

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

**Dipl.-Geologe Arnold Pettera**

**20.04.2009**

## Stromröhrenmodell

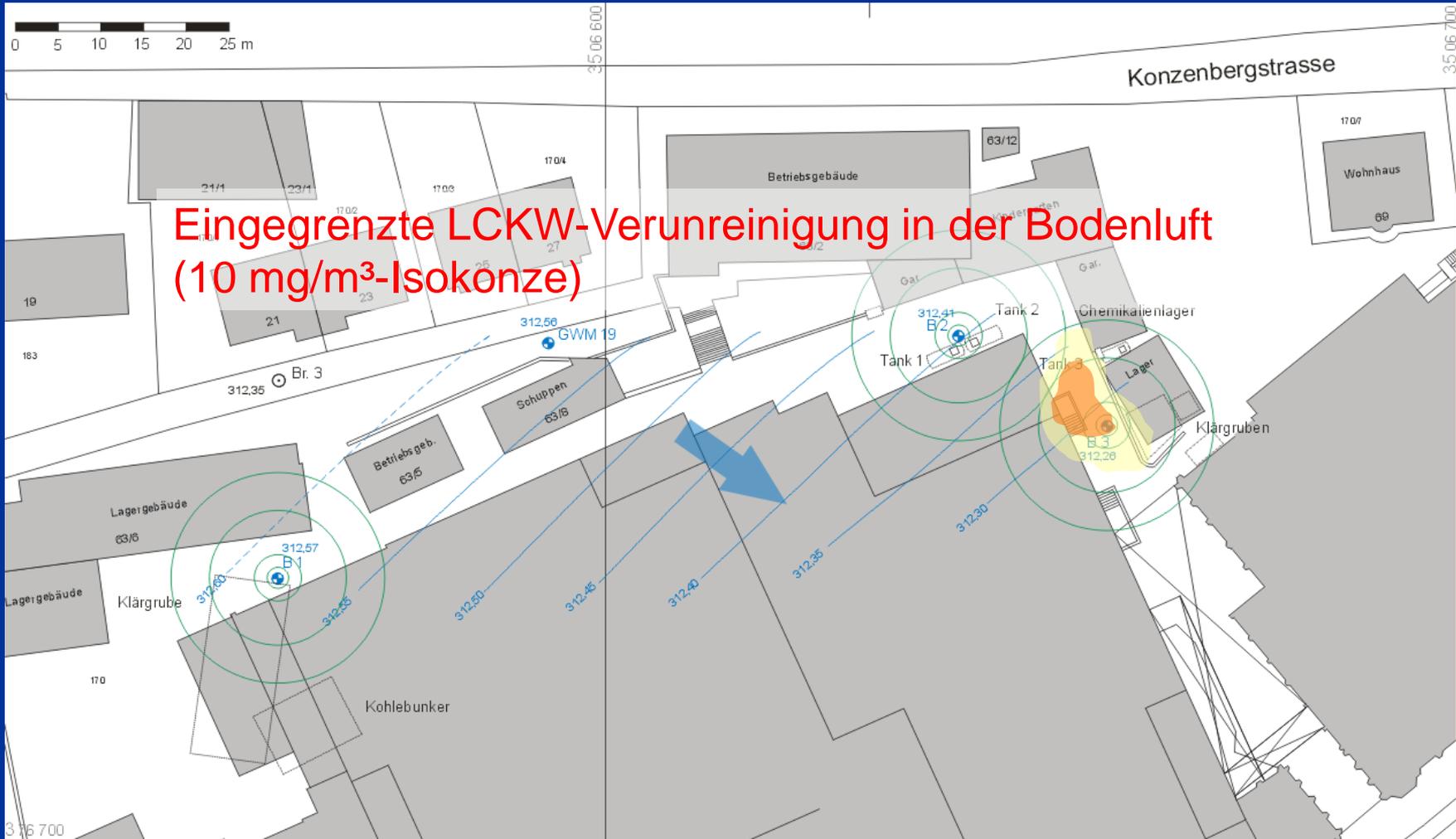
- Eine Stromröhre – mehrere Stromröhren
- Stromröhrenstapel

## Kontrollebenenansatz - Immissionspumpversuche

- Prinzip und Umsetzung
- Frachtermittlung - Plausibilitätskontrolle

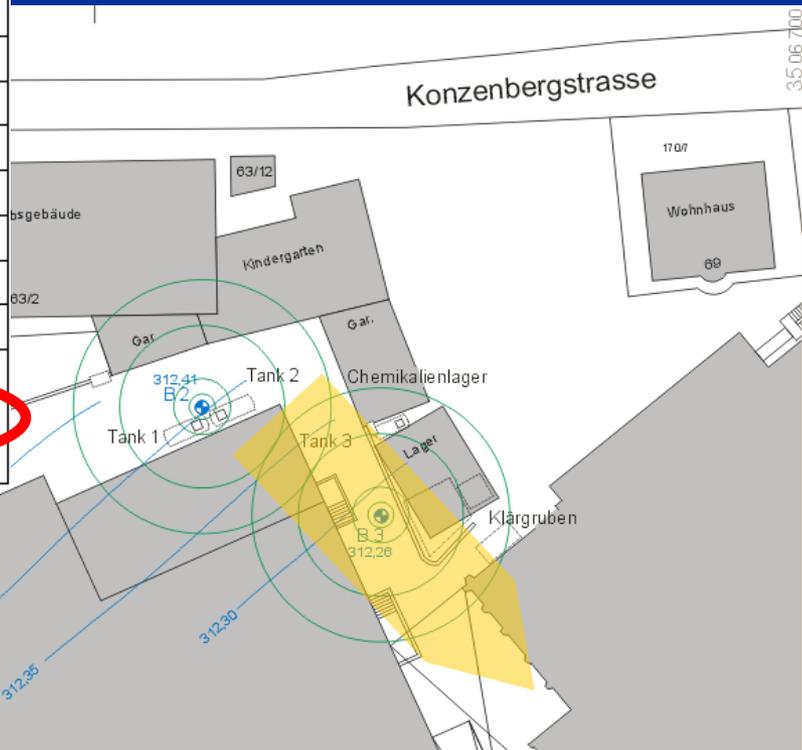
## Konzentrationen – (Fehl-)interpretationen - Optimierung

- 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 <sup>2</sup> /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 <sup>3</sup> /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

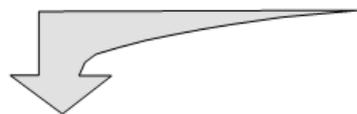


Probenbezeichnung	LCKW [µg/l]	Entnahmereichweite bei Probenahme [m]
GWM B 3 0,5 Std.	130	2
GWM B 3 5,0 Std.	82	6
GWM B 3 30 Std.	56	15
GWM B 3 98 Std.	30	27

*Eingabedaten sind gelb hinterlegt*

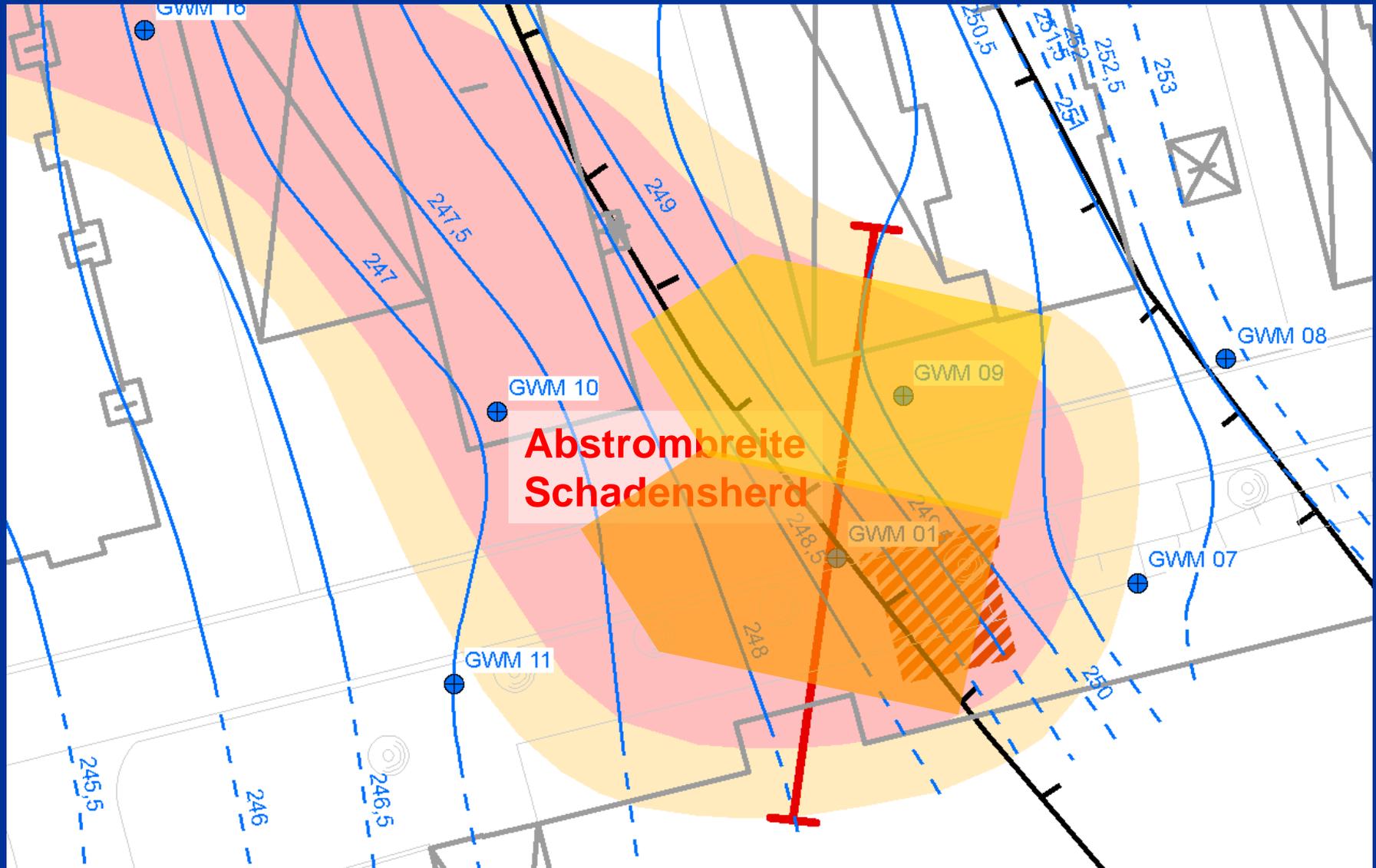
*Wichtige Endergebnisse sind blau hinterlegt*

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	$C_{\text{mittel}}$	µg/l	74,5			
Max.-Konzentration in der Stromröhre	$C_{\text{max}}$	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**  $E_{\text{ab}}$  **g/d** **0,6** **klein** (Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)

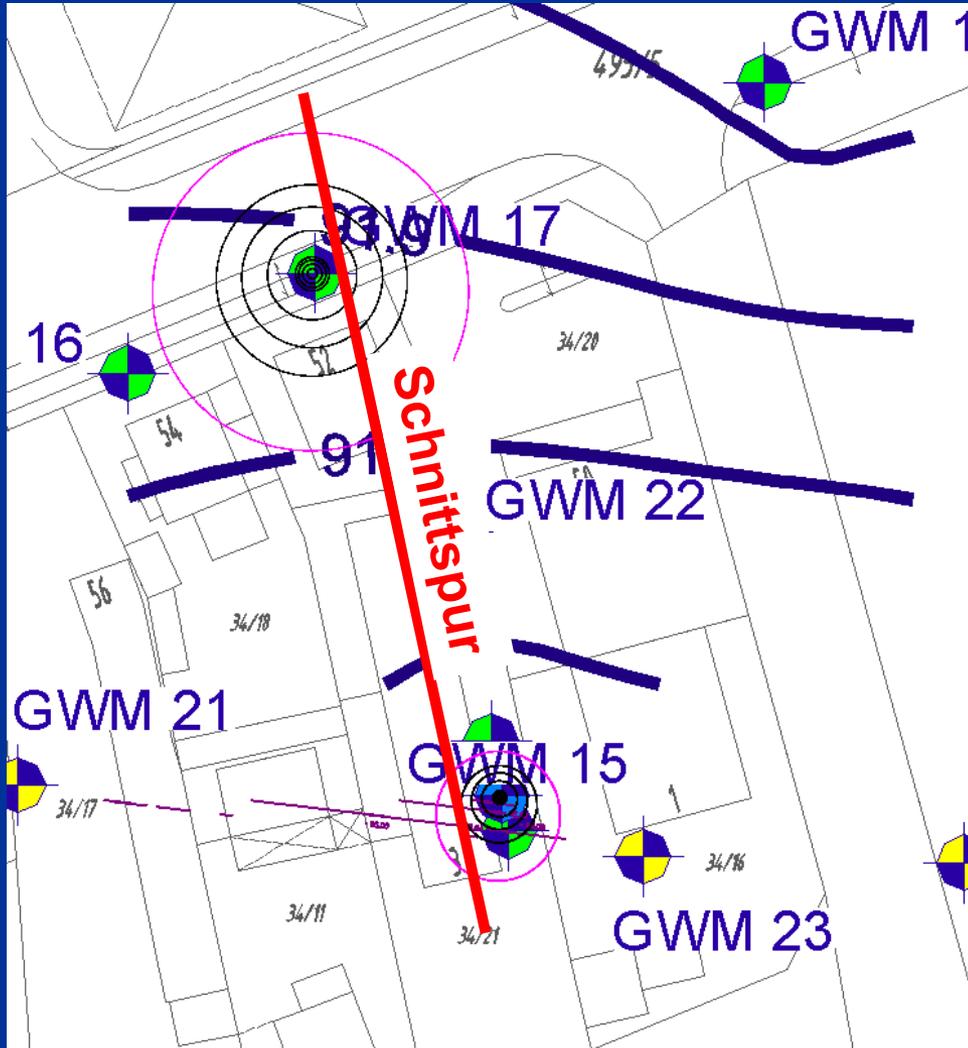


Hydrogeologische Parameter			Messstellen		
			GWM 1	GWM 9	Summe
<b>Geometrie</b>					
B <sub>A</sub>	[m]		20	20	
h <sub>GW</sub>	[m]		10,2	5,1	
A <sub>A</sub>	[m <sup>2</sup> ]	B <sub>A</sub> · h <sub>GW</sub>	204	102	
<b>Hydraulik</b>					
T	[m <sup>2</sup> /s]		9,73E-06	1,29E-05	
k <sub>f</sub>	[m/s]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

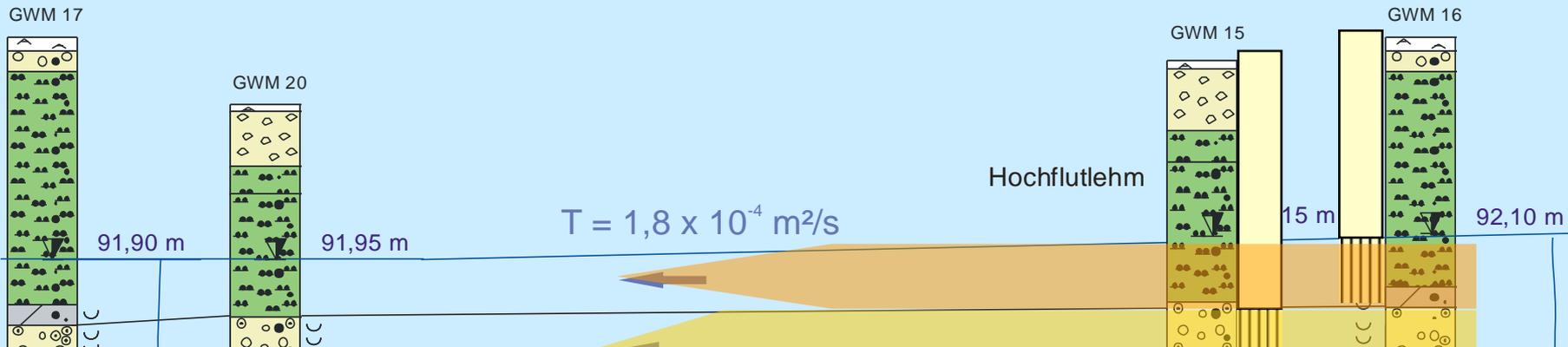
*Eingabedaten sind gelb hinterlegt*

*Wichtige Endergebnisse sind blau hinterlegt*

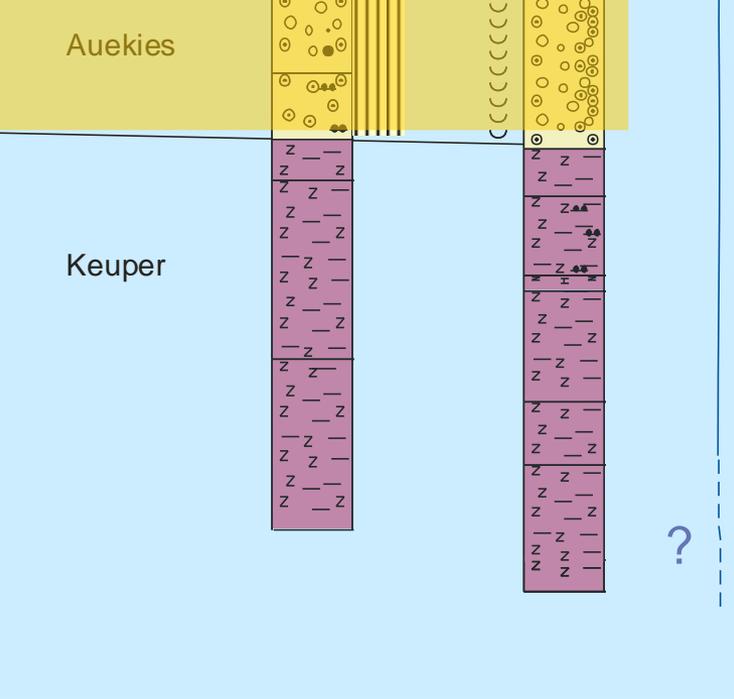
Bezeichnung des Schadensfalls			AKW mehrere Stromröhren		
Schadstoff					
Geringfügigkeitsschwellenwert	GFS	µg/l	20		
Stromröhre Nr.			①	②	③
Bezeichnung der Stromröhre/Messstelle			GWM 1	GWM 9	
					Quelle der Daten
Mittlere Konzentration in der Stromröhre	$C_{\text{mittel}}$	µg/l	18256	308	
Max.-Konzentration in der Stromröhre	$C_{\text{max}}$	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
<b>gelöste Menge im Grundwasser</b>	$M_{\text{gelöst}}$	<b>kg</b>	<b>11,3</b>	<b>groß</b>	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.1)
<b>Fracht im Grundwasser</b>	$E_{\text{ab}}$	<b>g/d</b>	<b>43,7</b>	<b>groß</b>	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)



# LCKW-Verunreinigung - mehrere Stromröhren



Hydrogeologische Parameter		Stromröhre (GWM 16)	Stromröhre (GWM 15)	Summen
<b>Geometrie</b>				
$B_A$	[m]	25	25	
$h_{GW}$	[m]	2,00	8,00	
$A_A$	[m <sup>2</sup> ]	$B_A \cdot h_{GW}$	50	200
<b>Hydraulik</b>				
$T$	[m <sup>2</sup> /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	
<b>Volumenströme</b>				
$Q_A$	[m <sup>3</sup> /d]	$k_f \cdot A_A \cdot l \cdot 86400$	0,7776	1,6200
<b>Emission für:</b>		LHKW	P-Wert [µg/l]: 10	P-Wert [µg/l]: 10
$c_A$	[µg/l]		<b>57.990,00</b>	<b>152,38</b>
$E(A)$	[g/d]	$Q_A \cdot c_A \cdot 10^{-3}$	<b>45,09</b>	<b>0,25</b>
				<b>45,40</b>



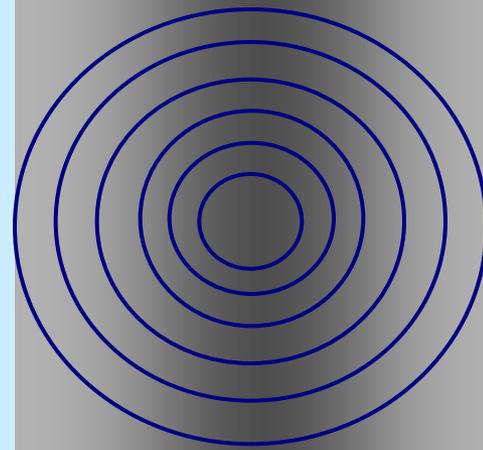
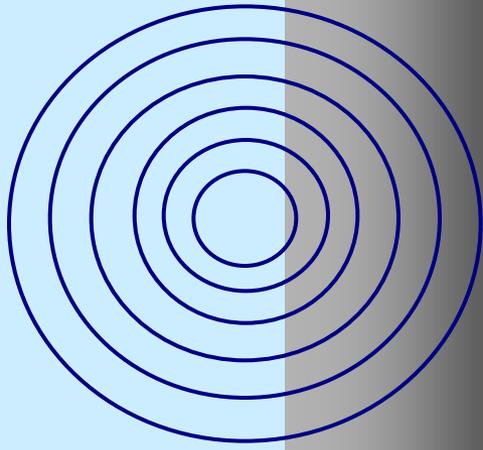
## Mengen- und Frachtbewertung "Schadstoffe im Grundwasser" Stand 3-2009

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

Eingabedaten sind gelb hinterlegt

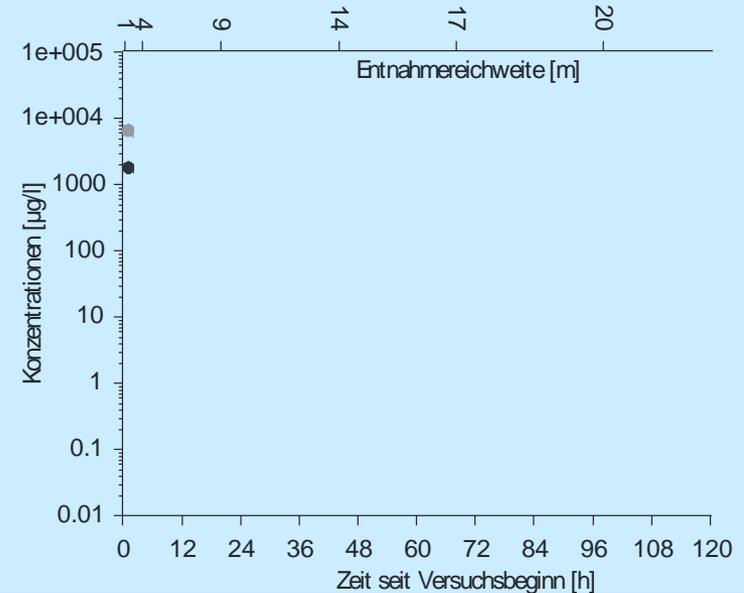
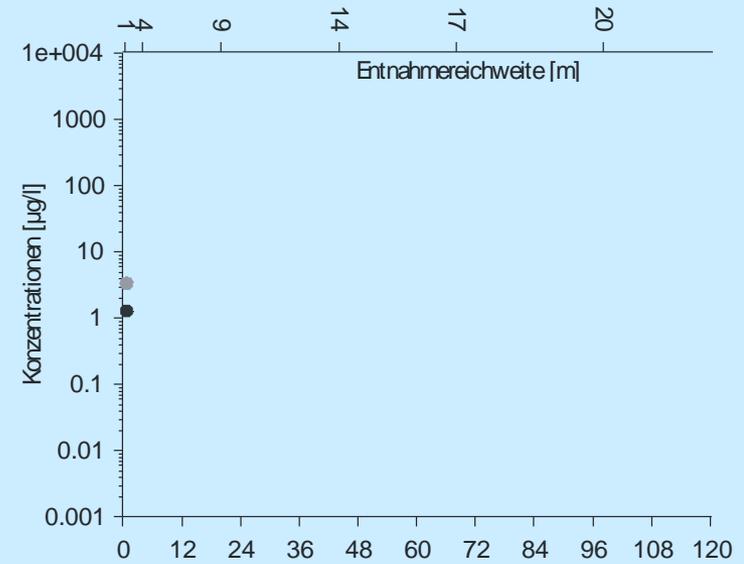
Wichtige Endergebnisse sind blau hinterlegt

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	$c_{\text{mittel}}$	µg/l	73792	87	
Max.-Konzentration in der Stromröhre	$c_{\text{max}}$	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
<b>gelöste Menge im Grundwasser</b>	$M_{\text{gelöst}}$	<b>kg</b>	<b>7,6</b>	<b>groß</b>	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.1)
<b>Fracht im Grundwasser</b>	$E_{\text{ab}}$	<b>g/d</b>	<b>45,3</b>	<b>groß</b>	(Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)



Schadstofffahne

- PAK 15
- Naphthalin



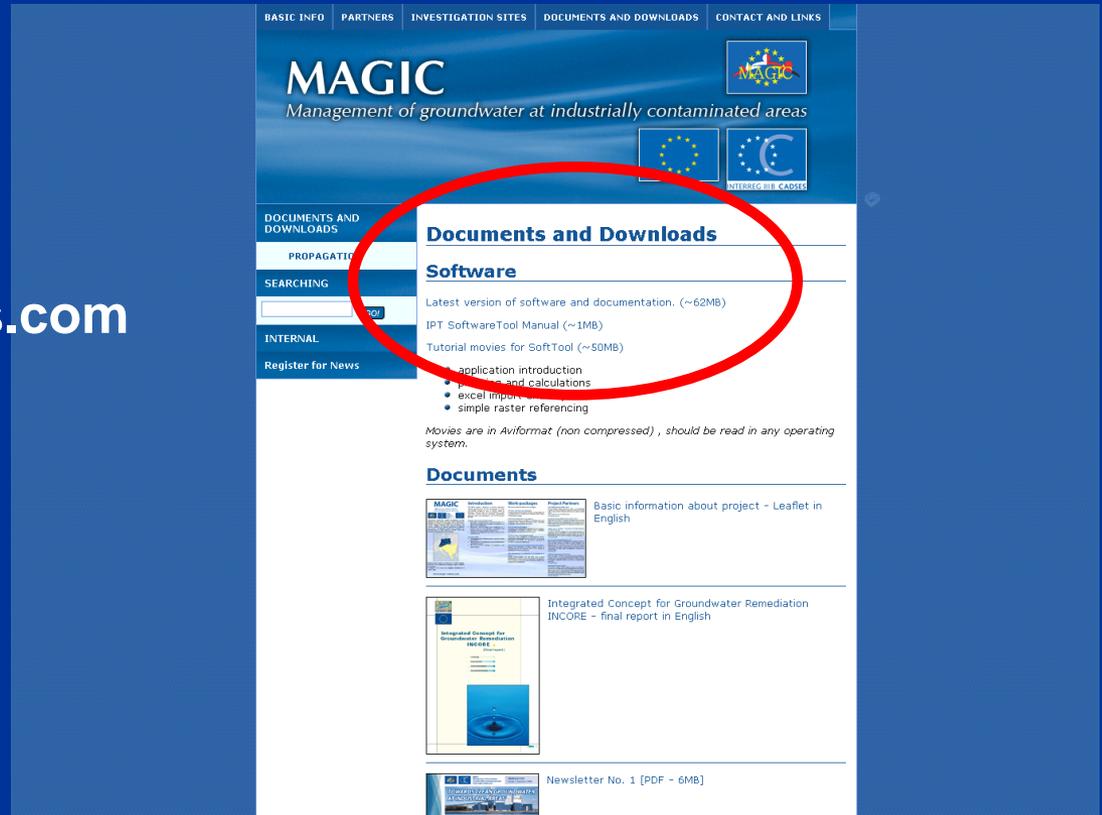
## Kostenlose Software zum Download für die

## Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen

### MAGIC (Management of Groundwater at Industrially Contaminated Areas)

### Gemeinschaftsinitiative INTERREG III B der Europäischen Union

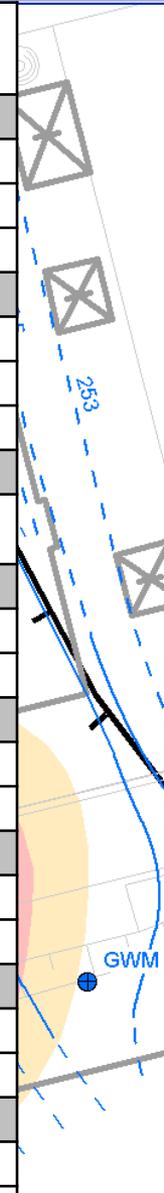
<http://www.magic-cadses.com>





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

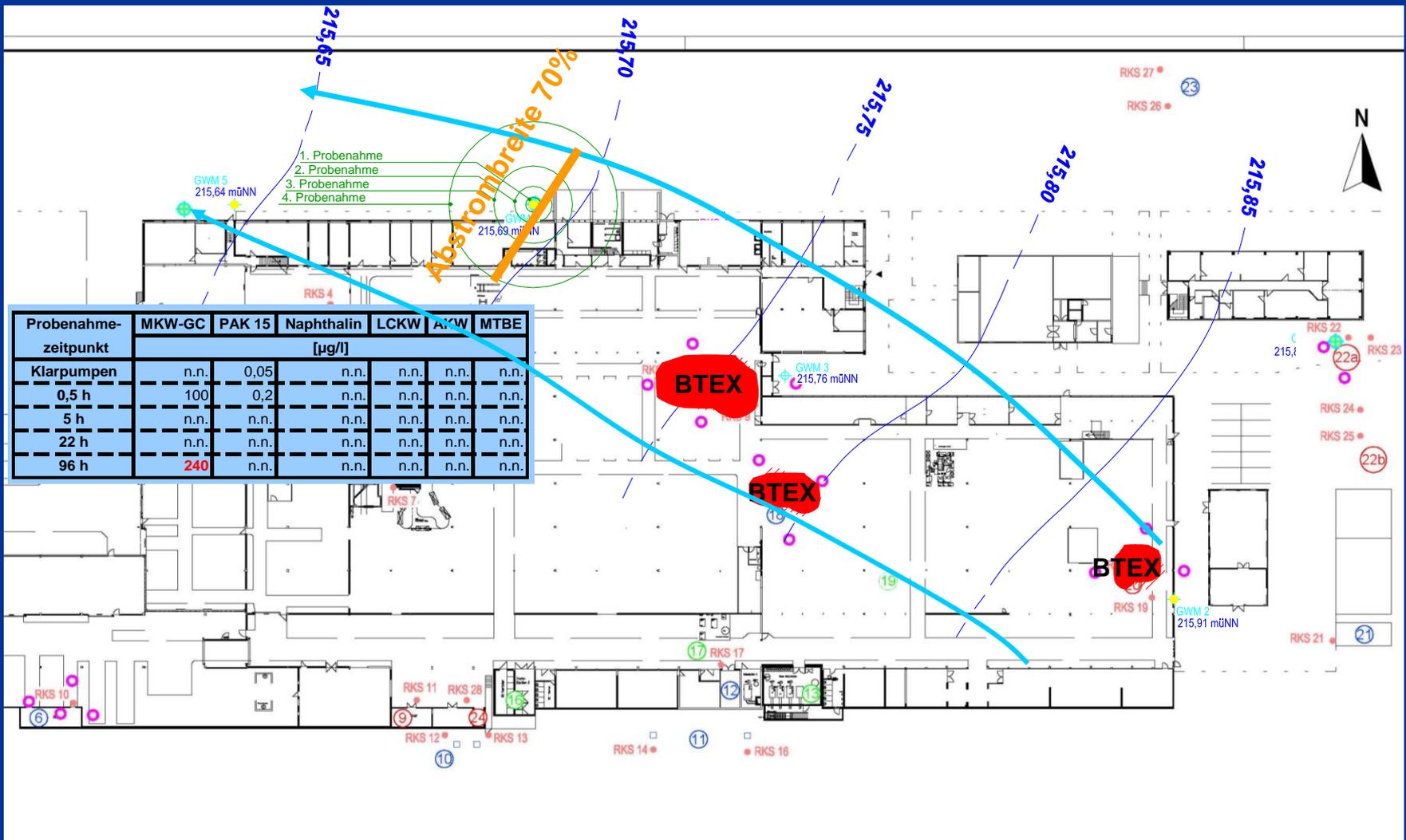
Schadensherd	
Austrag Schadstoffe [g/d]	
PAK 15	0,002
Naphthalin	0,7
Benzol	3,5
Ammonium	50,3
	19,2
	0,9

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

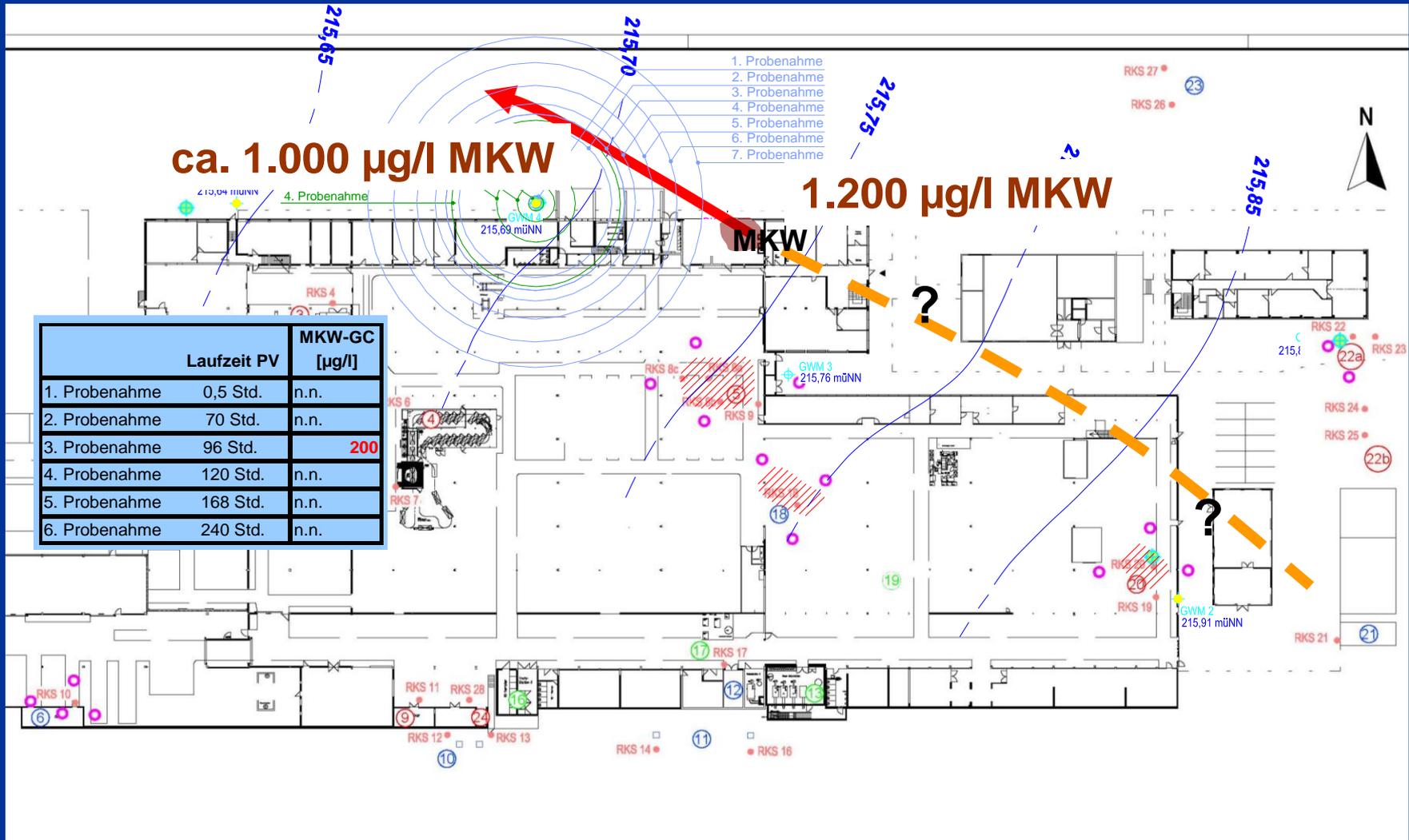
Kontrollebene 2	
Austrag Schadstoffe [g/d]	
PAK 15	0,0089
Naphthalin	0,18
MKW-GC	11,5
Ammonium	0,5

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

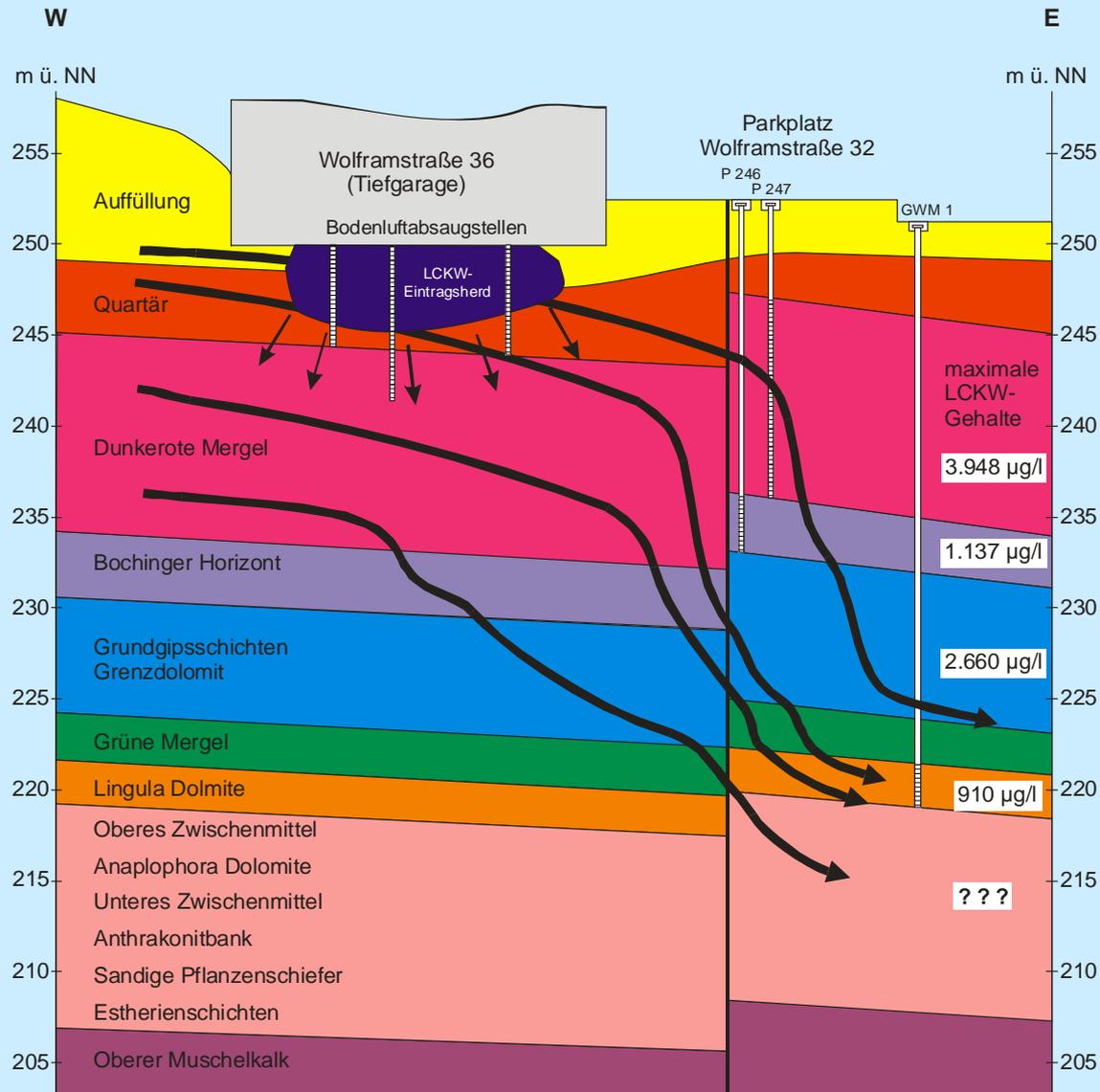


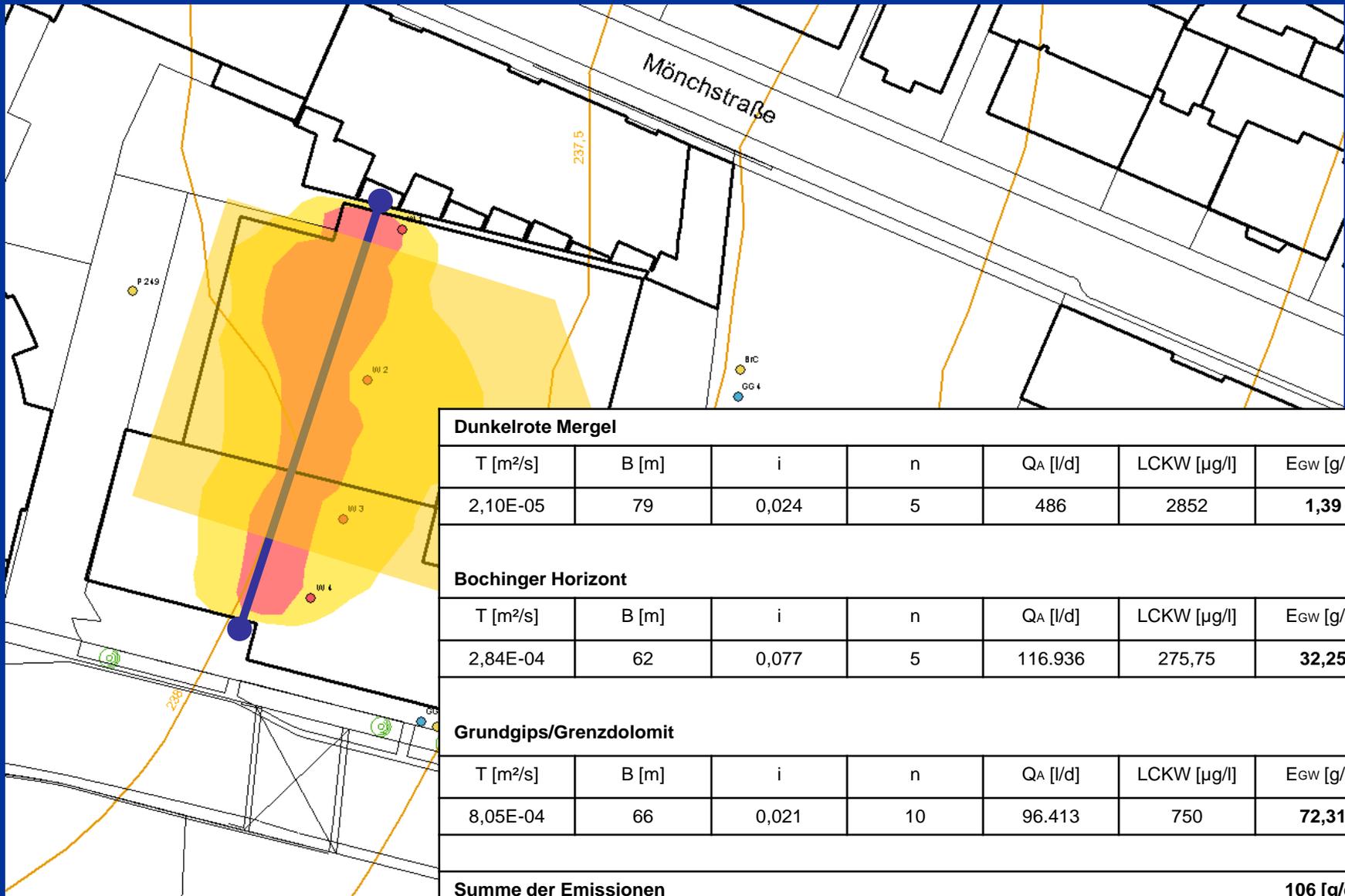
*Eingabedaten sind gelb hinterlegt*

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

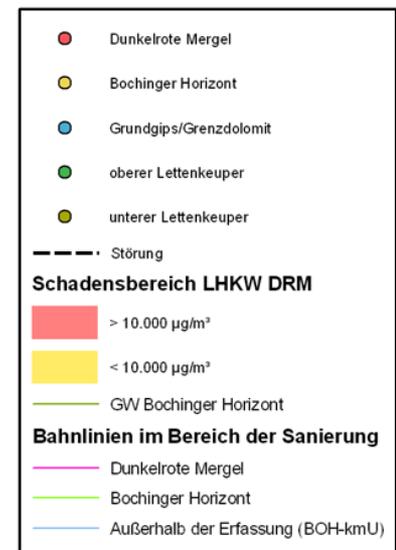
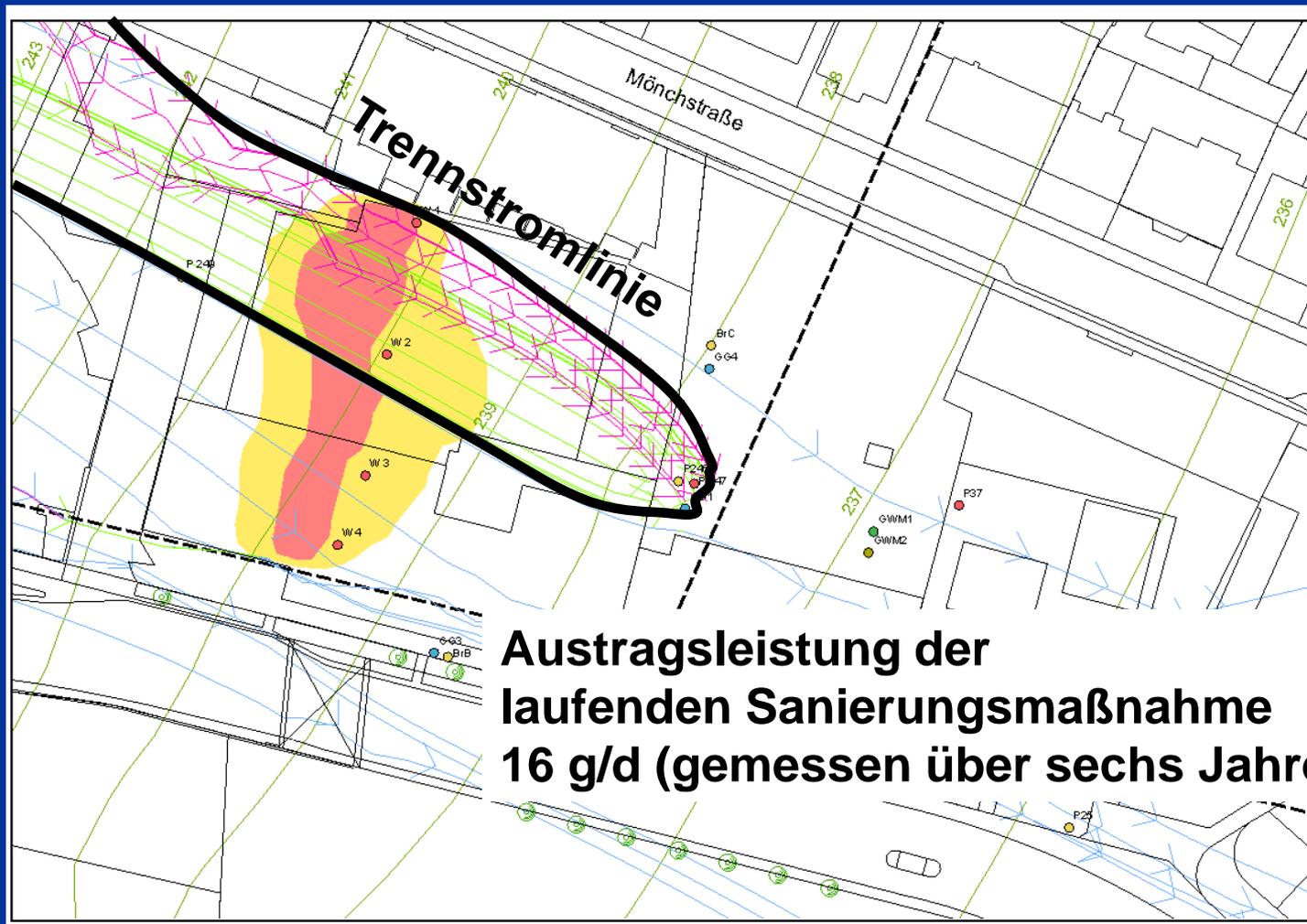
**gelöste Menge im Grundwasser**    M<sub>gelöst</sub>    kg    0,009    **sehr klein**    (Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.1)

**Fracht im Grundwasser**    E<sub>ab</sub>    g/d    0,4    **sehr klein**    (Einstufung nach Arbeitshilfe Kap. 3.2.2)





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



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

