

Die Berücksichtigung des Einmischprozesses von Sickerwasser in das Grundwasser im Rahmen der Sickerwasserprognose

Bernhard Engeser
LBEG, Hannover

4. Sächsisch-Thüringische Bodenschutztage
Bodenschutzrecht
16./17.6.2011
Chemnitz



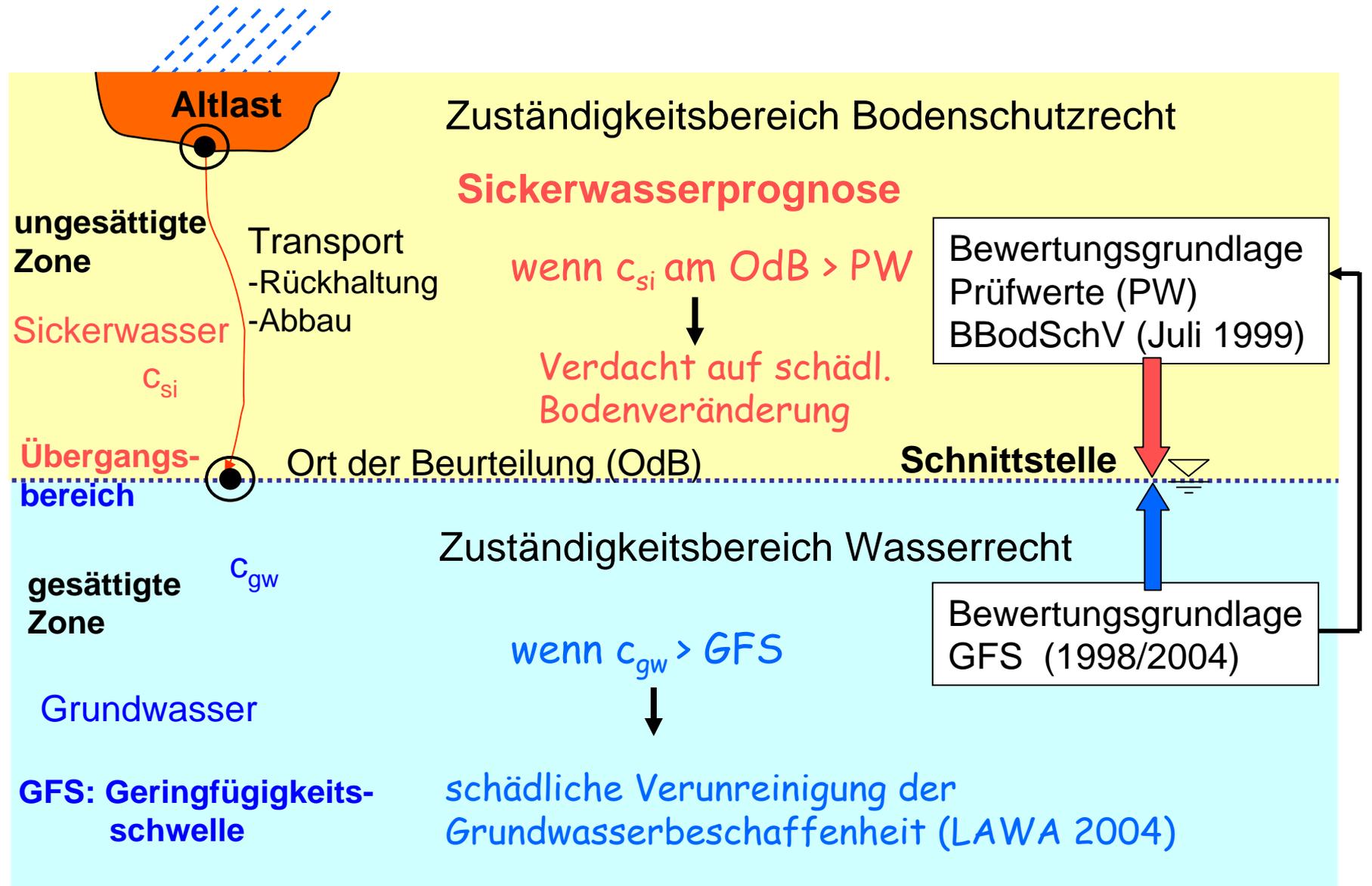
Die Berücksichtigung des Einmischprozesses von Sickerwasser in das Grundwasser im Rahmen der Sickerwasserprognose

Überblick

- Ausgangssituation
- Fachliche Ableitungsgrundlagen
- Anwendung
- Fazit



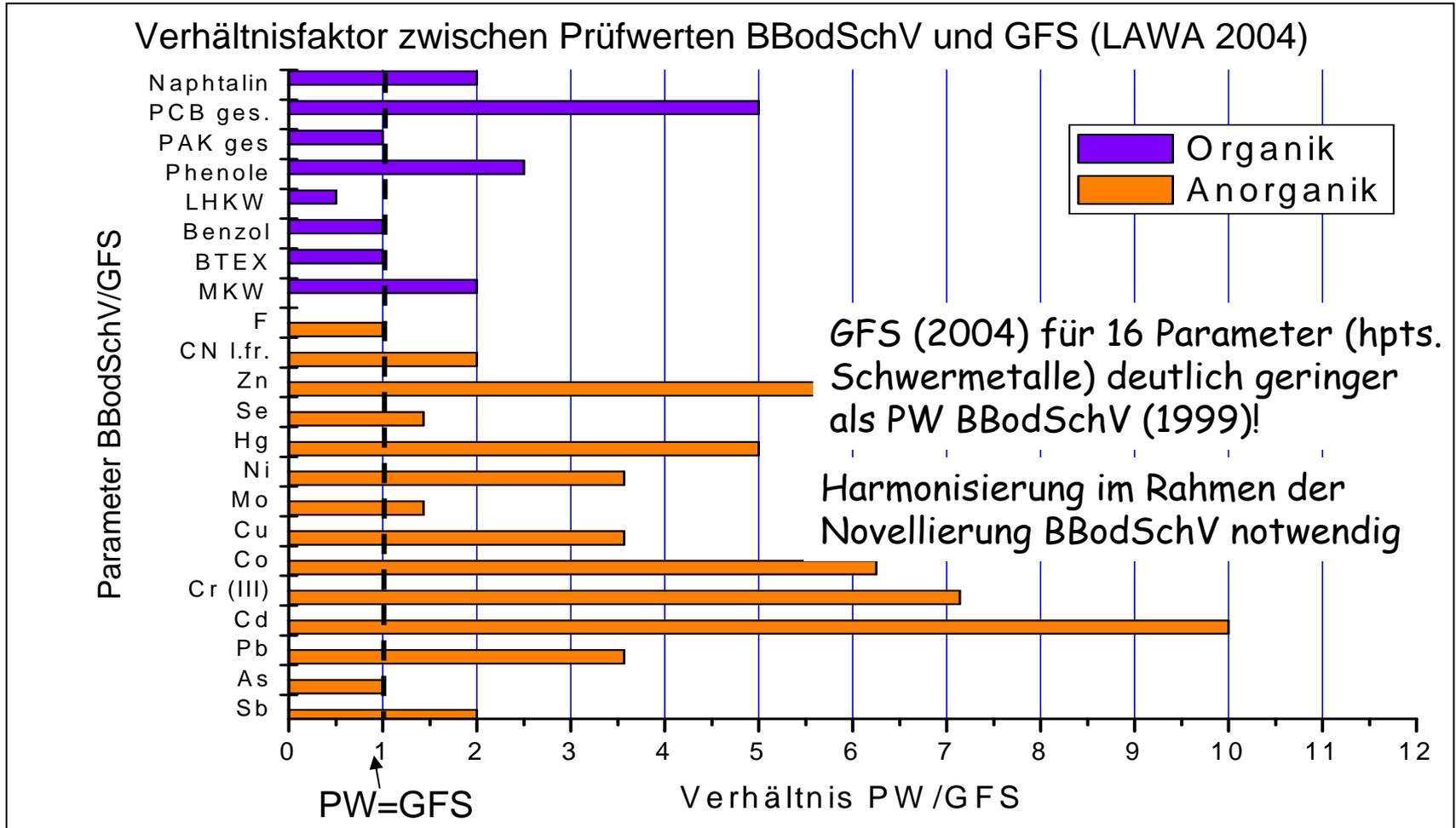
Bisheriger rechtlicher Rahmen für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser



Aktuelle Bewertungsmaßstäbe im Wasserrecht/Bodenschutzrecht

Bodenschutzrecht: Prüfwerte Anh. 2/BBodSchV (1999)

Wasserrecht: GFS/(LAWA 2004)



Wie erreicht man eine rechtlich konsistente und praxisgerechte Harmonisierung der beiden Rechtsbereiche?



Optionen für die Harmonisierung der Bewertungsmaßstäbe

Option A (novellierte BBodSchV)

Koppelung von Prüfwerten Boden/GW über Anwendungsregel

$$PW_{SW(OdB)} = PW_{GW}$$

↓ Berücksichtigung des Einmischprozesses („Rührkesselmodell“)

„Frachtprinzip“

Vorteile:

- Frachten werden berücksichtigt
- drohende Vollzugsverschärfung weitgehend kompensierbar
- ermöglicht frühzeitige Ausscheidung von Bagatellfällen

Option B (bisherige BBodSchV)

Gleichsetzung von Prüfwerten und Geringfügigkeitsschwellen

$$PW = GFS$$

↓ Sickerwasser wird unverdünnt zu Grundwasser

„Tropfenprinzip“

Nachteile:

- bereits kleinste Einträge von Sickerwasser mit Konzentrationen oberhalb des PW lösen Gefahrenverdacht aus
- Besorgnis einer Vollzugsverschärfung durch Zunahme von Verdachtsfällen aufgrund des deutlich geringeren Konzentrationsniveaus der SW gegenüber den bisherigen PW



Konzentrationsverlauf bei der Einmischung von Sickerwasser in das Grundwasser

Option A(novellierte BBodSchV)

reales Konzentrationsprofil

kontinuierlicher Konzentrationsübergang

Sickerwasser **vermischt sich** mit dem anströmenden Grundwasser

relative Konz.

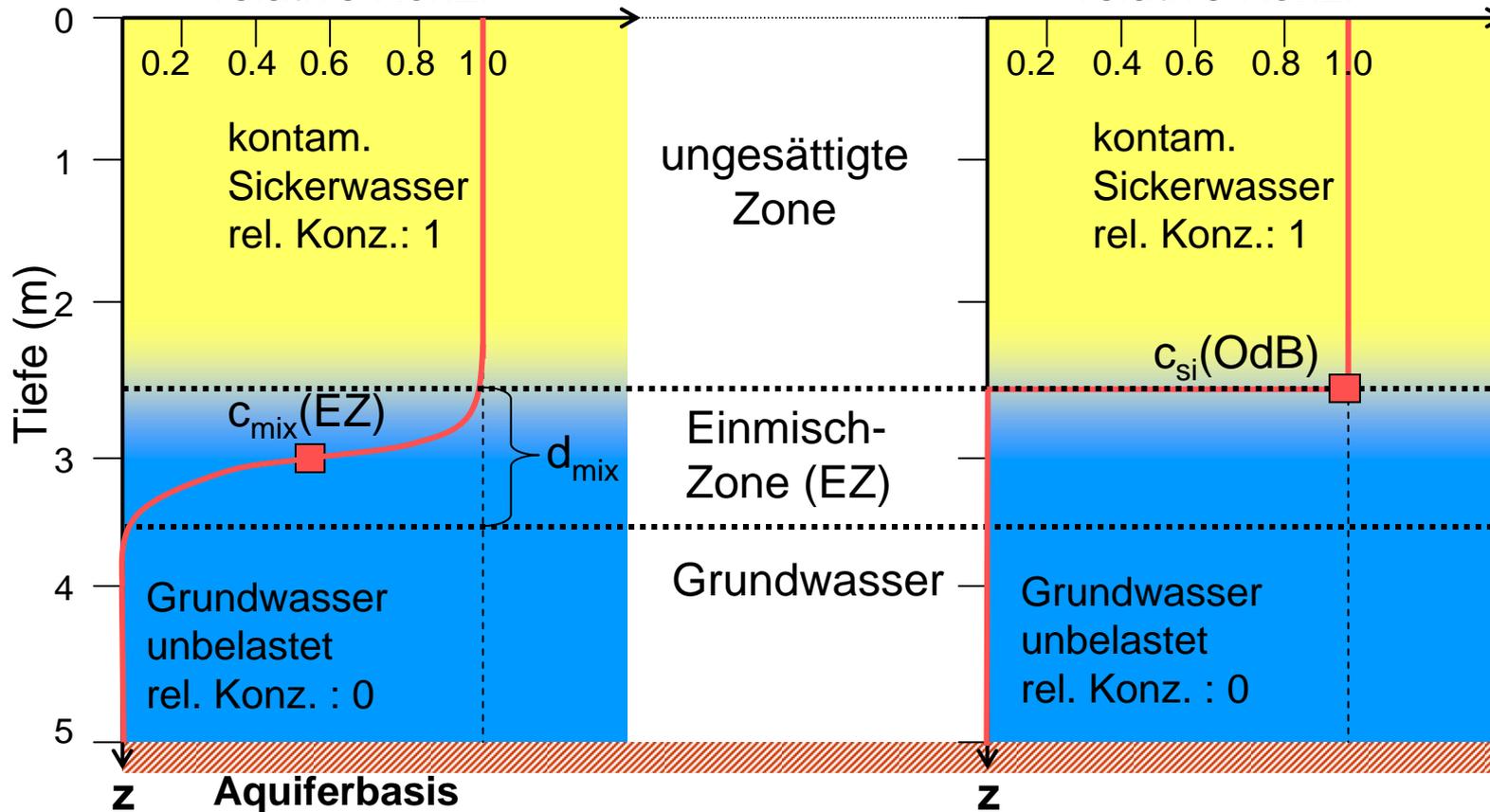
Option B (bisherige BBodSchV)

fiktives Konzentrationsprofil

sprunghafter Konzentrationsübergang am OdB

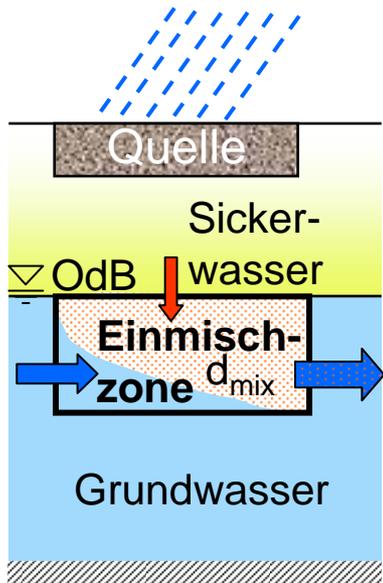
Sickerwasser wird am OdB **unverdünnt** zu Grundwasser

relative Konz.



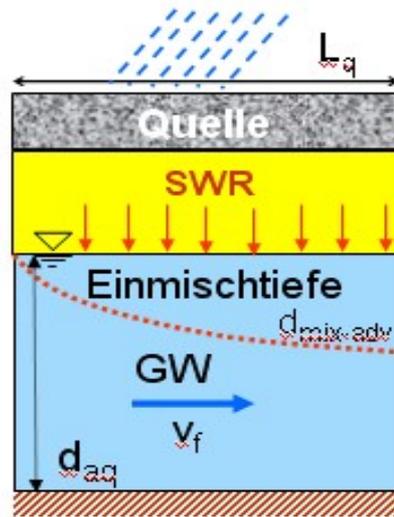
Hydrogeologische Beschreibung des Einmischprozesses (Modell US-EPA)

Prinzipskizze
Einmischprozess



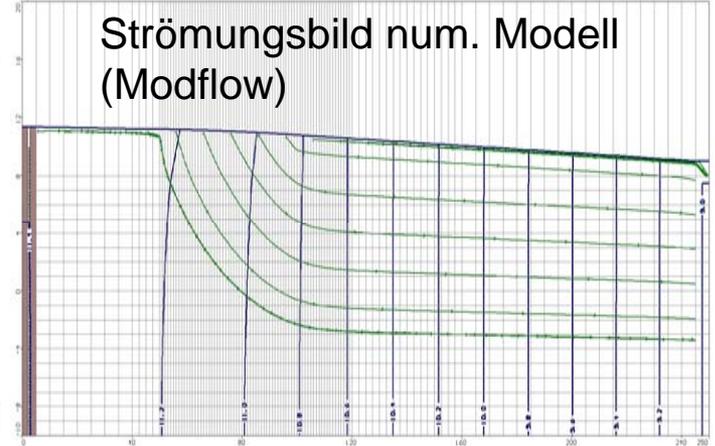
d_{mix} : Mächtigkeit der
Einmischzone

advective Komponente $d_{mix-adv}$

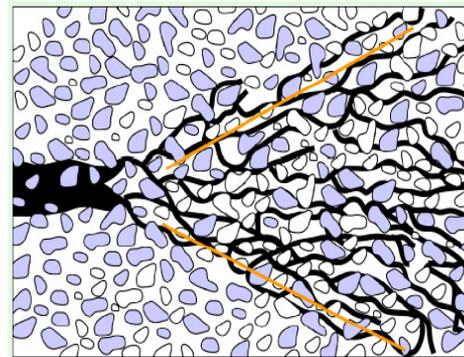


$$d_{mix-adv} = d_{aq} * \left(1 - e^{\frac{-SWR * L_q}{d_{aq} * v_f}}\right)$$

Strömungsbild num. Modell
(Modflow)



$$d_{mix} = d_{mix-adv} + d_{mix-disp}$$



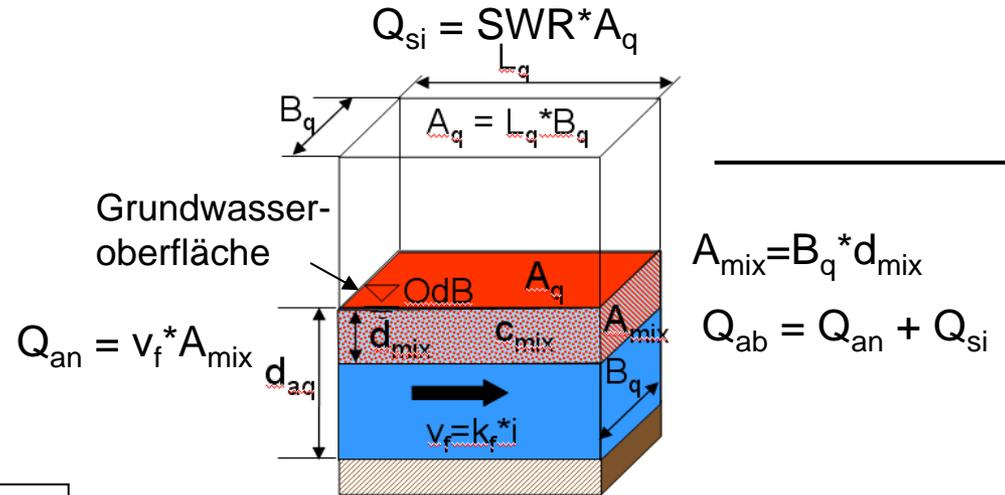
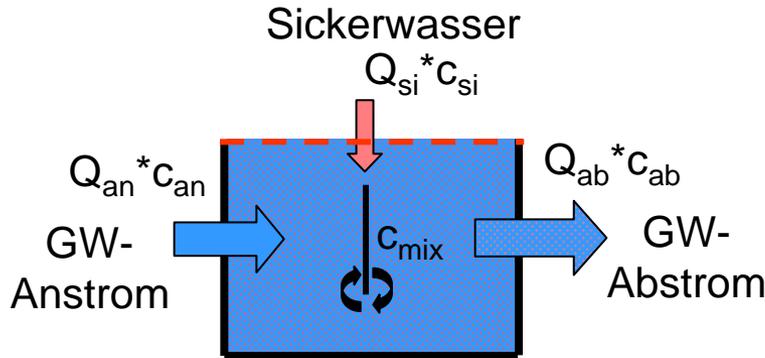
dispersive Komponente $d_{mix-disp}$

$$d_{mix-disp} = \sqrt{2 * \alpha_v * L_q}$$



Berücksichtigung des Einmischprozesses mit dem Rührkesselmodell

„Rührkesselmodell“



vereinfachende Annahmen:

- vollständige Vermischung in der Einmischzone ($c_{ab} = c_{mix}$)
- unbelasteter Anstrom ($c_{an} = 0$)
- stationäres Fließgleichgewicht ($Q_{ab} = Q_{an} + Q_{si}$)
- konstante Mächtigkeit d_{mix} der Einmischzone

Massenbilanz Sickerwasser/Grundwasser

$$Q_{an} * c_{an} + Q_{si} * c_{si} = Q_{ab} * c_{ab}$$

$$Q_{si} * c_{si} = (Q_{an} + Q_{si}) * c_{mix}$$

$$c_{mix} = Q_{si} / (Q_{an} + Q_{si}) * c_{si}$$

$$c_{mix} = c_{si} / EF \quad \text{mit } (Q_{an} + Q_{si}) / Q_{si} = EF$$

EF = Einmischfaktor

$$EF = 1 + v_f * d_{mix} / (SWR * L_q)$$

L_q : Länge Quelle parallel GW-Fließr. (m)

B_q : Breite Quelle quer GW-Fließr. (m)

d_{mix} : Mächtigkeit Einmischzone (m)

SWR: Sickerwasserrate (m/a)

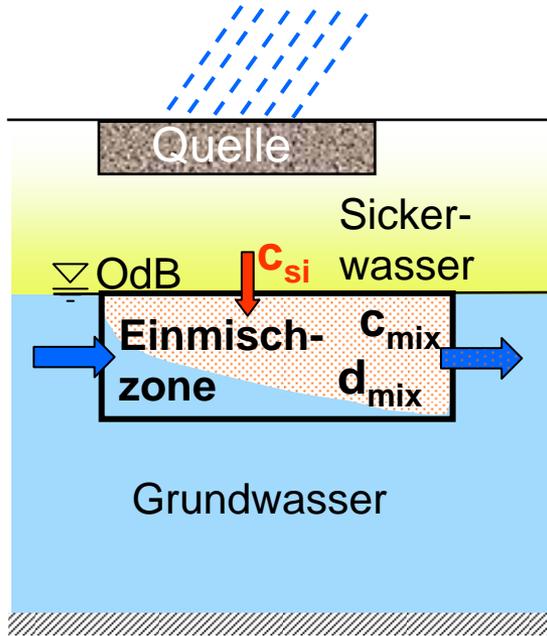
v_f : GW-Filtergeschwindigkeit (m/a)

c_{si} : Stoffkonzentration im Sickerwasser ($\mu\text{g/l}$)

c_{mix} : Stoffkonzentration in der Einmischzone ($\mu\text{g/l}$)

Q: Volumenstrom (m^3/a)

Vorschlag der LABO zur Berücksichtigung des Einmischprozesses



Konvention LABO/LAWA (2010):
 Als Einmischzone (d_{mix}) kann ein **1 m** mächtiger Bereich unterhalb der Grundwasseroberfläche berücksichtigt werden

mit Berücksichtigung des Einmischprozesses

$$c_{mix} = c_{si} / EF$$

Gefahrenausschluss wenn $c_{mix} < PW_{GW}$

↓

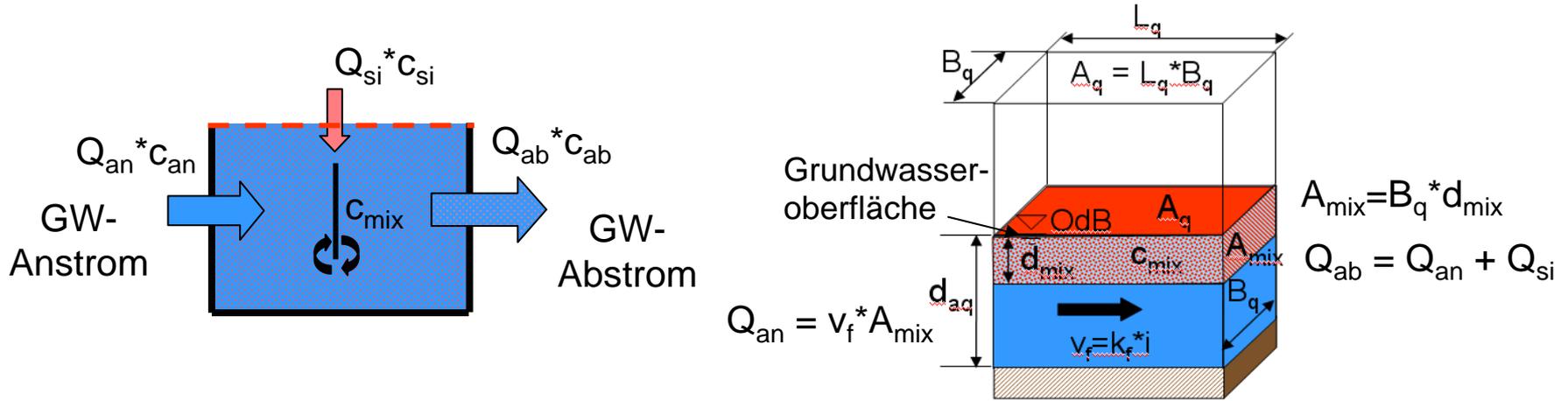
$$c_{si} < PW_{GW} * EF$$

- EF: Einmischfaktor
- PW_{GW}
- d_{mix} : Mächtigkeit Einmischzone
- c_{si} : Stoffkonzentration Sickerwasser am OdB
- c_{mix} : mittl. Stoffkonzentration Einmischzone

$$EF = 1 + v_f * d_{mix} / (SWR * L_q)$$



Rührkesselmodell mit Berücksichtigung einer Vorbelastung des Anstromes



Anstrom vorbelastet

mit $c_{an} > 0$ →

$$c_{mix} = c_{si} * \frac{1}{1 + \frac{d_{mix} * v_f}{L_q * SWR}} + c_{an} * \frac{1}{1 + \frac{L_q * SWR}{d_{mix} * v_f}}$$

↔ Formel in E-MV Art. 3
Anh. 1/Nr. 3.3

$$d_{mix} = 1 \text{ m}$$

mit Einführung eines
Standortfaktors SF

$$SF = \frac{v_f * d_{mix}}{SWR * L_q}$$

→

$$EF = 1 + SF * \left(1 - \frac{c_{an}}{PW_{GW}}\right)$$

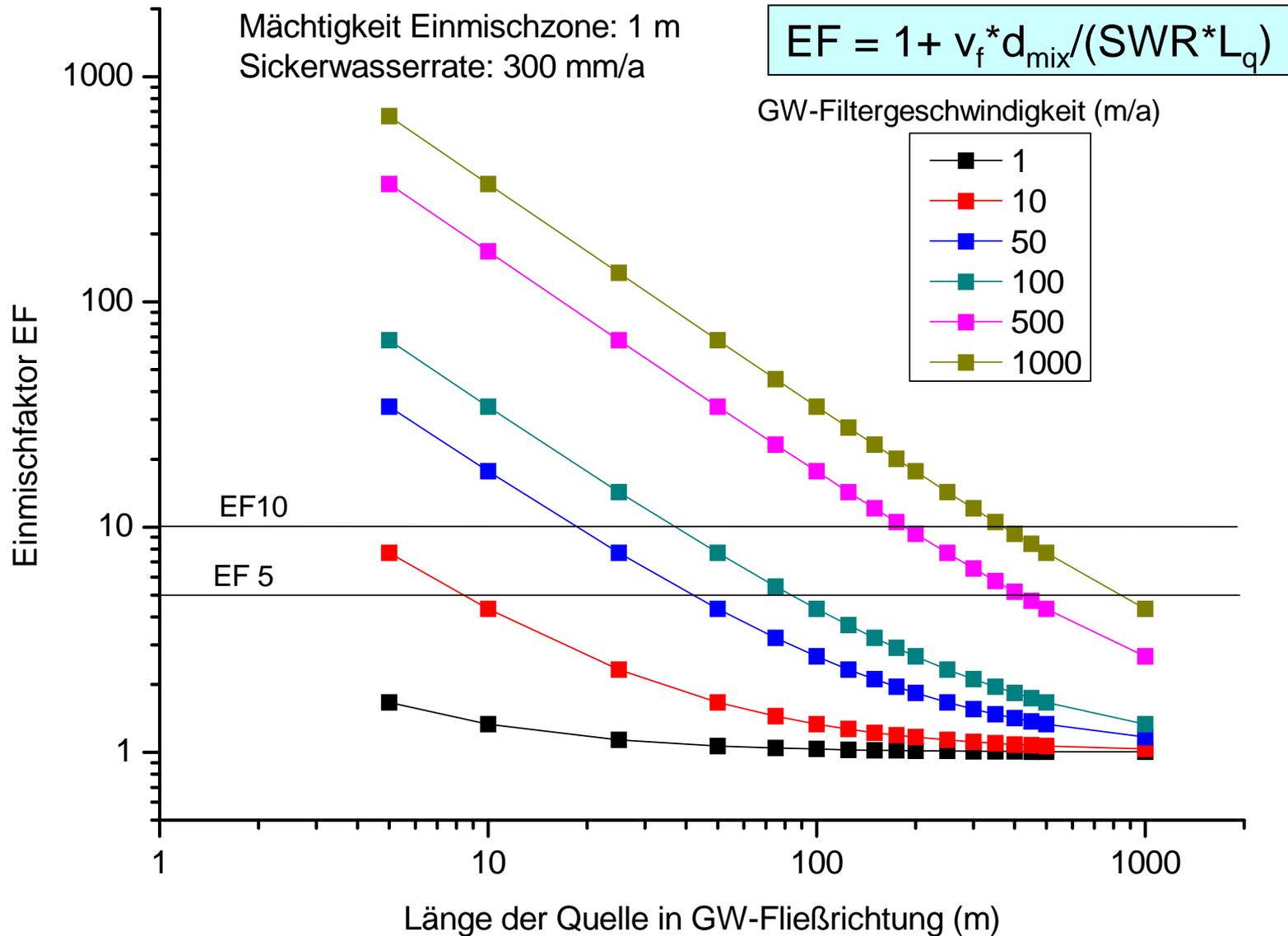
Gefahrenausschluss wenn $c_{si(OdB)} < PW_{SW(OdB)} * EF$

$$PW_{SW(OdB)} = PW_{GW} \quad (\text{Entwurf MV 6.1.2011})$$



Der Einmischfaktor und seine Abhängigkeit von den Einflussparametern

Auswirkung von GW-Filtergeschwindigkeit und Länge der Quelle



Einflussparameter in der Realität - Länge der Quelle L_q in Grundwasserfließrichtung

$$EF = 1 + v_f \cdot d_{mix} / (SWR \cdot L_q)$$

Einflussparameter

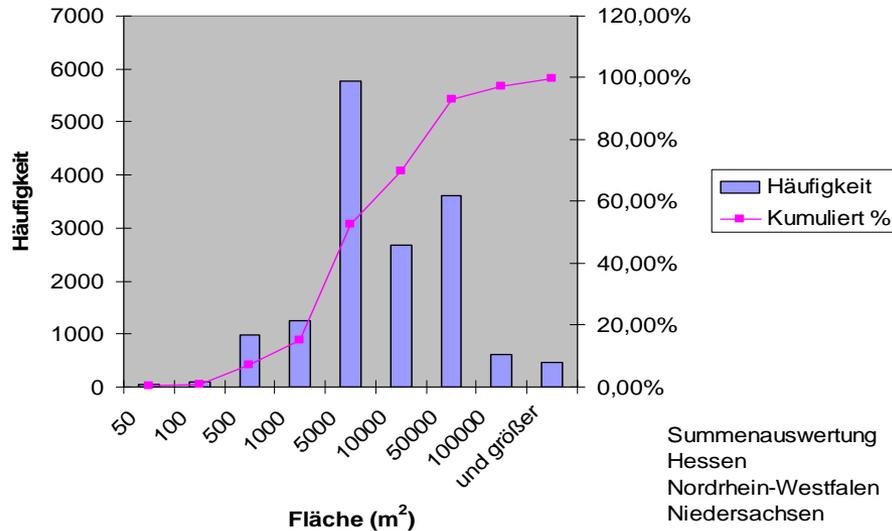
v_f : GW-Filtergeschwindigkeit (m/a)

SWR: Sickerwasserrate (m/a)

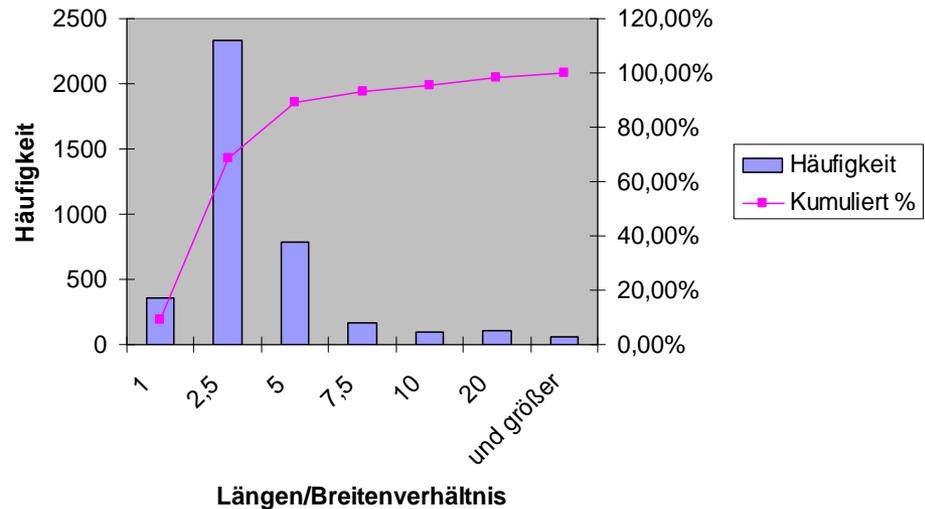
L_q : Länge Quelle parallel GW-Fließrichtung (m)

d_{mix} : Mächtigkeit Einmischzone 1 m

Altablagerungen in den Ländern
Histogramm der Flächengröße



Altablagerungen in Niedersachsen
Histogramm des Längen/Breiten-Verhältnisses



93% Altstandorte Niedersachsen < 10000 m²
70% Altablagerungen HE, NRW, NI < 10000 m²

70 % Altablagerungen Niedersachsen L/B < 2,5

Annahme Quellfläche: rechteckförmige Fläche mit 10000 m² und L/B = 2,5

⇒ max. Länge der Quelle in GW-Fließrichtung: 158 m

häufigster Bereich: 30 – 200 m



Einflussparameter in der Realität – GW-Filtergeschwindigkeit

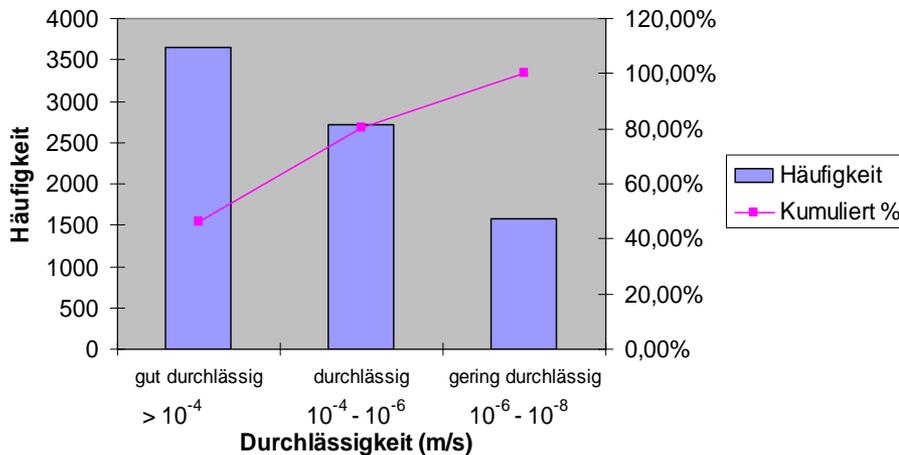
$$EF = 1 + v_f \cdot d_{\text{mix}} / (SWR \cdot L_q)$$

$$v_f = k_f \cdot i$$

k_f : Durchlässigkeitsbeiwert
i: hydraulisches Gefälle

angenommene Variationsbreite k_f -Werte:
 $10^{-6} - 10^{-3}$ m/s (mehrere Größenordnungen)

Altablagerungen in Niedersachsen
 Histogramm der Aquiferdurchlässigkeit



Variationsbreite hydraulisches Gefälle
 typische Erfahrungswerte: 0,1% - 2 %

Einflussparameter

v_f : GW-Filtergeschwindigkeit (m/a)

L_q : Länge Quelle parallel GW-Fließrichtung (m)

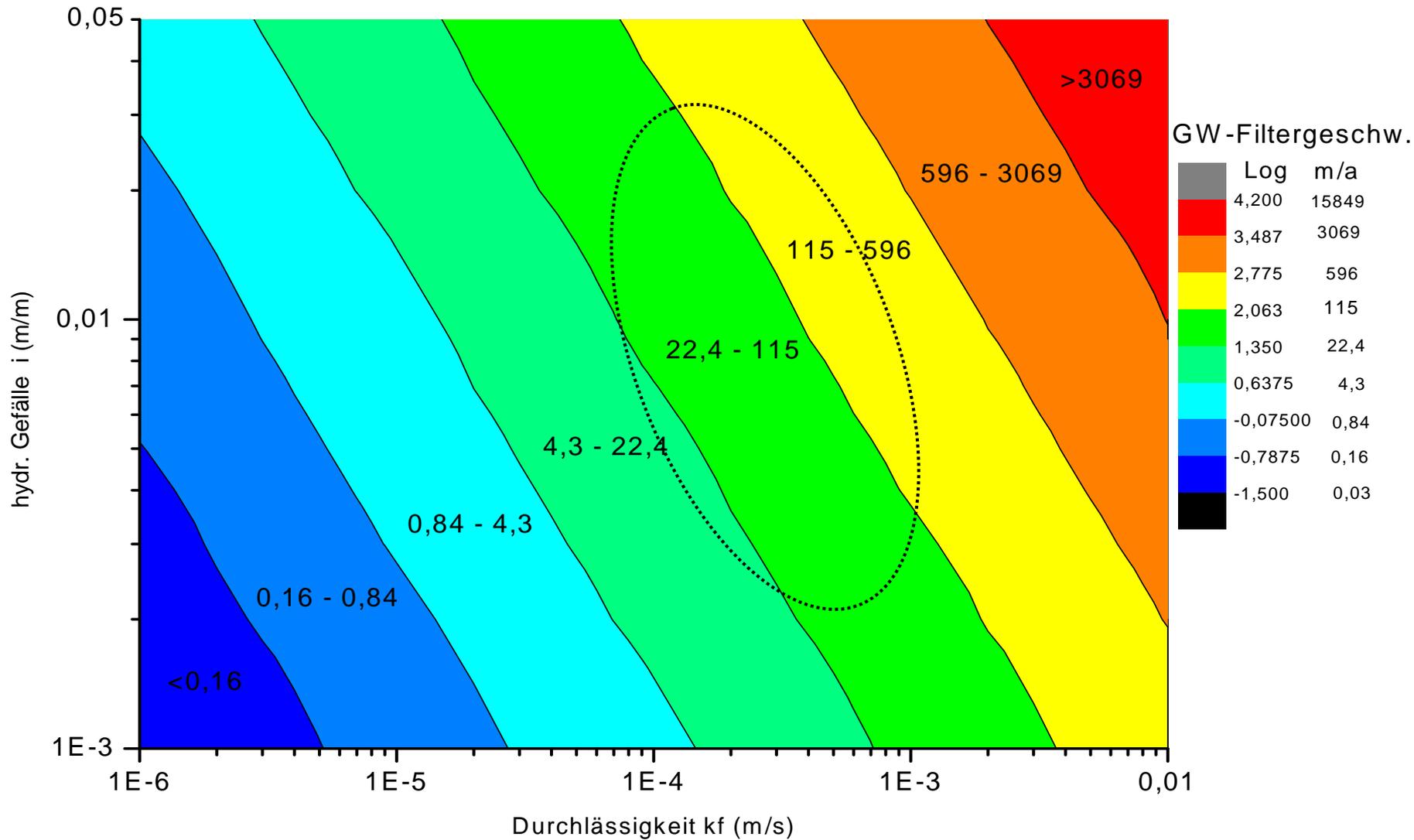
SWR: Sickerwasserrate (m/a)

d_{mix} : Mächtigkeit Einmischzone: 1 m

Blattübersicht -
 Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland 1: 200 000 (HÜK 200)
 Durchlässigkeit des oberen Grundwasserleiters

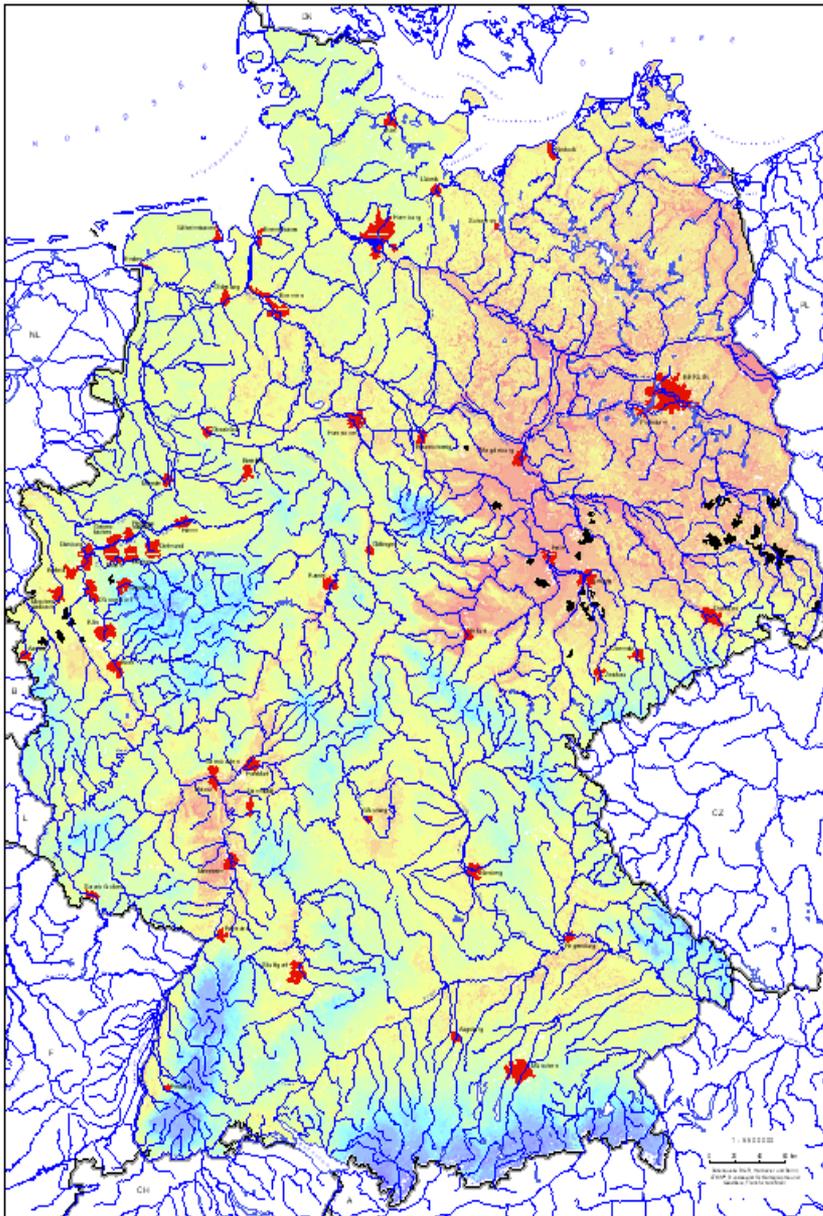


GW-Filtergeschwindigkeit in Abhängigkeit von Durchlässigkeit und hydr. Gefälle

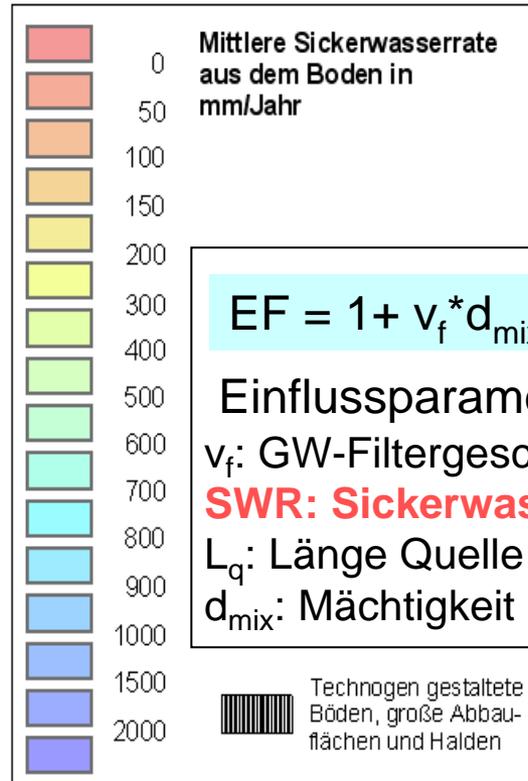


häufigster Bereich: 25 – 150 m/a

Einflussparameter in der Realität – Sickerwasserrate



© Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover



$$EF = 1 + v_f \cdot d_{mix} / (SWR \cdot L_q)$$

Einflussparameter

v_f : GW-Filtergeschwindigkeit (m/a)
SWR: Sickerwasserrate (m/a)
 L_q : Länge Quelle parallel GW-Fließr. (m)
 d_{mix} : Mächtigkeit Einmischzone 1 m

 **HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND**
 Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

4.5 Sickerwasserrate aus dem Boden

Auflage: W. Dujniswold, V. Hennings, W. Stolz, N. Martin, A. Richter, J. Behrens
 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover / Berlin

Wissenschaftliche Beratung: W. Eckelmann, W. Struckmeier (BGR), F.-J. Kem (HF), G. Wessolek (TU Berlin)

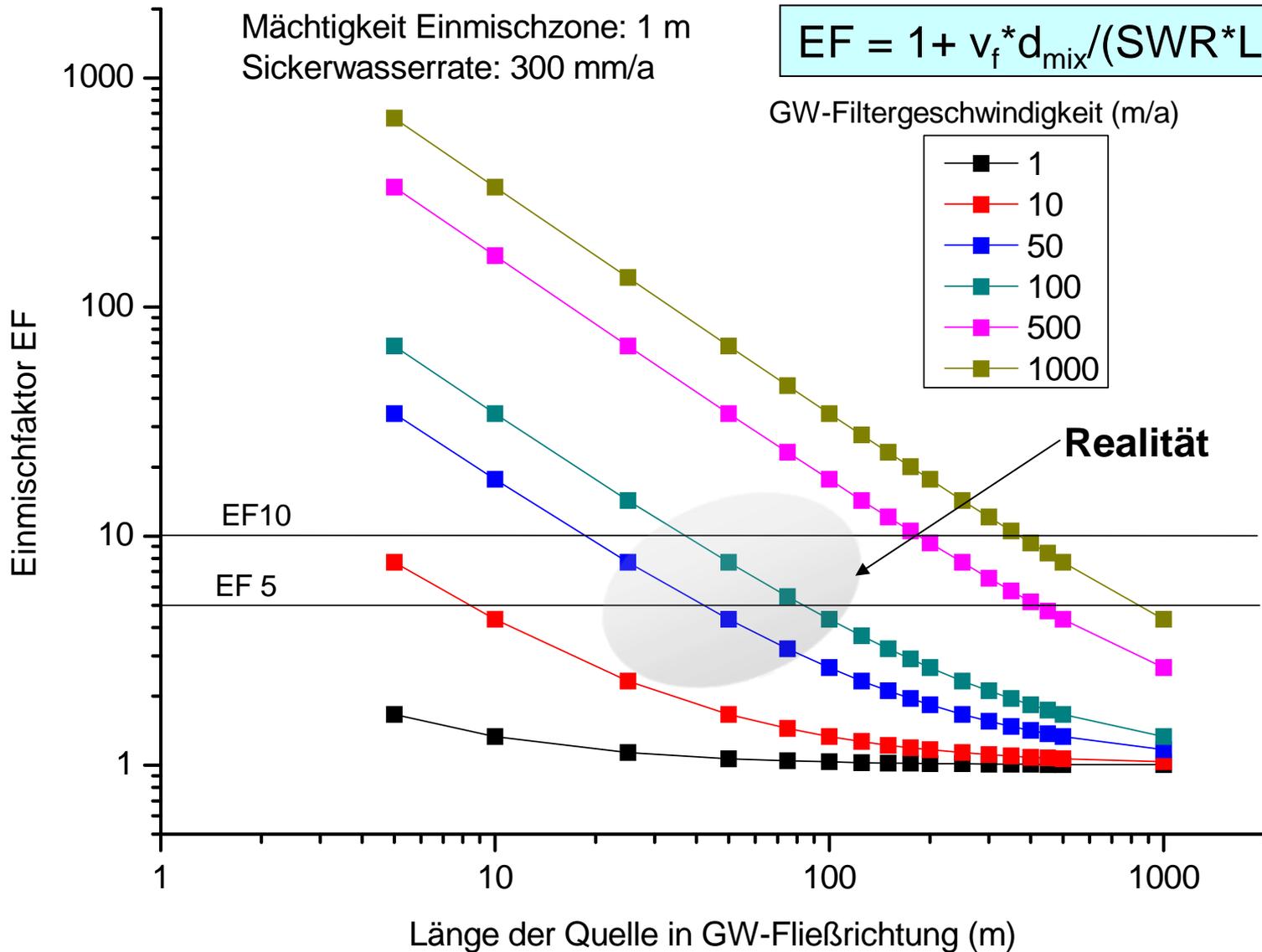
Kartographie: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (U. Stegger)
 Institut für Hydrologie, Universität Freilung i. Br.

häufigster Bereich
150 – 300 mm/a



Der Einmischfaktor und seine Abhängigkeit von den Einflussparametern

Auswirkung von GW-Filtergeschwindigkeit und Länge der Quelle



Ergebnis der Betrachtungen zum Einmischfaktor

- Bei einer festgelegten Einmischzonenmächtigkeit von 1 m haben die **GW-Filtergeschwindigkeit** und die **Länge der Quelle** (Fläche) den stärksten Einfluss auf den Einmischfaktor
- Substanzielle Einmischfaktoren in der **Größenordnung des PW/GFS-Verhältnisses (5 -10)** sind erreichbar bei Standorten mit ausreichend hohen GW-Filtergeschwindigkeiten (ca. > 10 m/a) und begrenzter Länge der Quelle in Grundwasserfließrichtung (max. ca. 150 m bzw. max. Flächengröße ca.1 ha)
- GW-Filtergeschwindigkeiten > 10 m/a sind bei typischen Werten des hydraulischen Gefälles im Bereich von 0,1 – 1% nur in Grundwasserleitern mit **mittlerer bis guter Durchlässigkeit** ($k_f > 10^{-4}$ m/s) zu erwarten
- Der Einmischfaktor ist **völlig unabhängig** von den im Rahmen der Sickerwasserprognose zu berücksichtigenden **Rückhalte- und Abbauprozessen** (gilt für anorganische und organische Stoffe gleichermaßen)
- Der exakte Wert des Einmischfaktors ist **standortspezifisch** und **nur für den Einzelfall gültig**

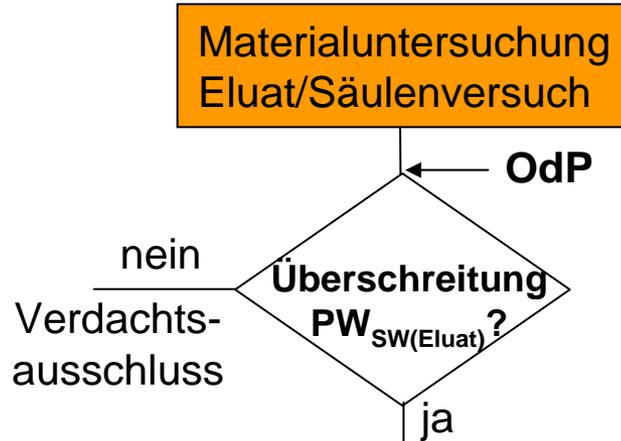


Berücksichtigung des Einmischprozesses im Rahmen der Sickerwasserprognose

Orientierende Untersuchung (OU)

OdP: Ort der Probenahme
OdB: Ort der Beurteilung

Sickerwasserprognose



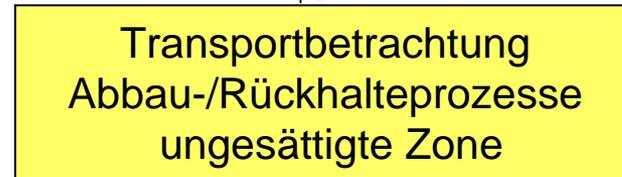
Art. 3, Anh. 1/Nr.3 E-MV

Anorganik:

methodenspez. $PW_{SW(Eluat)}$ (Tab. 3.1.1)

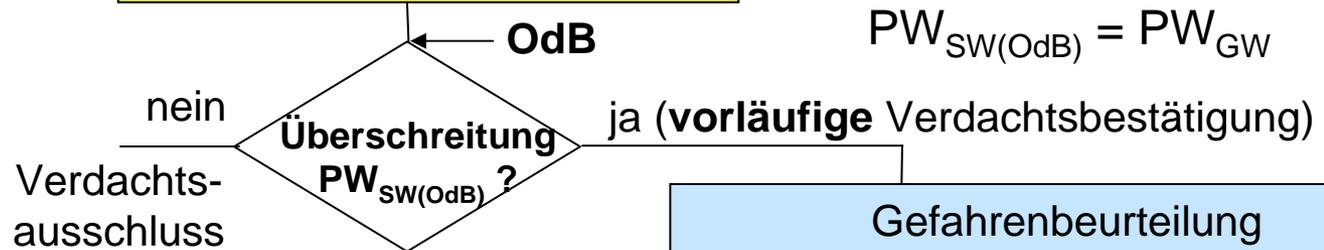
Organik:

$PW_{SW(Eluat)} = PW_{SW(OdB)}$ (Tab. 3.1.2)



Harmonisierter
Bewertungsmaßstab (E-MV)

$$PW_{SW(OdB)} = PW_{GW}$$



Verdachts-/Gefahrenausschluss
Ausscheidung Bagatellfälle

Detail-Untersuchung



Die Anwendung des Rührkesselmodells in der Praxis

Prinzipiskizze

Länge der Quelle
in GW-Fließrichtung

L_q

schädl. Boden-
veränderung

SWR Sickerwasser

OdB

$c_{si} > PW_{OdB}$

$c_{mix} > PW_{GW} ?$ 1 m

Grundwasser

$$v_f = k_f * i$$

Aquiferbasis

Quellfläche

B_q

L_q



3 Schritte

1. Ermittlung von c_{si} am OdB (standortspezifisch)
Herkunft: Ergebnis der Sickerwasserprognose

2. Ermittlung von EF (standortspezifisch)

$$EF = 1 + SF * \left(1 - \frac{c_{an}}{PW_{GW}}\right) \quad SF = \frac{v_f * d_{mix}}{SWR * L_q}$$

benötigt werden:

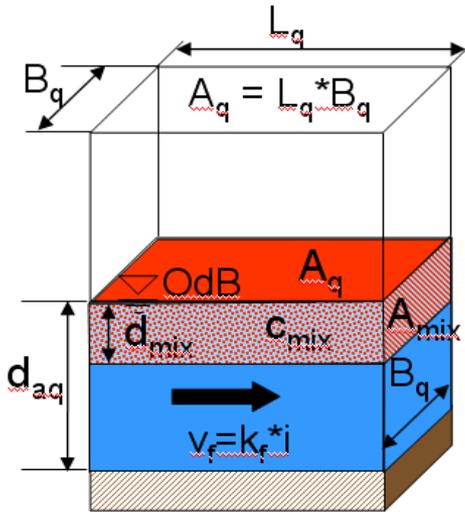
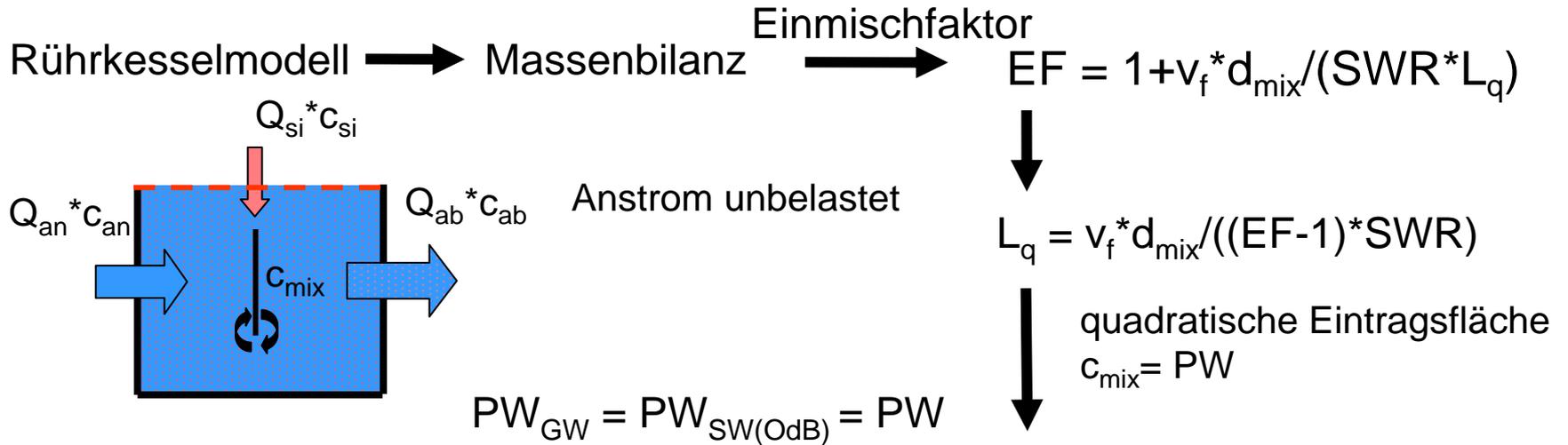
- Länge der Quelle in GW-Fließrichtung L_q
- Sickerwasserrate SWR
Herkunft: Durchführung Sickerwasserprognose
- GW-Filtergeschwindigkeit v_f (k_f und i)
Herkunft: hydrogeol. Karte/lok. Standorterkundung
- ggfs. Anstrombelastung (Anstrommessstelle)

3. Prüfung ob $c_{si(OdB)} < PW_{SW(OdB)} * EF$

wenn ja: Gefahrenausschluss

E-MV (Jan. 2011): $PW_{SW(OdB)} = PW_{GW}$

Frachtbegrenzung bei Berücksichtigung des Einmischprozesses



$$E_{si} = L_q^2 \cdot SWR \cdot PW \cdot EF$$

Maximal zulässige Fracht E_{zul}

$$E_{zul} = (v_f^2 \cdot d_{mix}^2) / SWR \cdot PW \cdot EF / (EF - 1)^2$$

Die Berücksichtigung des Einmischprozesses entspricht der **Einführung einer Frachtbegrenzung**.

Je höher die Überschreitung des Prüfwertes am OdB (EF) desto geringer ist die zulässige Fracht



Fazit

- Bei der Berücksichtigung des Einmischprozesses handelt es sich um eine **beschränkte Anrechnung der Verdünnung** durch Vermischung des Sickerwassers mit einem begrenzten Teilvolumen des unter einer Altlastfläche durchströmenden Grundwassers.
- Der resultierende **Einmischfaktor ist standortspezifisch** und **völlig unabhängig** von den im Rahmen der Sickerwasserprognose in der Sickerstrecke zu berücksichtigenden **Rückhalte- und Abbauprozessen**. Er ist im **Einzelfall** im Rahmen der Bewertung des Ergebnisses einer Sickerwasserprognose zu ermitteln.
- Die Berücksichtigung des Einmischprozesses kann im **Anschluss an die Sickerwasserprognose als Bewertungsschritt der Gefahrenbeurteilung** in die etablierte Vorgehensweise (OU/DU) nach BBodSchV integriert werden.
- Die Berücksichtigung des Einmischprozesses ist gleichbedeutend mit der **Einführung einer Frachtbegrenzung**.
- Eine **Verschärfung** des Vollzuges durch die Übernahme der **GFS als bodenschutzrechtliche Prüfwerte** am OdB ist bei Berücksichtigung des Einmischprozesses i.d.R. **nicht zu erwarten**.
- Die Anwendungsregel ist für eine Nutzung im **nachsorgenden Bodenschutz (Gefahrenabwehr)** konzipiert.





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

