### Prüfung Weströhre

#### Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

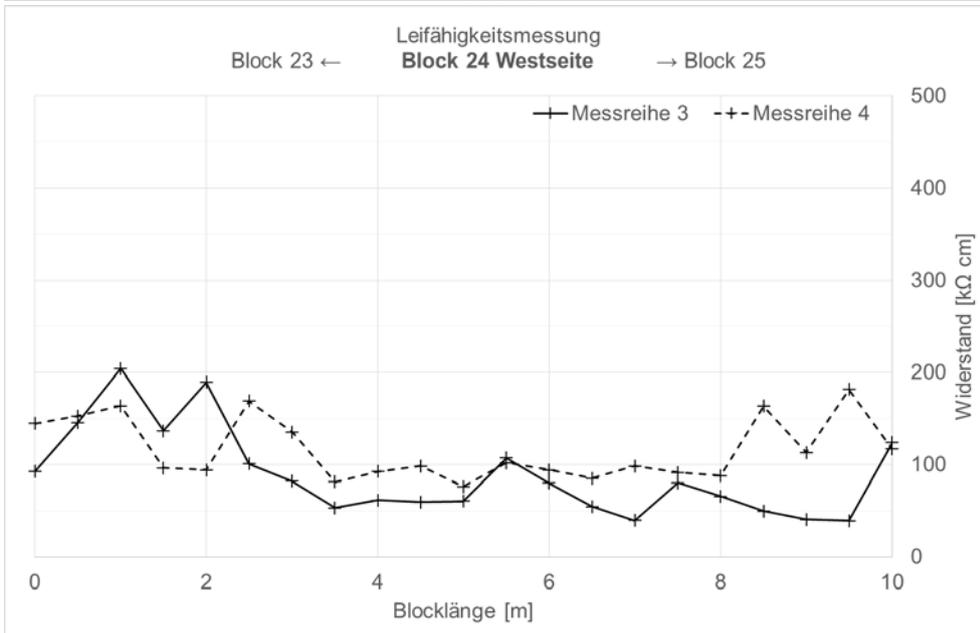
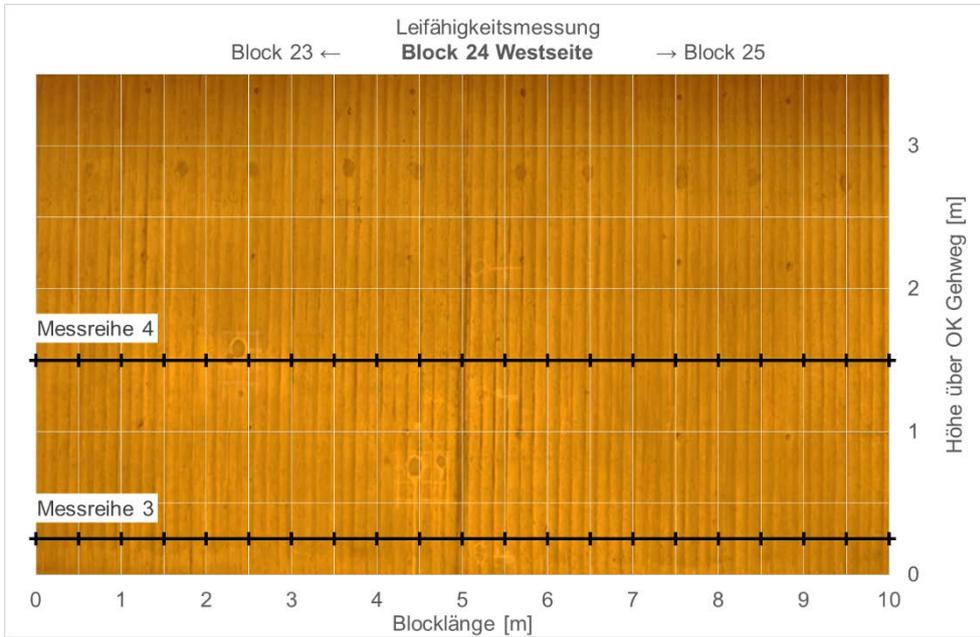
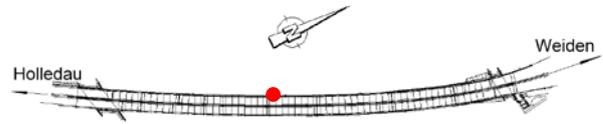


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 1	Messreihe 2
Mittelwert:	83	92
Min:	42	42
Max:	174	174

**Prüfung Weströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche

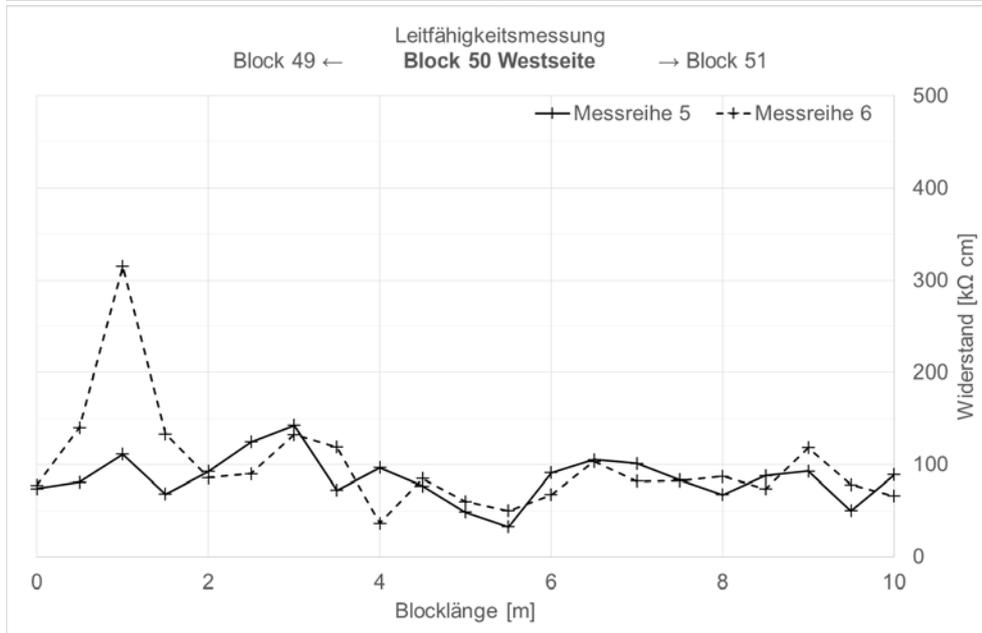
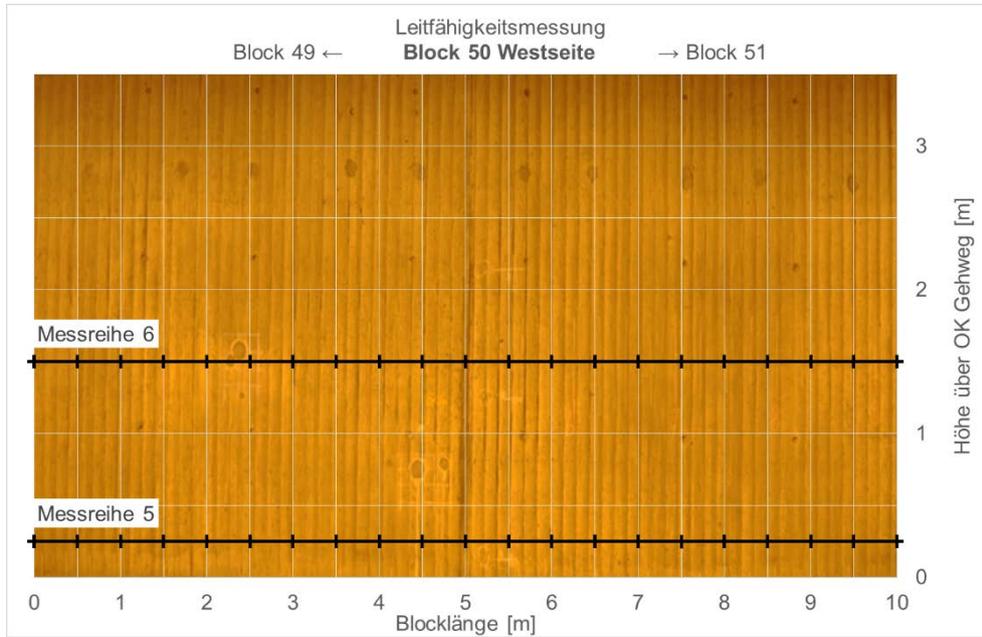
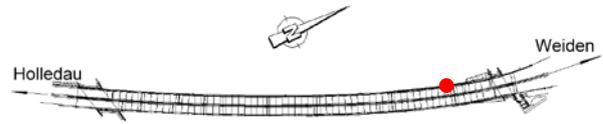


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 3	Messreihe 4
Mittelwert:	89	116
Min:	39	76
Max:	204	182

**Prüfung Weströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche

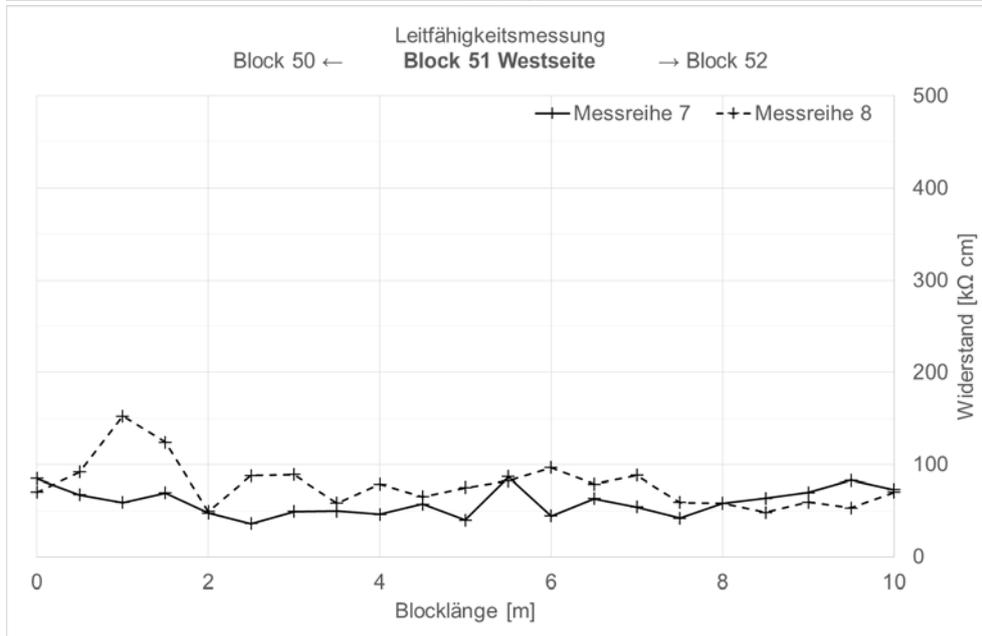
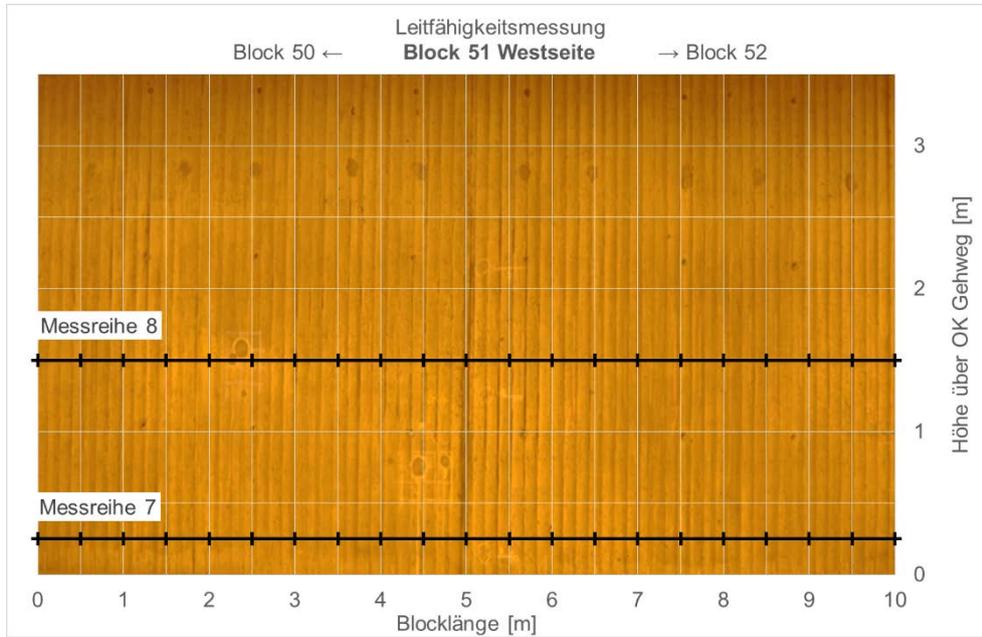
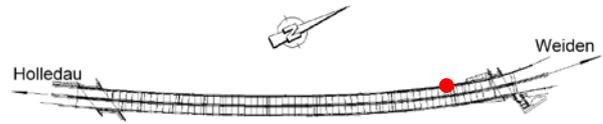


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 5	Messreihe 6
Mittelwert:	85	99
Min:	33	36
Max:	142	315

**Prüfung Weströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche



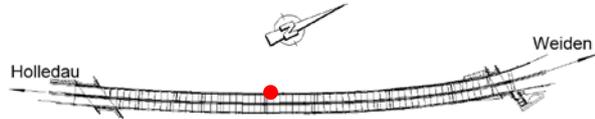
	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]	
	Messreihe 7	Messreihe 8
Mittelwert:	59	78
Min:	36	48
Max:	87	153

## Anlage 17 Permeabilitätsmessung – Tunnel Prüfening

### Prüfung Weströhre

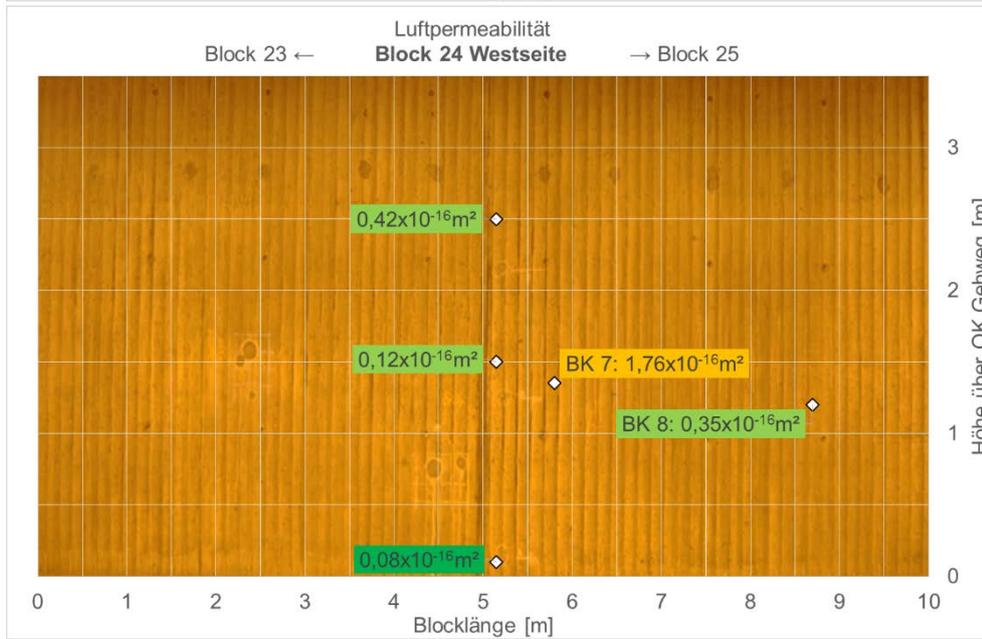
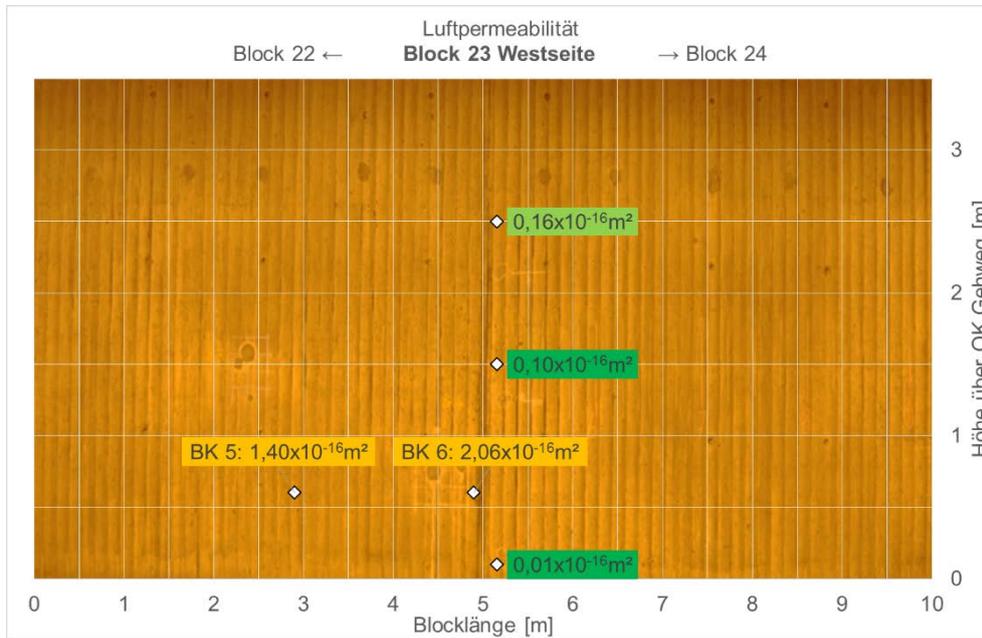
#### Luftpermeabilitätsmesswerte

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



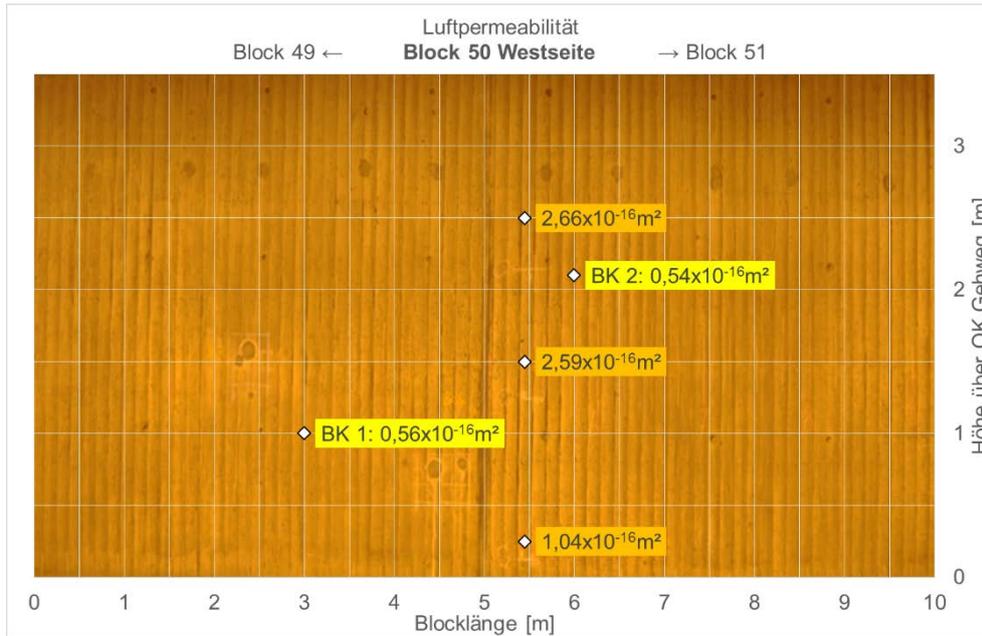
### Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche

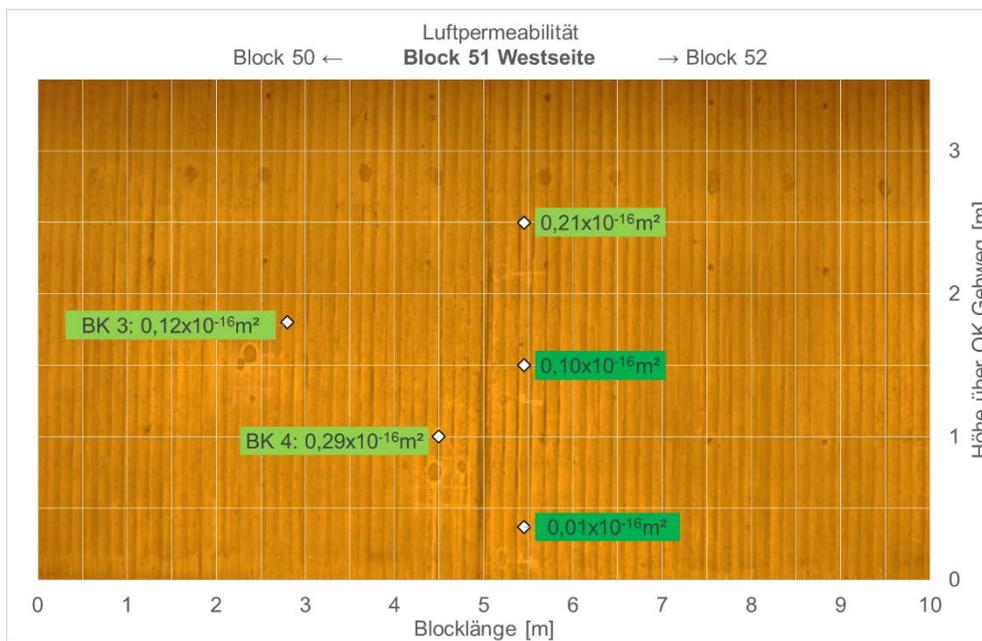


Sehr gut	<0,1 $10^{-16}m^2$	Gut	<0,5 $10^{-16}m^2$	Genügend	<1,0 $10^{-16}m^2$	Schlecht	<10,0 $10^{-16}m^2$	Sehr schlecht	>10,0 $10^{-16}m^2$
----------	-----------------------	-----	-----------------------	----------	-----------------------	----------	------------------------	---------------	------------------------

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



Nr.:	Wert
7	1,04 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
8	2,59 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
9	2,66 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
BK 1	0,56 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
BK 2	0,54 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>

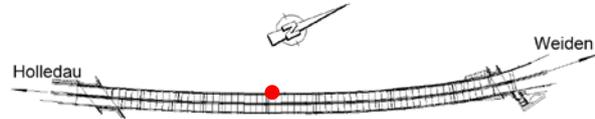


Nr.:	Wert
10	0,01 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
11	0,10 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
12	0,21 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
BK 3	0,12 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
BK 4	0,29 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>

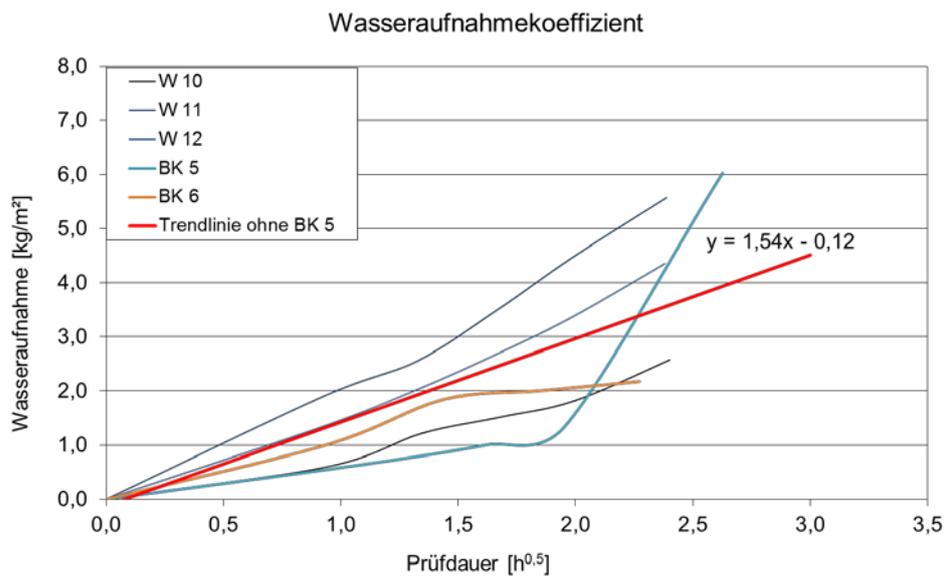
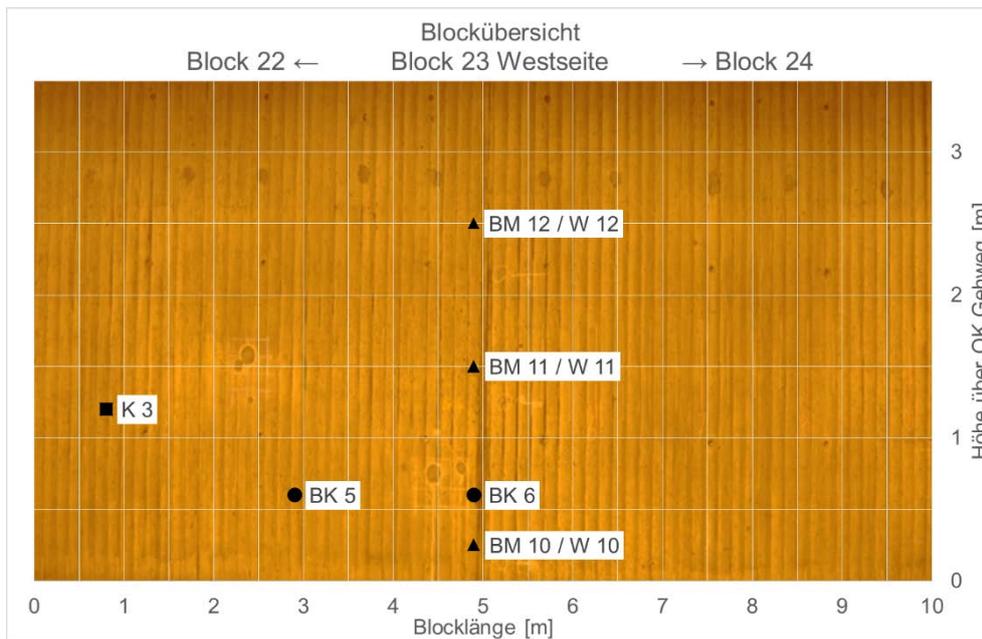
## Anlage 18 kapillare Wasseraufnahme – Tunnel Prüfening

### Prüfung Weströhre

kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche



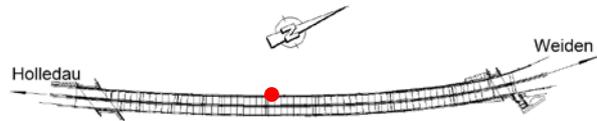
Karstensisches Röhrrchen



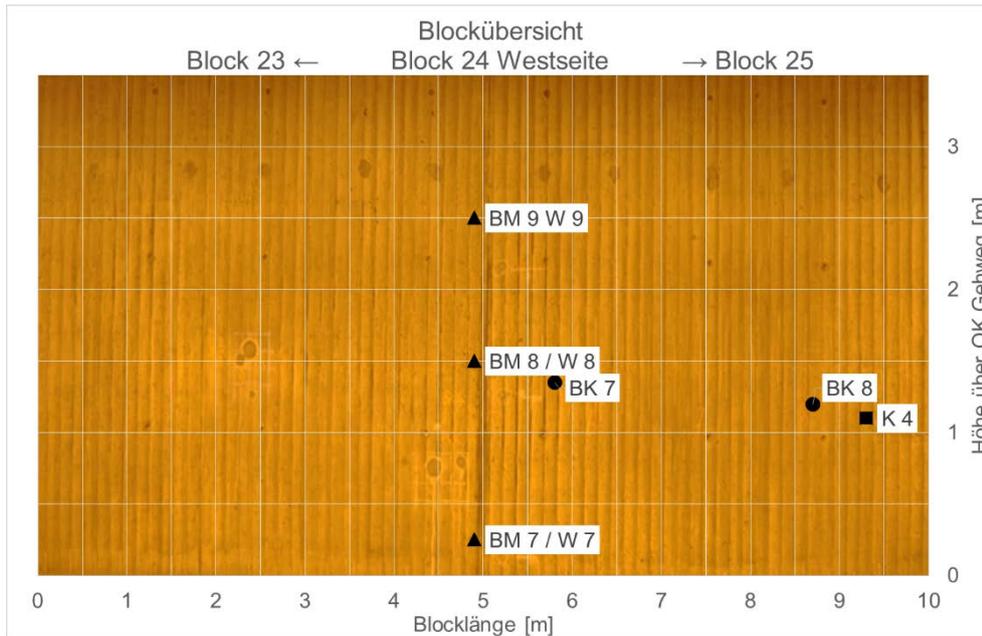
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Prüfung Weströhre**

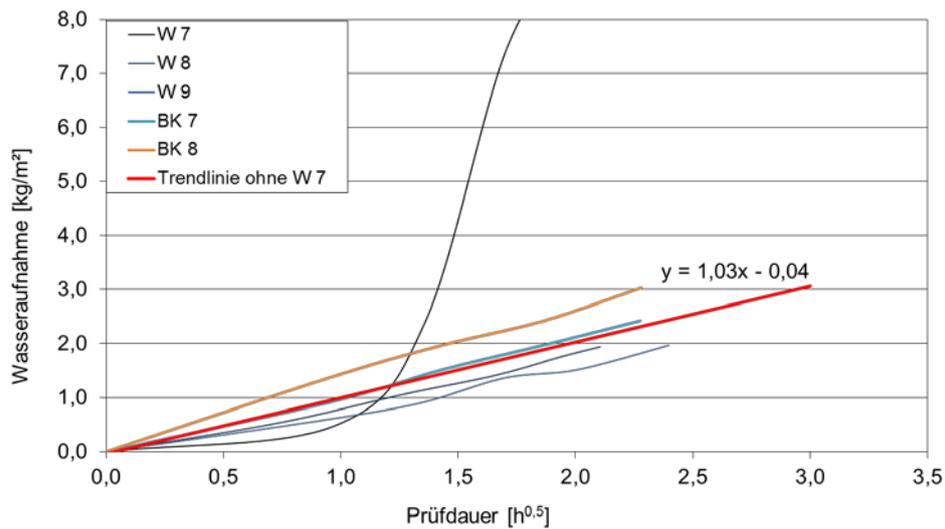
**kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche**



**Karstensisches Röhrcchen**



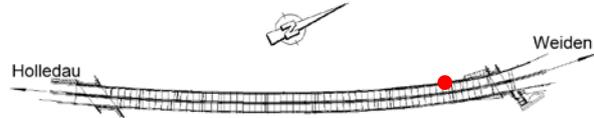
**Wasseraufnahmekoeffizient**



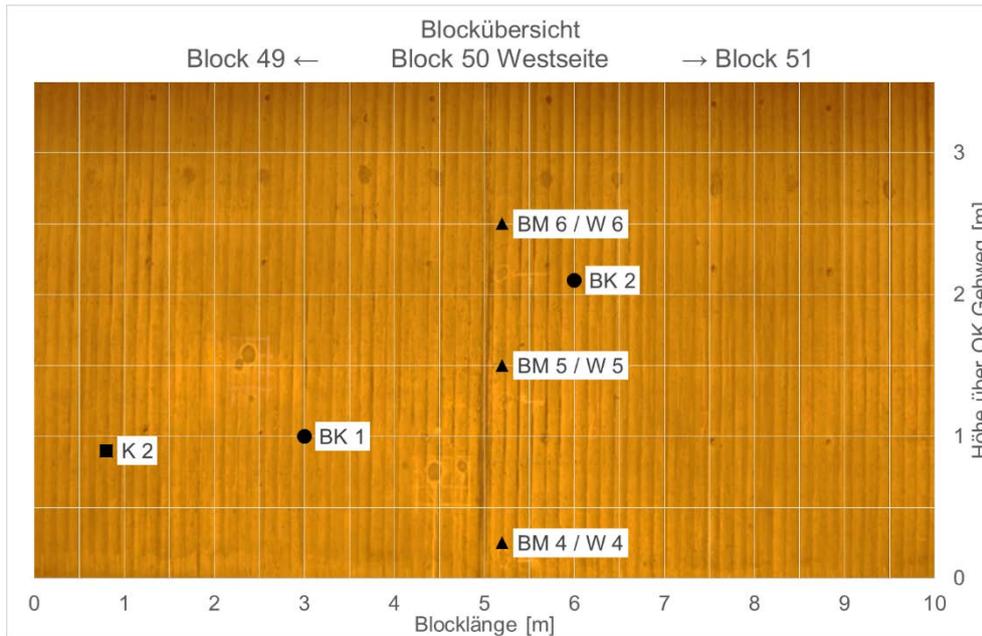
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Prüfung Weströhre**

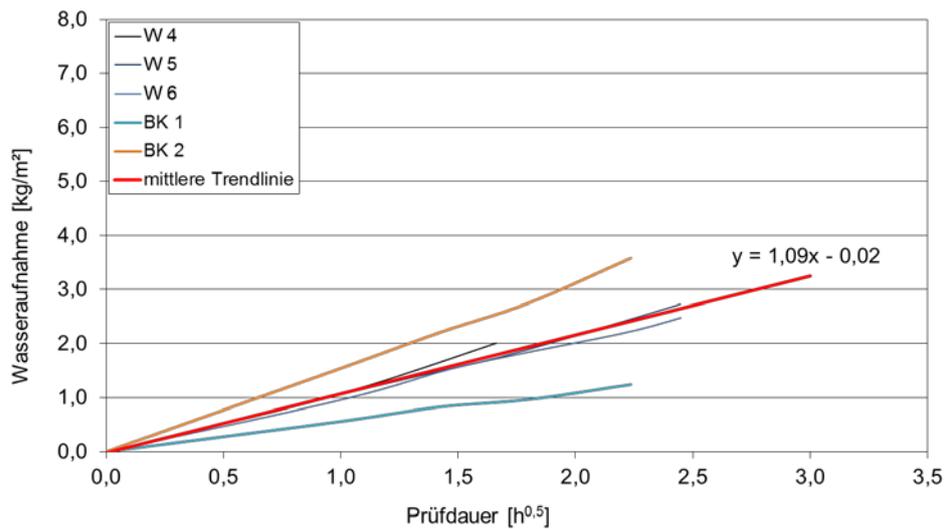
**kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche**



**Karstensesches Röhrrchen**



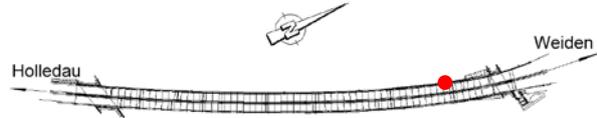
**Wasseraufnahmekoeffizient**



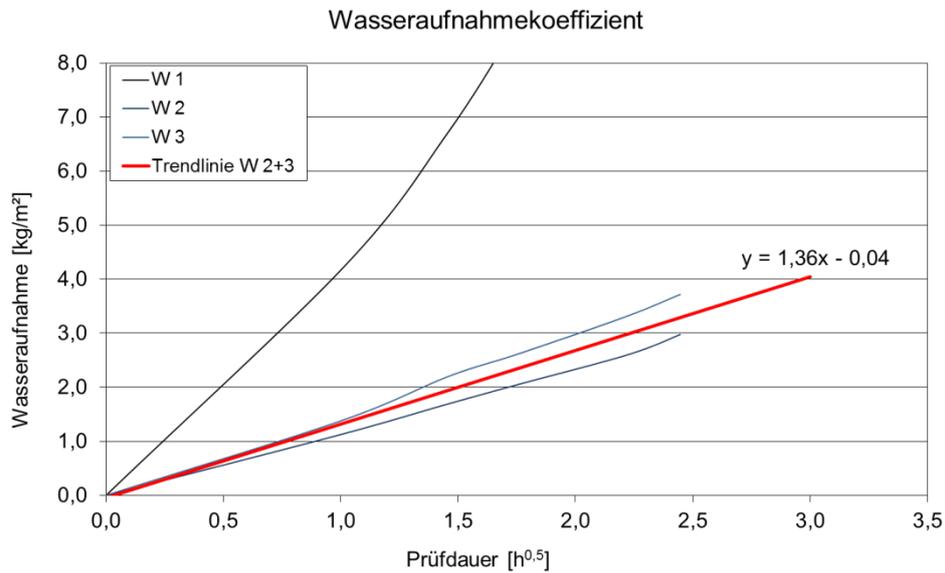
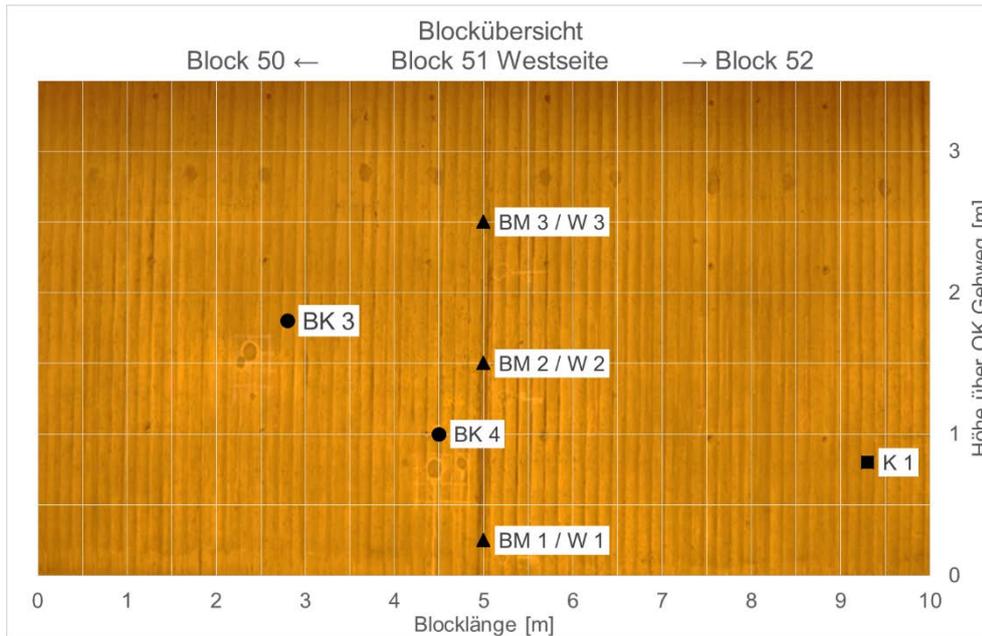
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Prüfung Weströhre**

**kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche**



**Karstensches Röhren**



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

## Anlage 19 Korrosionszustand der Bewehrung – Tunnel Prüfening

### Prüfening Weströhre

#### Fotodokumentation

#### Korrosionszustand der Bewehrung

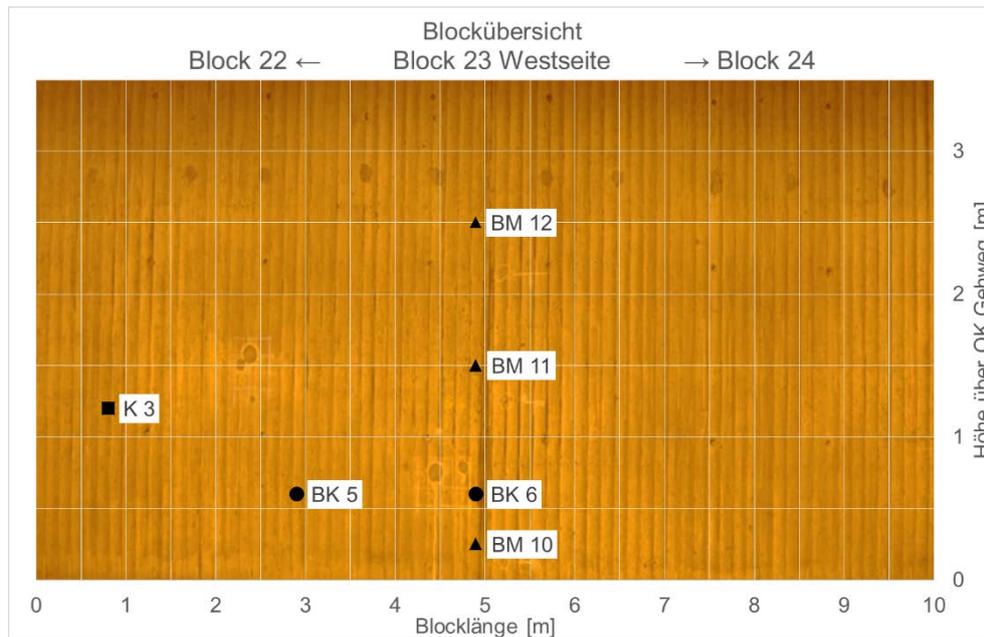
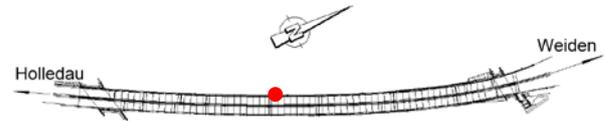


Bild 1: Stelle BK 5  
ohne Korrosion



Bild 2: Stelle BK 6  
in Teilflächen angerostet

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

**Prüfung Weströhre**

**Fotodokumentation**

**Korrosionszustand der Bewehrung**

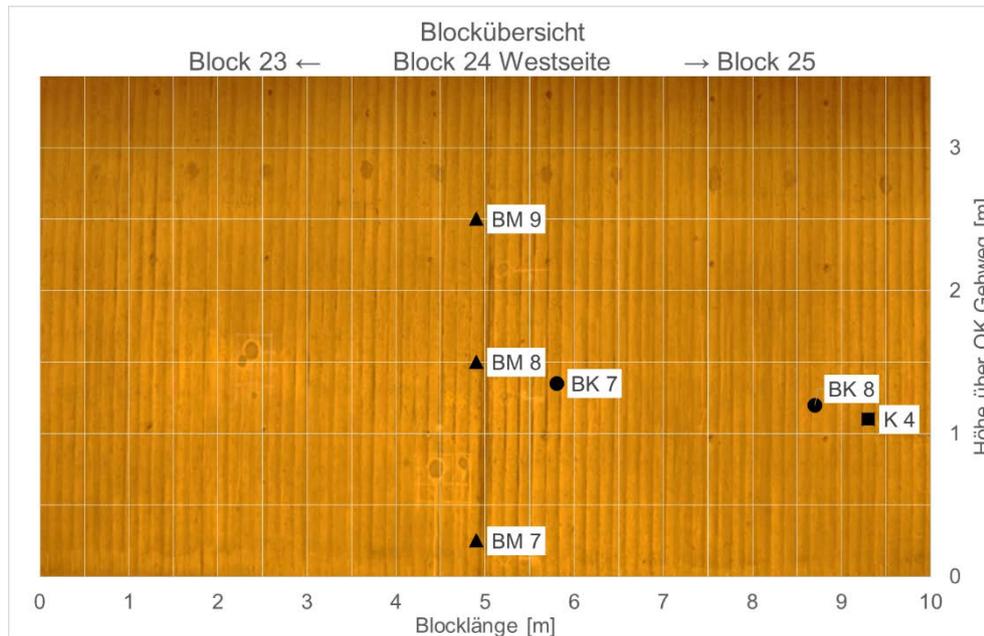
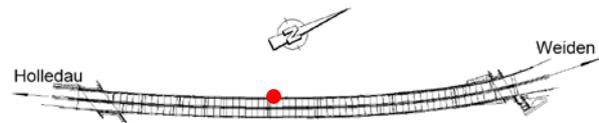


Bild 3: Stelle BK 7  
ohne Korrosion



Bild 4: Stelle BK 8  
in Teilflächen angerostet

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

**Prüfung Weströhre**

**Fotodokumentation**

**Korrosionszustand der Bewehrung**

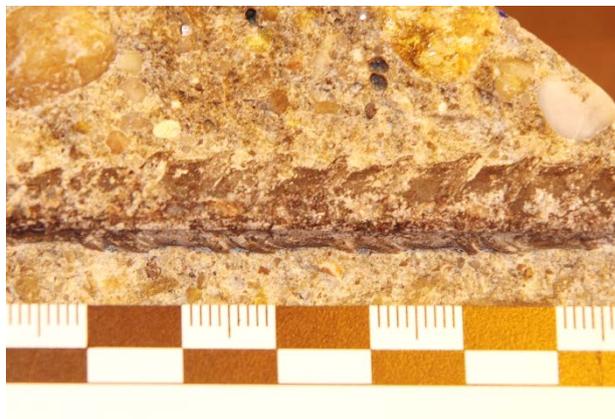
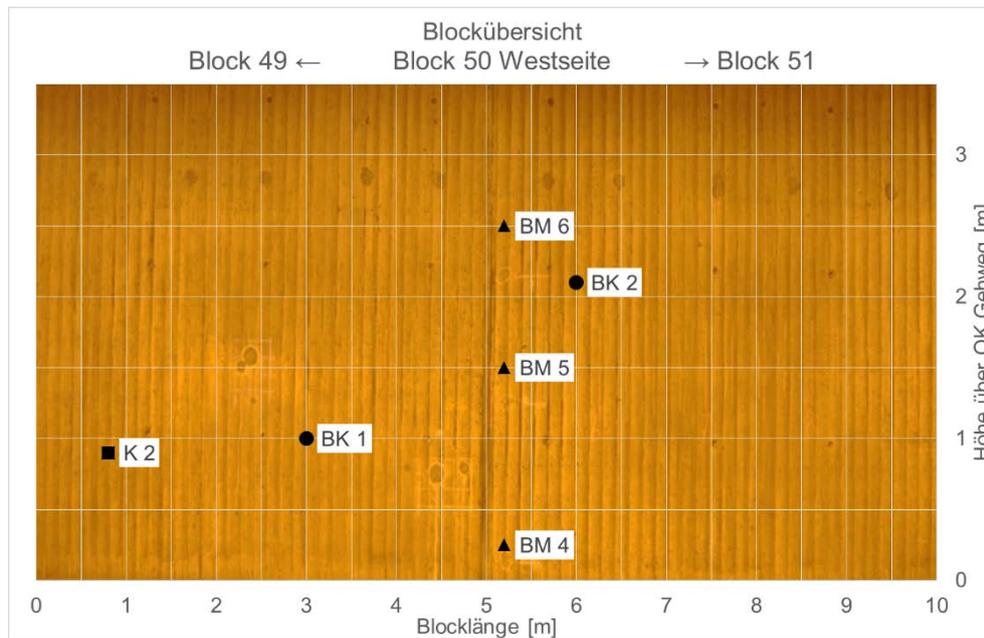
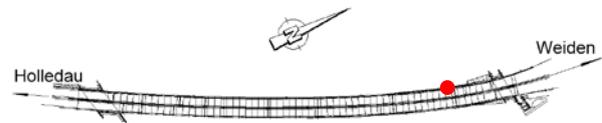


Bild 5: Stelle BK 1  
ohne Korrosion



Bild 6: Stelle BK 2  
ohne Korrosion

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

## Prüfung Weströhre

### Fotodokumentation

### Korrosionszustand der Bewehrung

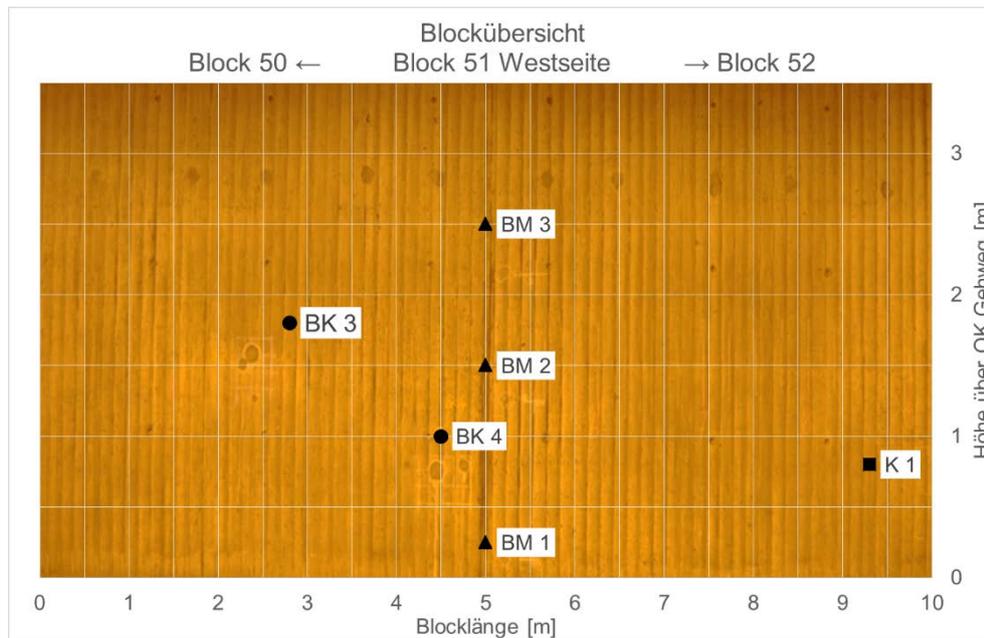
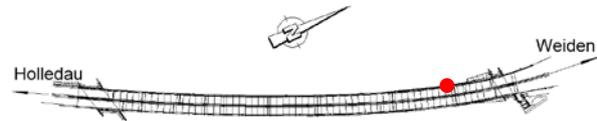


Bild 7: Stelle BK 3  
ohne Korrosion



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

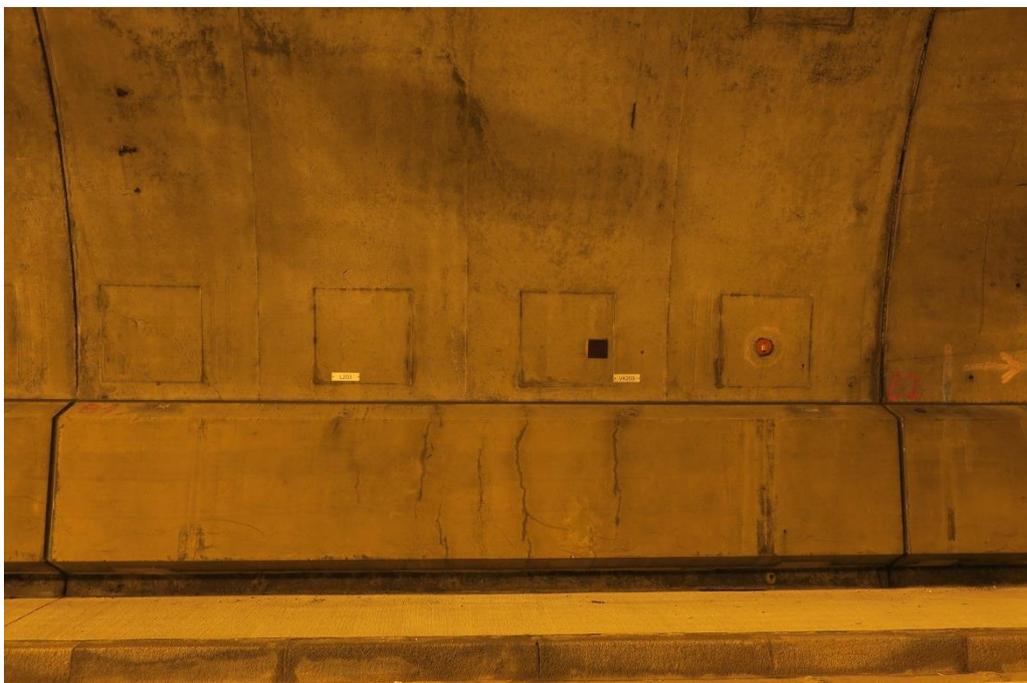


Bild 6 Tunnelschale Block 81, Ostseite



Bild 7 Tunnelschale Block 81, Westseite

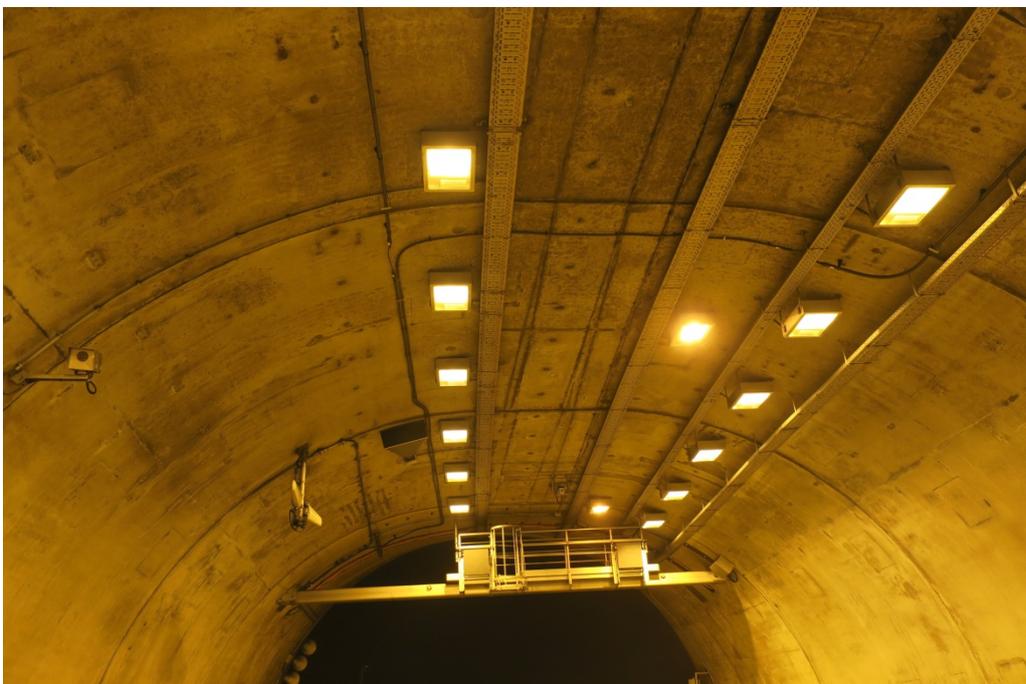


Bild 8 Firste, Bereich um Block 86



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

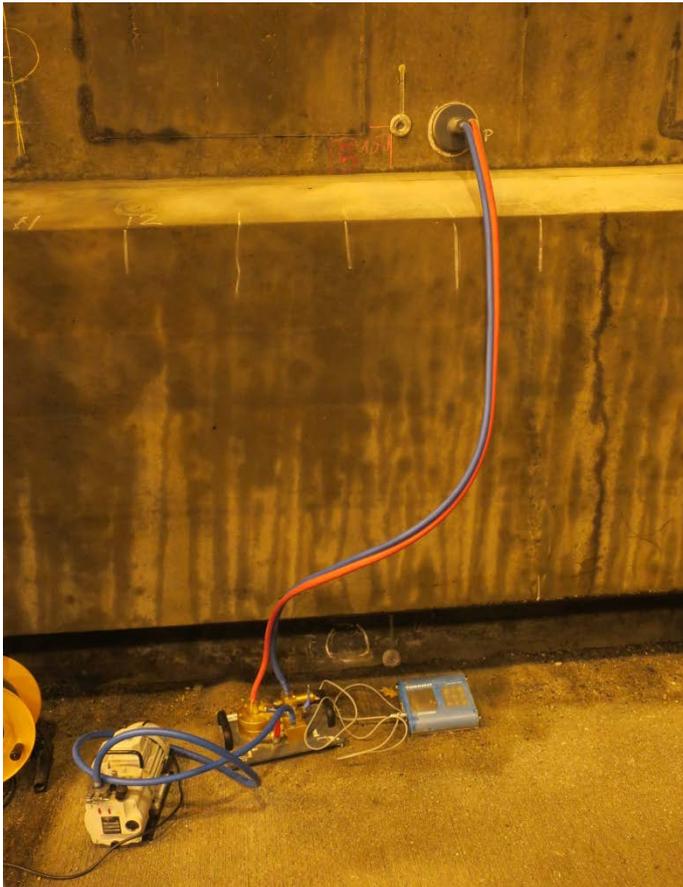


Bild 15 Messung der Luftpermeabilität und der kapillaren Wasseraufnahme

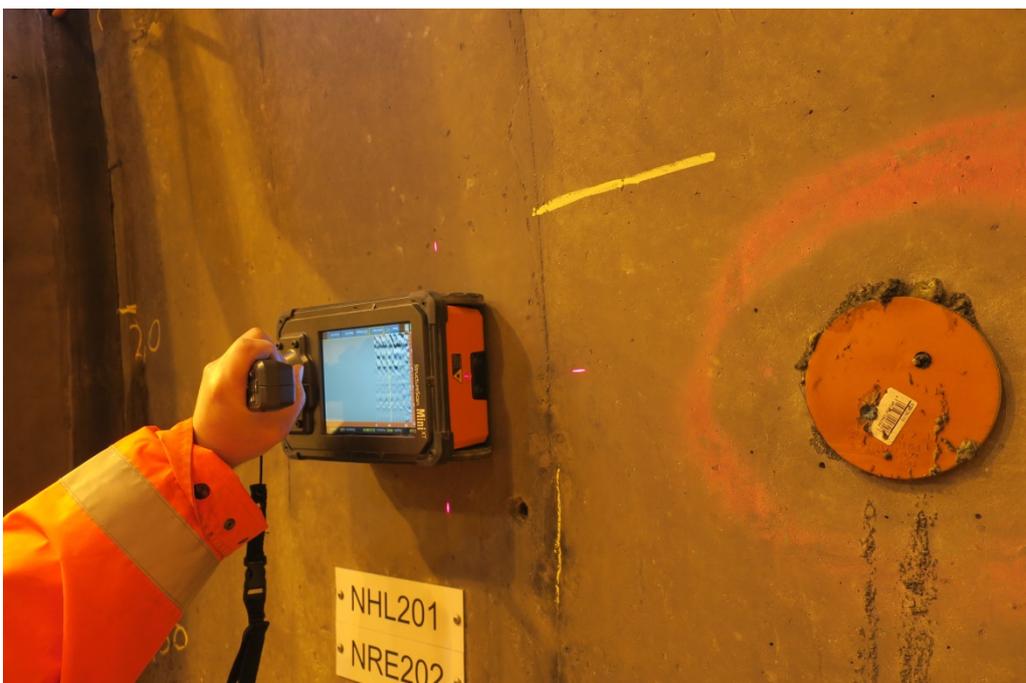


Bild 16 Bewehrungsortung mit Radar

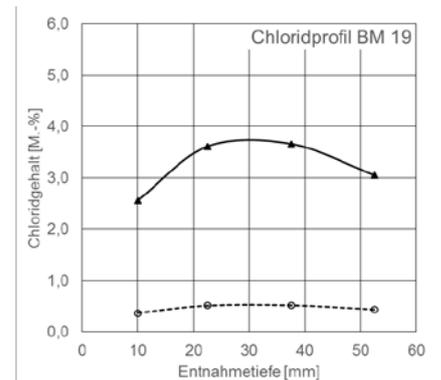
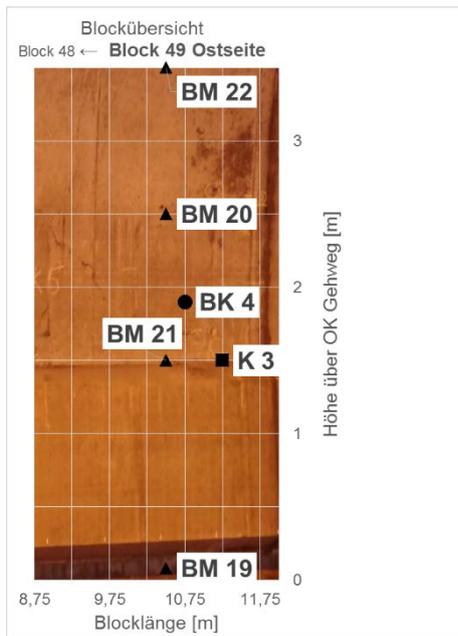
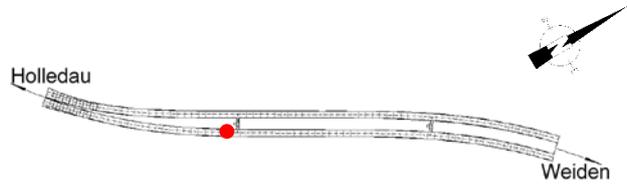
## Anlage 21 Chloridgehalt des Betons – Tunnel Pfaffenstein

### Pfaffenstein Oströhre

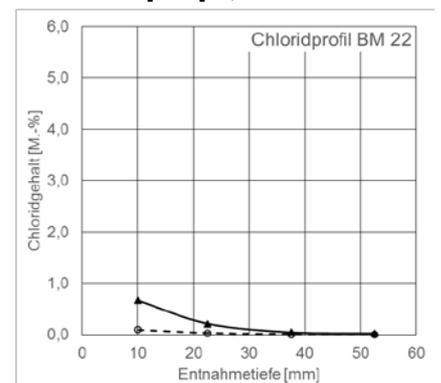
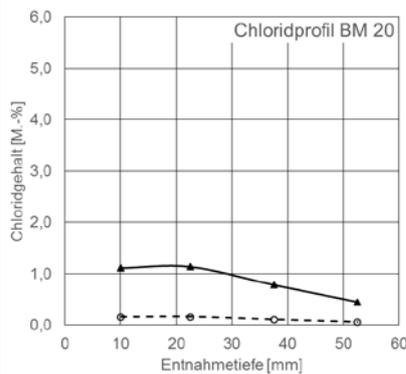
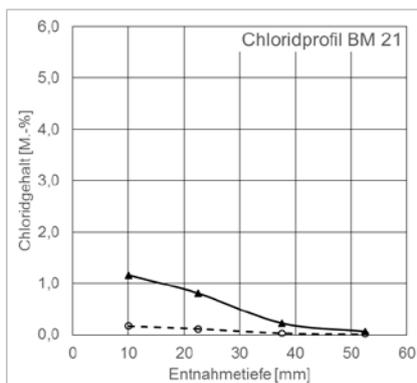
#### Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

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



0 bis 15 [mm] 2,562 M.-%<sub>CEM</sub>  
 15 bis 30 [mm] 3,614 M.-%<sub>CEM</sub>  
 30 bis 45 [mm] 3,664 M.-%<sub>CEM</sub>  
 45 bis 60 [mm] 3,052 M.-%<sub>CEM</sub>



- ○ - Cl [M.-%<sub>Beton</sub>]    —▲— Cl [M.-%<sub>CEM</sub>]

0 bis 15 [mm] 1,159 M.-%<sub>CEM</sub>  
 15 bis 30 [mm] 0,802 M.-%<sub>CEM</sub>  
 30 bis 45 [mm] 0,223 M.-%<sub>CEM</sub>  
 45 bis 60 [mm] 0,065 M.-%<sub>CEM</sub>

1,110 M.-%<sub>CEM</sub>  
 1,134 M.-%<sub>CEM</sub>  
 0,783 M.-%<sub>CEM</sub>  
 0,452 M.-%<sub>CEM</sub>

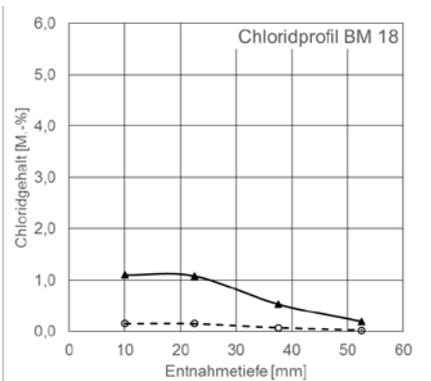
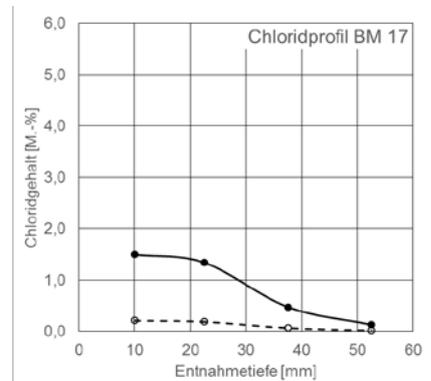
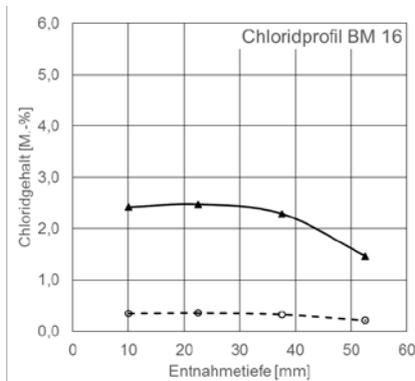
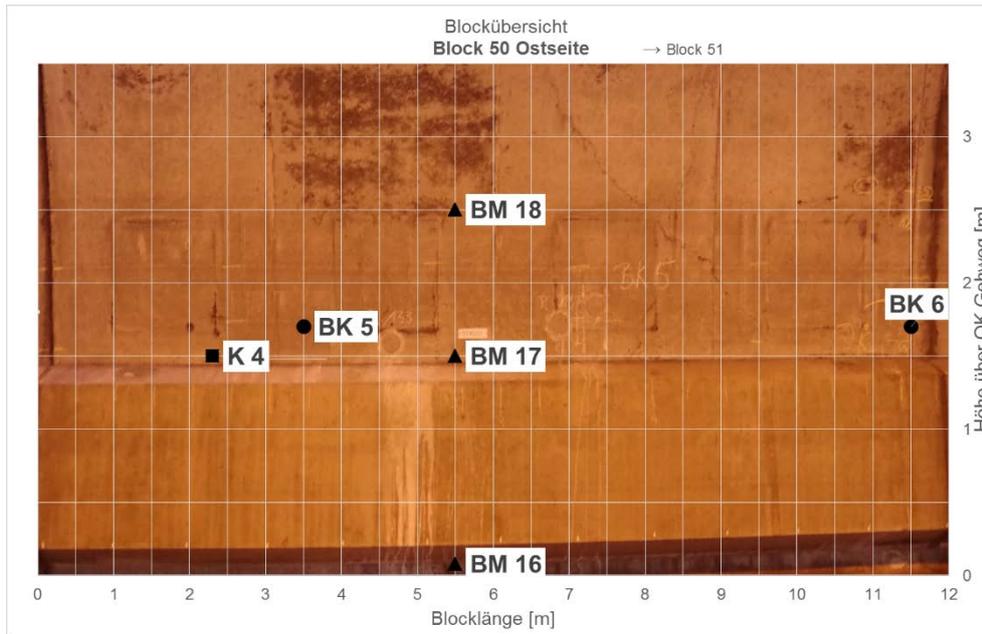
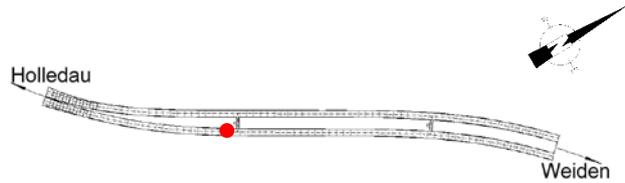
0,667 M.-%<sub>CEM</sub>  
 0,214 M.-%<sub>CEM</sub>  
 0,045 M.-%<sub>CEM</sub>  
 0,024 M.-%<sub>CEM</sub>

- 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

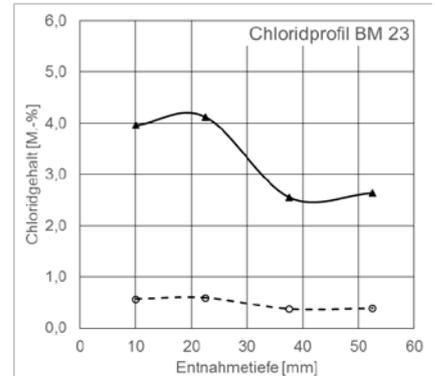
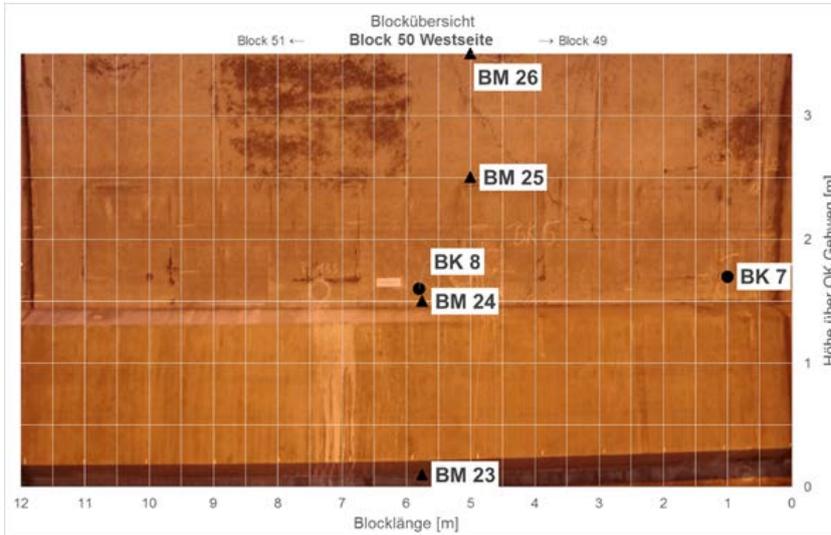
**Pfaffenstein Oströhre**



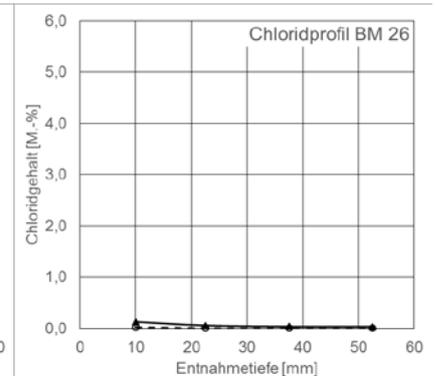
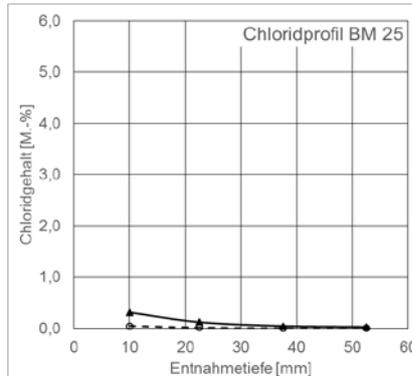
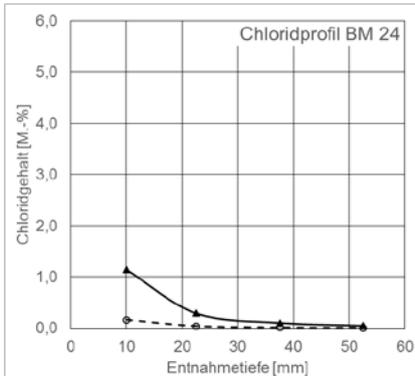
### Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

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



0 bis 15 [mm]	3,952 M.-% <sub>CEM</sub>
15 bis 30 [mm]	4,117 M.-% <sub>CEM</sub>
30 bis 45 [mm]	2,553 M.-% <sub>CEM</sub>
45 bis 60 [mm]	2,634 M.-% <sub>CEM</sub>



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

0 bis 15 [mm]	1,142 M.-% <sub>CEM</sub>	0,311 M.-% <sub>CEM</sub>	0,130 M.-% <sub>CEM</sub>
15 bis 30 [mm]	0,290 M.-% <sub>CEM</sub>	0,122 M.-% <sub>CEM</sub>	0,059 M.-% <sub>CEM</sub>
30 bis 45 [mm]	0,102 M.-% <sub>CEM</sub>	0,046 M.-% <sub>CEM</sub>	0,035 M.-% <sub>CEM</sub>
45 bis 60 [mm]	0,047 M.-% <sub>CEM</sub>	0,029 M.-% <sub>CEM</sub>	0,035 M.-% <sub>CEM</sub>

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

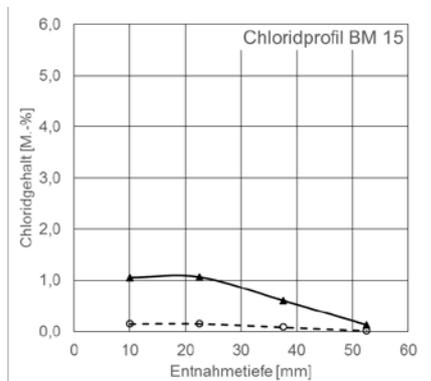
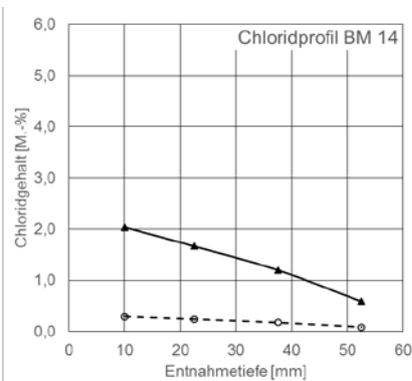
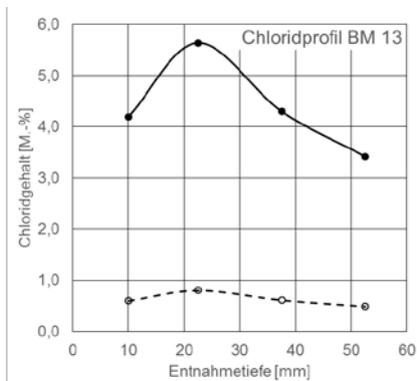
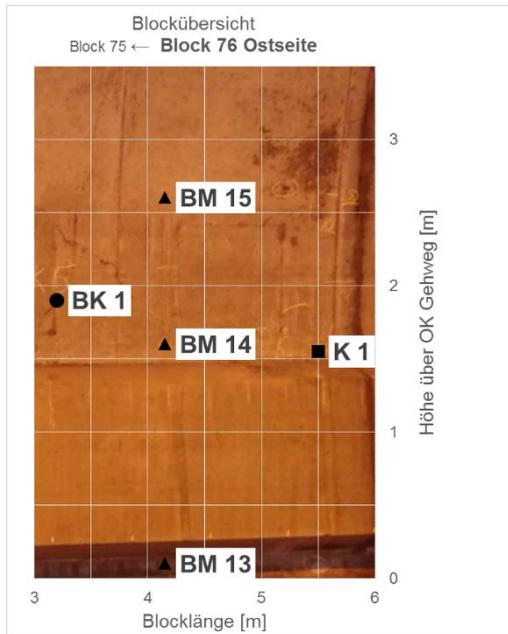
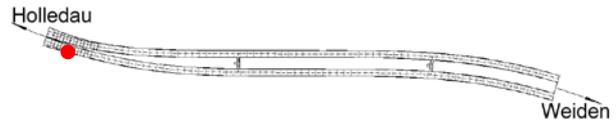
### Pfaffenstein Oströhre



## Chloridprofile aus entnommenen Bohrmehlproben

Entnahmetiefe [mm]

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



—○— 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

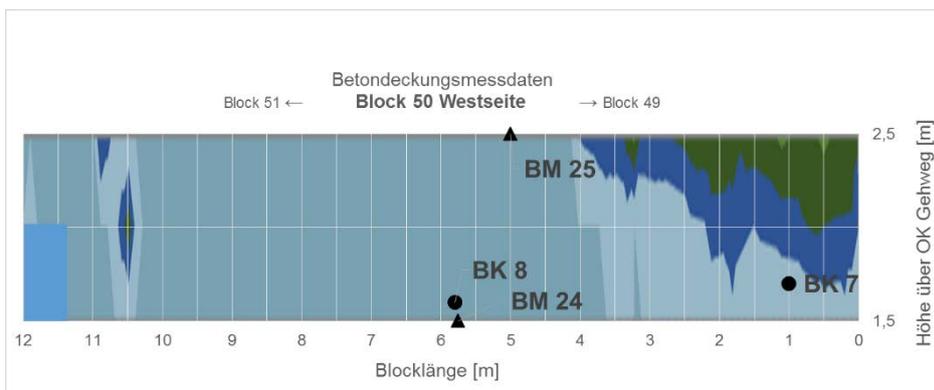
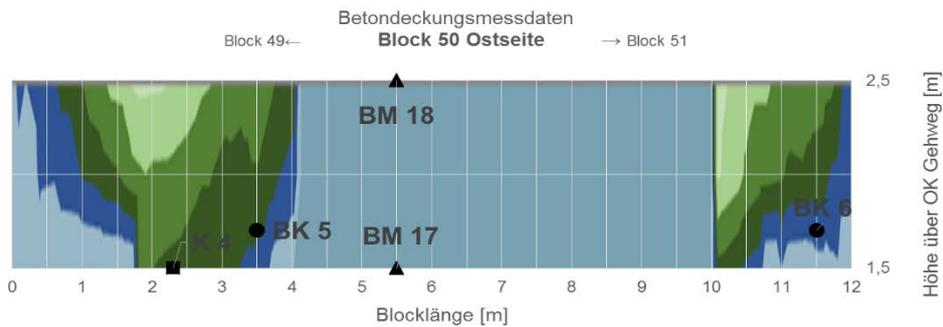
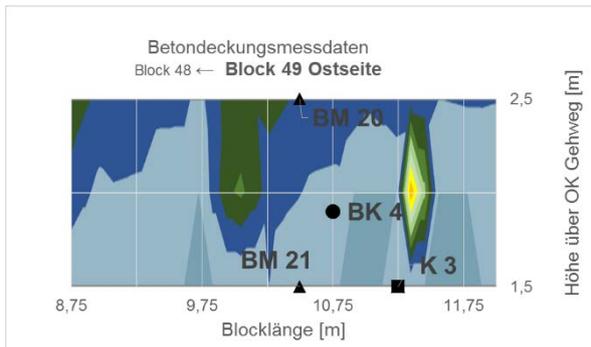
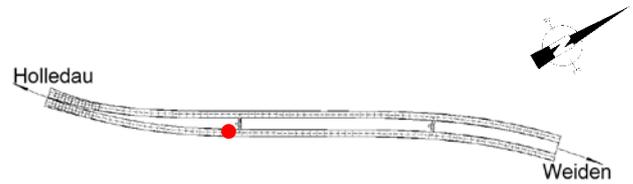
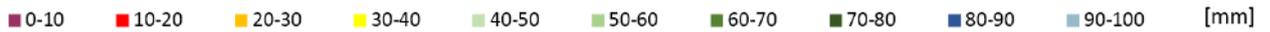
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

## Anlage 22 Betondeckungsmessung – Tunnel Pfaffenstein

### Pfaffenstein Oströhre

#### Grafische Darstellung aufgenommener Betondeckungsmessdaten

Messlinienabstand (Y 500 mm)

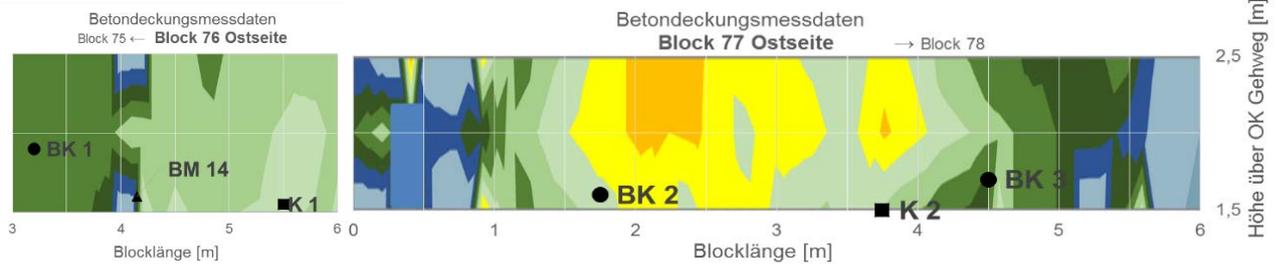
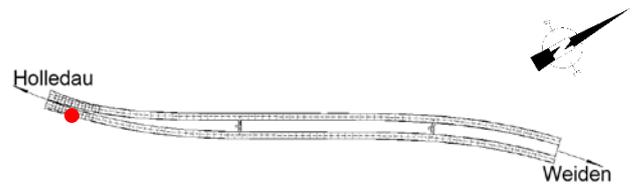


- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

## Pfaffenstein Oströhre

### Grafische Darstellung aufgenommener Betondeckungsmessdaten

Messlinienabstand (Y 500 mm)



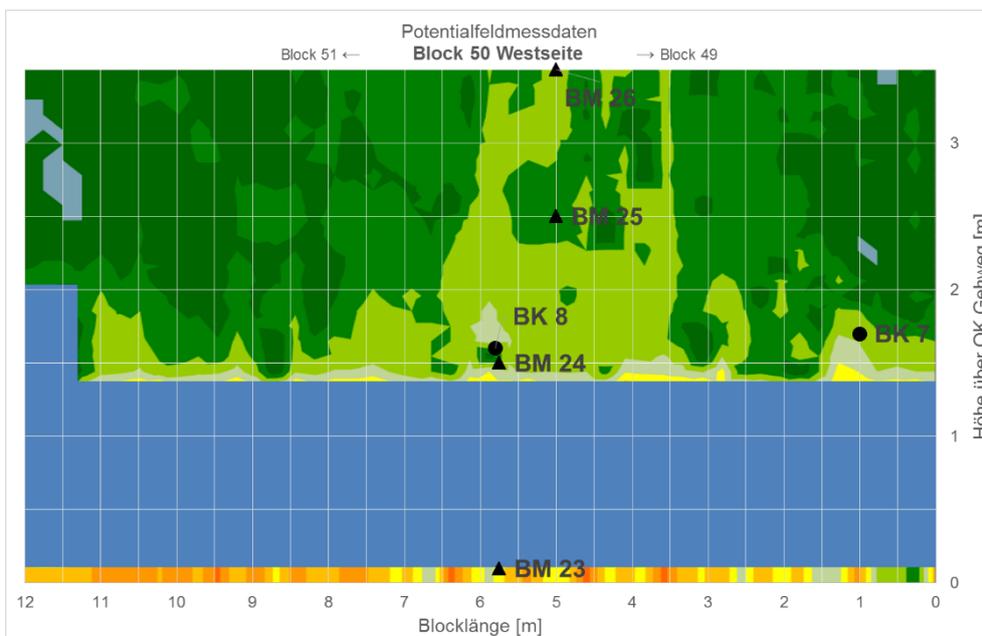
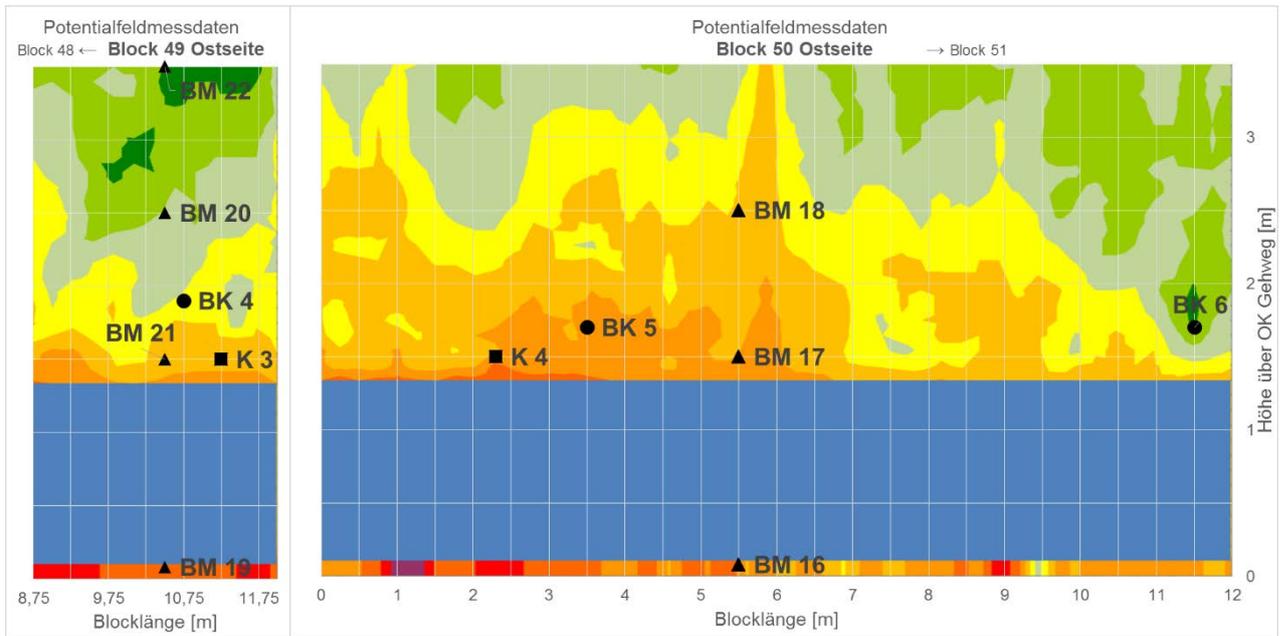
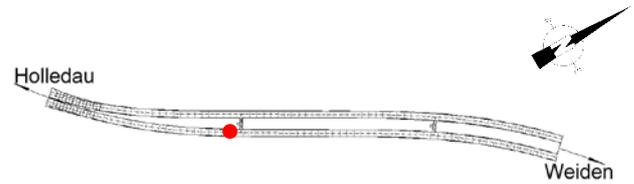
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

## Anlage 23 Potentialfeldmessung – Tunnel Pfaffenstein

### Pfaffenstein Oströhre

#### Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten

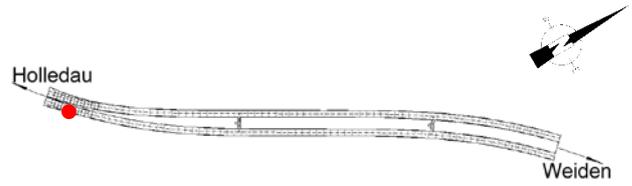
Messraster (X250;Y100 [mm])



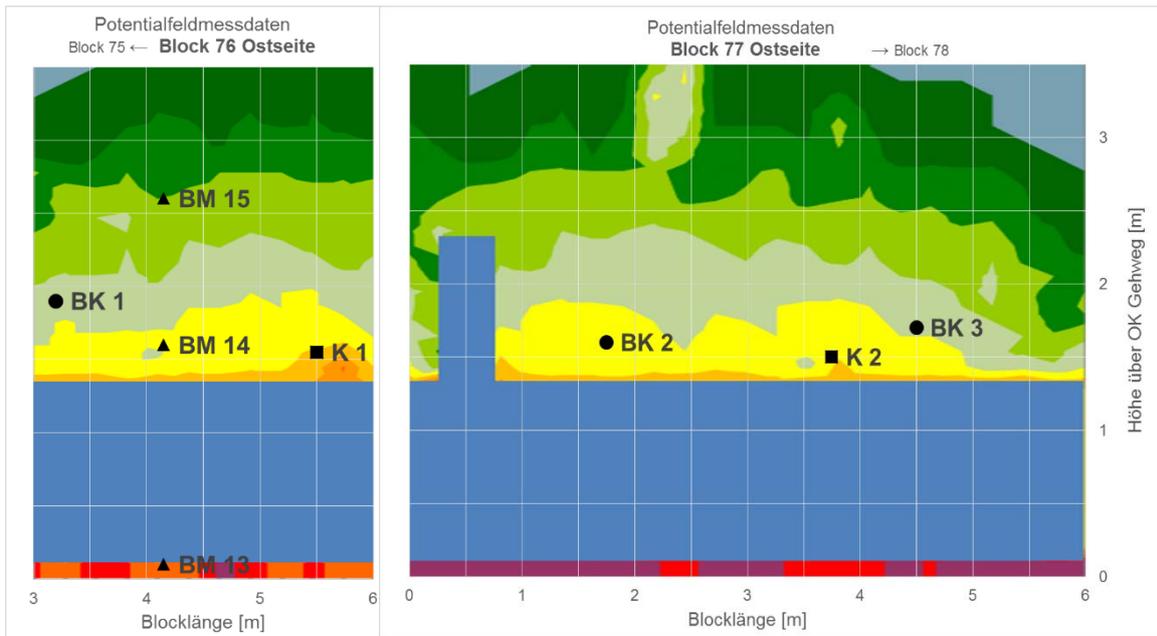
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Pfaffenstein Oströhre**

**Grafische Darstellung aufgenommener Potentialfeldmessdaten**



Messraster (X250;Y100 [mm])



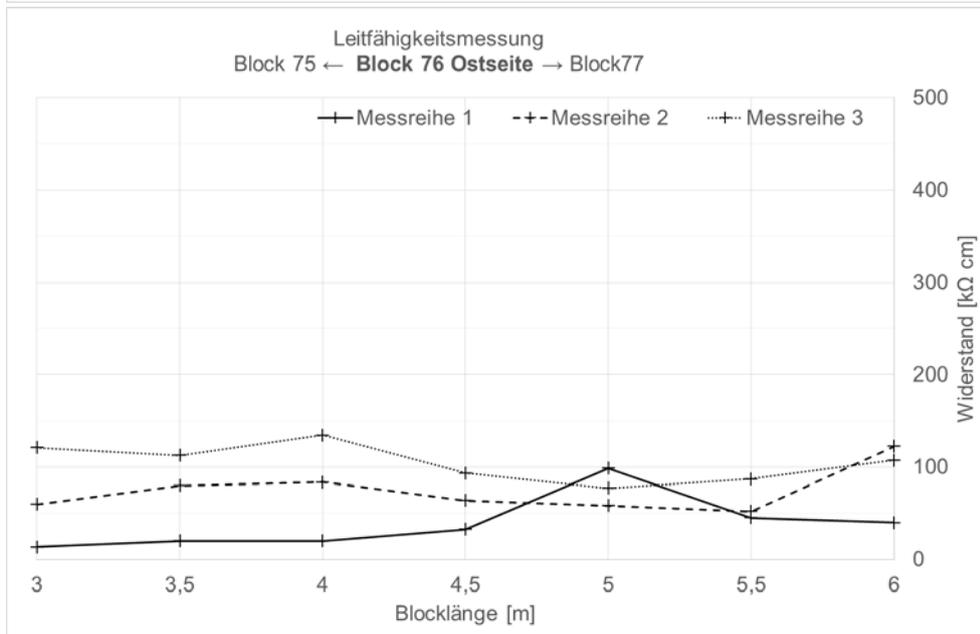
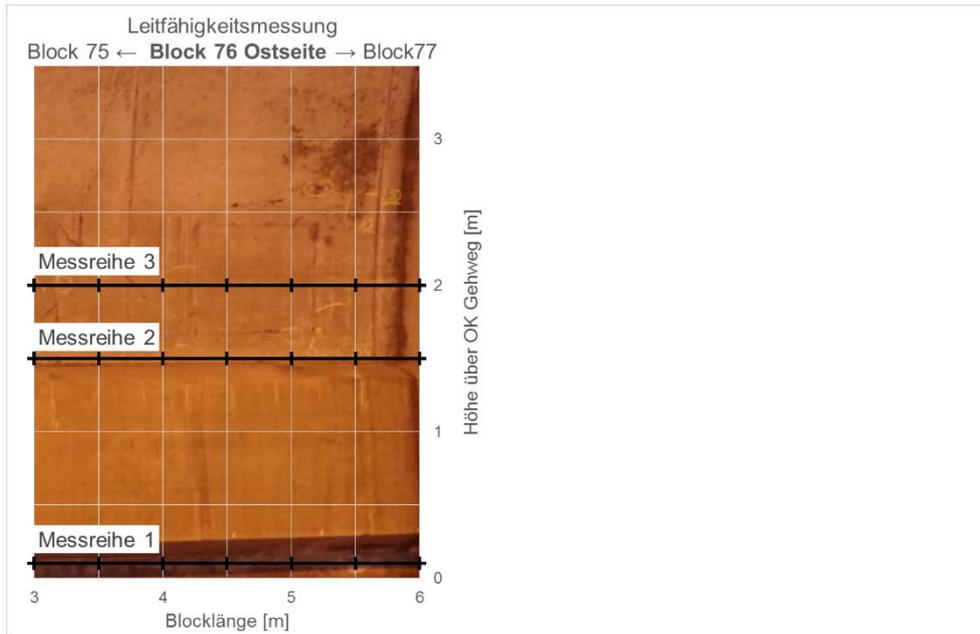
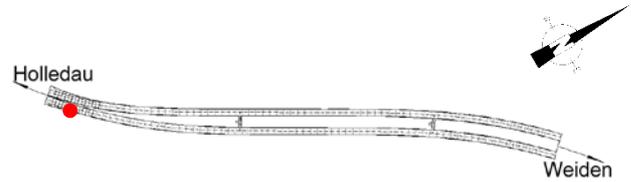
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM– Bohrmehlentnahmestelle
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

## Anlage 24 Leitfähigkeitsmessung Beton – Tunnel Pfaffenstein

### Pfaffenstein Oströhre

#### Messwerte spez. elektrischer Widerstand

Messung der Bauteiloberfläche

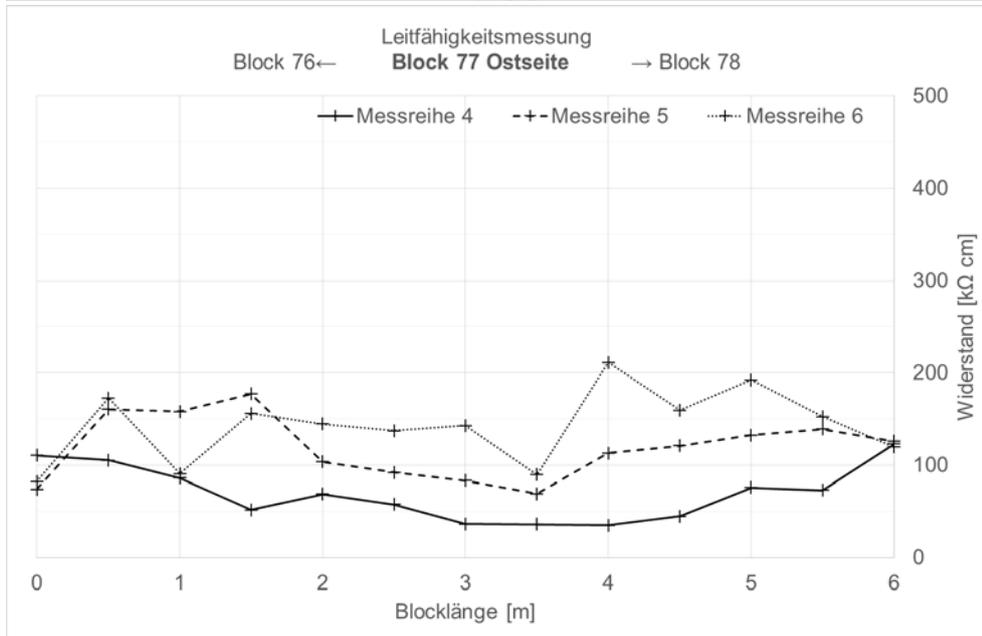
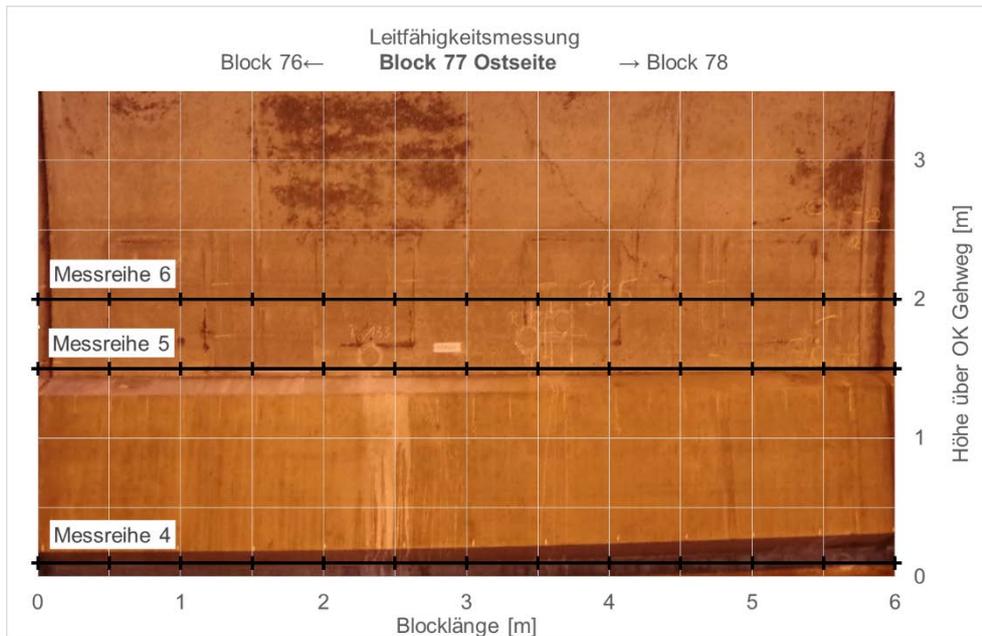
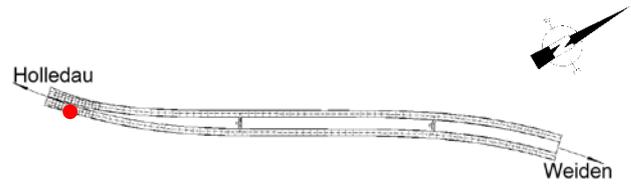


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 3
Mittelwert:	39	74	105
Min:	13	52	77
Max:	99	122	135

**Pfaffenstein Oströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche

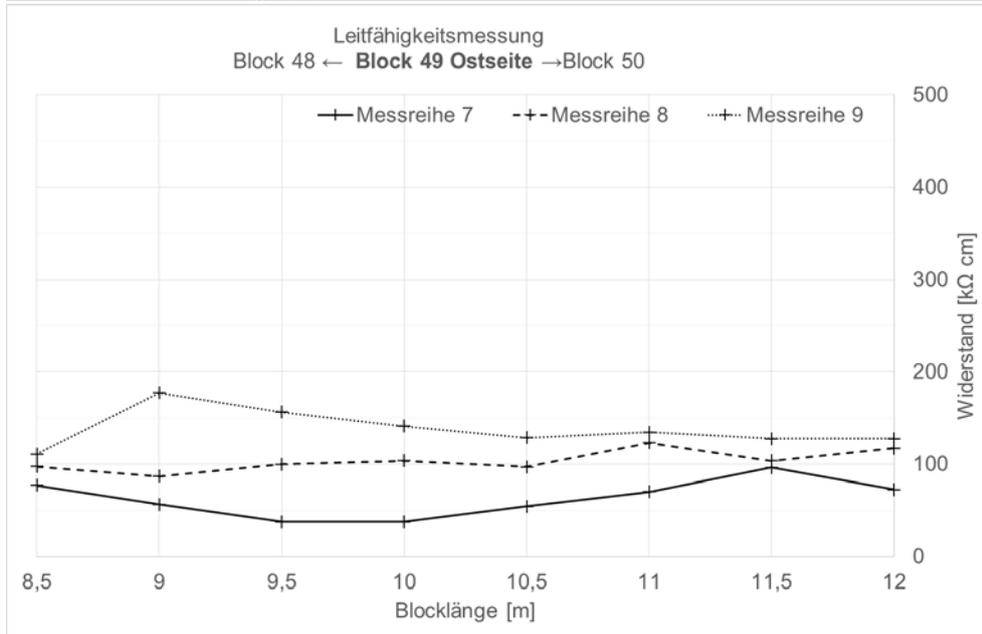
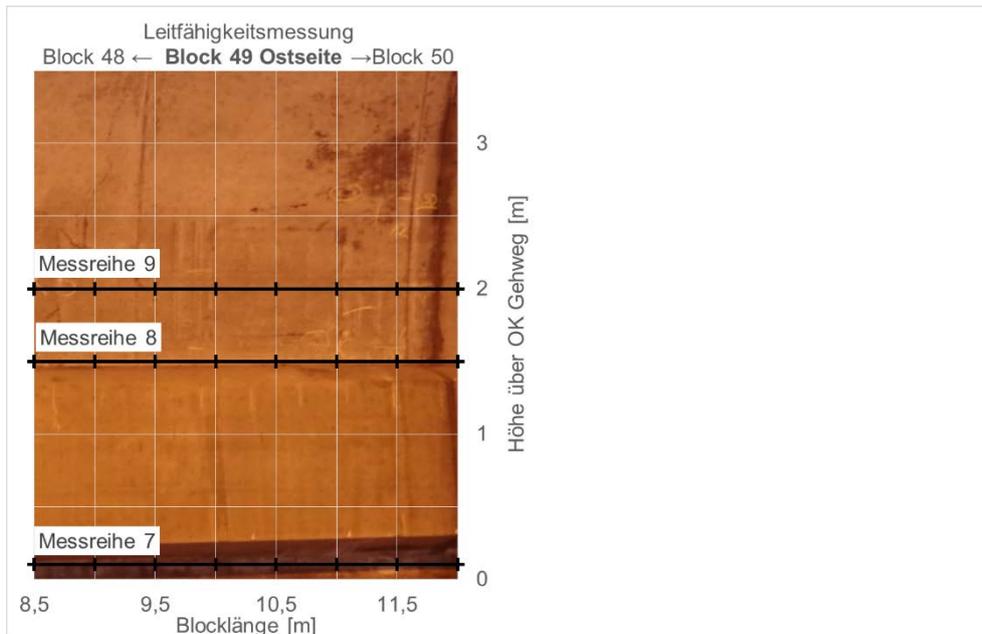
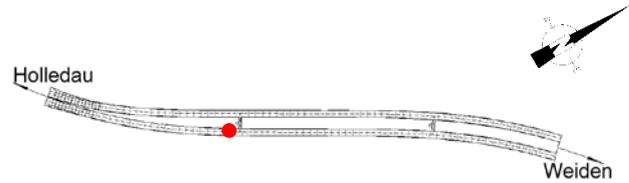


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 4	Messreihe 5	Messreihe 6
Mittelwert:	70	119	142
Min:	35	69	82
Max:	123	178	211

**Pfaffenstein Oströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche

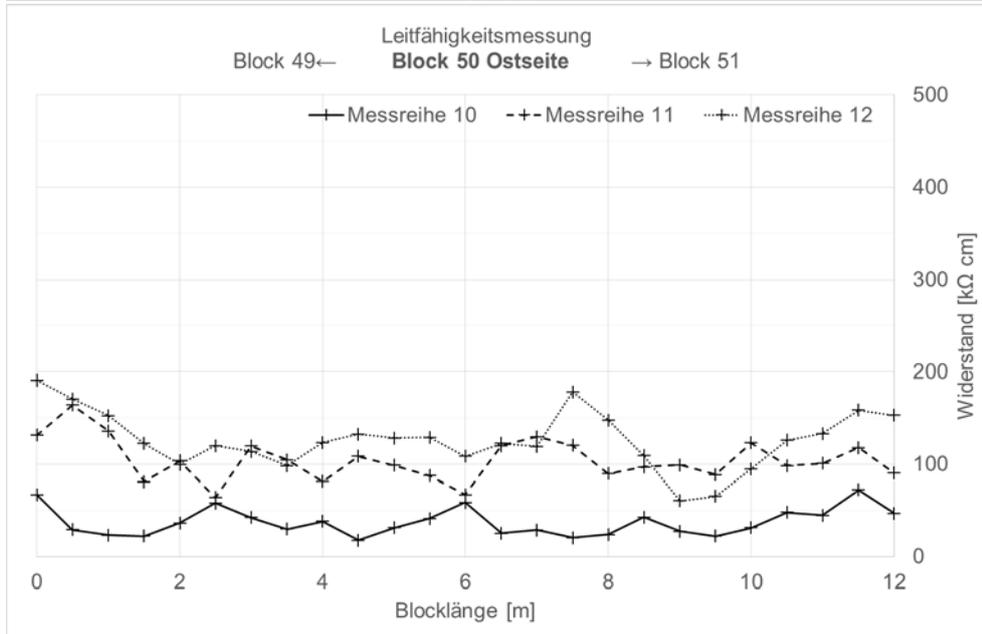
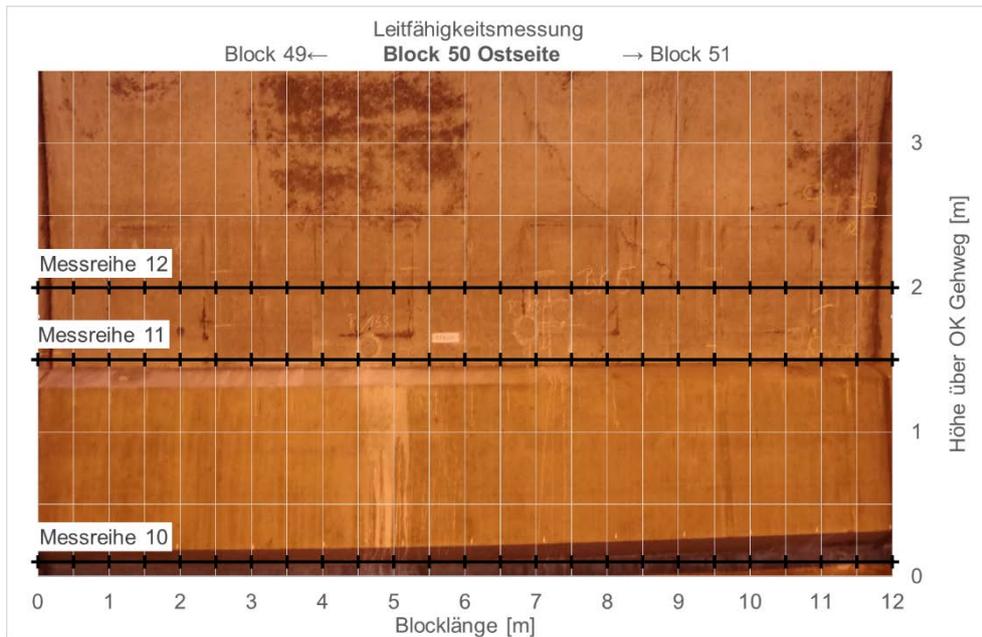
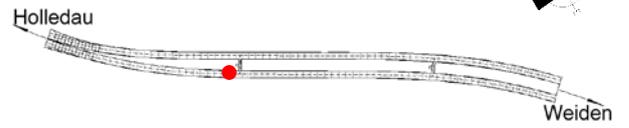


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 7	Messreihe 8	Messreihe 9
Mittelwert:	63	103	138
Min:	38	87	111
Max:	96	123	177

**Pfaffenstein Oströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche

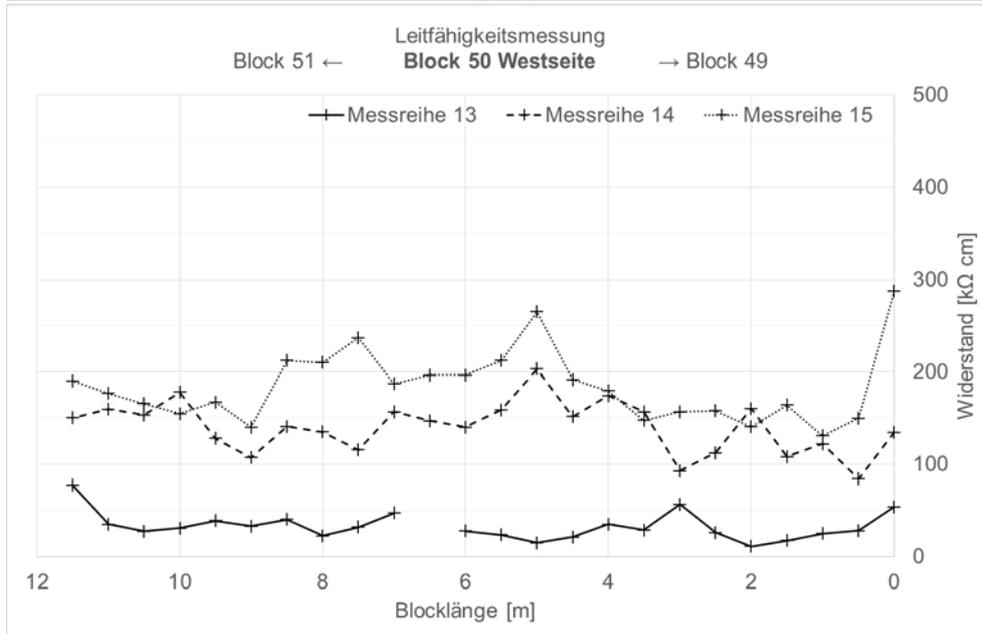
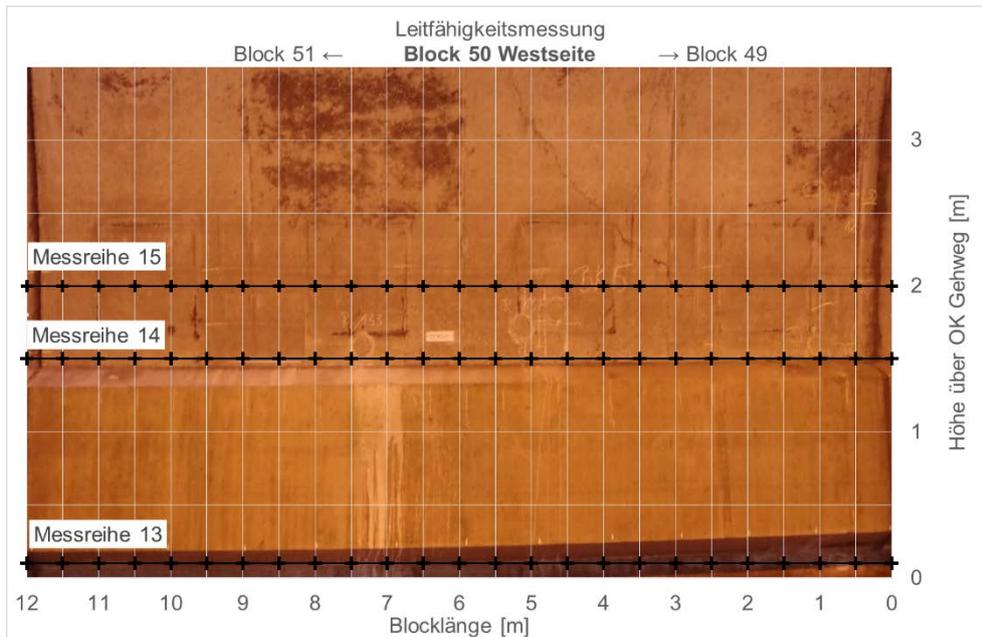
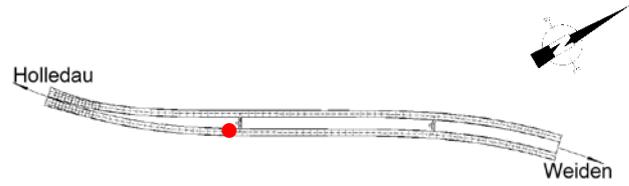


	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 10	Messreihe 11	Messreihe 12
Mittelwert:	37	105	126
Min:	18	64	60
Max:	72	164	191

**Pfaffenstein Oströhre**

**Messwerte spez. elektrischer Widerstand**

Messung der Bauteiloberfläche



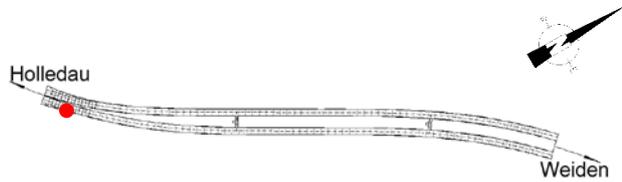
	elektrischer Widerstand des Betons [kΩ cm]		
	Messreihe 13	Messreihe 14	Messreihe 15
Mittelwert:	33	140	184
Min:	11	84	131
Max:	78	203	287

## Anlage 25 Permeabilitätsmessung – Tunnel Pfaffenstein

### Pfaffenstein Oströhre

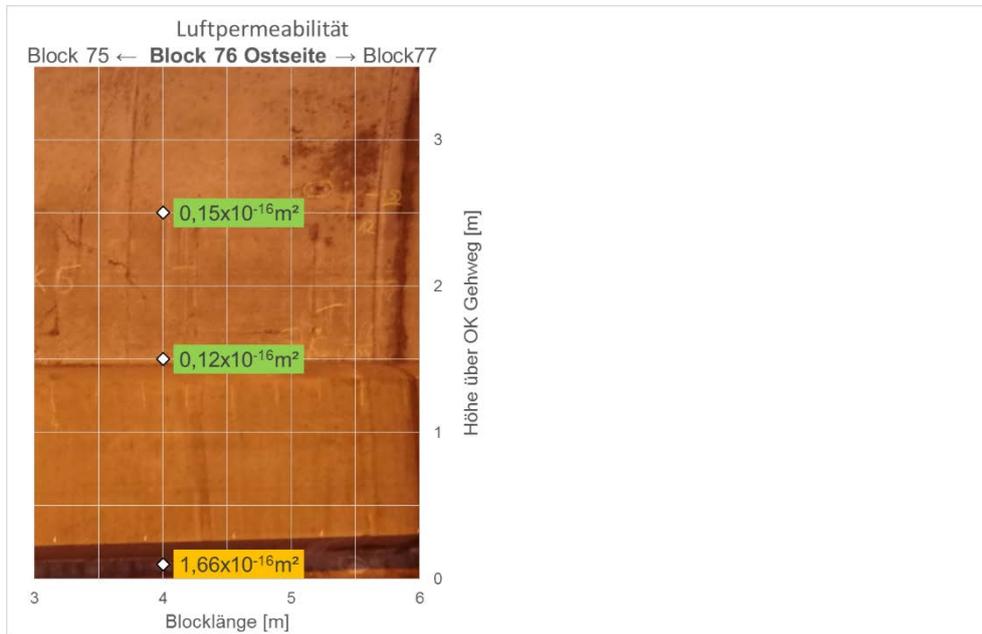
#### Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche

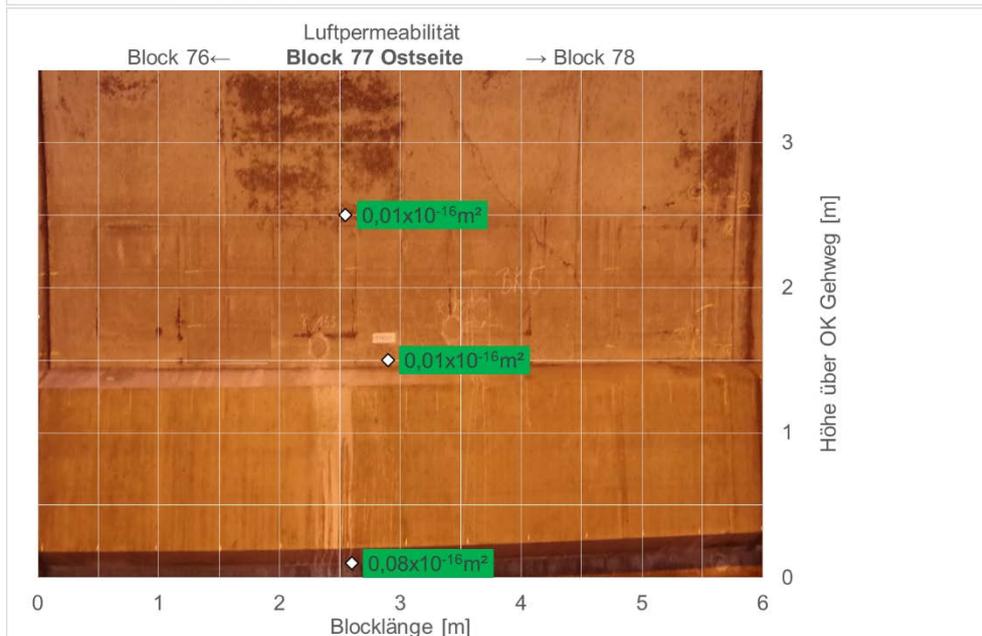


Sehr gut	<0,1 $10^{-16}m^2$	Gut	<0,5 $10^{-16}m^2$	Genügend	<1,0 $10^{-16}m^2$	Schlecht	<10,0 $10^{-16}m^2$	Sehr schlecht	>10,0 $10^{-16}m^2$
----------	-----------------------	-----	-----------------------	----------	-----------------------	----------	------------------------	---------------	------------------------

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



Nr.:	Wert
1	1,66 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
2	0,12 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
3	0,15 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>



Nr.:	Wert
4	0,08 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
5	0,01 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
6	0,01 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>

### Pfaffenstein Oströhre



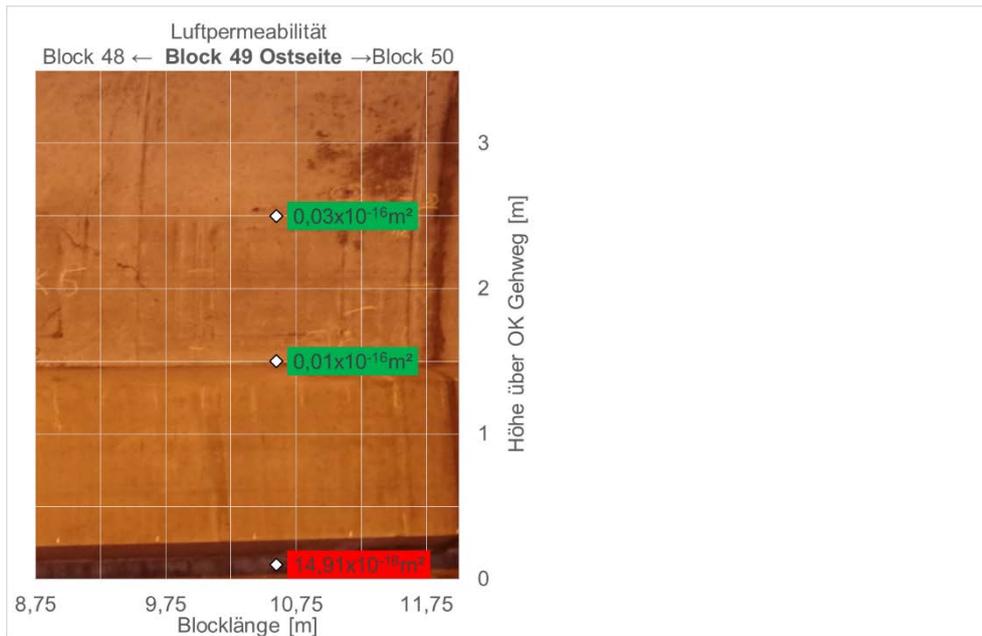
### Luftpermeabilitätsmesswerte

Messungen auf abgebürsteter Bauteiloberfläche

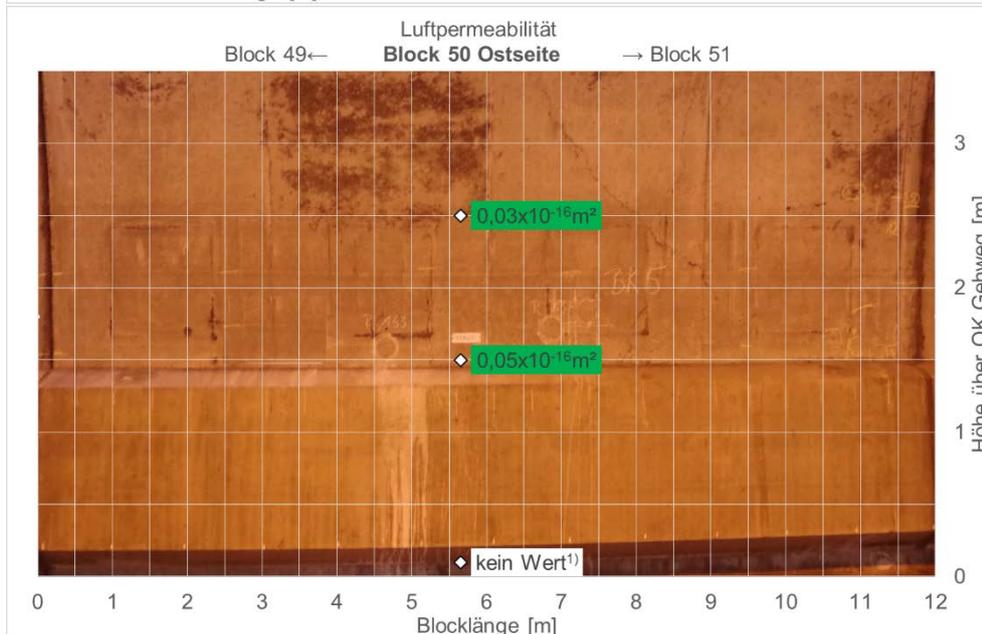


Sehr gut	<0,1 10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>	Gut	<0,5 10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>	Genügend	<1,0 10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>	Schlecht	<10,0 10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>	Sehr schlecht	>10,0 10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
----------	--	-----	--	----------	--	----------	---	---------------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

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



Nr.:	Wert
7	14,91 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
8	0,01 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
9	0,03 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>



Nr.:	Wert
10	-1)
11	0,05 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>
12	0,03 x10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>

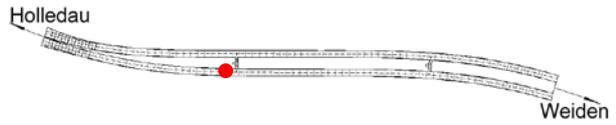
Anmerkung: <sup>1)</sup>keine Prüfung aufgrund schlechter Bauteiloberfläche möglich

### Pfaffenstein Oströhre



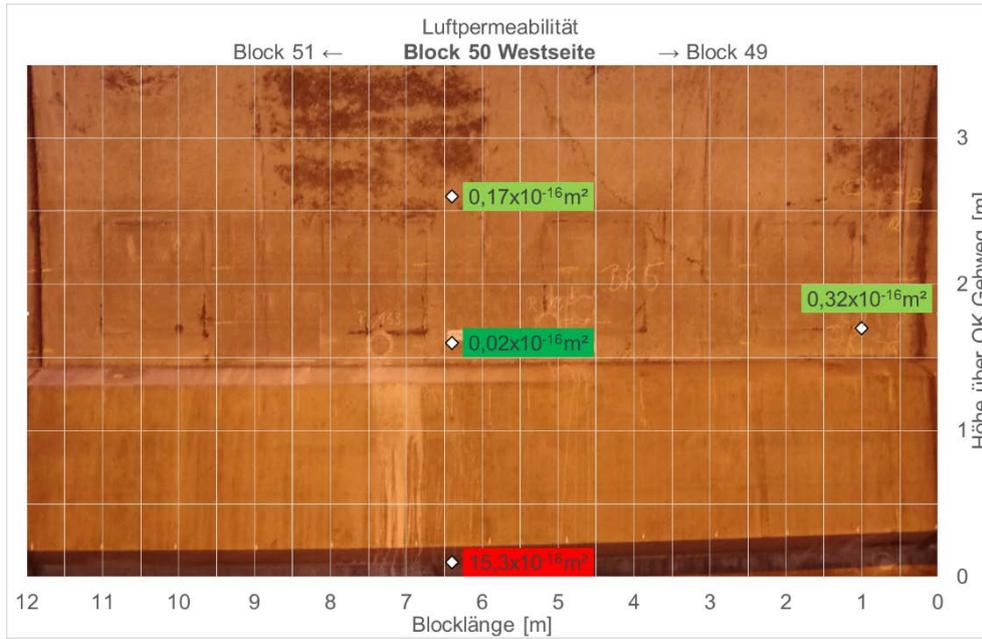
### Luftpermeabilitätsmesswerte

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 $10^{-16}m^2$
----------	-----------------------	-----	-----------------------	----------	-----------------------	----------	------------------------	---------------	------------------------

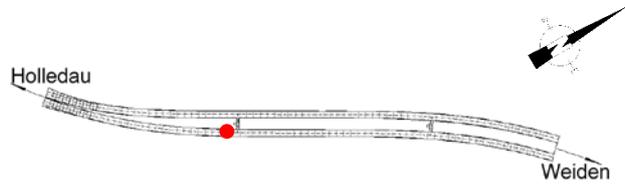
Jacobs, F.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen - beton Heft 5/1999



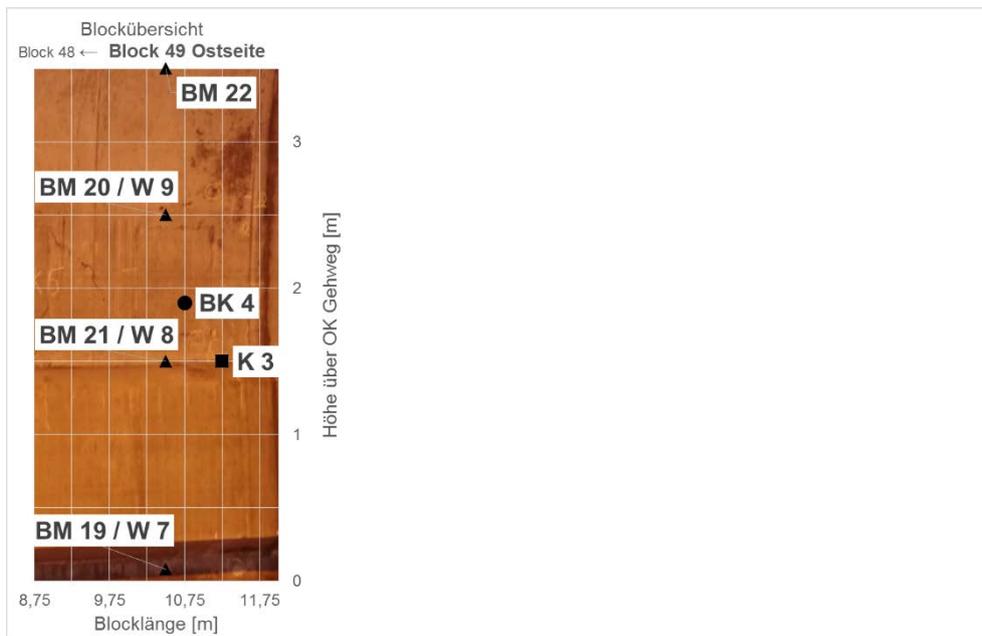
## Anlage 26 kapillare Wasseraufnahme – Tunnel Pfaffenstein

### Pfaffenstein Oströhre

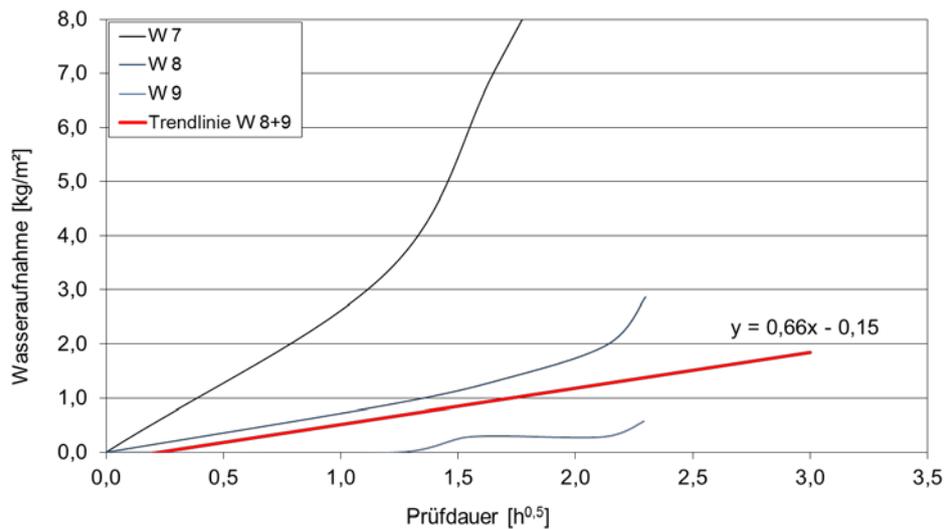
kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche



Karstisches Röhrrchen



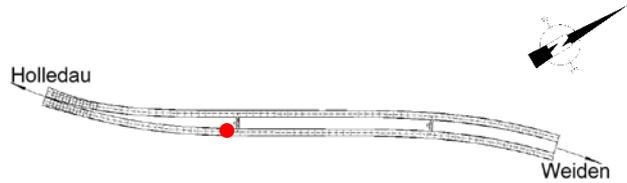
Wasseraufnahmekoeffizient



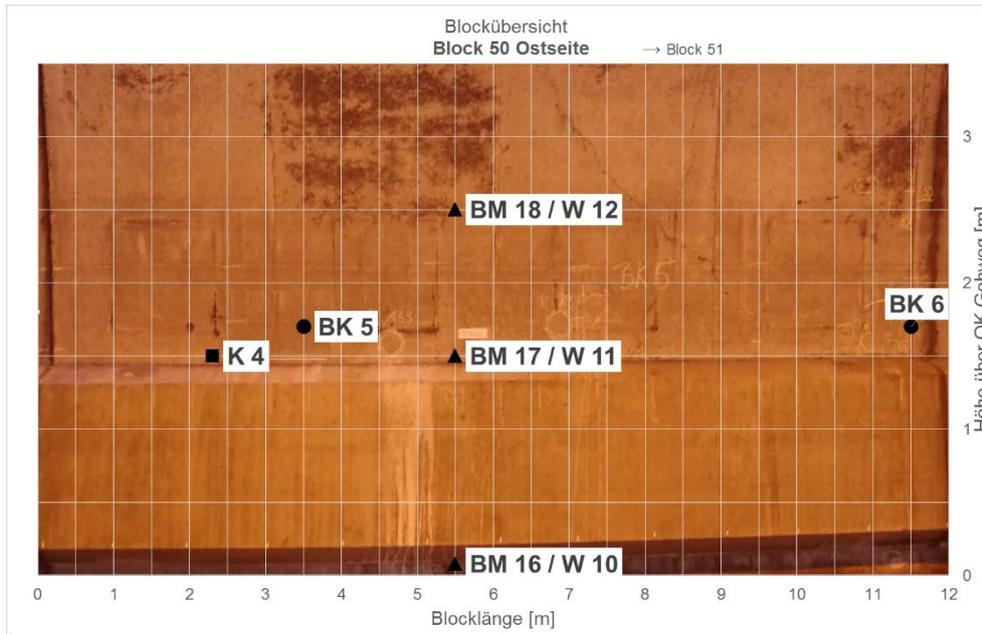
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Pfaffenstein Oströhre**

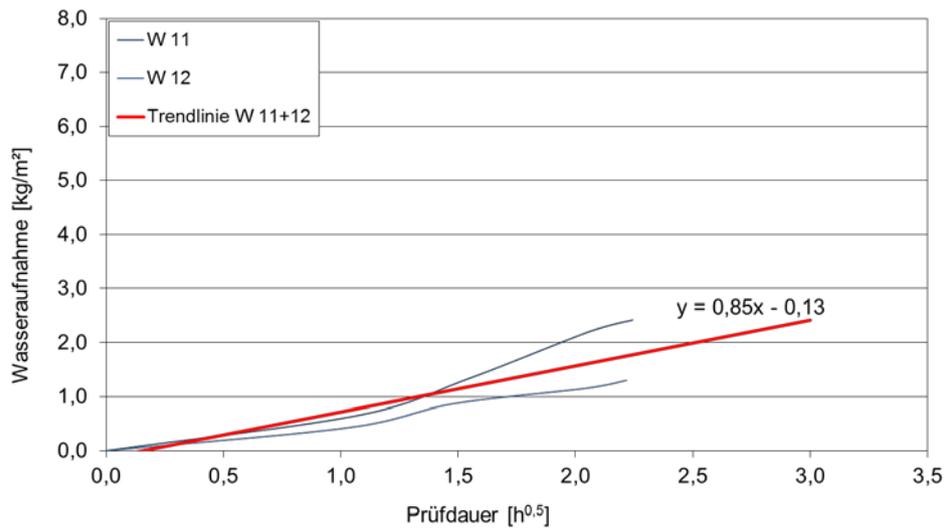
**kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche**



**Karstensches Röhrcchen**



**Wasseraufnahmekoeffizient**

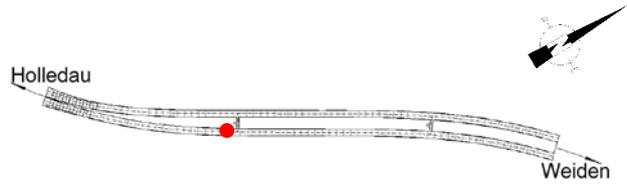


Aufgrund der Beschaffenheit der Bauteiloberfläche am Punkt W 10, war das Anbringen und vollständige Abdichten der Messröhrchen nicht möglich.

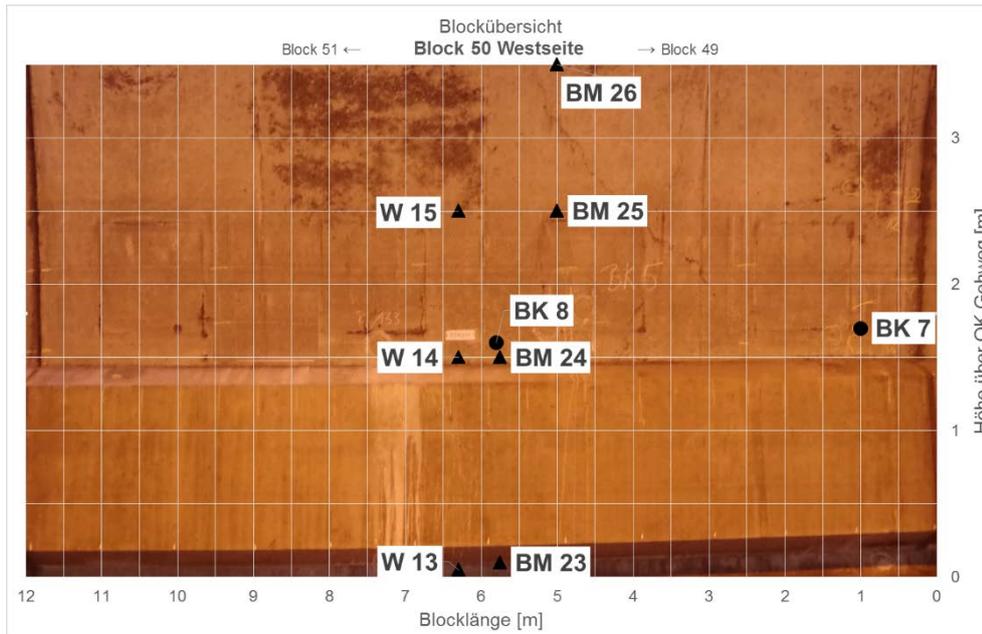
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Pfaffenstein Oströhre**

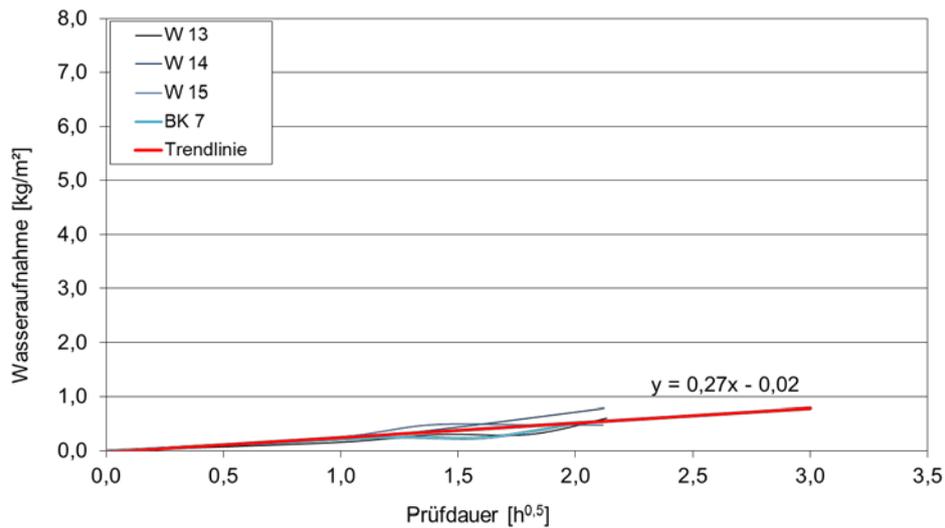
**kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche**



**Karstensesches Röhrcchen**



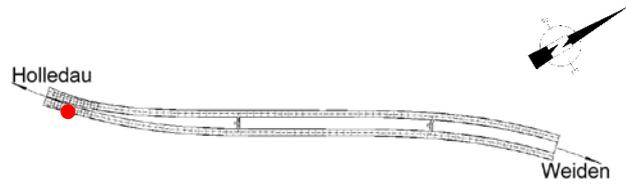
**Wasseraufnahmekoeffizient**



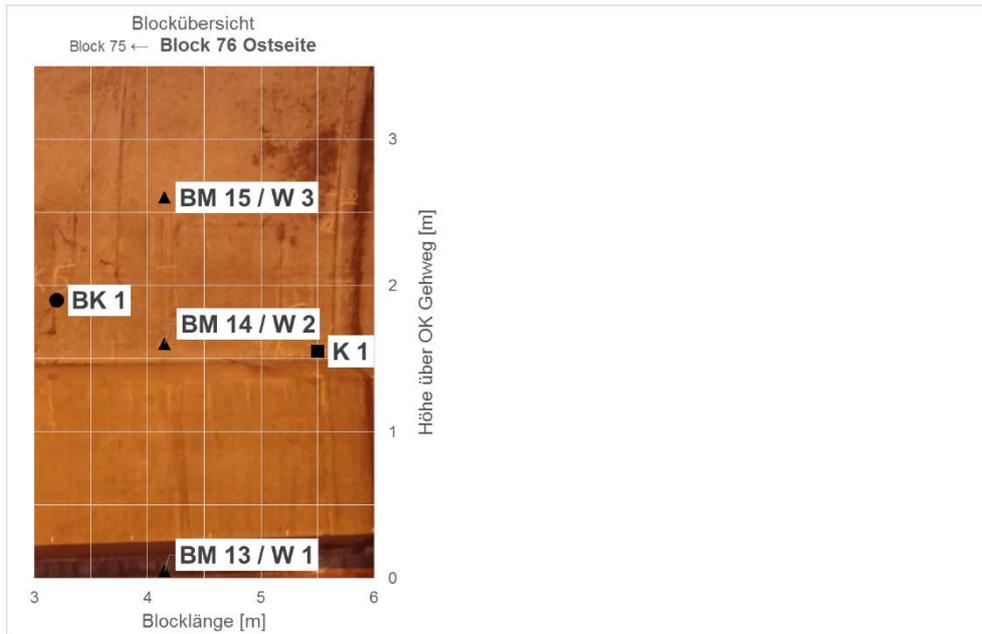
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Pfaffenstein Oströhre**

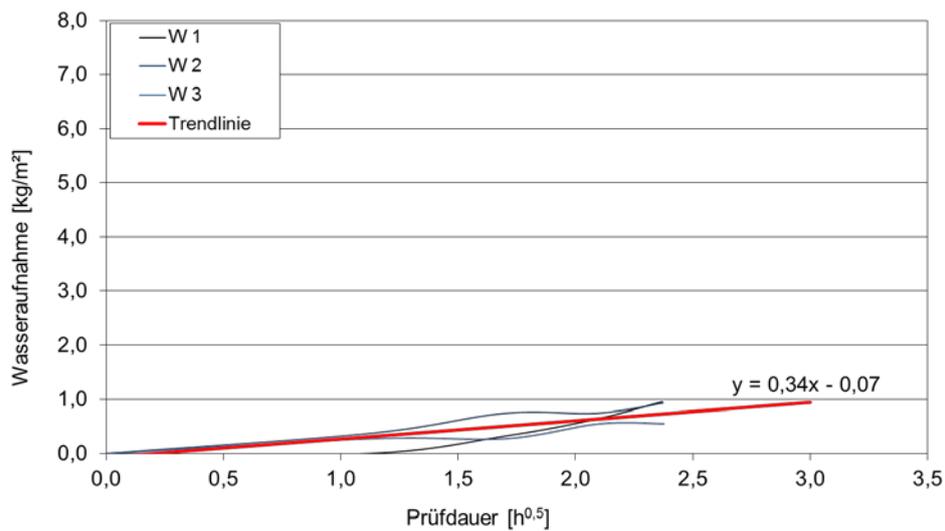
**kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche**



**Karstensches Röhrenchen**



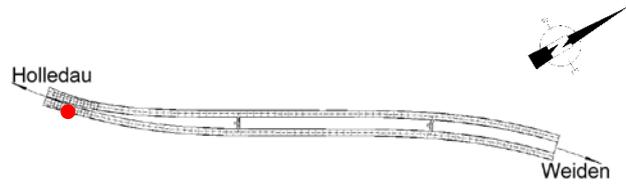
**Wasseraufnahmekoeffizient**



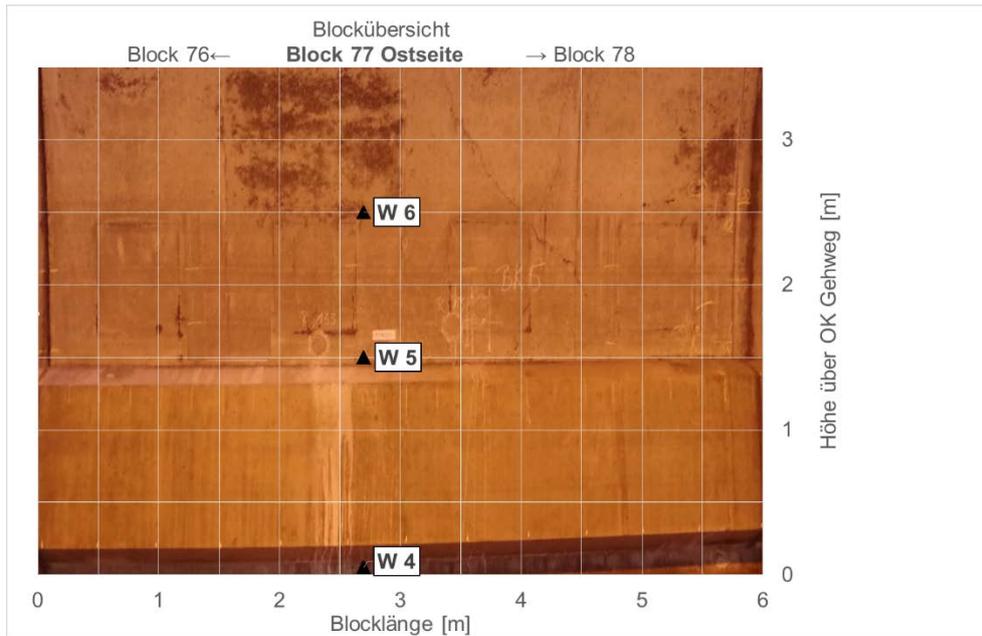
- BK – Bohrkernentnahmestelle
- ▲ BM – Bohrmehlentnahmestelle
- W – Prüfstelle Wasseraufnahme
- K – Klemmstelle Bewehrungsanschluss

**Pfaffenstein Oströhre**

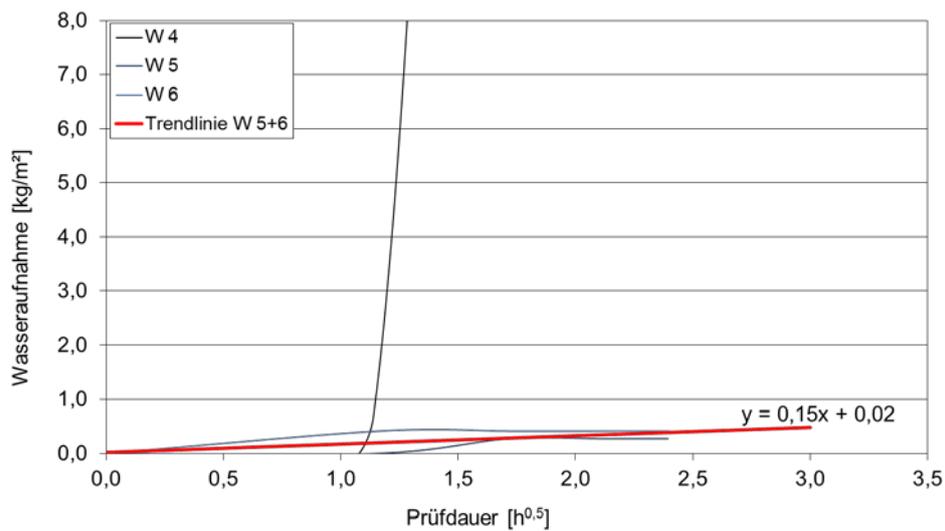
**kapillare Wasseraufnahme  
der Bauteiloberfläche**



**Karstensches 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

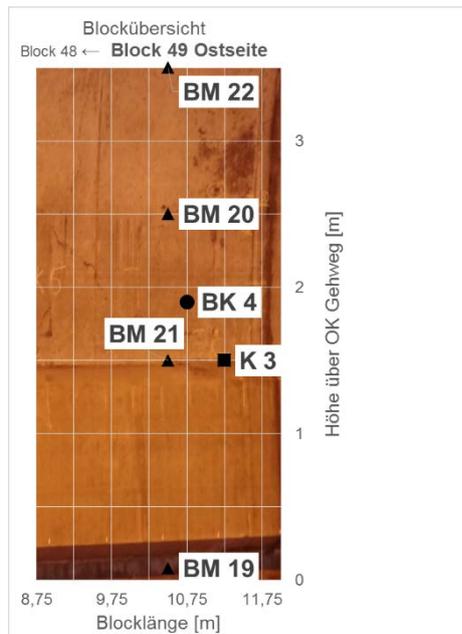
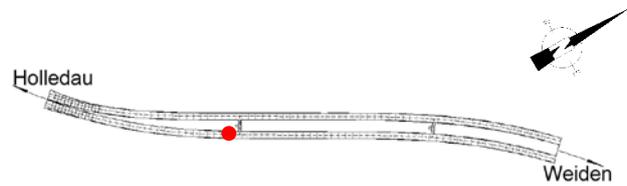


Bild 1: Stelle K 3  
flächig angerostet



Bild 2: Stelle BK 4  
Bewehrung rostet

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

**Pfaffenstein Oströhre**

**Fotodokumentation**

**Korrosionszustand der Bewehrung**

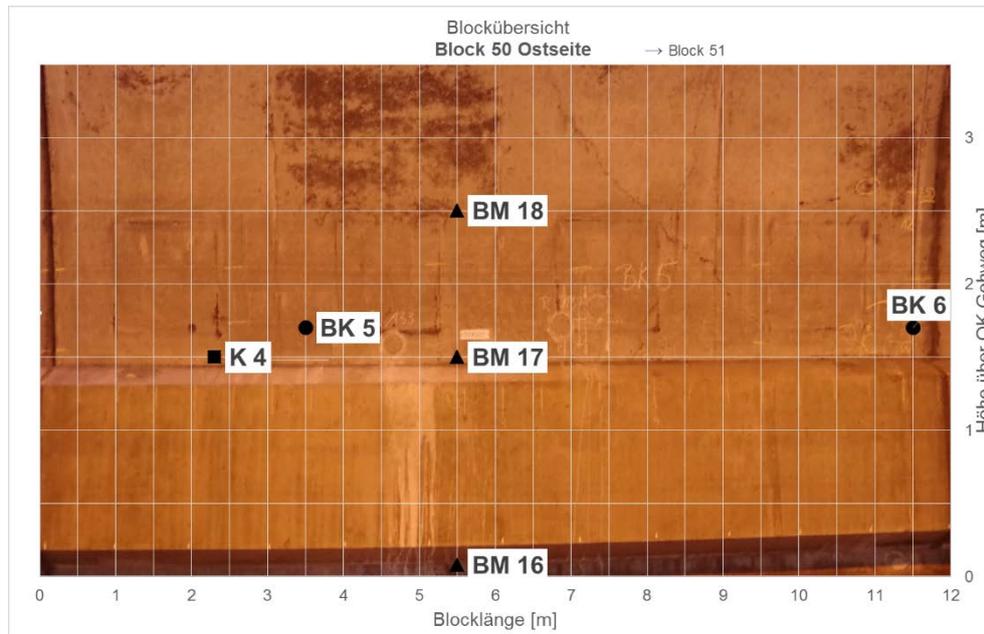
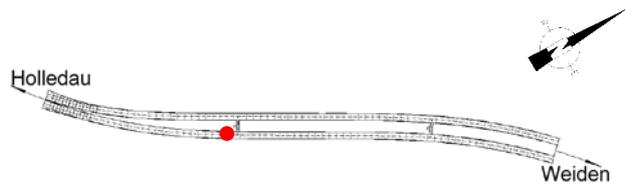


Bild 3: Stelle K 4  
flächig angerostet



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**

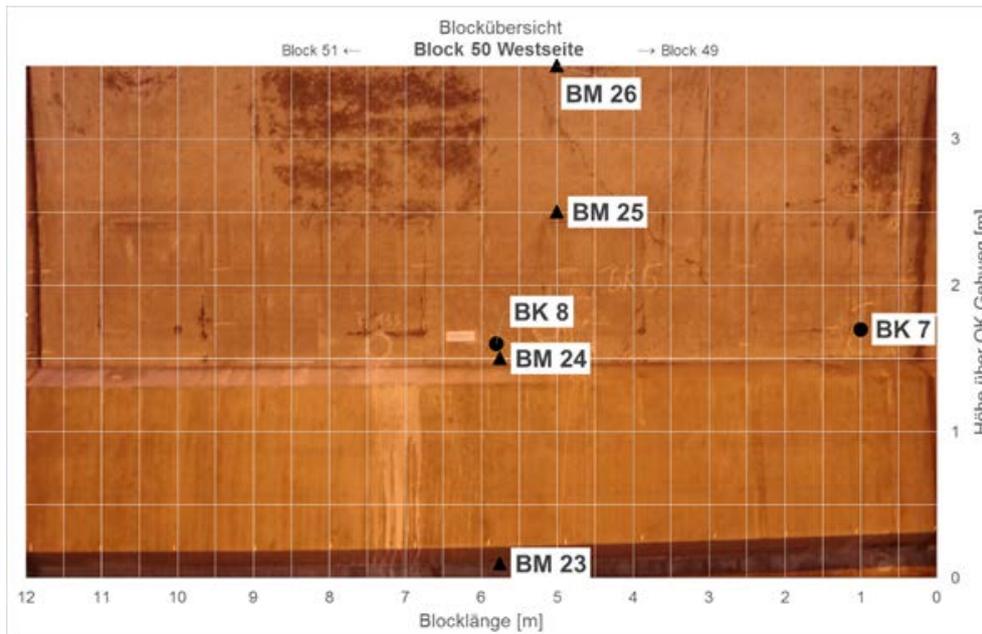
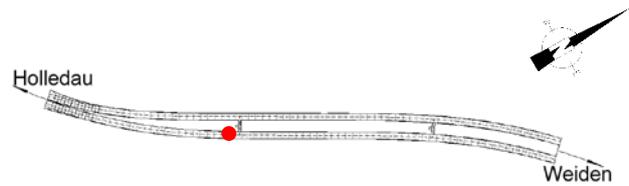


Bild 6: Stelle BK 7  
flächig angerostet

Bild 7: Stelle BK 8  
flächig angerostet

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

**Pfaffenstein Oströhre**

**Fotodokumentation**

**Korrosionszustand der Bewehrung**

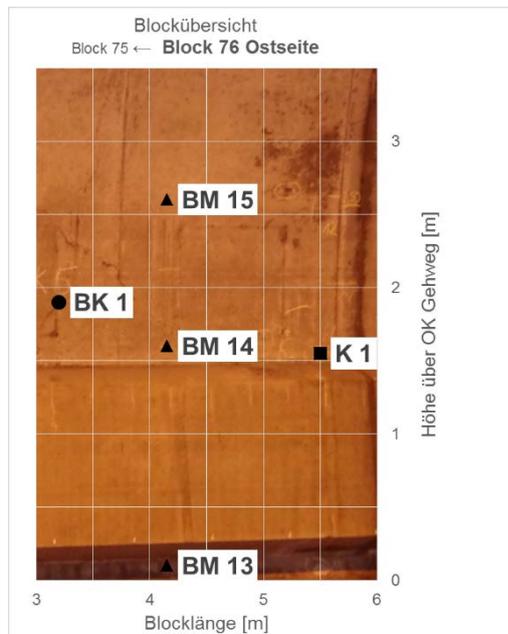
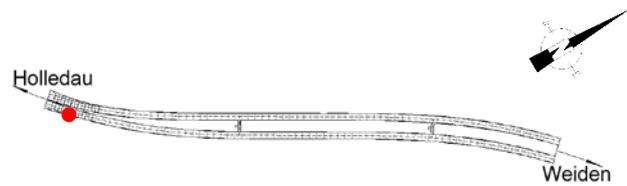


Bild 8: Stelle K 1  
stellenweise angerostet



Bild 9: Stelle BK 1  
flächig angerostet

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

**Pfaffenstein Oströhre**

**Fotodokumentation**

**Korrosionszustand der Bewehrung**

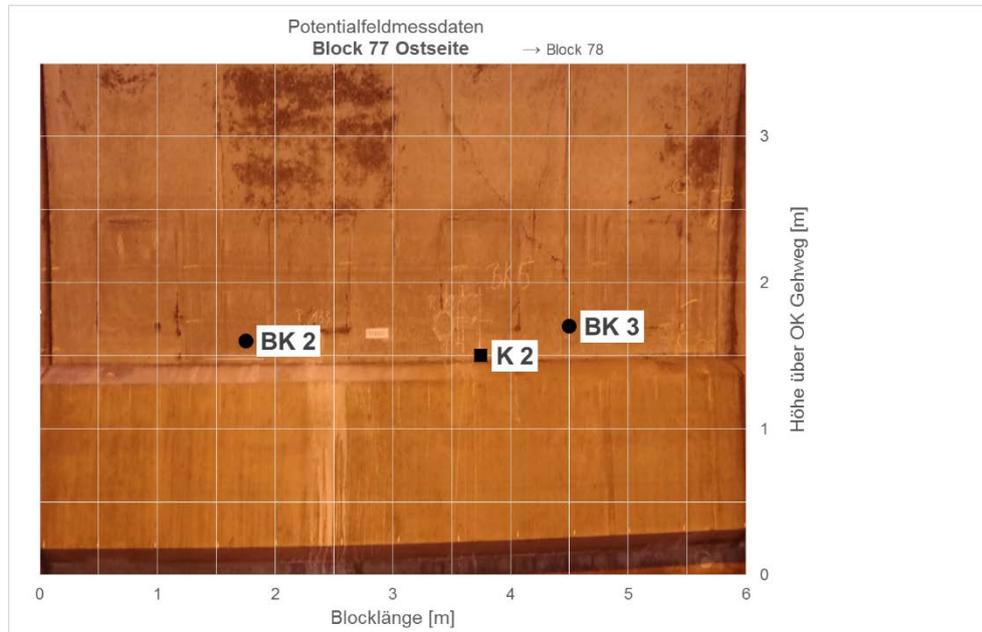
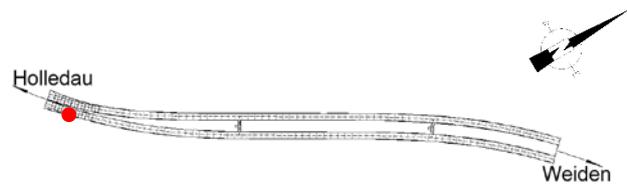


Bild 10: Stelle BK 2  
flächig angerostet



Bild 11: Stelle BK 3  
flächig angerostet



Bild 12: Stelle K 2  
flächig angerostet

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