Stand der Technik und fortschrittliche Ansätze in der Entsorgung des Flowback

Prof. Dr. Karl-Heinz Rosenwinkel, Dr. D. Weichgrebe, Dr. O. Olsson

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik
Leibniz Universität Hannover

Definition: Stand der Technik

- § 3 Nr. 11 Wasserhaushaltsgesetz:

- „*Stand der Technik* ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen in Luft, Wasser und Boden, zur Gewährleistung der Anlagensicherheit, zur Gewährleistung einer umweltverträglichen Abfallentsorgung oder sonst zur Vermeidung oder Verminderung von Auswirkungen auf die Umwelt zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt gesichert erscheinen lässt. Bei der Bestimmung des *Standes der Technik* sind insbesondere die in der Anlage [der jeweiligen Rechtsnorm] aufgeführten Kriterien zu berücksichtigen.“

Definitionen

- Frac Fluid
  - Flüssigkeit, die in den Untergrund eingebracht wird
- Lagerstättenwasser
  - im Untergrund in der ursprünglichen Zusammensetzung vorliegendes Wasser
  - Haftwasser oder freiverfügbares mobiles Wasser
- Flowback
  - Flüssigkeit, die nach Frack-Vorgang an die Oberfläche gelangt
  - Frac Fluid, Frac Fluid mit Reaktionsprodukten, Lagerstättenwasser, Wasserdampf mit Anteilen von Frac Fluid und Lagerstättenwasser (kondensiert)
- Oberflächenwasser
  - Niederschlagswasser

Auswahl repräsentativer Bohrstellen für verschiedene Frac Fluide

Gesteinsart	Bohrstelle	Tiefe [m]	Druck unter Tage [bar]	Druck am Kopf [bar]	Temperatur [°C]
Buntsandstein	Buchhorst T12[1]	2430 – 2450	50[3]	20 - 25	120
Schiefergestein	Damme 3	1045 – 1530	110 - 150	< 5	80
Carbongestein	Cappeln Z3a[2]	3860 – 4120	510	60 - 70	145 - 155

[1] Bahrenborstel Z2 für Lagerstättenwasserqualität
[2] Goldenstedt Z7a für Flowback-Wasserqualität
[3] ursprünglich 300 bis 350 bar

Mengenbilanz: Input Frac Fluid

Gesteinsart	Bohrstelle	Anzahl Fracs	Σ Frac Fluid [kg]
Buntsandstein	Buchhorst T12	1	304.353
Schiefergestein	Damme 3	3	12.702.873
Carbongestein	Cappeln Z3a	7	4.095.605

Wasserqualität und Menge Trägerflüssigkeit

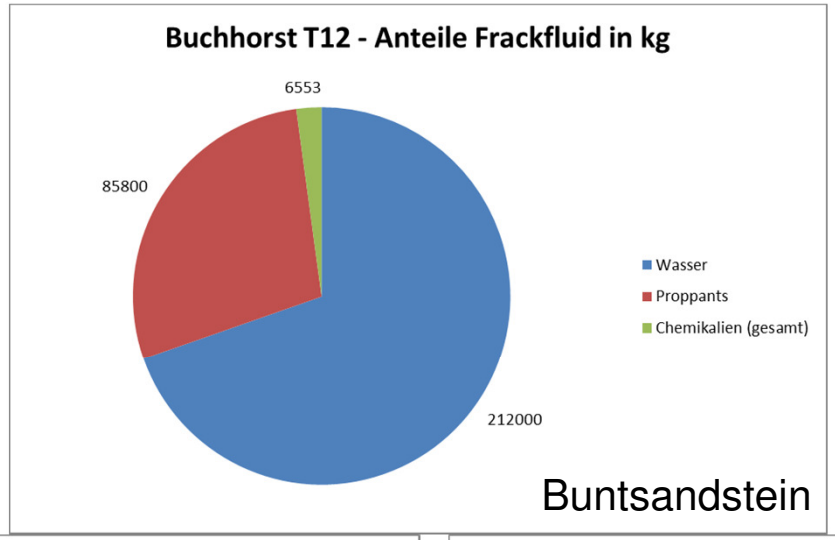
Gesteinsart	Bohrstelle	Menge [kg]	Herkunft	Wasserqualität
Buntsandstein	Buchhorst T12	212.000	Wasserwerk Sulingen	Trinkwasser nach TrinkwV
Schiefergestein	Damme 3	12.095.000	Wasserwerk Holdorf	Trinkwasser nach TrinkwV
Carbongestein	Cappeln Z3a	3.207.250	Brunnenwasser Cappeln	Brunnenwasser entspräche TrinkwV bis auf Eisen, Mangan und Trübung

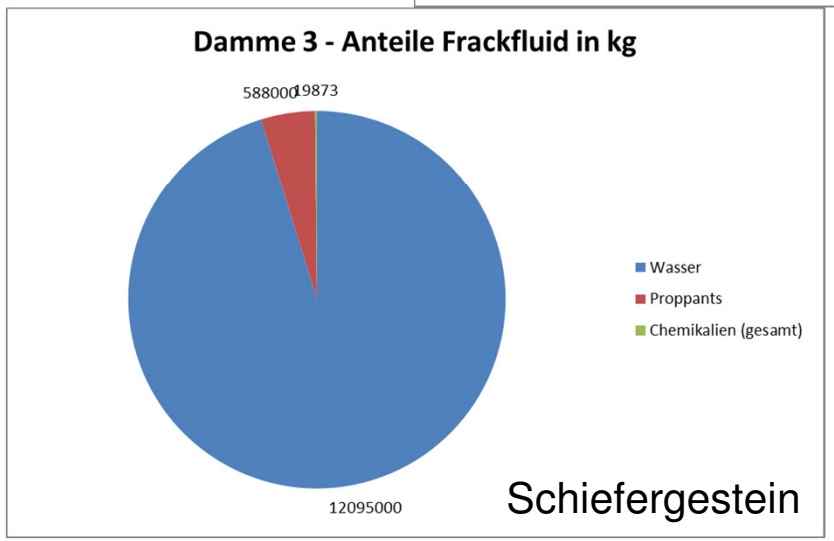
Zusammensetzung Input Frackfluid

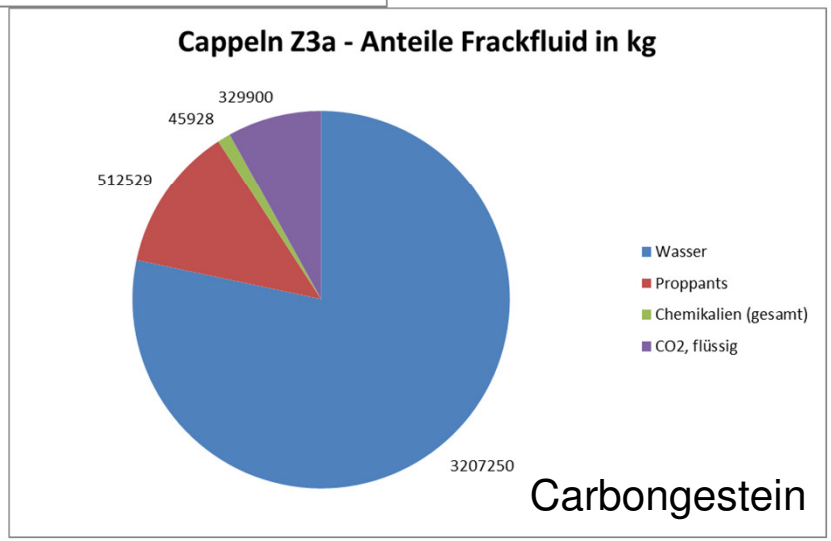
Frac Fluid – Anteile pro 1000 kg

	Buntsandstein Buchhorst T12	Schiefergestein Damme 3	Carbongestein Cappeln Z3a
Trägerflüssigkeit (Wasser)	696,56 kg	952,15 kg	783,10 kg
Propants (Keramik, Quarzsand)	281,91 kg	46,29 kg	125,14 kg
CO_2 (Energizer)	-	-	80,55 kg
Tenside	0,26 kg	-	1,20 kg
Breaker	0,29 kg	-	0,40 kg
Stabilisator	3,06 kg	0,84 kg	1,15 kg
Puffer, Hilfsstoffe	0,48 kg	-	0,56 kg
Dichtschlämme	-	-	4,69 kg
Kettenverlängerer, Vernetzer	2,76 kg	-	3,03 kg
Biozid	0,01 kg	0,04 kg	0,04 kg
Lösungsmittel	3,91 kg	-	0,14 kg
Reibungsreduzierer Wasser	-	0,69 kg	-
Gelbildner	0,17 kg	-	-
KCl-Salze	10,57 kg	-	-
Σ	**1000 kg**	**1000 kg**	**1000 kg**

Zusammensetzung Input Frackfluid







Lagerstättenwasser

Nicht flüchtige Substanzen – Lagerstättenwasser Bahrenborstel Z2

		bei einem Druck am Kopf von			Grenzwerte			Empfehlung
Parameter	**Einheit**	**50 bar**	**56 bar**	**65 bar**	**TrinkwV**	**A 40[1]**	**A 51[1]**	**WHO**
Eisen	mg/l	175	250	125	0,2	3		
Chlorid	mg/l	195.000	202.000	110.000	250			
Gesamthärte	°dH	2330	2760	980				
Natrium	mg/l	104.000	98.900					
Kalium	mg/l	3.070	3430					
Calcium	mg/l	130.00	15.400					
Magnesium	mg/l	909	1.110					
Blei	mg/l		210		0,01	0,5	0,5	0,01
Zink	mg/l		520			2	2	
Sulfat	mg/l	160	79		240			

[1] Anhänge der AbwasserVerordnung (AbwV)

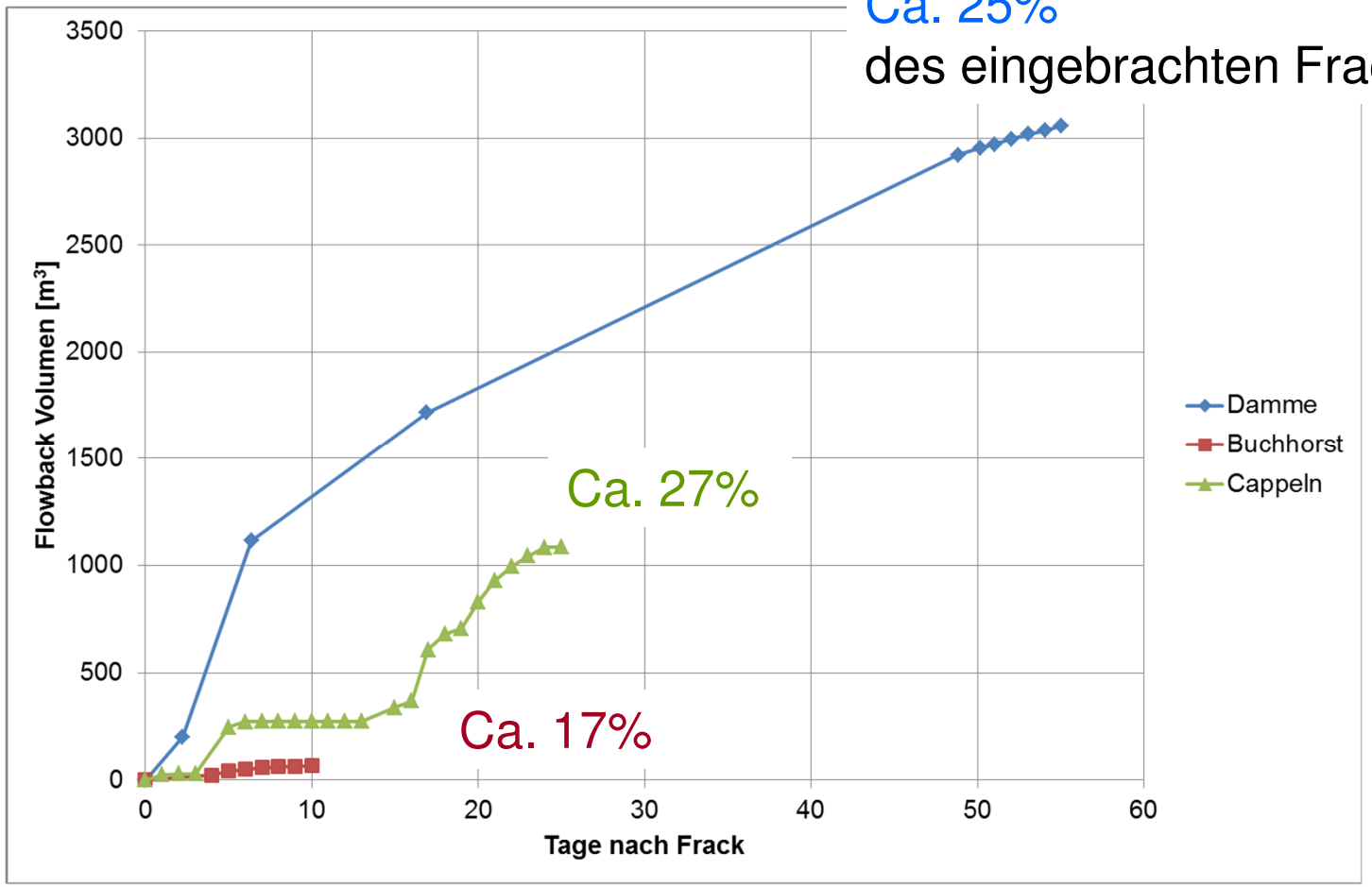
Lagerstättenwasser

Bohrfeld Hengstlage

Bohrfeld Hengstlage			Grenzwerte			Empfehlung
Parameter	Einheit	MAX	TrinkwV	Anhang 40	Anhang 51	WHO
Antimon	µg/l	5,0	5			20,0
Arsen	µg/l	73,0	10	100	100	10,0
Barium	mg/l	10,2		2		0,7
Benzol	µg/l	10900,0	1			10,0
Blei	µg/l	4450,0	10	500	500	10,0
Cadmium	µg/l	215,0	5	100-200		3,0
Calcium	mg/l	19800,0				
Chlorid	mg/l	167200,0	250			
Chrom, gesamt	µg/l	50,0	50	500	500	50,0
Chromat	µg/l	100,0				
Cyanide, gesamt	µg/l	10,0	50			
Cyanide, leicht freisetzbar	µg/l	10,0		200-1000	200	
Dichte bei 20 ° C	g/l	1184,1				
Eisen	mg/l	84,0	0,2	3		
Fluorid	µg/l	1530,0	1500	50000		1500,0
Gesamthärte	mmol/l	554,0				
Hydrogencarbonat	mg/l	185,0				
Kalium	mg/l	2370,0				
Kobalt	µg/l	50,0				
KW-Index	µg/l	63000,0				
Kupfer	µg/l	575,0	2000	500	500	2000,0
Leitfähigkeit/25 ° C	mS/cm	160,0				
Lithium	mg/l	22,5				
Magnesium	mg/l	1100,0				
Molybdän	µg/l	50,0				
Naphthalin	µg/l	250,0				
Natrium	mg/l	65900,0	200			
Nickel	µg/l	25,0	20	500	1000	70,0
PAK, gesamt	µg/l	368,8	0			
pH-Wert		6,9	zw 6,5 - 9,5			
Quecksilber	µg/l	55,0	1	50	50	
Selen	µg/l	5,0	10	1000		
Strontium	mg/l	1250,0				10 [Bq/l]
Sulfat	mg/l	915,0	240			
Summe BTEX	µg/l	26150,0				
Zink	µg/l	218000,0		2000	2000	

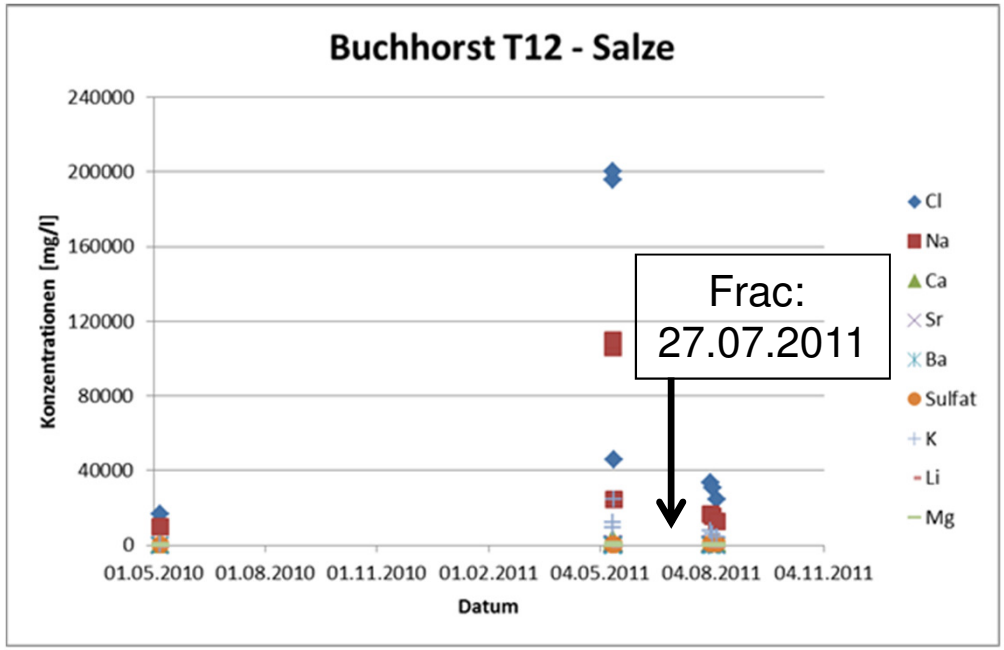
Kumuliertes Flowback-Volumen nach erfolgtem Fracking

Volumen entspricht
Ca. 25%
des eingebrachten Frac Fluids



Flowback Inhaltsstoffe: Salze, Metalle, Organik

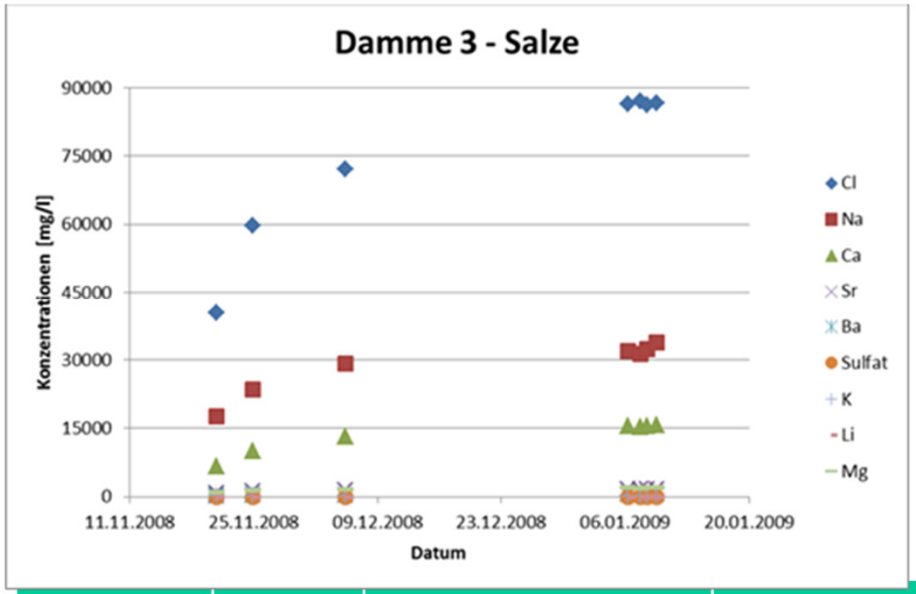
Lagerstättenwasser vor und Flowback nach erfolgtem Frack (27.07.2011) Buchhorst T12.

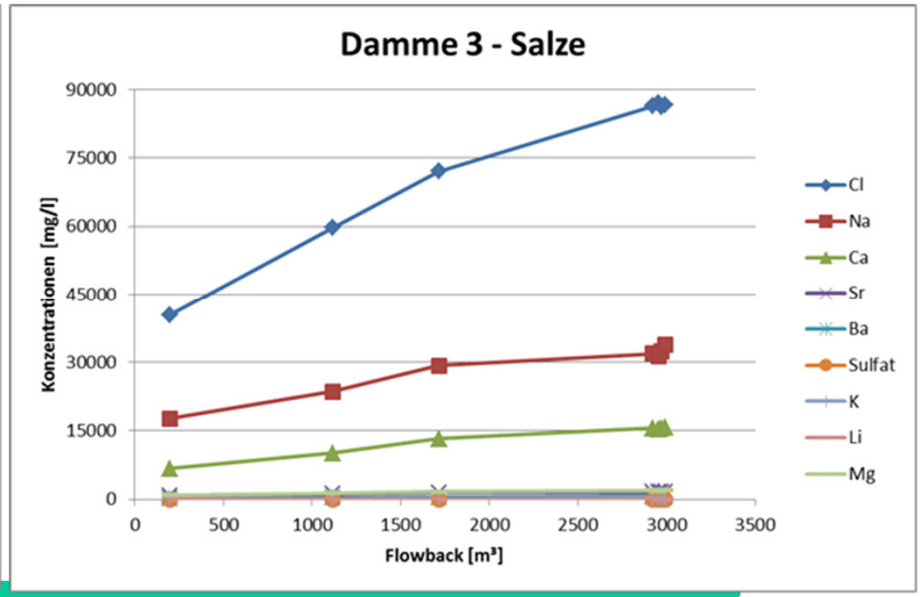


Parameter	Einheit	02.08.	04.08.	08.08.
Strontium	mg/l	70	64	46
Barium	mg/l	1,0	1,0	0,0
Mangan	mg/l	2,0	1,0	1,0
Zink	mg/l	1,0	3,0	2,0
Lithium	mg/l	18	15	11
Acetat	mg/l	420	480	350
Formiat	mg/l	190	160	150

Flowback Inhaltsstoffe Damme 3

Frac am 11.11./15.11./18.11.2008

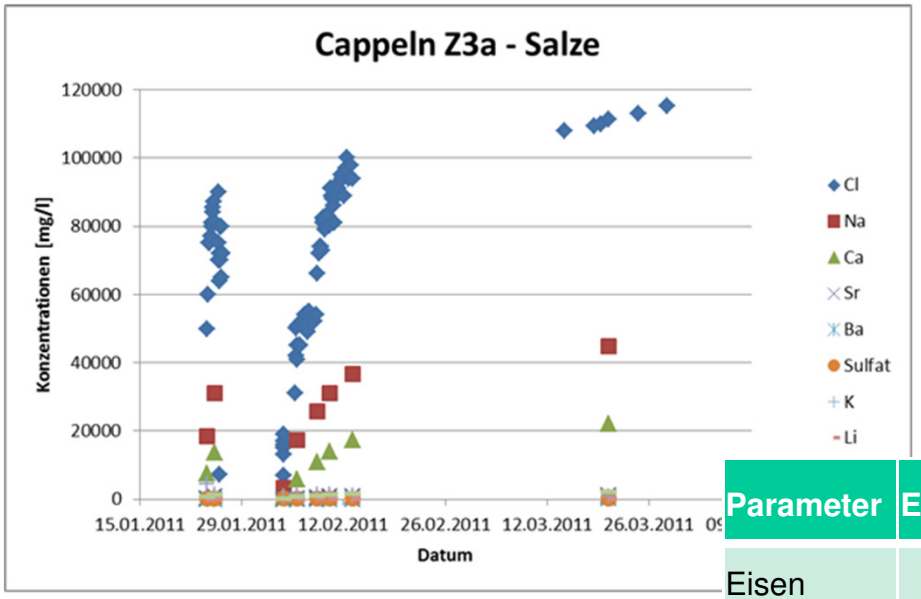




		2008			2009						
Parameter	**Einheit**	**20.11.**	**24.11.**	**05.12.**	**06.01.**	**07.01**	**08.01.**	**09.01.**	**10.01.**	**11.01.**	**12.01.**
Eisen	mg/l	23	31	92				100	120	110	160
Mangan	mg/l				3,7	2,8	2,7	2,0	2,0	2,0	2,0
Chrom	mg/l							0,3	0,3	0,3	0,3
Nickel	mg/l							1,0	1,0	1,0	1,0
Blei	mg/l							1,0	1,0	1,0	1,0
Zink	mg/l				0,4	0,4	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4

Flowback Inhaltsstoffe

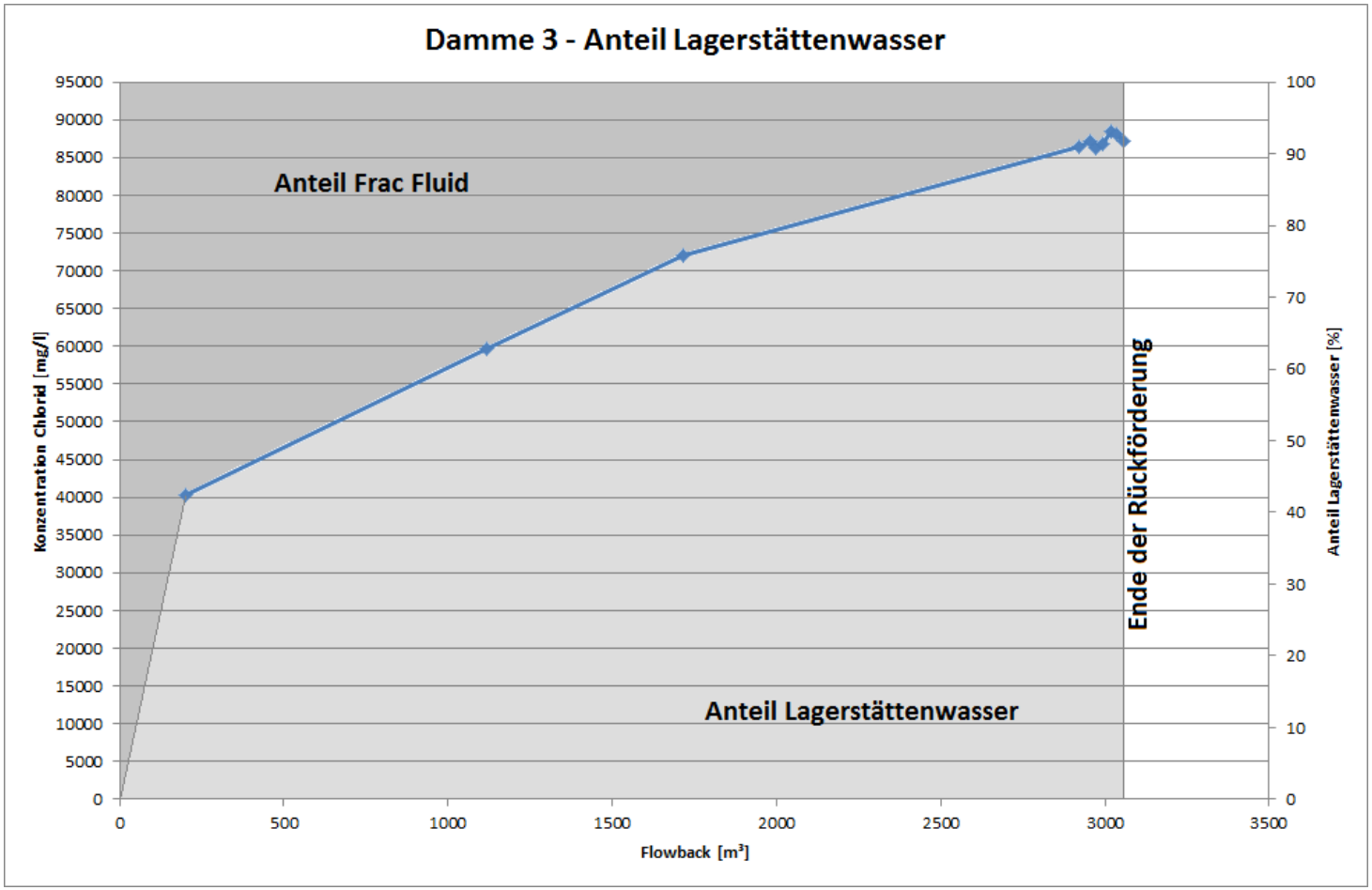
Cappeln Z3a nach den Frackvorgängen: 1-3 (15.-20.01.2011) und 4-7 (27.01.-03.02.2011).



Parameter	Einheit	24.01.	25.01.	05.02.	08.02.	10.02.	13.02	20.03.
Eisen	mg/l	500	350	250	500	250		
Mangan	mg/l		20,0				28	38
Blei	mg/l		16				22	55
Zink	mg/l		180				220	290
Acetat	mg/l		220				110	37
Formiat	mg/l		49				260	140

Flowback Bilanzierung

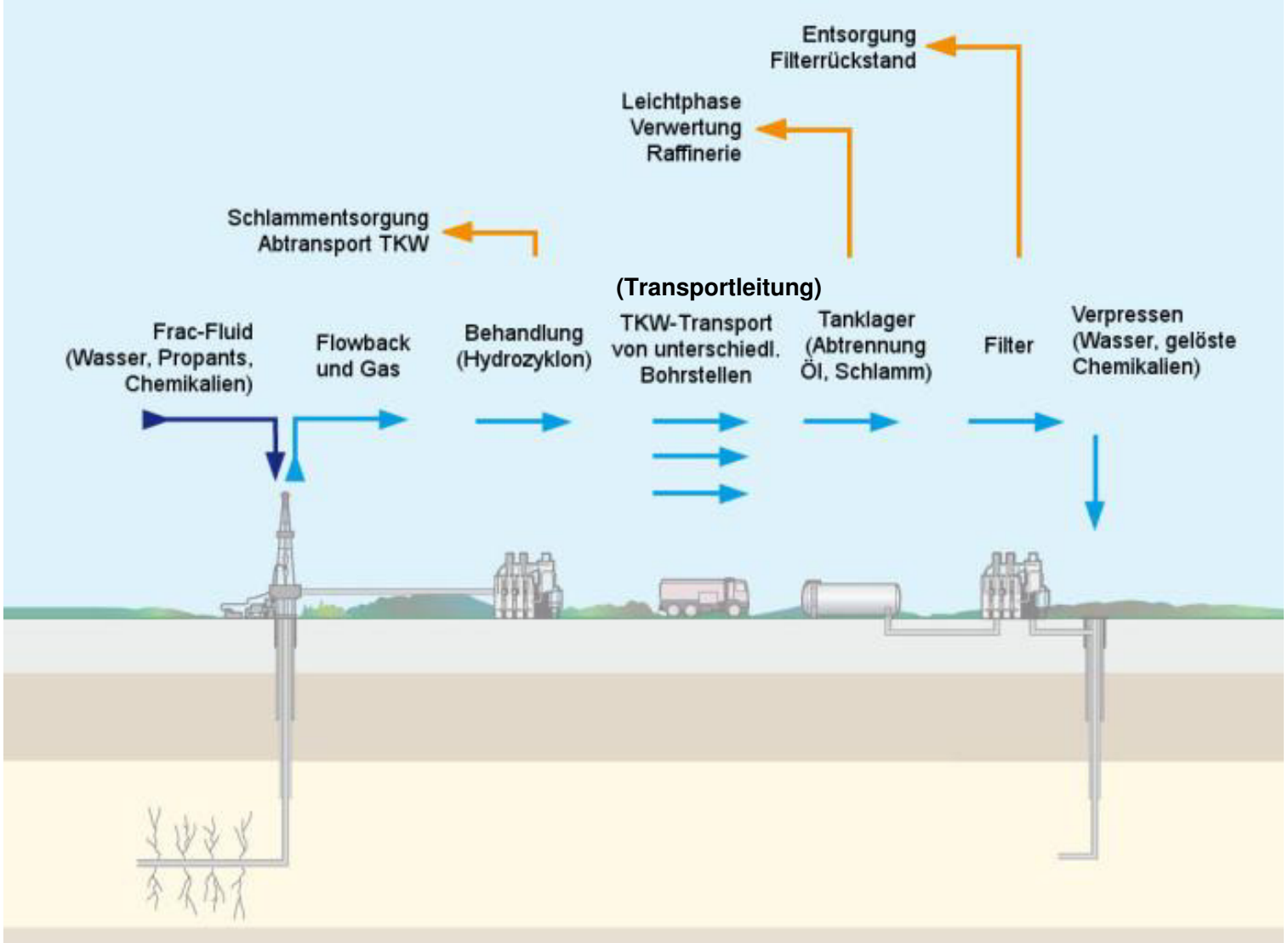
Damme 3 (Produktion bis zum 12.01.2009) – Salzkonzentrationsverlauf und Rückschluss auf Lagerstättenwasseranteil.



Flowback Bilanzierung

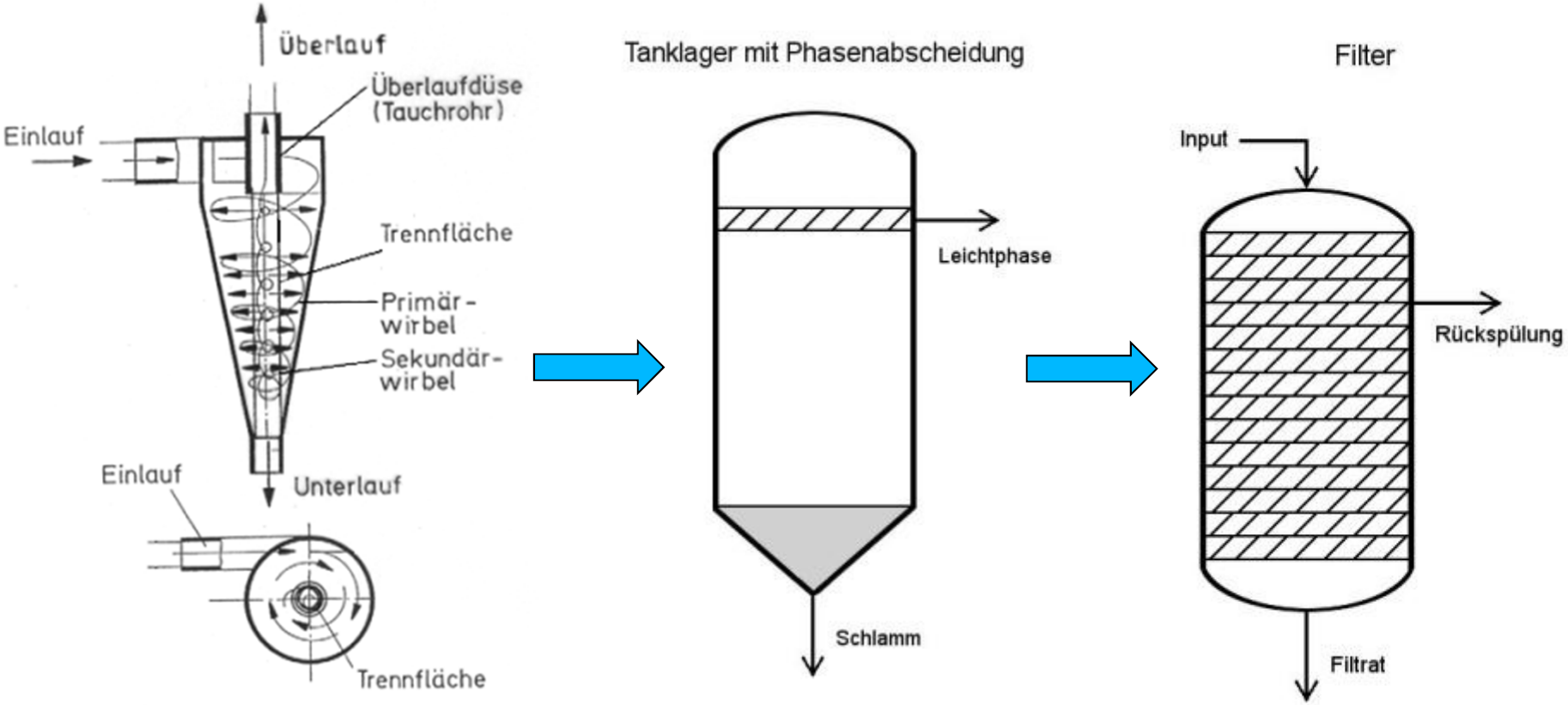
- Prozentuale Rückführmengen des eingebrachten Frackfluids:
  - ermittelt für Damme3, 8%
  - Erfahrungen im Marcellus Gebiet USA, 10-12%,
  - Angaben Exxon Mobil, 23%
  - Angaben UBA, 20-80%.
- Bilanzierung Frac Fluid - / Lagerstättenwasseranteil im Flowback möglich über:
  - Salzkonzentrationsverlauf
  - (1,5-Naphthalindisulfonat)
  - Isotopenverhältnis
  - Oxidations- und Abbauprodukte der verwendeten Gele und Ether

Derzeitige Behandlung des Flowback



Derzeitige Behandlung des Flowback

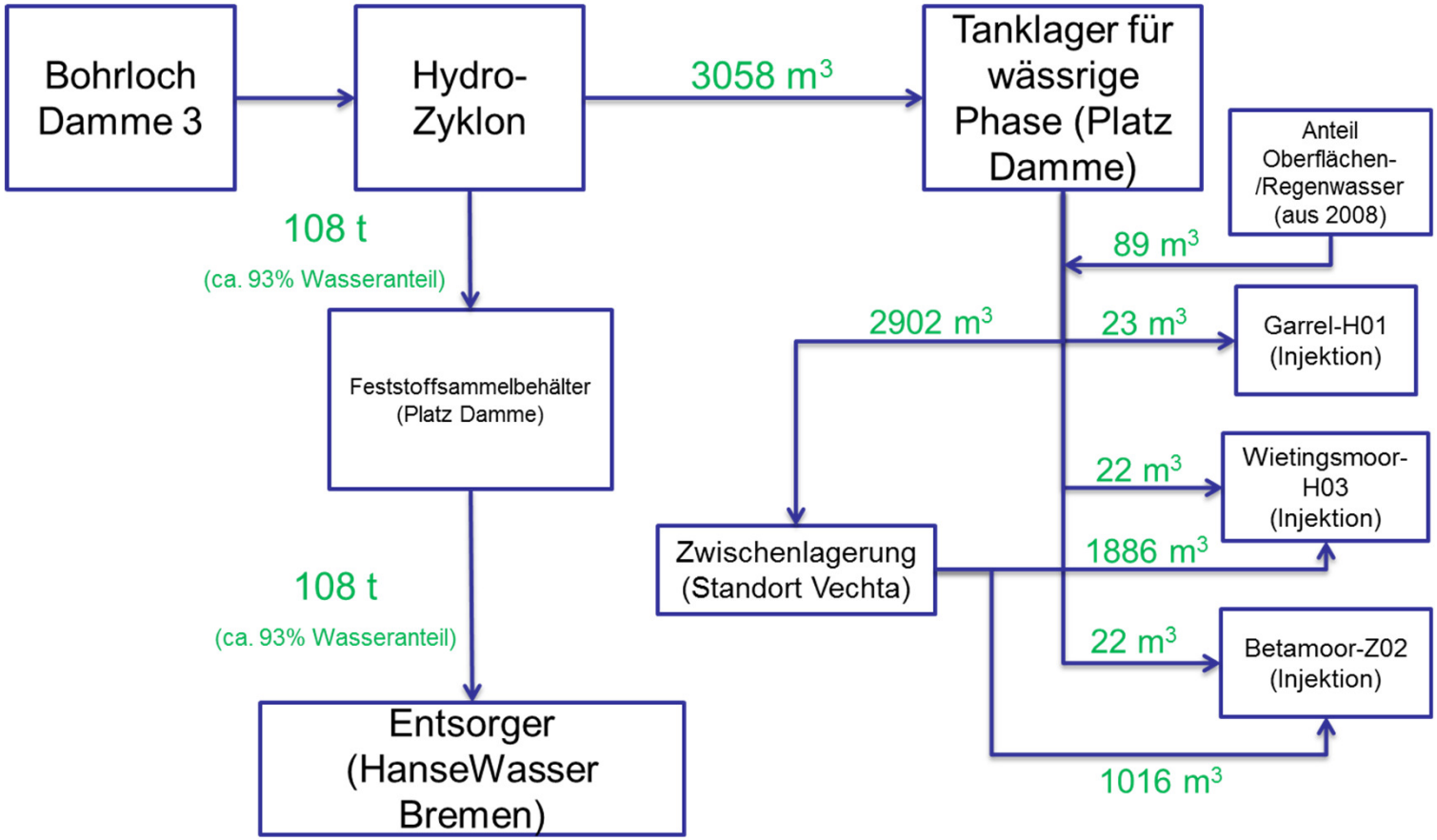
Behandlung des Flowbacks an der Förder- und Verpressbohrung



Eine Behandlung findet nur durch Filter und Phasentrennung über Absetztanks statt.

Derzeitige Behandlung des Flowback

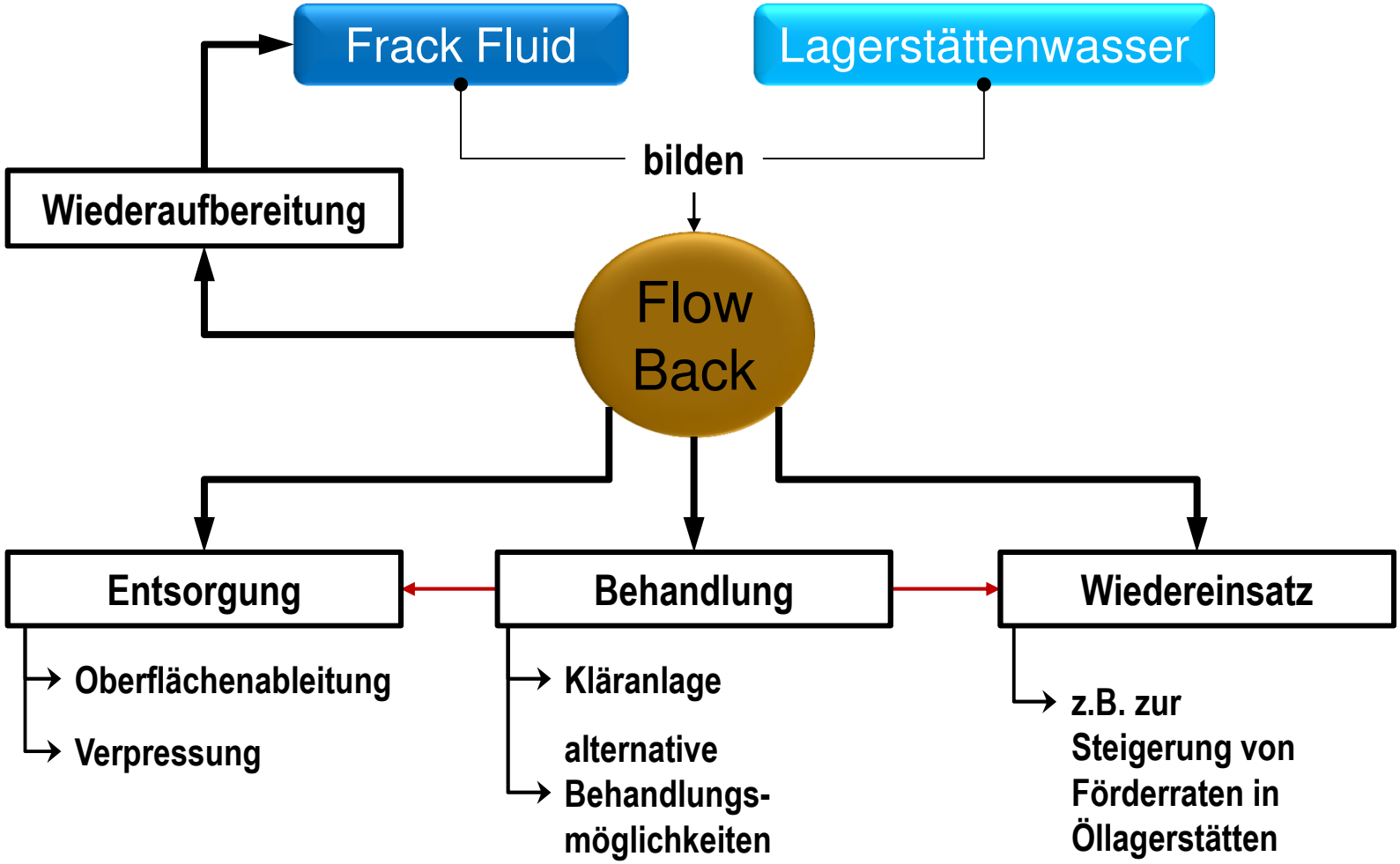
Rückförderung und Verbringung, am Beispiel Damme 3, 20.11.2008 - 12.01.2009



Behandlungsverfahren - prinzipielle Eignung

Flowback Inhaltsstoffe / Verfahren	Ungelöste, partikuläre Stoffe		Leicht-flüssigkeiten (Öle/Benzine)	Gelöste Stoffe					
				Kohlenwasserstoffe		Salze			Metalle
	absetzbar	abfiltrierbar		Flüchtige Organische Substanzen	Organische Substanzen	Geringer Salzgehalt < 10 g/l	Mittlerer Salzgehalt < 50 g/l	Hoher Salzgehalt > 50 g/l	
Sedimentation	●								
Leichtstoffabscheidung			●						
Filtration		●							
Fällung/Flockung									●
Flotation		●							
Membranfiltration		●							
Strippung				●					
Adsorption/Absorption					(●)				●
Elektro-Koagulation									●
Chemische Oxidation					●				
Umkehrosmose					●	●	●		
Eindampfung				●	●	●	●	●	●
Kristallisation						●	●	●	
Biologische Behandlg.	●	●	(●)		●	●			

Behandlung, Verwertung und Entsorgung des Flowback



Maßnahmen und Erfahrungen, Umgang Flowback

Bewertung / Maßnahme	Anforderung definiert	Maßnahme erprobt	Weitere Anforderungen	Wertung	Bemerkung
Sammlung und Lagerung	WHG § 19 ff (++) Ergänzungen erforderlich	(+)	Materialanforderung Dichtheit Emissionen	Stand der Technik	
Transport/ Leitungen/ TKW	WHG § 19 (++) Ergänzungen erforderlich	Leitungen, TKW (+)	Ja, Leckagen, Überwachung	Stand der Technik	Derzeit firmenspezifische Lösungen
Verpressen des Flowbacks	Bergrecht (+-)	Ja		(+-) Diskussionsbedarf	Monitoring
Aufbereitung und Recycling des Flowbacks	Frackfirmen	Ja (++)	Ja, z.B. Salzgehalts-reduzierung	Bewertung durch Spezialfirmen (++)	Derzeit nur geringe Substitution von Frischwasser zum Ansetzen der Frackingflüssigkeit

Maßnahmen und Erfahrungen, Umgang Flowback

Bewertung / Maßnahme	Anforderung definiert	Maßnahme erprobt	Weitere Anforderungen	Wertung	Bemerkung
Einleitung des Flowback in Kommunalabwasser (Indirekteinleitung)	M115 Ergänzungen erforderlich	USA	Versuche erforderlich	Negative Erfahrungen, kein St. d. T. (+-)	Indirekteinleitung prüfen entsprechend Anhang 36, 48, 49 od. 51* der AbwV.
Einleitung des Flowback in Ober-flächengewässer (Direkteinleitung)	Keine Verschlechterung	USA	Theoretisch ja, Versuche erforderlich	Negative Erfahrungen, kein St. d. T.	Forschung erforderlich
Einleitung des Flowback in Grundwasser	Keine Verschlechterung	Nein	Osmose, Eindampfung	(-) Energiebedarf, Konzentrate	
Sammlung & Entsorgung des Niederschlag-wassers	Sammeln (+) A117, WEG Merkbatt „Gestaltung Bohrplatz“ Transport, Ableitung (+) Entsorgung	Einleitung Kanal (+) Versickerung (-)	Kontrolle, Überwachung	St. d. T	

Zusammenfassung

- Datenlage zu Lagerstättenwasser und Flowback ist deutlich zu ergänzen (insbesondere lagerstättenspezifisch).
- Beschaffenheit (auch des Flowback):
  Salze, Schwermetalle, org. Schadstoffe, radioaktive Stoffe
- Entsorgung: Versenkung/Verpressung ist das i.d.R. verwendete Verfahren der Entsorgung, (nach Bergrecht genehmigt)
- Alternative Verfahren (Fällung, Flockung, Flotation, Membranfiltration, biol. Verfahren, etc.) sind bisher nicht ausreichend erprobt
- neue Frack-Chemikalien auf ihre Entsorgbarkeit hin ausgewählt werden.
- Es fehlt ein Stoffstrommanagement, belastbare Dokumentation und Auswertung