

## Grundlagen und Hinweise zum Excel-Tool I/E-Calc

Das Programm I/E-Calc unterstützt den Nutzer bei der Durchführung einer Immissions- und Emissionsbetrachtung. Die Anwendung des Programms **I/E-Calc** eignet sich insbesondere für Ablagerungen und Altstandorte mit heterogen verteilten Schadstoffen.

Der Schadensherd muss zunächst in verschiedene Segmente eingeteilt werden, wobei in etwa gleich belastete Bereiche zusammenzufassen sind.

Ausgehend von der Modellvorstellung der Schadstoffverteilung sind im Excel-Tool I/E-Calc verschiedene Eingabeblätter angelegt, in welchen nacheinander die Geometrie des hydrogeologischen Arbeitsmodells, der Schadstoff und dessen Konzentrationsverteilungen eingetragen werden.

(siehe Abb. 1a).

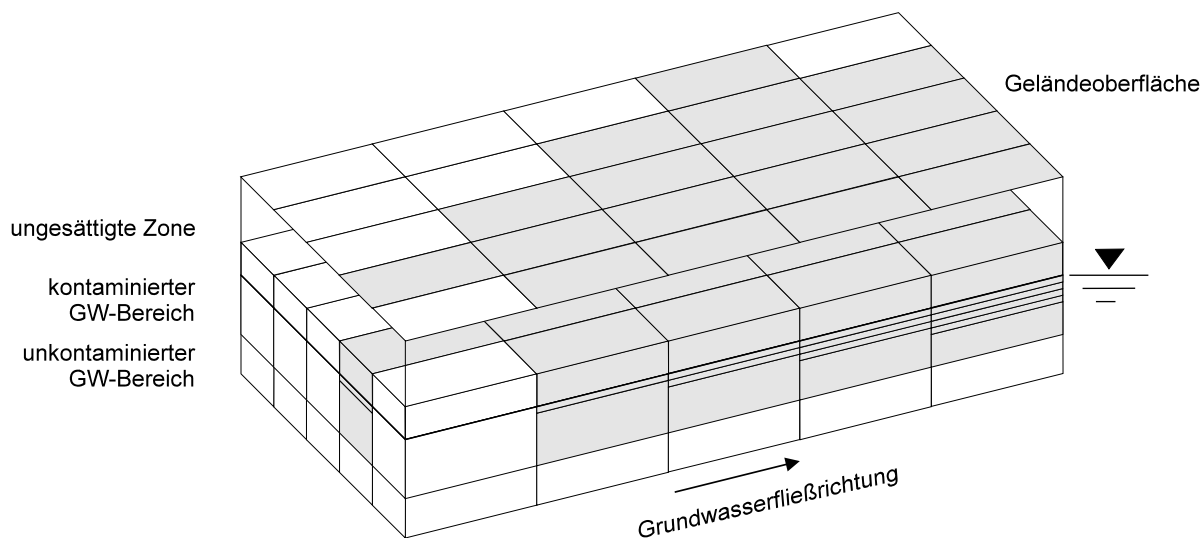


Abb. 1a: Modellhafte Darstellung einer Altlast zur I/E-Betrachtung (Die grau unterlegten Bereiche markieren den Schadensherd) [Quelle: Hinweise zur Verwaltungsvorschrift]

Die ungesättigte und gesättigte Zone wird jeweils in Teilflächen bzw. Stromröhrenabschnitte und Stromröhren eingeteilt. Übereinander liegende Stromröhren bilden einen Stromröhrenstapel. Erstreckt sich der Kontaminationsbereich über die ungesättigte Zone hinaus bis in die gesättigte Zone, besteht ein Stromröhrenstapel i.d.R. aus den folgenden 3 übereinander liegenden Stromröhren.

- 1: Stromröhre *SiWa* für die aus Sickerwasser gebildete obere Grundwasserschicht (Sickerwasser am Ort der Beurteilung – OdB). Entsteht kein Sickerwasser, kann diese Stromröhre entfallen.
- 2: Stromröhre *KGW* für das Kontaktgrundwasser. Dies ist Grundwasser, das kontaminierten Boden/kontaminiertes Ablagerungsgut durch- oder umströmt. Darunter wird auch Material verstanden, das Schadstoffe in flüssiger Phase enthält. Unterscheiden sich die KGW-Werte tiefenabhängig, sind weitere Tiefenstufen erforderlich. Liegt der Schadensherd nicht im Grundwasser, entfällt diese Stromröhre
- 3: Stromröhre *ZT* für den Teilzustrom, der unter der Altlast durchströmt. Dieser ist in der Regel nicht kontaminiert.

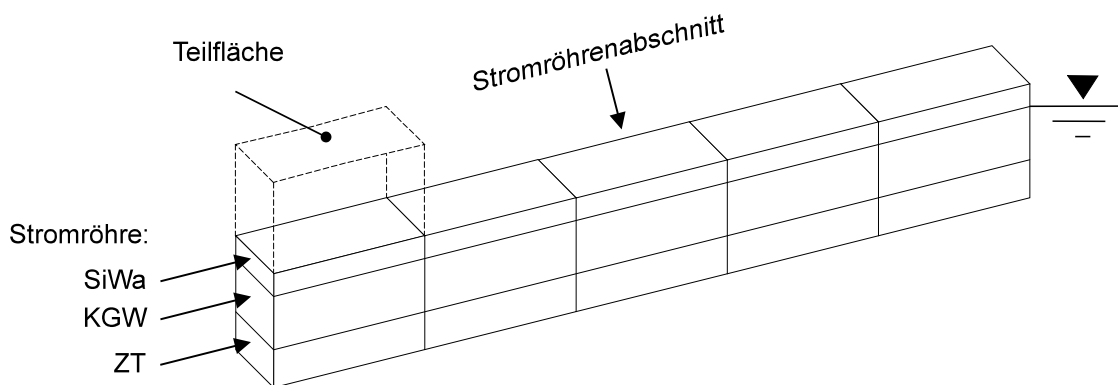


Abb. 1b: Einteilung der ungesättigten und gesättigten Zone in Teilflächen und Stromröhren. Übereinanderliegende Stromröhren ergeben einen Stromröhrenstapel [Quelle: Hinweise zur Verwaltungsvorschrift]

#### Begriffe und Abkürzungen:

- OdB – Ort der Beurteilung
- $Q_{SiWa}$  Volumenstrom Sickerwasser
- $c_{SiWa}$  Schadstoffkonzentration im Sickerwasser, maßgeblich ist die Konzentration am Ende der Sickerstrecke (Ort der Beurteilung – OdB)
- $Q_{KGW}$  Volumenstrom Kontaktgrundwasser
- $c_{KGW}$  Schadstoffkonzentration im Kontaktgrundwasser
- $Q_{ZT}$  Teilzustrom von  $Q_Z$ , der den Schadensherd nicht durchströmt
- $c_{ZT}$  Schadstoffkonzentration im Teilzustrom von  $Q_Z$ , der den Schadensherd nicht durchströmt
- $Q_Z$  Grundwasservolumenzustrom der einer Altlast zuströmt
- $c_Z$  Schadstoffkonzentration im Grundwasserzustrom
- $Q_A$  Grundwasservolumenstrom, der von einer Altlast bzw. aus einem Stromröhrenstapel bzw. aus einer Stromröhre abfließt.
- $c_A$  Schadstoffkonzentration im  $Q_A$
- E Schadstoffemission;  $E = \frac{\text{Masse an Schadstoffen}}{\text{Zeit}}$

Ein E-Wert kann sich auf die gesamte Altlast, auf einzelne Teilflächen oder auf einzelne Stromröhren beziehen. Grundsätzlich gilt:  $E = Q \cdot c$

Zur Prüfung der Immissionsbegrenzung für einen Schadstoff werden die  $c_A$ -Werte am Ende der übereinander liegenden Stromröhren jedes Stromröhrenstapels ermittelt, mit den zugehörigen

Volumenströmen gewichtet, gemittelt und das Ergebnis mit den Prüfwerten Boden-Grundwasser- (PW) des Schadstoffs verglichen. Unterschreiten die so gemittelten  $c_A$ -Werte die P-W-Werte, ist die Immissionsbegrenzung für diesen Stromröhrenstapel eingehalten.

Zur Prüfung der Emissionsbegrenzung werden E-Werte am Ende aller Stromröhren ermittelt und aufsummiert. **Da hierbei alle Konzentrationen berücksichtigt werden, ist es notwendig auch Konzentrationen unter dem Prüfwert einzugeben.** Das Ergebnis wird mit dem maximal zulässigen Emissionswert ( $E_{max}$ ) des jeweiligen Schadstoffes verglichen. Wird der  $E_{max}$ -Wert unterschritten, ist die Emissionsbegrenzung eingehalten.

Liegt bereits im Zustrom eine Vorbelastung vor, ist über das Vorgehen im Einzelfall zu entscheiden.

Es ist nicht erforderlich, die zur I/E-Betrachtung verwendeten Gliederungselemente (Teilflächen, Stromröhren und Stromröhrenabschnitte) bereits bei der Untersuchung zu berücksichtigen. Die Untersuchung sollte allerdings so detailliert sein, dass sie die Entwicklung einer Modellvorstellung über die tatsächliche Schadstoffverteilung und die tatsächlichen Fließverhältnisse erlaubt. Anhand dieser Modellvorstellung werden dann die o.a. Gliederungselemente definiert und mit Zahlenwerten für die o.a. Parameter belegt.

## Berechnungen:

### Volumenströme

$Q_{SiWa, OdB}$  für jeden Stromröhrenstapel:

$$Q_{SiWa, OdB} [m^3/d] = GWN [mm/a] \cdot BreiteStromröhre [m] \cdot LängeAbschn [m] / 365000 [(d \cdot L)/(a \cdot m^3)]$$

mit: GWN: Grundwasserneubildungsrate

[Quelle: LUBW 2008]

Alle Abschnitte innerhalb eines Stromröhrenstapels haben denselben Volumenstrom, da Breite und Länge innerhalb eines Abschnittes identisch sind.

$Q_{KGW}$  für jede Tiefenstufe x und für jeden Stromröhrenstapel:

$$Q_{KGW, x} [m^3/d] = K_f [m/s] \cdot BreiteStromröhre [m] \cdot MächtKGW_x [m] \cdot Gefälle I [m/m] \cdot 86400 [s/d]$$

[Quelle: LUBW 2008]

Berechnung von  $Q_{ZT}$  für jeden Stromröhrenstapel:

$$Q_{ZT} [m^3/d] = K_f [m/s] \cdot BreiteRöhre [m] \cdot MächtZT [m] \cdot Gefälle [m/m] \cdot 86400 [s/d]$$

## Immissionsberechnungen

### $c_A$ (SiWa, OdB) für jede Stromröhre:

Für folgende Berechnung werden nur diejenigen Teilflächen (Kombination aus Stromröhrenstapel und Abschnitt) herangezogen, deren Konzentrationen den Prüfwert überschreiten. Der  $c_A$ -Wert am Ende jeder einzelnen SiWa-Stromröhre ergibt sich wie folgt:

$$c_A = \frac{\sum (c_{SiWa, \text{Teilfläche}} \cdot Q_{SiWa, \text{Teilfläche}})}{\sum (Q_{SiWa, \text{Teilfläche}})}$$

[Quelle Sozialministerium und Umweltministerium Baden-Württemberg, 16.9.1993]

### $c_A$ (KGW) für jede Stromröhre:

Für den  $c_A$ -Wert am Ende einer Stromröhre wird der Maximalwert der Konzentrationen in den einzelnen Abschnitten der jeweiligen Stromröhre herangezogen [Quelle: Sozialministerium und Umweltministerium Baden-Württemberg, 16.9.1993].

### $c_{ZT}$ für jede Stromröhre:

Für den unkontaminierten Bereich liegt pro Stromröhre nur eine Konzentrationsangabe (i.d.R. „0“) vor. Diese Konzentration wird herangezogen.

### $c_A$ für jeden Stromröhrenstapel:

Für jeden Stromröhrenstapel werden die  $c_A$ -Werte der jeweiligen Stromröhren mit dem jeweils zugehörigen Volumenstrom gewichtet und gemittelt:

$$c_A = \frac{(c_{A,SiWa} \cdot Q_{SiWa}) + (c_{A,KGW1} \cdot Q_{KGW1}) + (c_{A,KGW2} \cdot Q_{KGW2}) + \dots + (c_{A,ZT} \cdot Q_{ZT})}{\sum Q}$$

[Quelle: Sozialministerium und Umweltministerium Baden-Württemberg, 16.9.1993]

## **Emissionsberechnungen**

Für die Emissionsbetrachtung werden in allen Tiefenstufen alle vorliegenden Konzentrationen und die zugehörigen Volumenströme berücksichtigt.

Der jeweilige  $c_A$ -Wert für SiWa, KGW und ZT wird wie oben beschrieben berechnet bzw. ermittelt, nur dieses Mal unter Berücksichtigung **sämtlicher** Konzentrationen und der zugehörigen Volumenströme.

Für jeden Stromröhrenstapel wird dann jeweils die Emission berechnet als:

$$E = c \cdot Q$$

[Quelle: Hinweise zur Verwaltungsvorschrift]

Für die einzelnen Stromröhrenstapel werden die  $E_{SH}$ -Werte aufsummiert. Eine erneute Aufsummierung über alle Stromröhrenstapel ergibt die Gesamtemission E.

## Beispiel

Situation: Altstandort mit Quecksilber-Belastung in der ungesättigten Zone

Schadstoffeintrag in das Grundwasser nur über gelöste Schadstoffe im Sickerwasser

### Untersuchungsergebnis/Modellvorstellung

Anzahl übereinanderliegender Stromröhren 2: -

Stromröhre 1: Sickerwasser (SiWa, OdB)

Stromröhre 2 für Kontaktgrundwasser entfällt

Stromröhre 3: Teilzustrom, der unter der Altlast durchfließt (ZT)

Anzahl der Stromröhrenstapel:	5
Breite der Stromröhrenstapel:	25 m
Anzahl der Stromröhrenabschnitte:	5
Länge der Stromröhrenabschnitte:	25 m
Anzahl der Tiefenstufen im Kontaktgrundwasser:	0
Mächtigkeit des unkontaminierten Teilzustroms	5 m
$I$	0,0009
$K_f$	8,0 E-04
GWN	200 mm/a
$C_{ZT}$ :	0 µg/l

Vorgaben der Immissions- und Emissionsbegrenzung für Quecksilber:

Aus BBodSchV:	Prüfwert Boden-Grundwasser:	1,0 µg/l
Aus Untersuchungsstrategie Grundwasser:	$E_{max}$ :	1,5 g/d

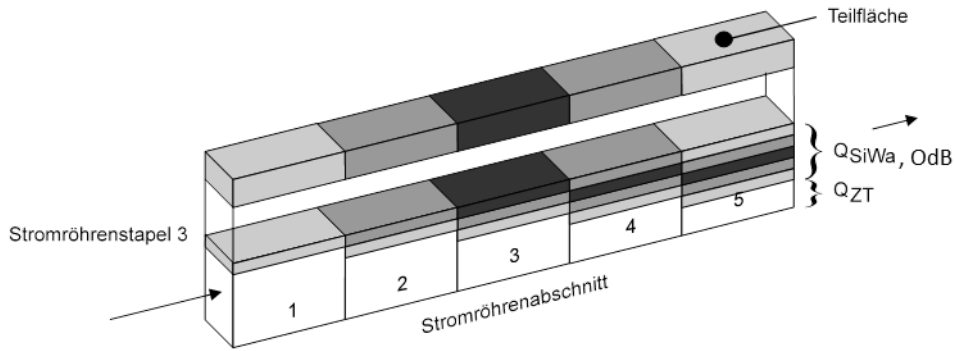


Abb. 2: Modellhafte Darstellung von Stromröhrenstapel 3 des Beispiels

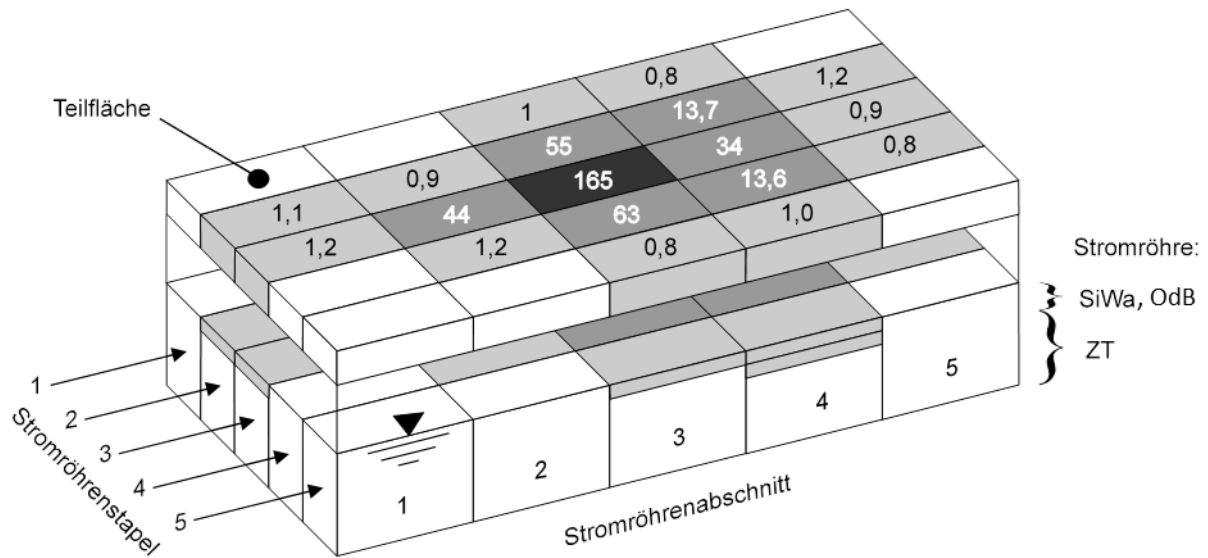


Abb. 3: Modellhafte Darstellung der 5 Stromröhrenstapel und Sickerwasserbelastung von Quecksilber in den Teilflächen:  $c_{\text{SiWa, OdB}}$  [ $\mu\text{g/l}$ ] (Ergebnis der technischen Erkundung)

Dieses Beispiel der Quecksilber-Belastung wird folgendermaßen in das Excel-Tool I/E Calc eingegeben:

Abfrage der Geometrie					
<b>Stromröhrenstapel</b>					
Anzahl der Stromröhrenstapel (1 - 20):	5				
<b>Breite der Stromröhrenstapel</b>					
Stromröhrenstapel:	1	2	3	4	5
Breite [m]:	25	25	25	25	25
<b>Abschnitte</b>					
Anzahl der Abschnitte (1 - 50):	5				
Länge der Abschnitte [m]:	25				
<b>Tiefenstufen im Kontaktgrundwasserleiter (KGW)</b>					
Anzahl der Tiefenstufen im KGW (0 - 10):	0				
<b>Mächtigkeit des unkontaminierten Teilstroms (ZT)</b>					
Stromröhre:	1	2	3	4	5
Mächtigkeit [m]:	5	5	5	5	5
<b>Gesamtmächtigkeit von KGW und ZT</b>					
Stromröhre:	1	2	3	4	5
Mächtigkeit [m]	5	5	5	5	5
Speichern und weiter					
Alles löschen					

Abb. 4: Geometrie

	A	B	C	D	E	F	AZ	CD
1	<b>Abfrage der Hydraulik</b>							
2								
3	<b>Gefälle I [m/m]</b>							
4								
5	<b>Variabilität des Gefälles:</b>		<input checked="" type="radio"/> Gefälle in allen Stromröhrenstapeln derselben Tiefe identisch					
6	(bitte auswählen)		<input type="radio"/> Gefälle in den Stromröhrenstapeln unterscheiden sich					
7								
8	<b>Gefälle I:</b>							
9								
10	unkontaminierter Teilstrom (ZT)		0,0009					
11								
12								
13	<b>Hydraulische Leitfähigkeit <math>K_f</math> [m/s]</b>							
14								
15	<b>Variabilität des <math>K_f</math>-Wertes:</b>		<input checked="" type="radio"/> $K_f$ -Werte in allen Stromröhrenstapeln derselben Tiefe identisch					
16	(bitte auswählen)		<input type="radio"/> $K_f$ -Werte in den Stromröhrenstapeln unterscheiden sich					
17								
18	<b><math>K_f</math>-Wert [m/s]:</b>							
19								
20	unkontaminierter Teilstrom (ZT)		8,00E-04					
21								
22								
23	Speichern und weiter							
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								

Abb. 5: Hydraulik



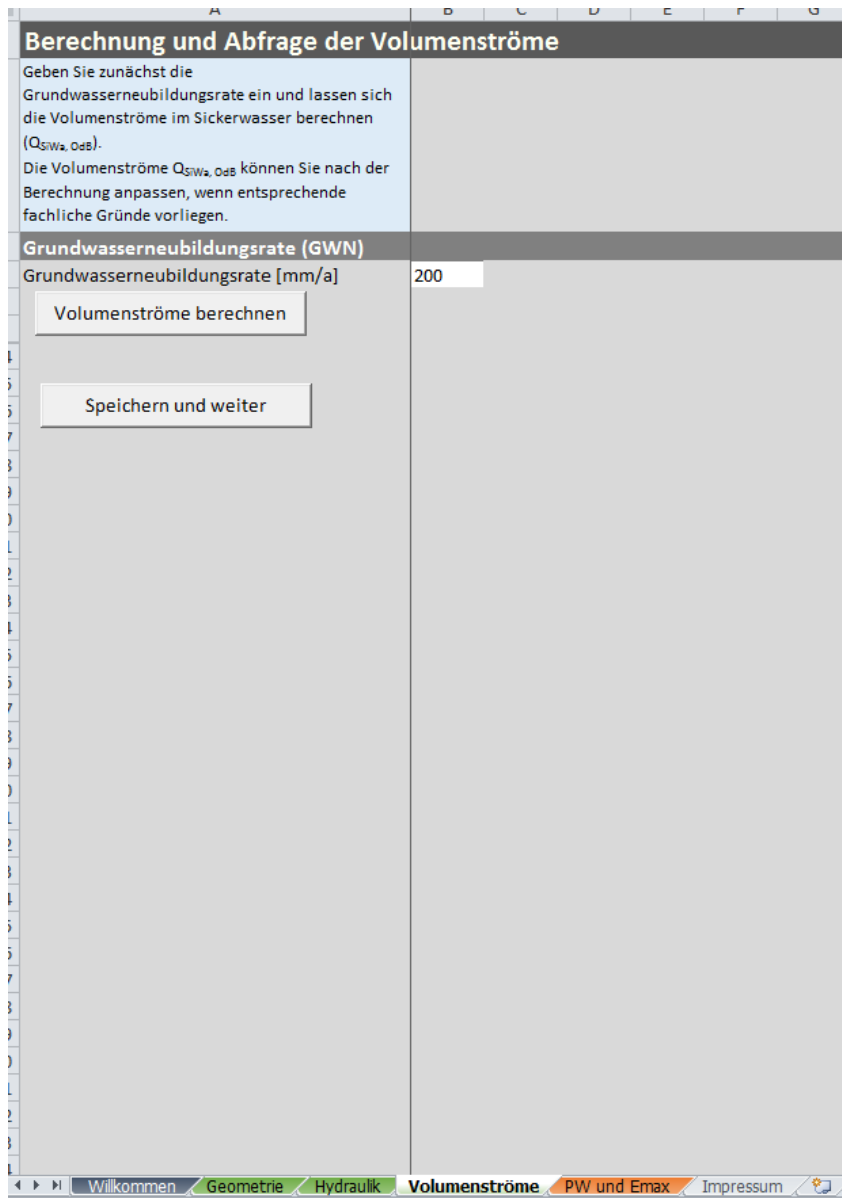


Abb. 6 a: Volumenströme

Hier zunächst nur den Button „Volumenströme berechnen“ drücken – die errechneten Volumenströme werden eingeblendet.

	A	B	C	D	E	F	BH
1	<b>Berechnung und Abfrage der Volumenströme</b>						
2	Geben Sie zunächst die Grundwasserneubildungsrate ein und lassen sich die Volumenströme im Sickerwasser berechnen ( $Q_{SiWa, Odb}$ ). Die Volumenströme $Q_{SiWa, Odb}$ können Sie nach der Berechnung anpassen, wenn entsprechende fachliche Gründe vorliegen.						
3	<b>Grundwasserneubildungsrate (GWN)</b>						
4	Grundwasserneubildungsrate [mm/a]	200					
5	<input type="button" value="Volumenströme berechnen"/>						
6							
7	<b>Volumenströme im Sickerwasser (<math>Q_{SiWa}</math>, berechnete Daten können bei Bedarf geändert werden)</b>						
8	Abschnitte:	1	2	3	4	5	
9	$Q_{SiWa, Odb}$ Stromröhrenstapel 1 [m <sup>3</sup> /d]	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	
10	$Q_{SiWa, Odb}$ Stromröhrenstapel 2 [m <sup>3</sup> /d]	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	
11	$Q_{SiWa, Odb}$ Stromröhrenstapel 3 [m <sup>3</sup> /d]	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	
12	$Q_{SiWa, Odb}$ Stromröhrenstapel 4 [m <sup>3</sup> /d]	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	
13	$Q_{SiWa, Odb}$ Stromröhrenstapel 5 [m <sup>3</sup> /d]	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	0,34247	
30							
31	<b>Volumenströme im Grundwasser (<math>Q_{KGW}</math>) und im unbeeinflussten Teilstrom (<math>Q_{ZT}</math>)</b>						
32	Stromröhrenstapel:	1	2	3	4	5	
43	$Q_{ZT}$ [m <sup>3</sup> /d]	7,776	7,776	7,776	7,776	7,776	
44	<input type="button" value="Speichern und weiter"/>						
45							
46							
47							
48							
49							
50							
51							
52							
53							
54							
55							
56							
57							
58							
59							
60							
61							

Abb. 6 b: Volumenströme

	A	B	C	D
	<b>Abfrage des Schadstoffs</b>			
	Schadstoff:	Quecksilber		
	Prüfwert Boden-Grundwasser (PW) [ $\mu\text{g/L}$ ]:	1		
	Maximal zulässige Emissionswerte ( $E_{\text{max}}$ ) [ $\text{g/d}$ ]:	1,5		
	<p>Nun können Sie die eingegebenen Daten zu Geometrie und Hydraulik als Vorlage für andere Schadstoffe speichern.          Bitte speichern Sie zunächst mit dem "Speichern"-Button den derzeitigen Stand der Eingabe ab.          Wählen Sie dann (je nach Excel-Version) unter Datei -&gt; "Speichern unter" und geben Sie anschließend den Namen der Vorlage ein.          Abschließend wählen Sie erneut "Speichern unter" und wählen Sie den bisherigen Dateinamen aus.          Beenden Sie dann die Eingabe auf dieser Seite mit dem Button "Speichern und weiter".  <b>Falls Sie keine Vorlage abspeichern möchten, drücken Sie bitte den Button "Speichern und weiter".</b></p>			
0	Speichern			
1				
2	Speichern und weiter			
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
0				
1				

Abb. 7: Schadstoff

Liegen – anders als in diesem Beispiel – für weitere Schadstoffe Prüfwert-Überschreitungen vor, kann an dieser Stelle die Eingaben der Hydraulik als Vorlage abgespeichert werden. – Der Speichervorgang ist in dem hellblau unterlegten Excel-Feld beschrieben.

	A	B	C	D	E	F	G	BI	BJ	BK
1	<b>Abfrage der Konzentrationen</b>									
2	Prüfwert für Quecksilber:	1 µg/L								
3	Bitte geben Sie alle Ihnen bekannte Konzentrationen ein.									
4	<b>Konzentrationen im Sickerwasser [µg/l]</b>									
5	Abschnitte:	1	2	3	4	5				
6	$c_{SiWa, OdB}$ Stromröhrenstapel 1 [µg/l]			1	0,8					
7	$c_{SiWa, OdB}$ Stromröhrenstapel 2 [µg/l]	1,1	0,9	55	13,7	1,2				
8	$c_{SiWa, OdB}$ Stromröhrenstapel 3 [µg/l]	1,2	44	165	34	0,9				
9	$c_{SiWa, OdB}$ Stromröhrenstapel 4 [µg/l]		1,2	63	13,6	0,8				
10	$c_{SiWa, OdB}$ Stromröhrenstapel 5 [µg/l]			0,8	1					
67										
68	<b>Konzentrationen im unkontaminierten Bereich (ZT) [µg/l]</b>									
69	Abschnitte:	$c_{z,ZT}$								
70	$c_{zT}$ Stromröhrenstapel 1 [µg/l]	0								
71	$c_{zT}$ Stromröhrenstapel 2 [µg/l]	0								
72	$c_{zT}$ Stromröhrenstapel 3 [µg/l]	0								
73	$c_{zT}$ Stromröhrenstapel 4 [µg/l]	0								
74	$c_{zT}$ Stromröhrenstapel 5 [µg/l]	0								
91										
92	Speichern und weiter									
93										
94										
95										
96										
97										
98										
99										
00										
01										
02										
03										
04										
05										
06										
07										
08										
09										
10										

Abb. 8: Konzentrationen

Nach „Speichern und weiter“ werden die Immissionen und Emissionen berechnet und in den neu erscheinenden Registerblättern (Immissionen, Diagramm Immissionen, Emissionen, Diagramm Emissionen) dargestellt:

Ausgabe der Immissionen						
Schadstoff						
Schadstoff:						
Quecksilber						
Prüfwert [ $\mu\text{g/L}$ ]:						
1						
Immissionen: $c_A$ -Werte [ $\mu\text{g/L}$ ]						
	Stromröhrenstapel	1	2	3	4	5
11	SiWa OdB [ $\mu\text{g/L}$ ]		17,75	61,05	25,933	
12	unkontaminierter Teilstrom (ZT) [ $\mu\text{g/L}$ ]	0	0	0	0	0
13	$c_A$ -Wert [ $\mu\text{g/L}$ ]	0	2,659	9,144	3,027	0

Abb. 9: Immissionen

Vergleich  $c_A$ -Wert mit Prüfwert [ $\text{mg/l}$ ]: Die Immissionsbegrenzung ist im Abstrom der Stromröhre 1 sowie 5 eingehalten; in den übrigen Stromröhren ist die Immissionsbegrenzung im direkten Abstrom der jeweiligen Stromröhrenstapel überschritten.

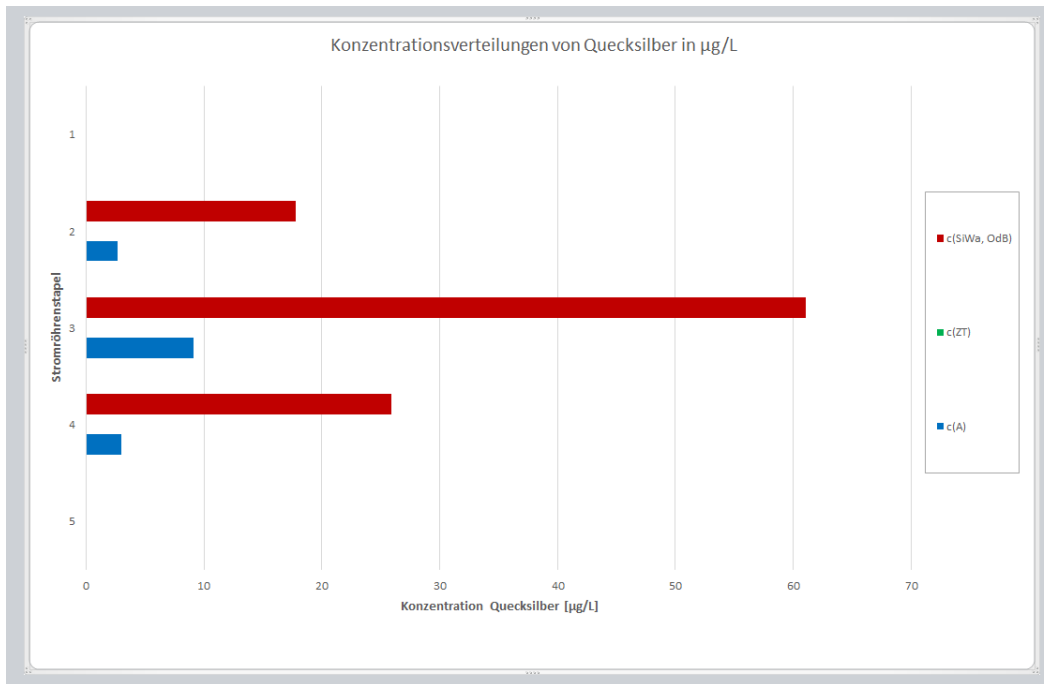


Abb. 10: Diagramm Immissionen

	A	B	C	D	E	F	V	Y
1	<b>Ausgabe der Emissionen</b>							
2								
3	<b>Schadstoff</b>							
4	Schadstoff:							
5	Quecksilber							
6	E <sub>max</sub> -Wert [g/d]:							
7	1,5							
8								
9	<b>Emissionen: E<sub>SH</sub>-Werte [g/d]</b>							
10	Stromröhrenstapel	1	2	3	4	5	Summe	
11	SiWa OdB [g/d]	0,001	0,025	0,084	0,027	0,001	0,138	
12	unkontaminierter Teilstrom (ZT) [g/d]	0	0	0	0	0	0	
13	E <sub>SH</sub> -Wert [g/d]	0,001	0,025	0,084	0,027	0,001	0,138	
14							<b>Gesamtemission [g/d]</b>	
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Abb. 11: Emissionen

Vergleich E<sub>SH</sub>-Wert mit E<sub>max</sub>-Wert [g/d]: Die Emissionsbegrenzung liegt unter dem E<sub>max</sub>-Wert und ist damit eingehalten.

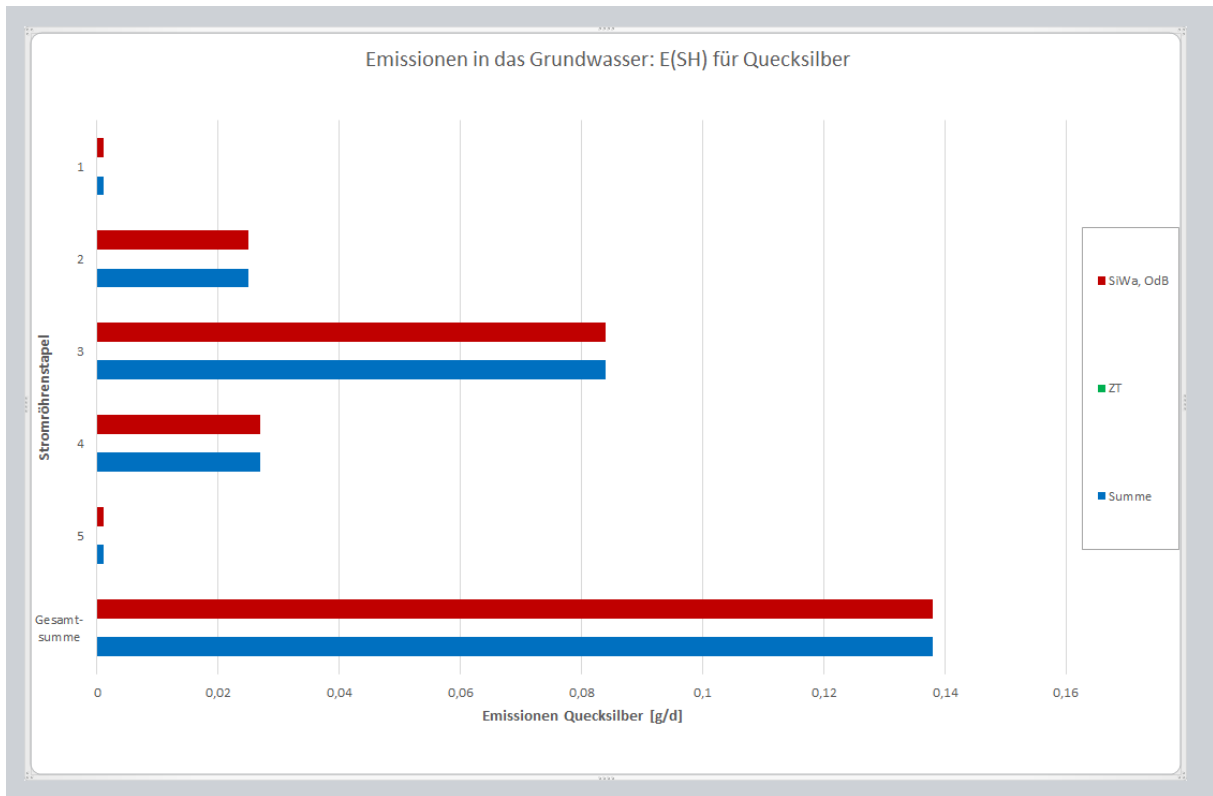


Abb. 12: Diagramm Emissionen

**Literatur:**

Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), 1999

Untersuchungsstrategie Grundwasser, LUBW, 2008

Sanierungsnotwendigkeit und Sanierungsziel zum Schutz von Grundwasser – Immissions-/ Emissionsbetrachtung, LfU BW, 1998; Hinweise zur Verwaltungsvorschrift über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen, Sozialministerium und Umweltministerium Baden-Württemberg, 1993