

**Präsentation CDM Consult GmbH beim
HLUG Fachgespräch
„Ermittlung von Schadstofffrachten im Grund- und Sickerwasser“**

Dipl.-Geologe Arnold Pettera

20.04.2009

Stromröhrenmodell

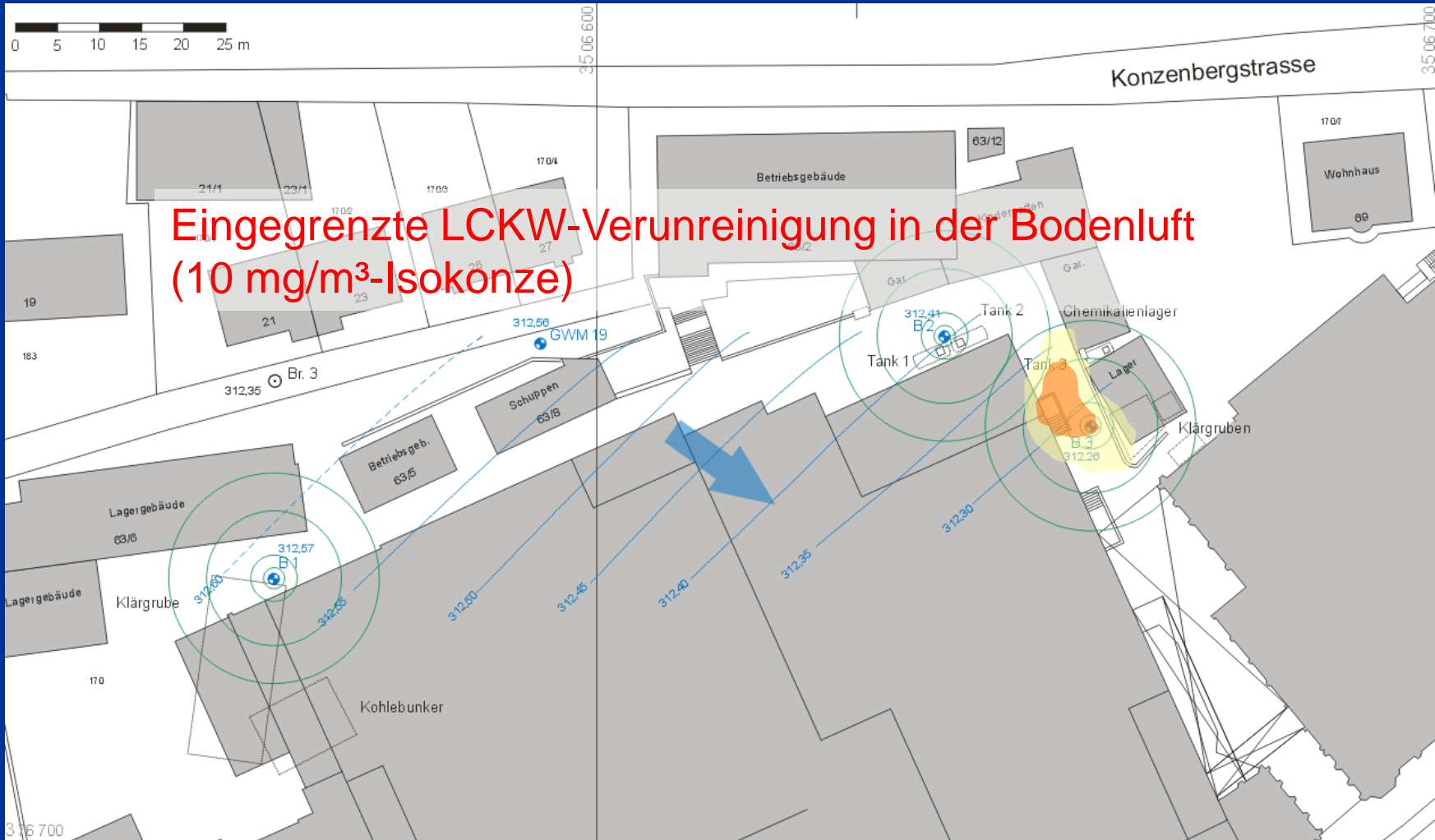
- Eine Stromröhre – mehrere Stromröhren
- Stromröhrenstapel

Kontrollebenenansatz - Immissionspumpversuche

- Prinzip und Umsetzung
- Frachtermittlung - Plausibilitätskontrolle

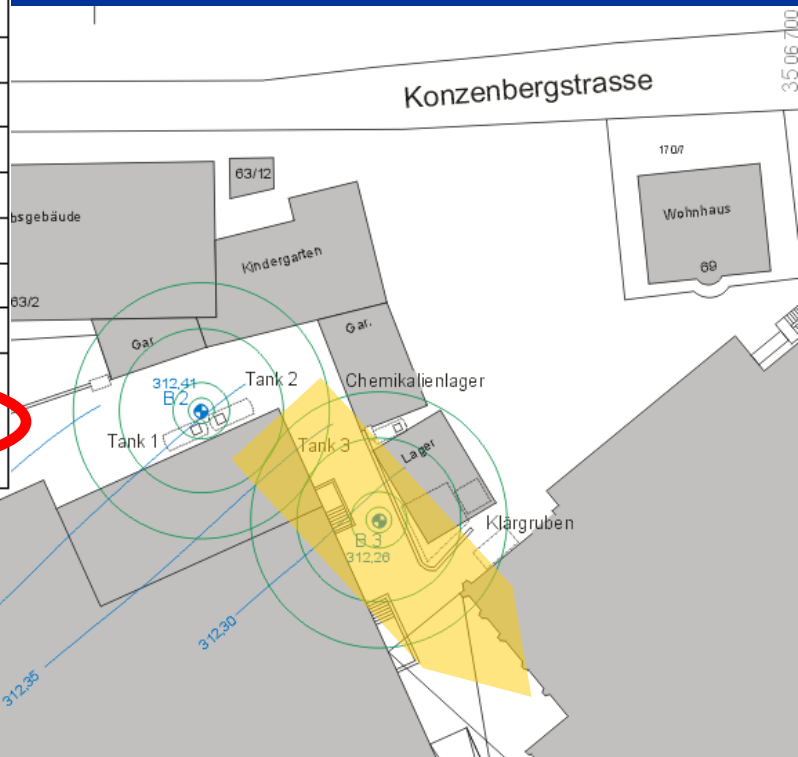
Konzentrationen – (Fehl-)interpretationen - Optimierung

- Zeitpunkt der Probenentnahme
- Optimierungsmöglichkeiten



LCKW-Verunreinigung - eine Stromröhre

Stromröhre im Bereich des Schadensbereichs GWM B 3:				
Parameter		Min	Mittel	Max
Abstrombreite	B_A [m]	8	9	10
Höhe des GW-Leiters	h_{GW} [m]	3	3	3
Transmissivität	T [m ² /s]	$1,32 \times 10^{-3}$	$1,32 \times 10^{-3}$	$1,32 \times 10^{-3}$
Gradient	I [-]	0,0005	0,00425	0,008
effektive Porosität	n_T [-]	0,15	0,15	0,15
Grundwasserabstrom	$Q_A = Q_{SH}$ [m ³ /d]	0,57	4,85	9,12
Schadstoffsumme LCKW				
Schadstoffkonzentration	c_{SH} [µg/l]	56	82	130
Emission	E (SH) [g/d]	0,03	0,44	1,19
max. zulässige Emission	$E_{max. - V_{LCKW}}$ [g/d]	20	20	20

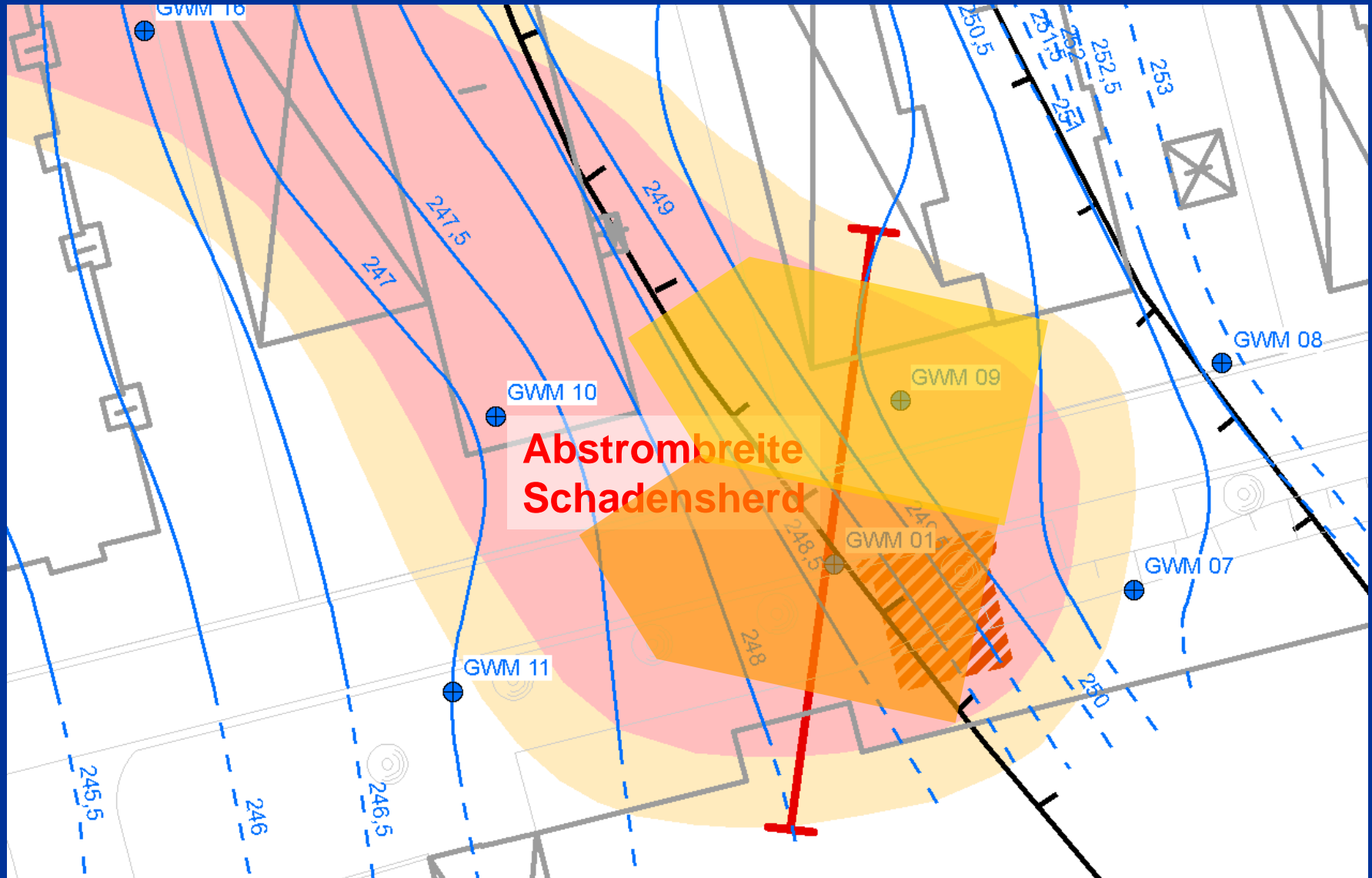


Probenbezeichnung	LCKW [µg/l]	Entnahmereichweite bei Probenahme [m]
GWM B 3 0,5 Std.	130	2
GWM B 3 5,0 Std.	82	6
GWM B 3 30 Std.	56	15
GWM B 3 98 Std.	30	27

Eingabedaten sind gelb hinterlegt

Wichtige Endergebnisse sind blau hinterlegt

Bezeichnung des Schadensfalls			LCKW eine Stromröhre			
Schadstoff						
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	µg/l	20			
Stromröhre Nr.			①	②	③	
Bezeichnung der Stromröhre/Messstelle			B 3			Quelle der Daten
Mittlere Konzentration in der Stromröhre	C_{mittel}	µg/l	74,5			
Max.-Konzentration in der Stromröhre	C_{max}	µg/l	130			
Breite der Stromröhre / Fahne	B	m	10			
Höhe der Stromröhre / Fahne	H	m	3			
Länge der Stromröhre / Fahne	L	m	30			
Durchlässigkeitsbeiwert	k_f	m/s	4,4E-04			
hydraulischer Gradient	I	-	0,00425			
nutzbare Porosität	P^*	%	15			
Abstandsgeschwindigkeit	v_a	m/d	1,1	0,00	0,00	
gelöste Menge im Grundwasser	$M_{\text{gelöst}}$	kg	0,010	sehr klein	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.1)	
Fracht im Grundwasser	E_{ab}	g/d	0,6	klein	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)	

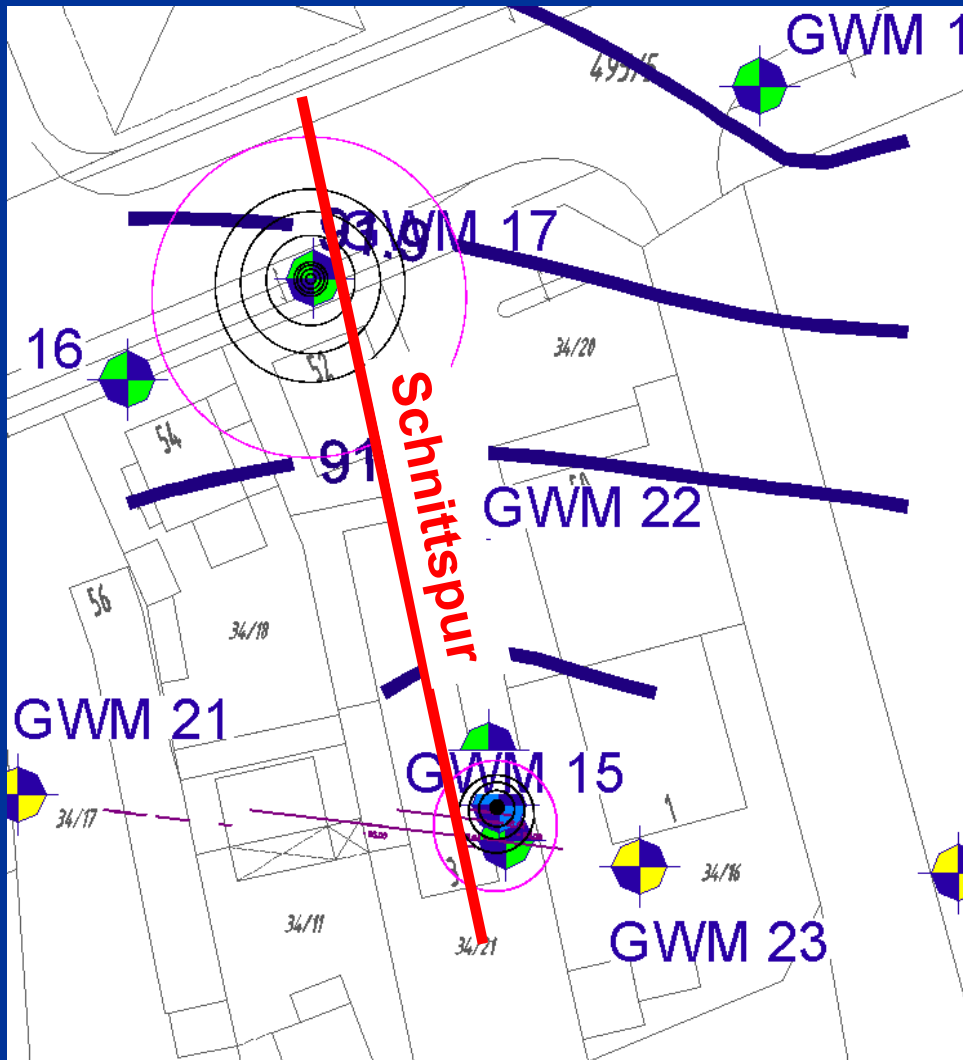


Hydrogeologische Parameter			Messstellen		
			GWM 1	GWM 9	Summe
Geometrie					
B _A	[m]		20	20	
h _{GW}	[m]		10,2	5,1	
A _A	[m ²]	B _A · h _{GW}	204	102	
Hydraulik					
T	[m ² /s]		9,73E-06	1,29E-05	
k _f	[m/s]		9,54E-07	2,53E-06	
l	[-]		0,14	0,14	
n	[%]		5	5	
Volumenströme					
Q _A	[m ³ /d]	k _f · A _A · l · 86400	2,35	3,12	5,48
Emission für:		PAK 15	P-Wert [µg/l]: 0,2		
c _A	[µg/l]		0,54	0,14	
E(A)	[g/d]	Q _A · c _A · 10 ⁻³	0,0013	0,0004	0,002
Emission für:		Naphthalin	P-Wert [µg/l]: 2		
c _A	[µg/l]		240	8	
E(A)	[g/d]	Q _A · c _A · 10 ⁻³	0,56	0,02	0,59
Emission für:		MKW-GC	P-Wert [µg/l]: 200		
c _A	[µg/l]		1.300	0	
E(A)	[g/d]	Q _A · c _A · 10 ⁻³	3,06	0,00	3,06
Emission für:		Summe AKW	P-Wert [µg/l]: 20		
c _A	[µg/l]		18.256	308	
E(A)	[g/d]	Q _A · c _A · 10 ⁻³	42,98	0,96	43,94
Emission für:		Benzol	P-Wert [µg/l]: 1		
c _A	[µg/l]		7.100	0	
E(A)	[g/d]	Q _A · c _A · 10 ⁻³	16,71	0,00	16,71

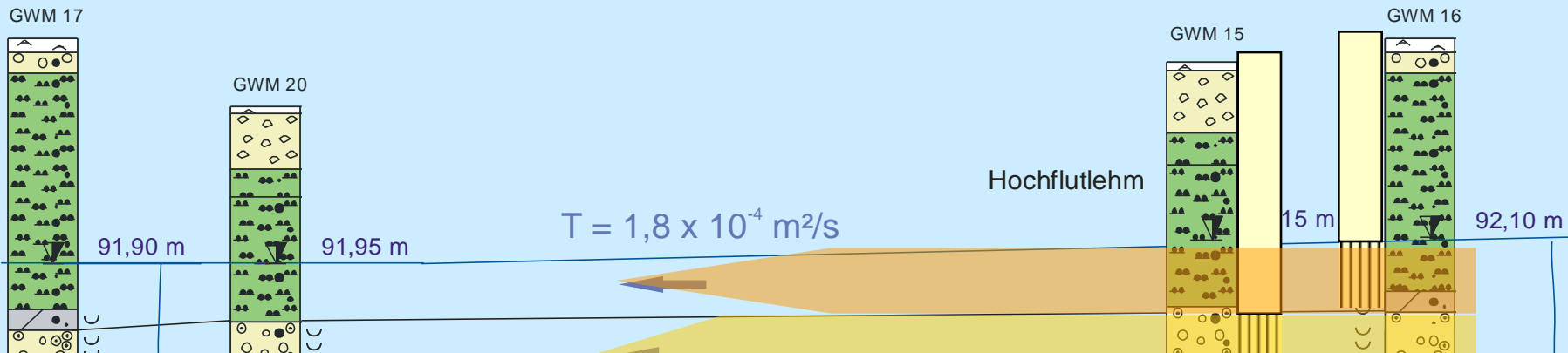
Eingabedaten sind gelb hinterlegt

Wichtige Endergebnisse sind blau hinterlegt

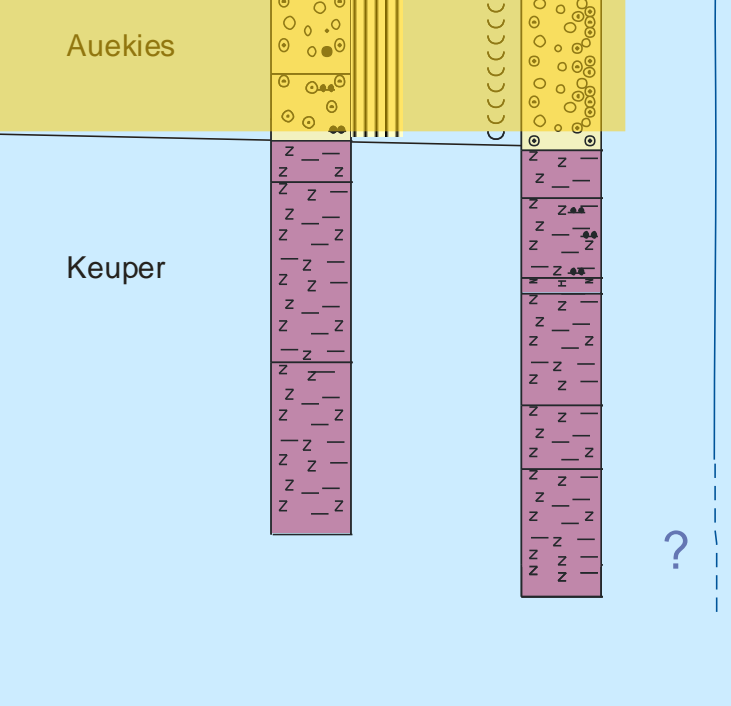
Bezeichnung des Schadensfalls			AKW mehrere Stromröhren		
Schadstoff					
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	µg/l	20		
Stromröhre Nr.			①	②	③
Bezeichnung der Stromröhre/Messstelle			GWM 1	GWM 9	
					Quelle der Daten
Mittlere Konzentration in der Stromröhre	C_{mittel}	µg/l	18256	308	
Max.-Konzentration in der Stromröhre	C_{max}	µg/l	18256	308	
Breite der Stromröhre / Fahne	B	m	20	20	
Höhe der Stromröhre / Fahne	H	m	10,2	5,1	
Länge der Stromröhre / Fahne	L	m	60	60	
Durchlässigkeitsbeiwert	k_f	m/s	9,5E-07	2,5E-06	
hydraulischer Gradient	I	-	0,14	0,14	
nutzbare Porosität	P^*	%	5	5	
Abstandsgeschwindigkeit	v_a	m/d	0,2	0,6	0,00
gelöste Menge im Grundwasser	$M_{\text{gelöst}}$	kg	11,3	groß	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.1)
Fracht im Grundwasser	E_{ab}	g/d	43,7	groß	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)



LCKW-Verunreinigung - mehrere Stromröhren



Hydrogeologische Parameter			Stromröhre (GWM 16)	Stromröhre (GWM 15)	Summen
Geometrie					
B _A	[m]		25	25	
h _{GW}	[m]		2,00	8,00	
A _A	[m ²]	B _A · h _{GW}	50	200	
Hydraulik					
T	[m ² /s]		1,80E-04	7,50E-03	
k _f	[m/s]		9,00E-05	9,38E-04	
l	[-]		0,002	0,0001	
n	%		5	10	
Volumenströme					
Q _A	[m ³ /d]	k _f · A _A · l · 86400	0,7776	1,6200	
Emission für:		LHKW	P-Wert [µg/l]: 10	P-Wert [µg/l]: 10	
c _A	[µg/l]		57.990,00	152,38	
E(A)	[g/d]	Q _A · c _A · 10 ⁻³	45,09	0,25	45,40



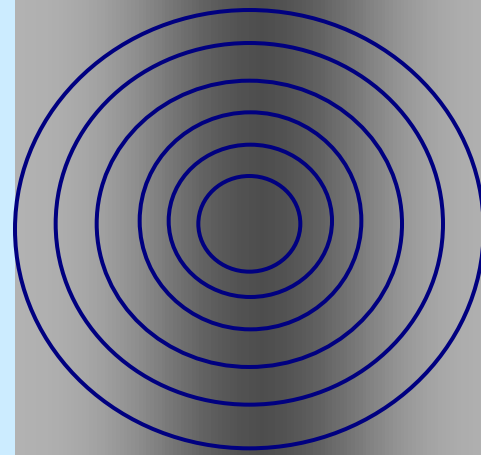
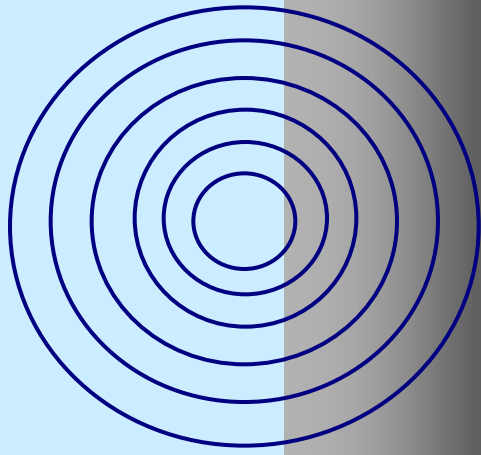
Mengen- und Frachtbewertung "Schadstoffe im Grundwasser" Stand 3-2009

Anhang 2 des Handbuchs Altlasten "Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen"

Eingabedaten sind gelb hinterlegt

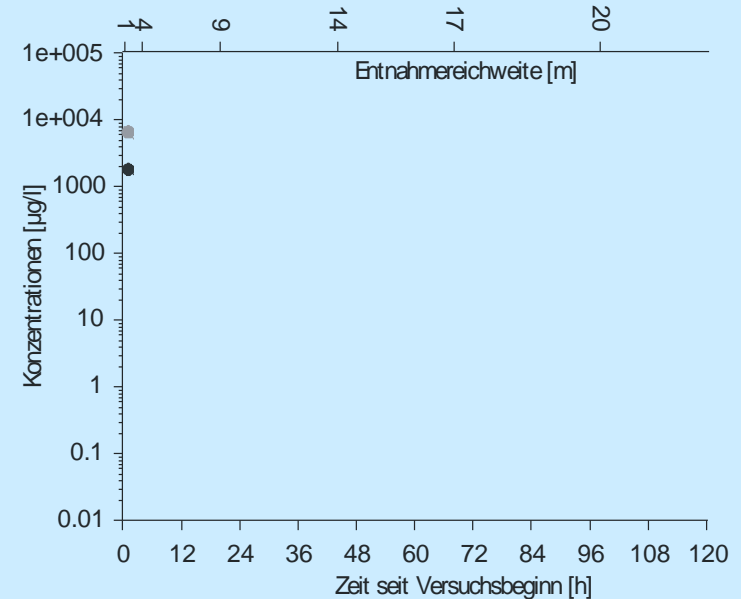
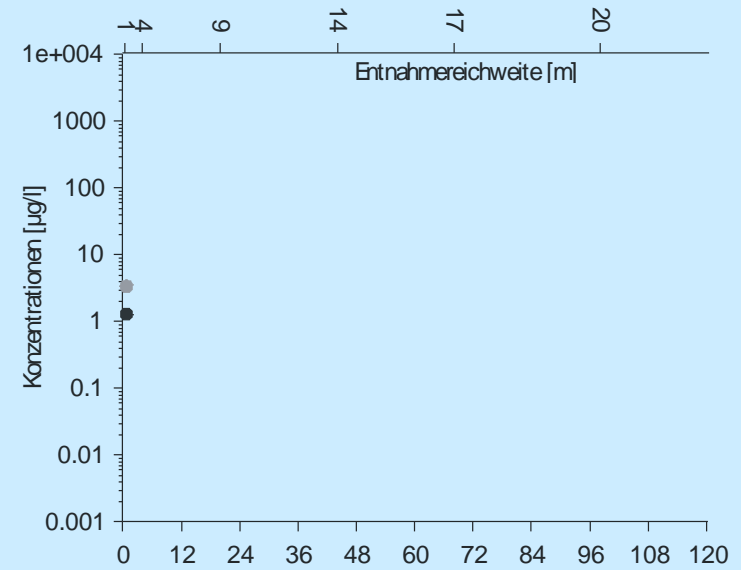
Wichtige Endergebnisse sind blau hinterlegt

Bezeichnung des Schadensfalls			LCKW mehrere Stromröhren		
Schadstoff					
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	µg/l	20		
Stromröhre Nr.			①	②	③
Bezeichnung der Stromröhre/Messstelle			GWM 15	GWM 17	<input type="text"/> Quelle der Daten
Mittlere Konzentration in der Stromröhre	c_{mittel}	µg/l	73792	87	
Max.-Konzentration in der Stromröhre	c_{max}	µg/l	57990	152	
Breite der Stromröhre / Fahne	B	m	25	25	
Höhe der Stromröhre / Fahne	H	m	2	8	
Länge der Stromröhre / Fahne	L	m	40	100	
Durchlässigkeitsbeiwert	k_f	m/s	9,0E-05	9,4E-04	
hydraulischer Gradient	I	-	0,002	0,0001	
nutzbare Porosität	P^*	%	5	10	
Abstandsgeschwindigkeit	v_a	m/d	0,3	0,08	0,00
gelöste Menge im Grundwasser	$M_{\text{gelöst}}$	kg	7,6	groß	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.1)
Fracht im Grundwasser	E_{ab}	g/d	45,3	groß	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)



Schadstofffahne

- PAK 15
- Naphthalin



Kostenlose Software zum Download für die

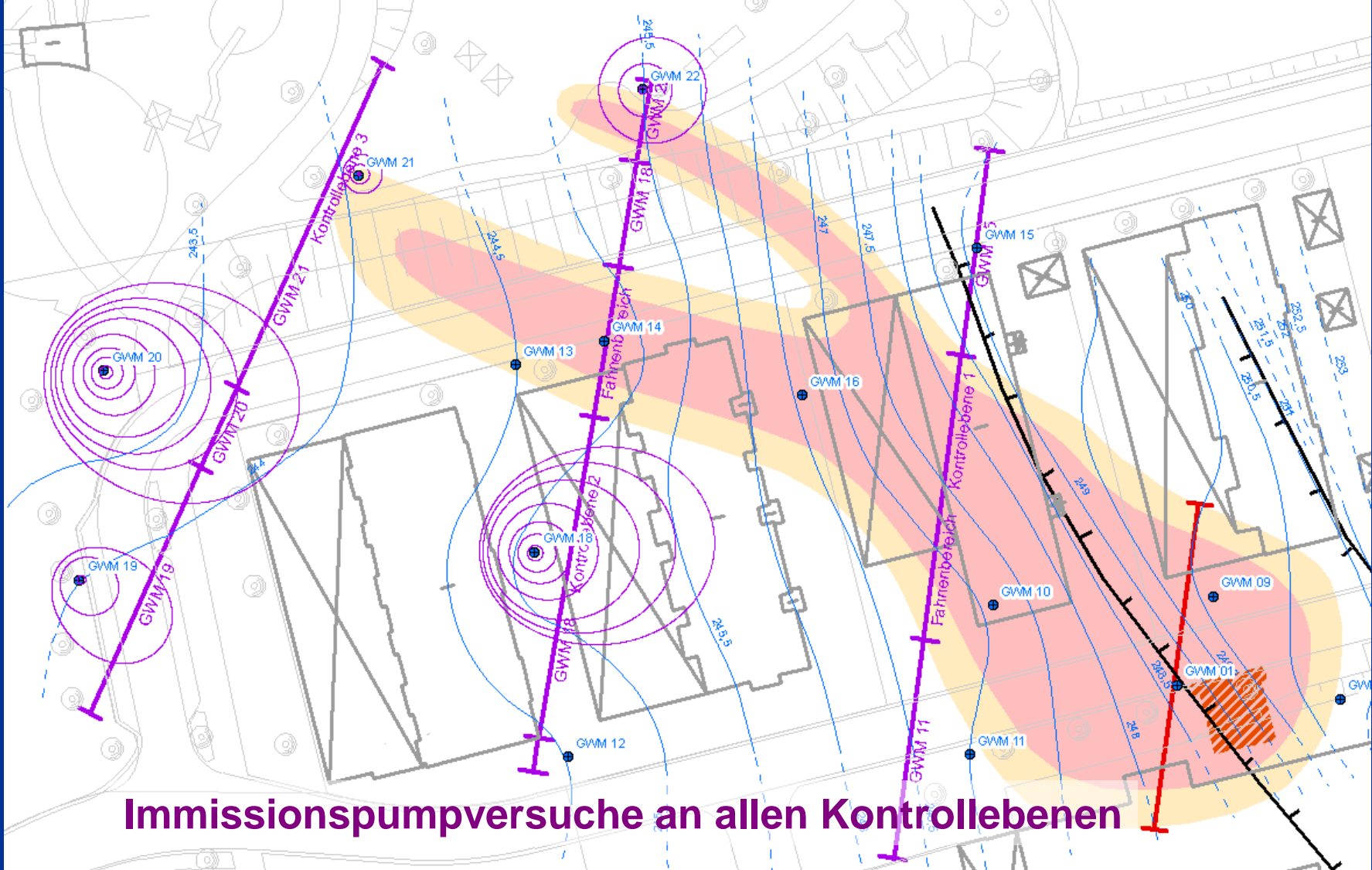
Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen

MAGIC (Management of Groundwater at Industrially Contaminated Areas)

Gemeinschaftsinitiative INTERREG III B der Europäischen Union

<http://www.magic-cadses.com>

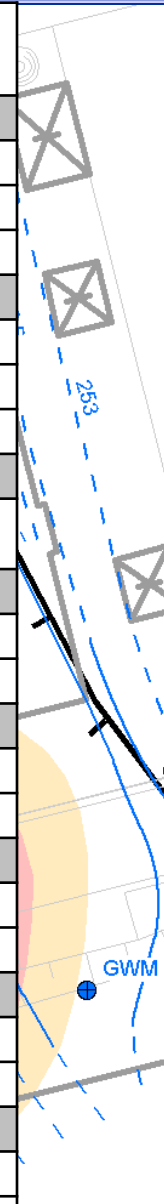




Immissionspumpversuche an allen Kontrollebenen

Hydrogeologische Parameter Kontrollebene 1		Stromröhre Süd (GWM 11)	Fahnenbereich (Mittelwert GWM 10 und GWM 16)	Stromröhre Nord (GWM 15)	Summe Frachten
Geometrie					
B_A	[m]	24	33	23	
h_{GW}	[m]	6,8	6	5,5	
A_A	[m ²]	$B_A \cdot h_{GW}$ 162,72	198,33	126,5	
Hydraulik					
T	[m ² /s]	3,36E-05	3,33E-05	2,90E-05	
k_f	[m/s]	4,96E-06	5,54E-06	5,27E-06	
l	[-]	0,05	0,05	0,07	
Volumenströme					
Q_A	[m ³ /d]	$k_f \cdot A_A \cdot l \cdot 86400$ 3,48	4,75	4,03	12,26
Emission für:		PAK 15	P-Wert [$\mu\text{g/l}$]: 0,2 - E_{max} [g/d]: 0,32		
c_A	[$\mu\text{g/l}$]	0	1,18	0,02	
E(A)	[g/d]	$Q_A \cdot c_A \cdot 10^{-3}$ 0	0,006	0,0001	0,006
Emission für:		Naphthalin	P-Wert [$\mu\text{g/l}$]: 2 - E_{max} [g/d]: 4,5		
c_A	[$\mu\text{g/l}$]	0,11	129	0,33	
E(A)	[g/d]	$Q_A \cdot c_A \cdot 10^{-3}$ 0,0004	0,61	0,001	0,61
Emission für:		MKW-GC	P-Wert [$\mu\text{g/l}$]: 200 - E_{max} [g/d]: 100		
c_A	[$\mu\text{g/l}$]	0	7.200,00	100	
E(A)	[g/d]	$Q_A \cdot c_A \cdot 10^{-3}$ 0	34,2	0,4	34,6
Emission für:		Summe AKW	P-Wert [$\mu\text{g/l}$]: 20 - E_{max} [g/d]: 20		
c_A	[$\mu\text{g/l}$]	0	5.297,00	0	
E(A)	[g/d]	$Q_A \cdot c_A \cdot 10^{-3}$ 0	25,1	0	25,1
Emission für:		Benzol	P-Wert [$\mu\text{g/l}$]: 1 - E_{max} [g/d]: 2		
c_A	[$\mu\text{g/l}$]	0	400	0	
E(A)	[g/d]	$Q_A \cdot c_A \cdot 10^{-3}$ 0	1,9	0	1,9

Frachtberechnung an allen Kontrollebenen



Hydraulik

- Beschaffenheit des Aquifers
- Kontrolle der Wassermenge, kf-Werte, Gradienten

Konzentrationen und Frachten in den Kontrollebenen

- Schadstoffentwicklung während des Pumpversuchs – qualitative Fahnenabgrenzung
- Einzelstoffe – mikrobiologischer Abbau, Sorption, Verdünnung
- Frachtermittlung – Abnahme in der Schadstofffahne, Stationarität

Sanierungsüberwachung, Sanierungskontrolle

- Optimierung des Zeitpunkts für die Probenentnahme für die Frachtberechnung
- Zeitliche Entwicklung Fracht

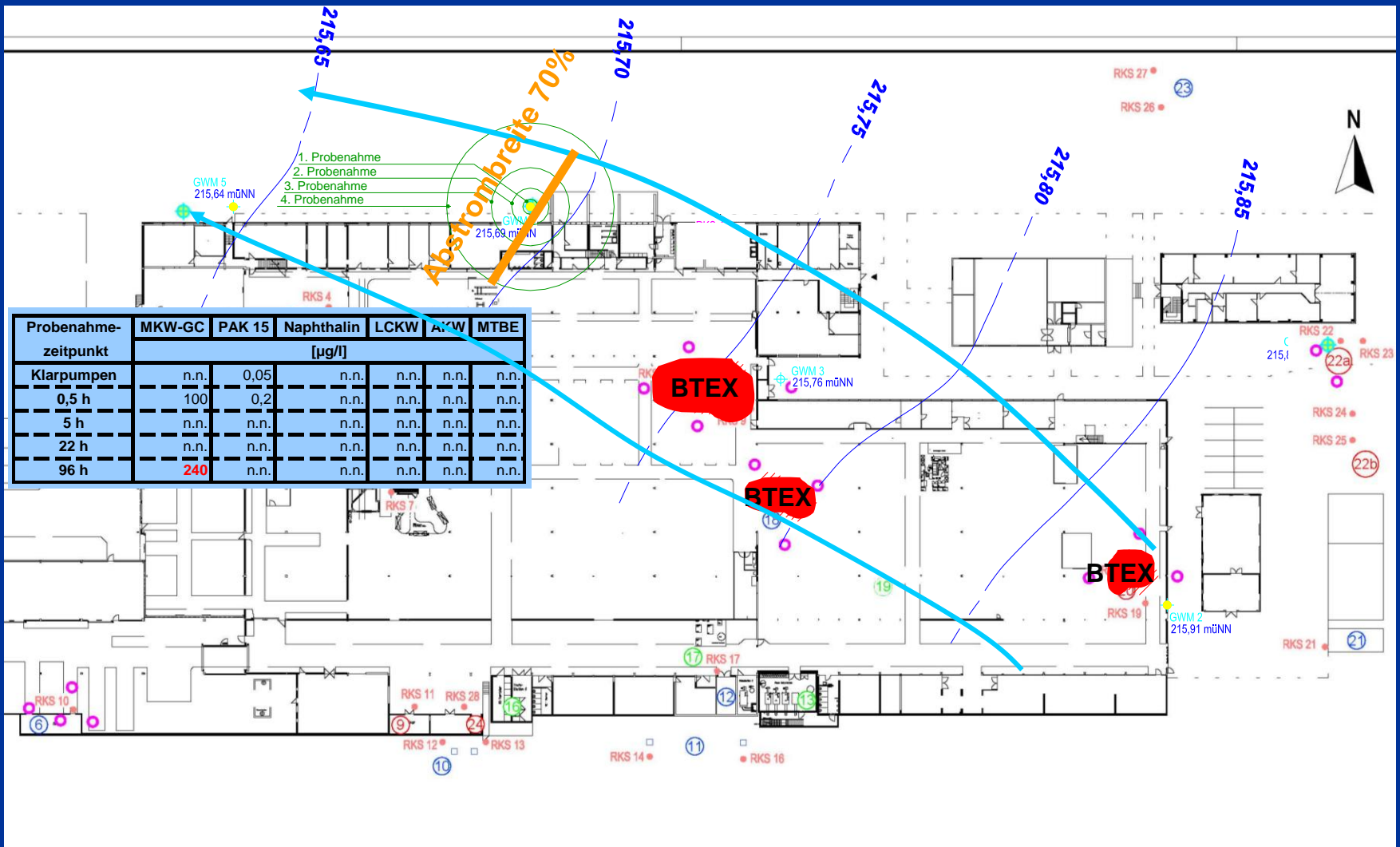
Schadensherd	
Austrag Schadstoffe [g/d]	
PAK 15	0,002
Naphthalin	0,7
Benzol	3,5
Ammonium	50,3
	19,2
	0,9

Kontrollebene 3	
Austrag Schadstoffe [g/d]	
MKW-GC	0,0
AKW	0,593
Benzol	0,002

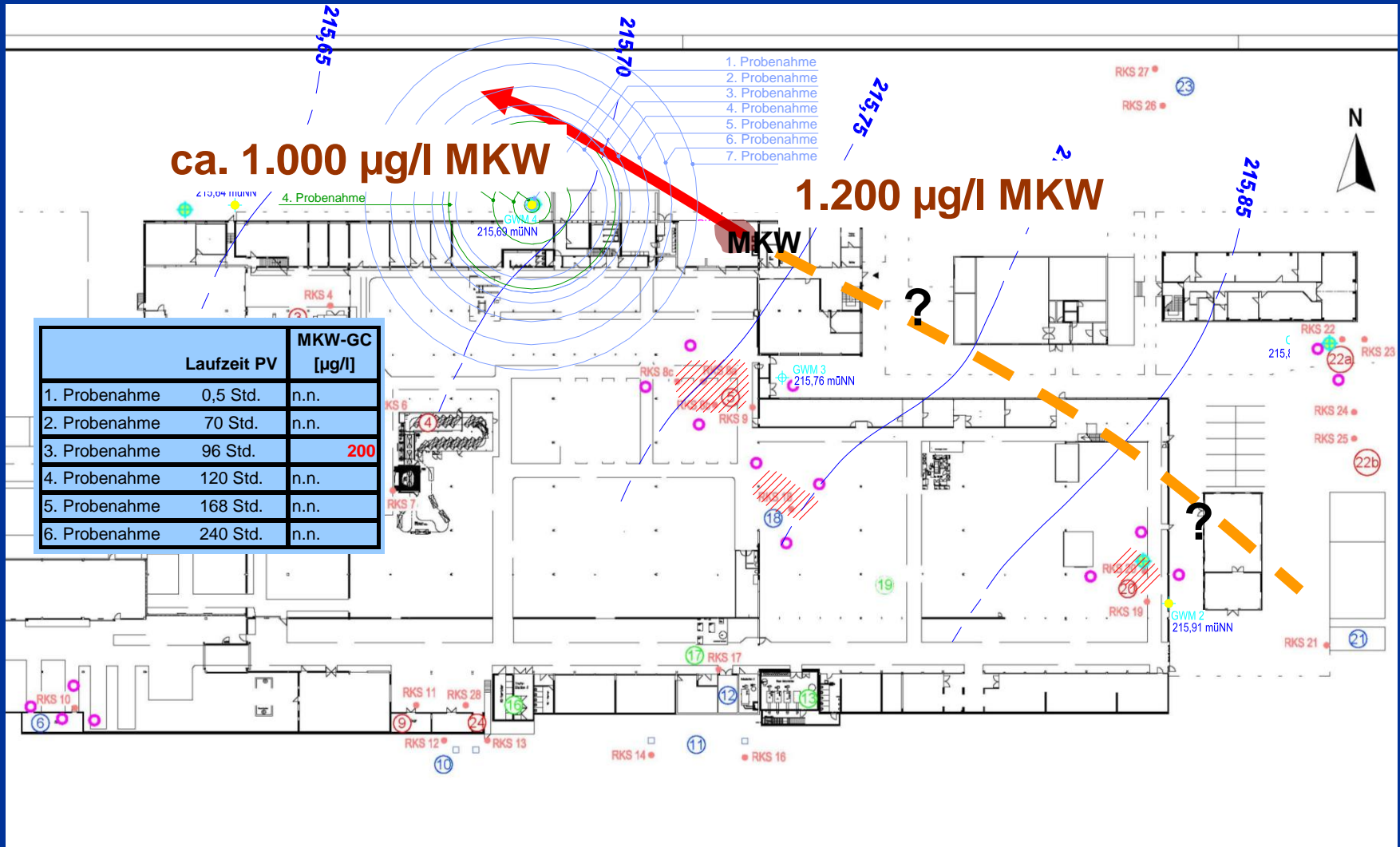
Kontrollebene 2	
Austrag Schadstoffe [g/d]	
PAK 15	0,0089
Naphthalin	0,18
MKW-GC	11,5
Ammonium	0,5

PAK 15	
Naphthalin	0,01
MKW-GC	34,6
AKW	25,1
Benzol	1,9
Ammonium	2,4

Zeitpunkt der Probenentnahme – Mögliche Fehlinterpretation



Zeitpunkt der Probenentnahme – mögliche Fehlinterpretation

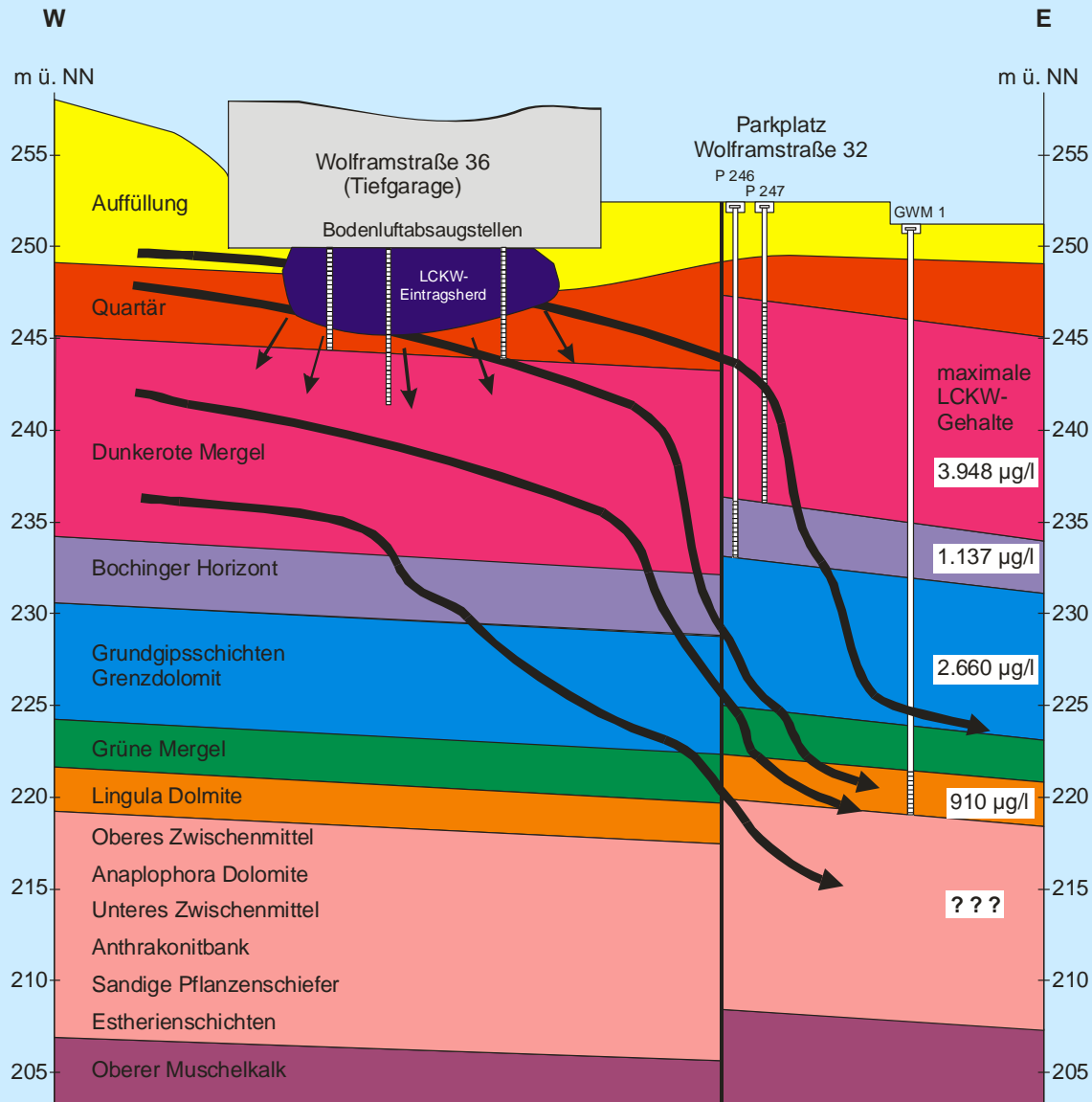


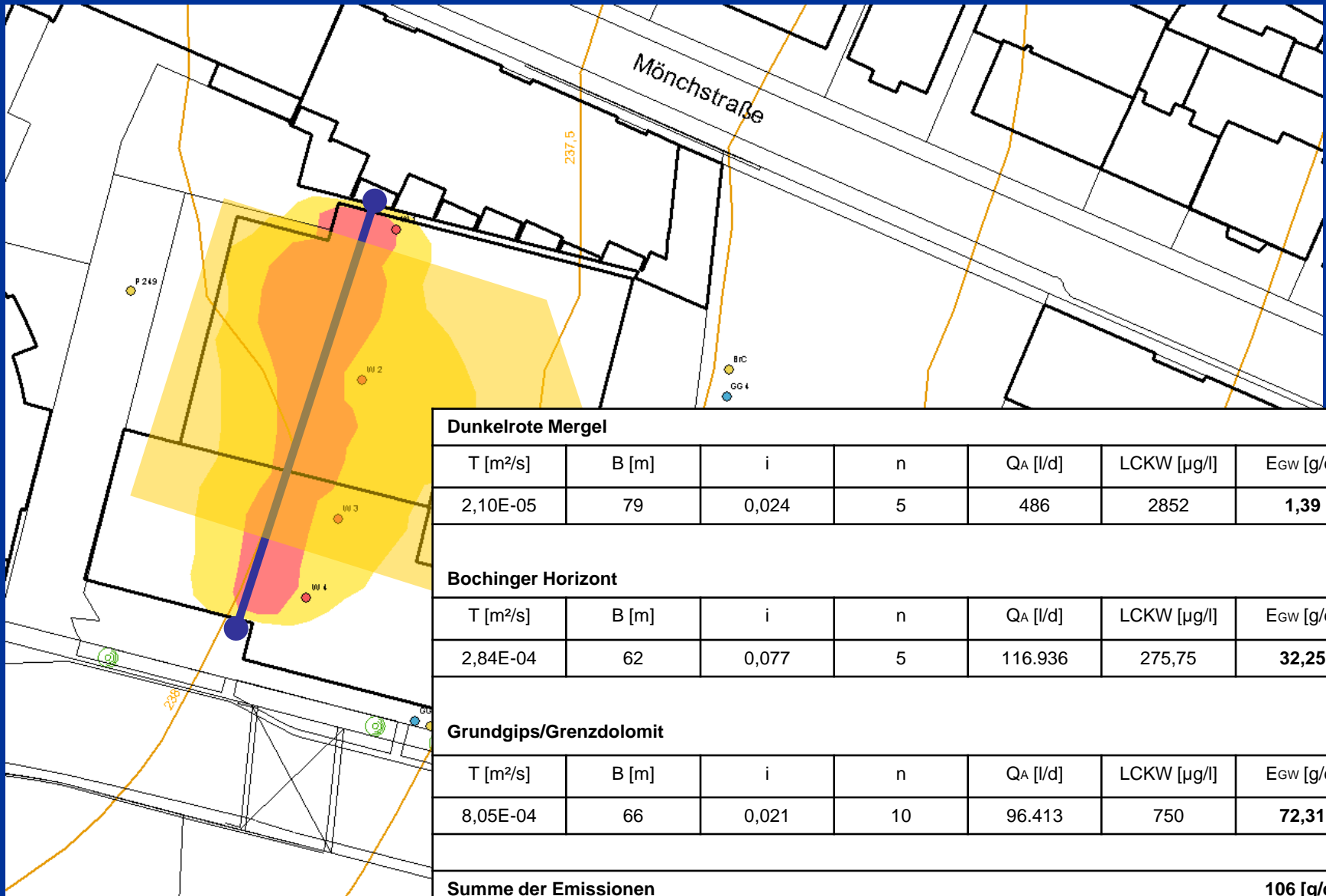
Eingabedaten sind gelb hinterlegt

Parameter		Min	Mittel	Max
Abstrombreite	B _A [m]	6	8	10
Höhe des GW-Leiters	h _{GW} [m]	1,4	1,4	1,4
Transmissivität	T [m ² /s]	2,10E-04	2,10E-04	2,10E-04
Gradient	I [-]	0,001429	0,001429	0,001429
effektive Porosität	n _f [-]	0,1	0,1	0,1
Grundwasserabstrom	Q _A = Q _{SH} [m ³ /d]	0,156	0,181	0,207
Schadstoffsumme MKW				
Schadstoffkonzentration	c _{SH} [µg/l]	1000	1000	1000
Emission	E (SH) [g/d]	0,156	0,181	0,207
max. zulässige Emission	E _{max.-WMKW} [g/d]	100	100	100

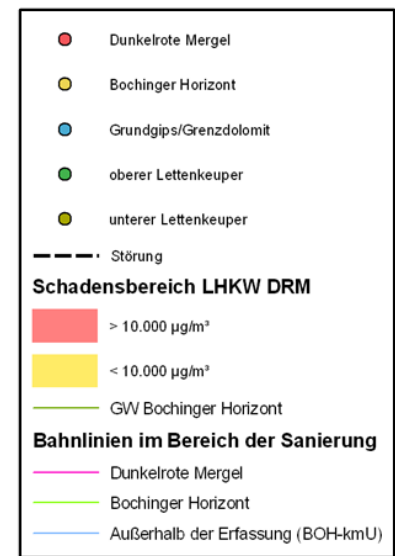
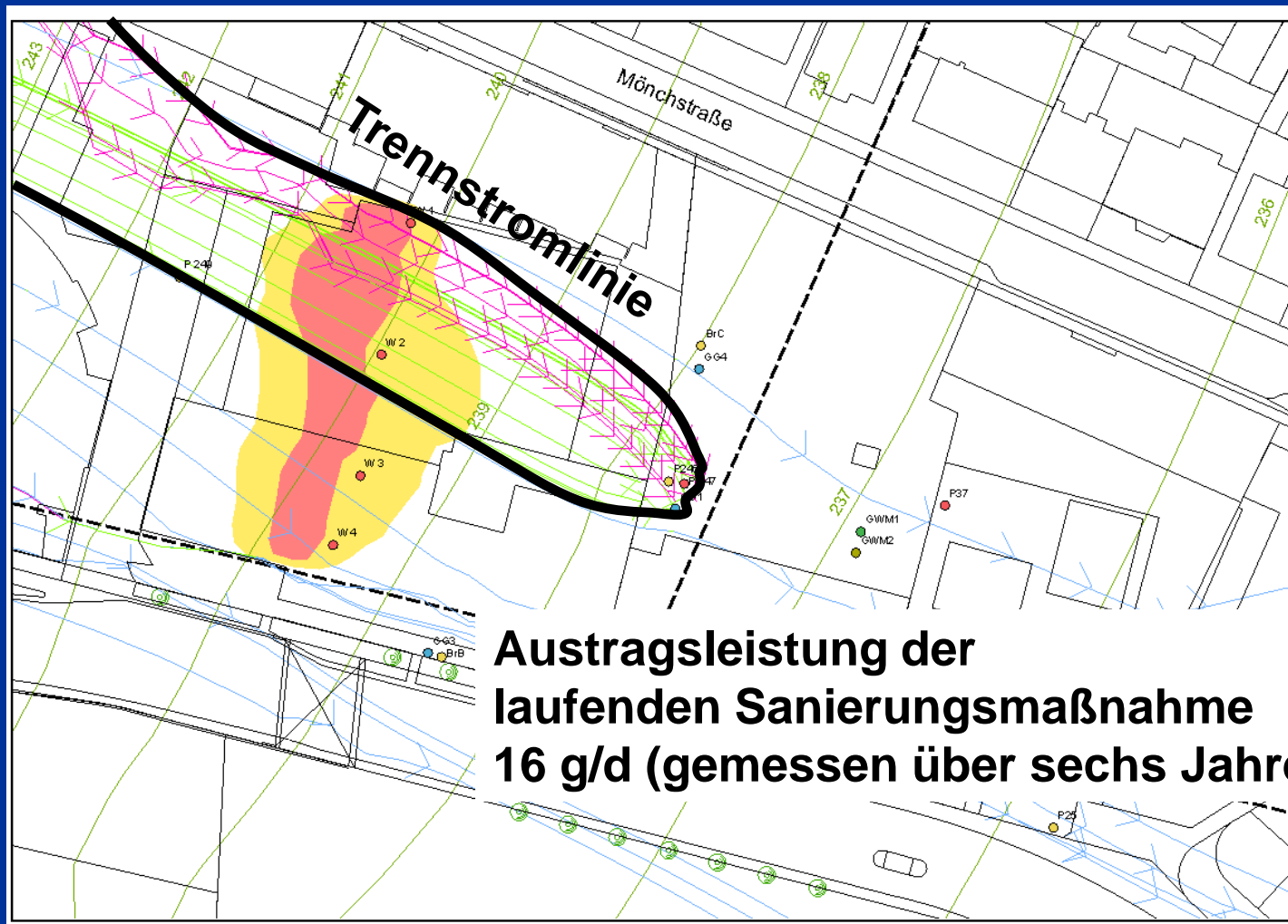
gelöste Menge im Grundwasser M_{gelöst} kg 0,009 sehr klein (Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.1)

Fracht im Grundwasser E_{ab} g/d 0,4 sehr klein (Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)





Dunkelrote Mergel						
T [m ² /s]	B [m]	i	n	QA [l/d]	LCKW [µg/l]	E _{gw} [g/d]
2,10E-05	79	0,024	5	486	2852	1,39
Bochinger Horizont						
T [m ² /s]	B [m]	i	n	QA [l/d]	LCKW [µg/l]	E _{gw} [g/d]
2,84E-04	62	0,077	5	116.936	275,75	32,25
Grundgips/Grenzdolomit						
T [m ² /s]	B [m]	i	n	QA [l/d]	LCKW [µg/l]	E _{gw} [g/d]
8,05E-04	66	0,021	10	96.413	750	72,31
Summe der Emissionen						106 [g/d]



Austragsleistung der laufenden Sanierungsmaßnahme 16 g/d (gemessen über sechs Jahre)

