

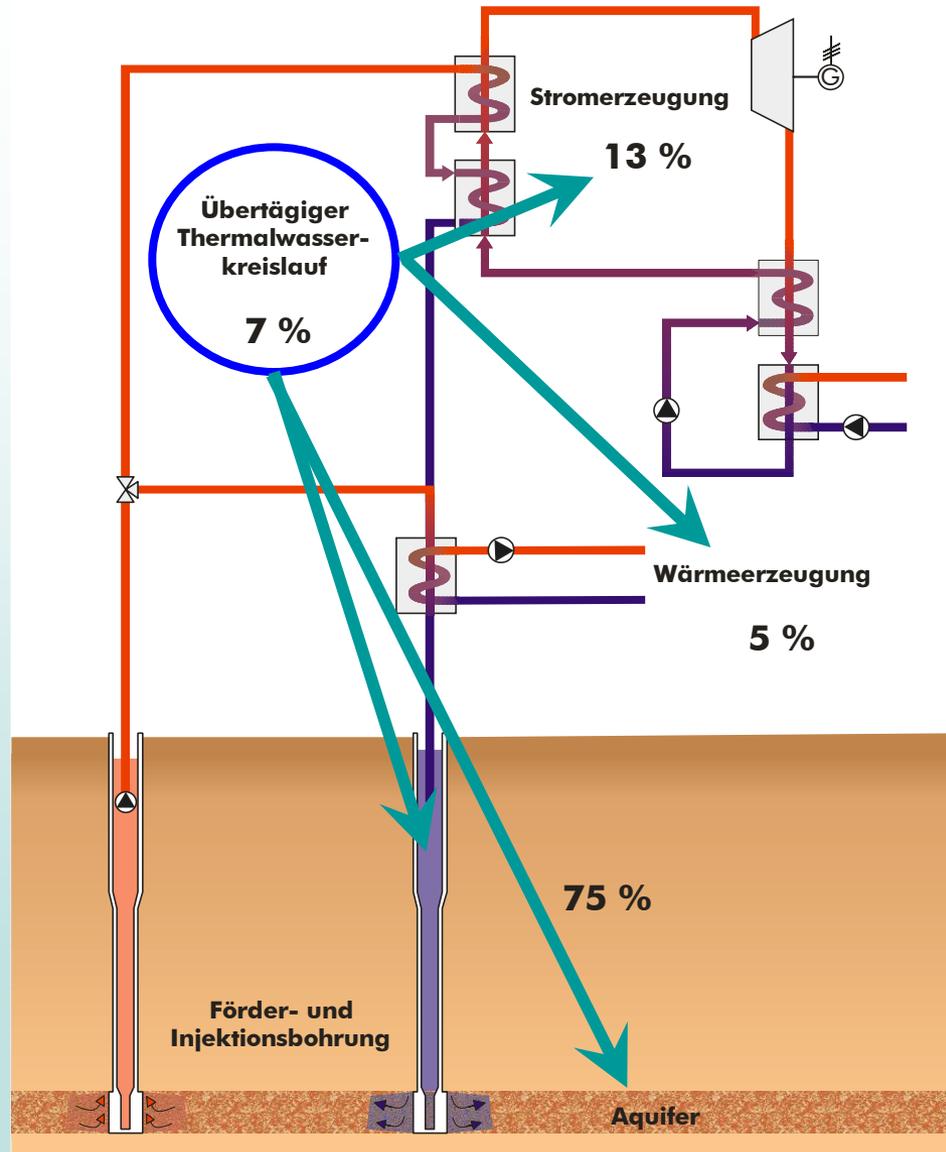
# **Herausforderung Thermalwasser – Umgang mit salinaren Tiefenwässern in Geothermieranlagen**

**Dr. F. Kabus, Dipl.-Ing. Gerd Möllmann  
Geothermie Neubrandenburg GmbH**

**Hotspot Hannover  
5. Norddeutsche Geothermietagung, 17.-18.10.2012**

- Einführung
- Geologische Rahmenbedingungen
- Weitere Einflüsse auf das Pflichtenheft
- Anlagengestaltung
  - Allgemein
  - Druckhaltung
  - Filtration
- Zusammenfassung

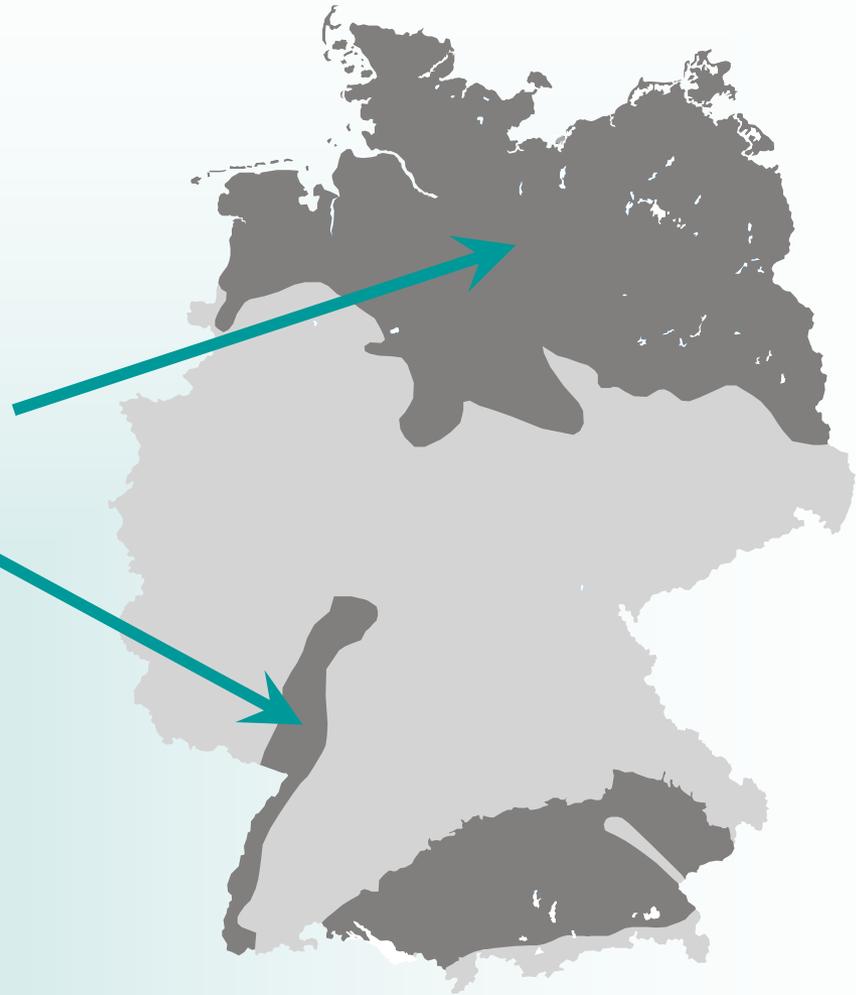
Herausforderung Thermalwasser – Umgang mit salinaren Tiefenwässern in Geothermieanlagen



Prinzipschema Hydrothermale Geothermie

# Geologische Rahmenbedingungen

- Norddeutsches Becken
- Oberrheingraben



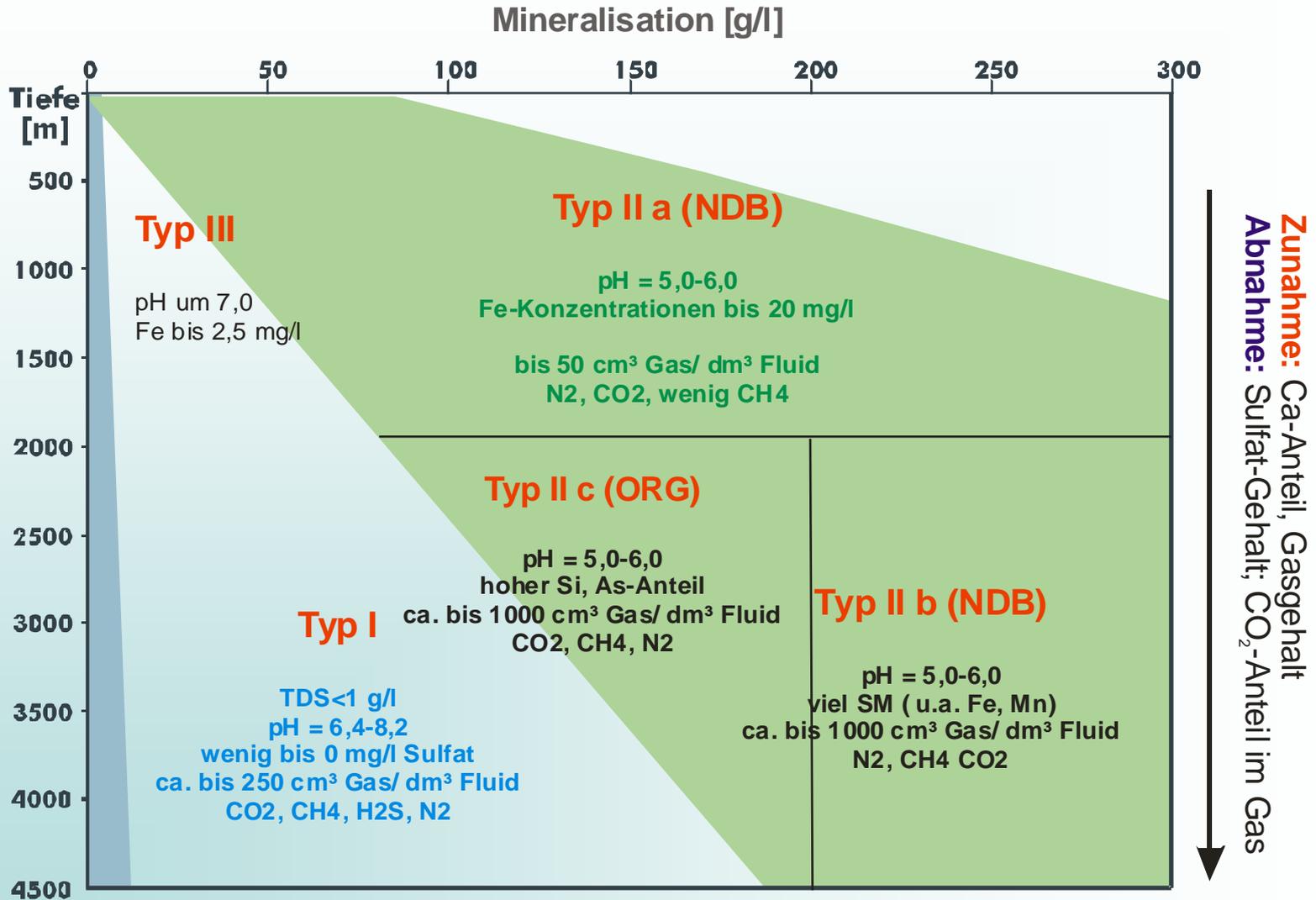
Relevante Haupt-Geothermieregionen

# Geologische Rahmenbedingungen

- "Infiltrationswässer" im Molassebecken
- Basinale Wässer im Norddeutschen Becken (NDB) und im Oberrheingraben (ORG)
  - Mesozoische Aquifere im NDB ( $\leq 140$  °C)
  - paläozoische Aquifere im NDB und mesozoische/paläozoische Aquifere im ORG ( $> 140$  °C)

(nach WOLFGRAMM & SEIBT (2008))

# Geologische Rahmenbedingungen



Wässer und Gase

# Geologische Rahmenbedingungen

Basinale Wässer im NDB und im ORG:

- Na-CL-Wässer (Na-Ca-CL im NDB ab ca. 1.500 m)
- hohe Chloridgehalte (20 bis >300 g/L NDB, bis 150 g/L ORG)
- schwach saurer pH-Wert
  - hohes Korrosionspotential (Loch- und Muldenfraßkorrosion durch Halogenide, galvanische Korrosion bei ungünstigen Materialpaarungen und Scaling)

Planungsrelevante geochemische Parameter

# Geologische Rahmenbedingungen

- sehr hohe CO<sub>2</sub>-Gehalte im ORG (1 – 2 L<sub>Gas</sub>/L<sub>Fluid</sub>)   
Druckhaltung, um CO<sub>2</sub> in Lösung zu halten   
typische Anlagendrücke von bis zu 30 bar
- oftmals N<sub>2</sub>-Dominanz im Gasgehalt im NDB ab 1.500 m (0,4 – 2 L<sub>Gas</sub>/L<sub>Fluid</sub>)
  - Entgasung nicht zu verhindern
  - Zweiphasenströmung

# Geologische Rahmenbedingungen

## Wirkung

- Korrosion
- SiO<sub>2</sub>-Ausfällungen
- Karbonatausfällungen
- Sulfatausfällungen  
(Baryt, Anhydrit)
- Eisenhydroxidausfällung
- Schwermetallausfällungen  
(Pb, As, Sb, Tl, ...)

## Ursache

pH-Wert niedrig,  
Chloridgehalte hoch

Temperaturerniedrigung

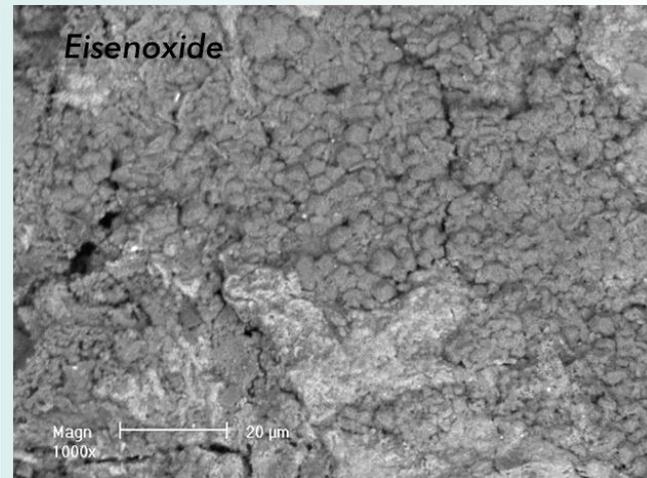
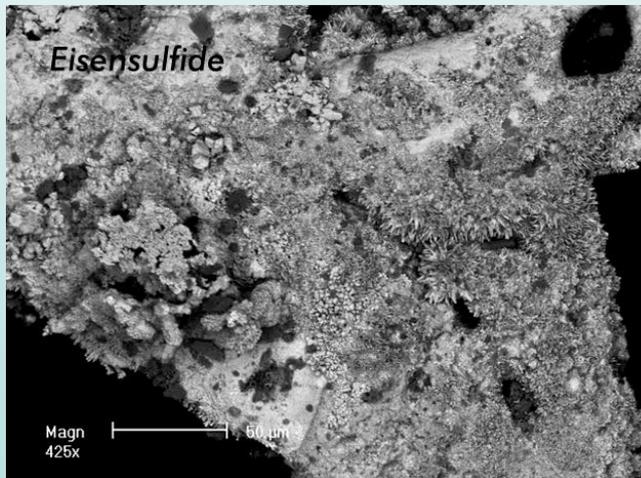
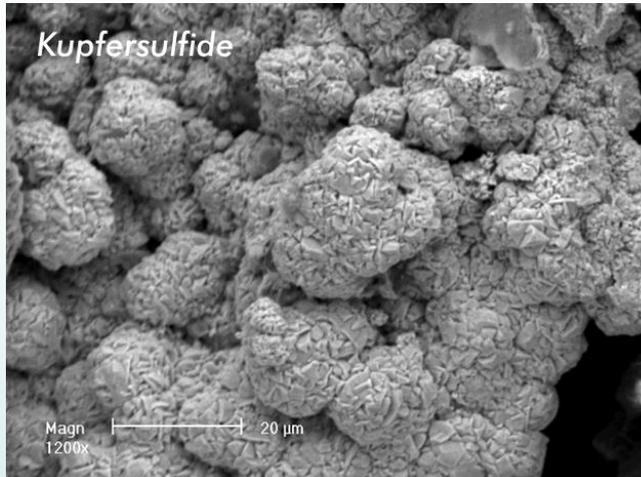
Druckentlastung,  
Entgasung (CO<sub>2</sub>)

Temperaturerhöhung-,  
-erniedrigung

O<sub>2</sub>-Zutritt

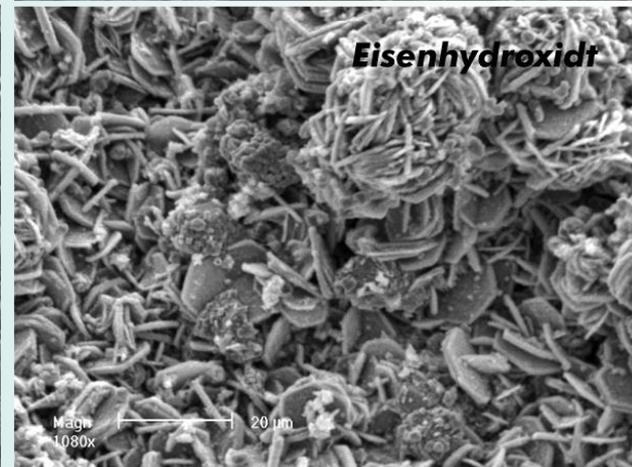
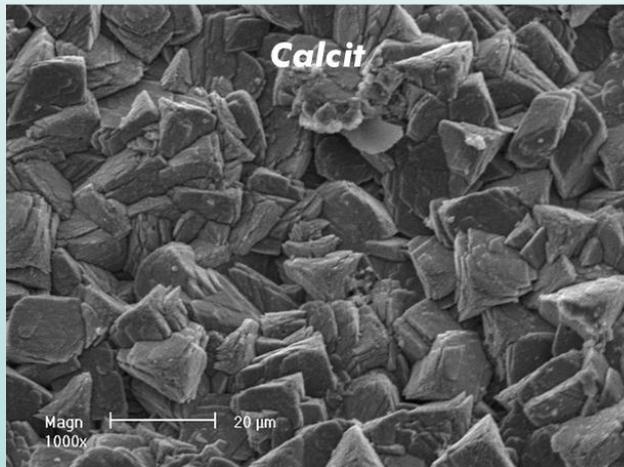
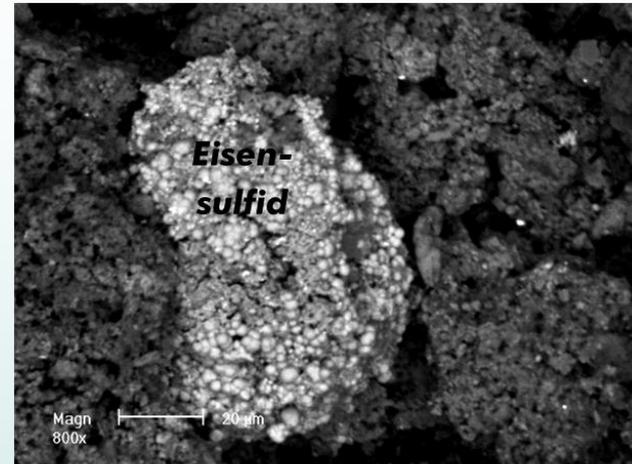
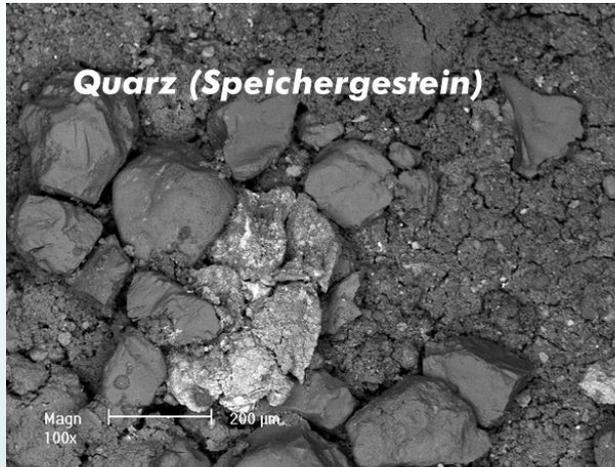
elektrochemisch

# Geologische Rahmenbedingungen

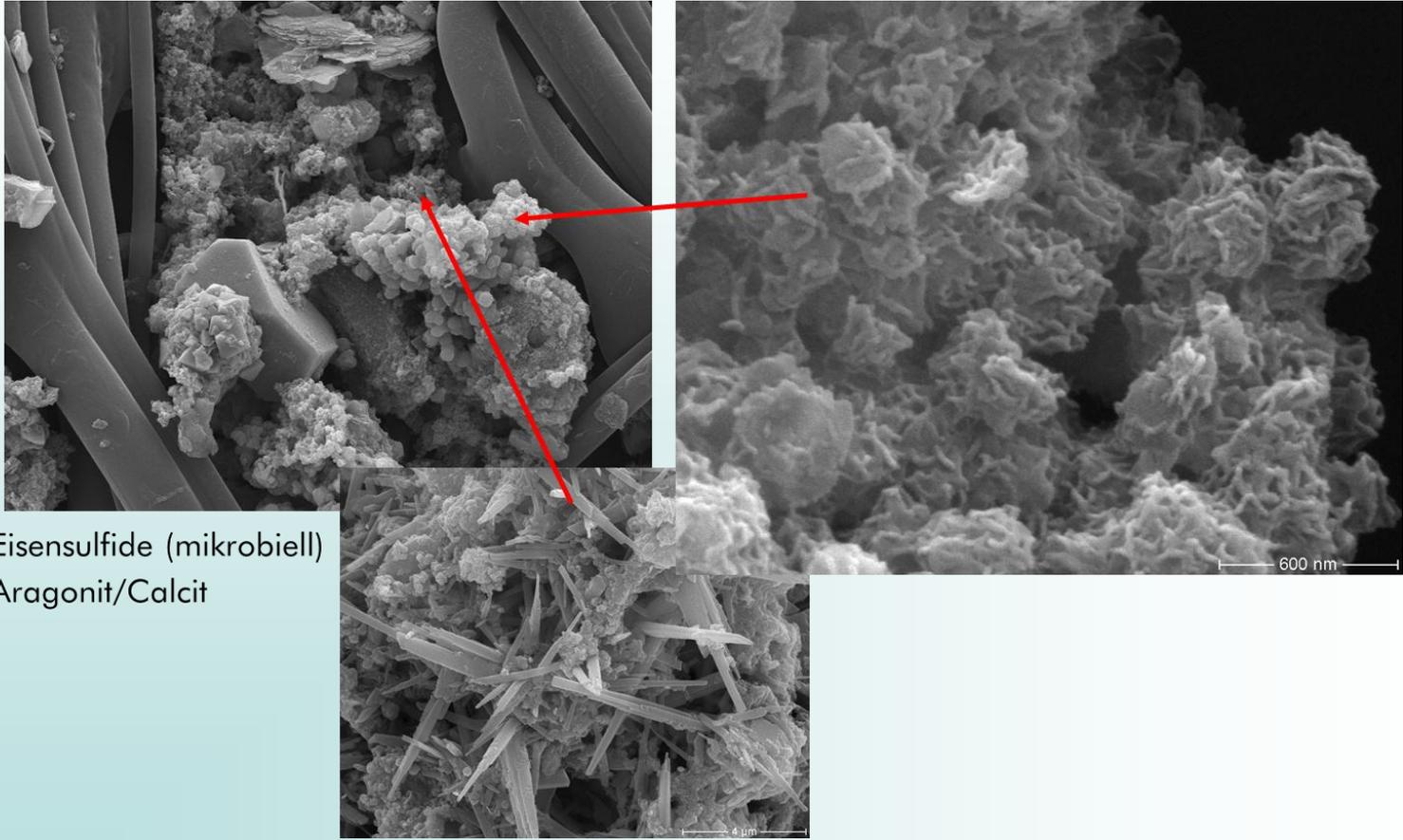


Scales NDB: Wärmespeicher Reichstag

# Geologische Rahmenbedingungen



# Geologische Rahmenbedingungen



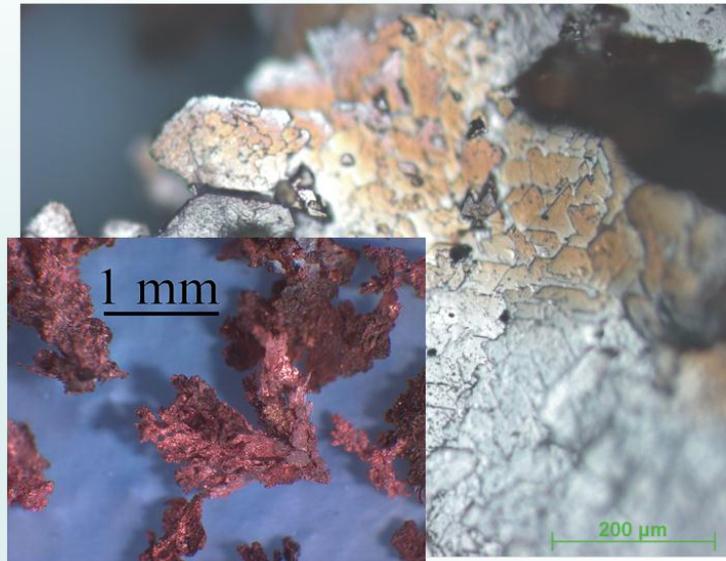
Eisensulfide (mikrobiell)  
Aragonit/Calcit

Scales NDB: Neubrandenburg Wärmespeicher

# Geologische Rahmenbedingungen



Blei



Kupfer

Scales NDB: Groß Schönebeck

# Geologische Rahmenbedingungen



6,3 mm dicke Aragonitkrusten



Für die Auslegung der zu verwendenden Werkstoffe, der Druckhaltung, der Filtration und der Betriebsführung sollten bekannt sein:

- Korrosionsrelevante Parameter: Salinität, Chlorid- und Fluoridgehalt, pH-Wert, H<sub>2</sub>S-Gehalt
- Gasgehalt und Gaszusammensetzung (Druckhaltung, Zweiphasenströmung)
- Scaling-relevante Parameter (Schwermetallgehalte, Sulfat/Barium/Strontium, SiO<sub>2</sub>-Phasen, HCO<sub>3</sub>)
- Partikelgehalt und -größe im Förderstrom (Lagerstätte, Erosion)

# Anlagengestaltung - Allgemein

- Material- und Ausrüstungswahl
- Überdruck in der Übertageanlage zur Vermeidung von Entgasung und Ausfällungen
- Sicherung der Sauerstofffreiheit ( $N_2$ -Beaufschlagung, Überdruck)
- präventive Maßnahmen gegen Ausfällungs- und/oder Korrosionsprodukte zum Schutz übertägiger Anlagenkomponenten (z.B. Fluidzusätze zur Säuerung, als Reduktionsmittel oder zur Inhibierung)
- Filtration resultierend aus dem Feststoffgehalt
- Betriebsführung, p/T-Regimes
- Monitoring - Regenerierung

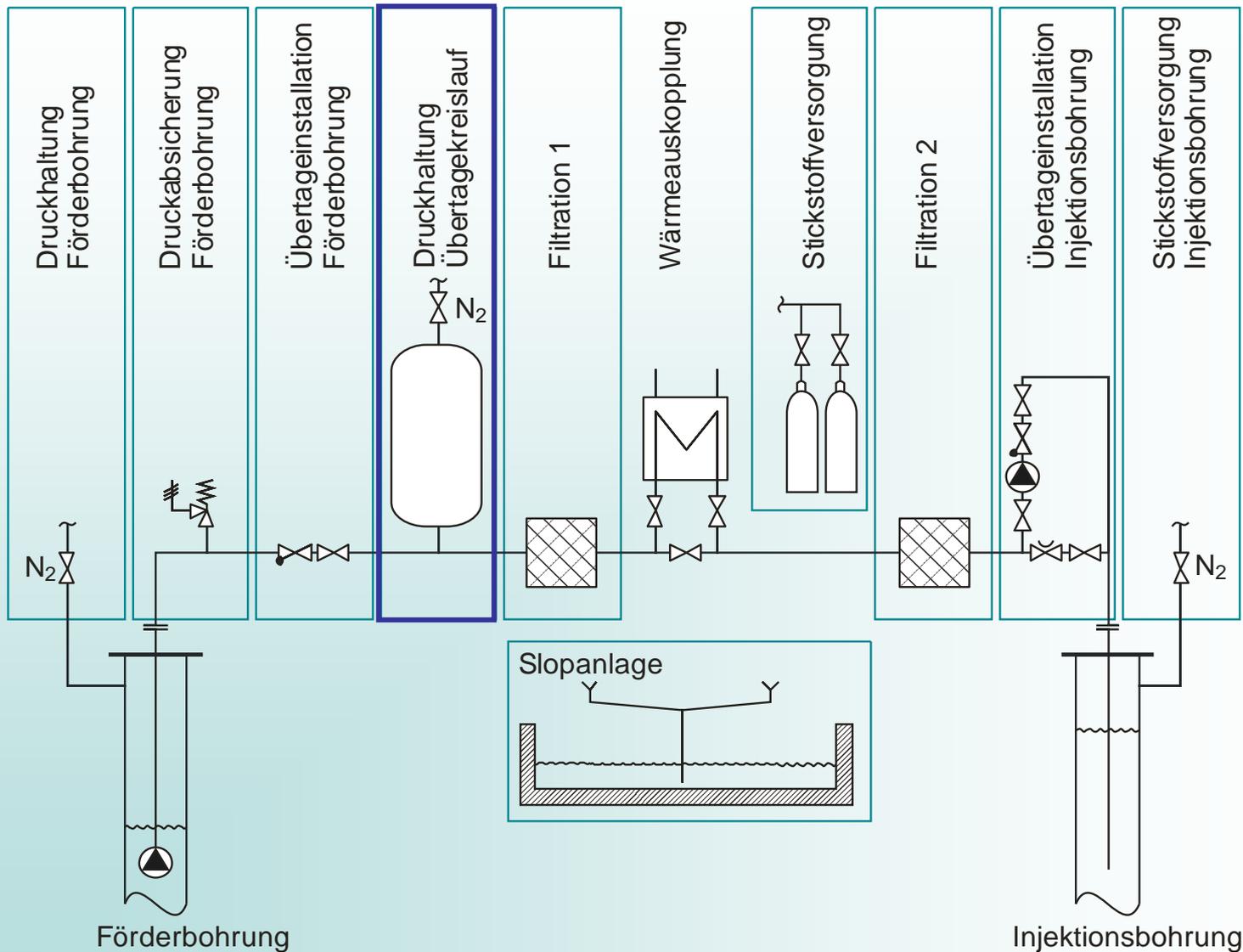
Einflüsse auf Pflichtenheft aus geochemischen Parametern

# Anlagengestaltung - Allgemein

- Mengenstrom und Temperatur
- Hydraulische Parameter der Förder- und Injektionsbohrungen sowie des Übertagekreises
- Örtliche Gegebenheiten (Abstand der Bohrungen und Technikbereiche, geodätische Verhältnisse, gestalterische Anforderungen und gegebene Infrastruktur
- Anforderungen aus der Mengenstromregelung
- Auskühlung des Thermalwassers im Verdampfer oder bei der thermischen Nutzung für eine Wärmeversorgung
- Investitionen
- Bedienungs-, Wartungs- und Reparaturaufwand
- Verfügbare Leistungsgrößen und Ausführungen von Komponenten und Ausrüstungen

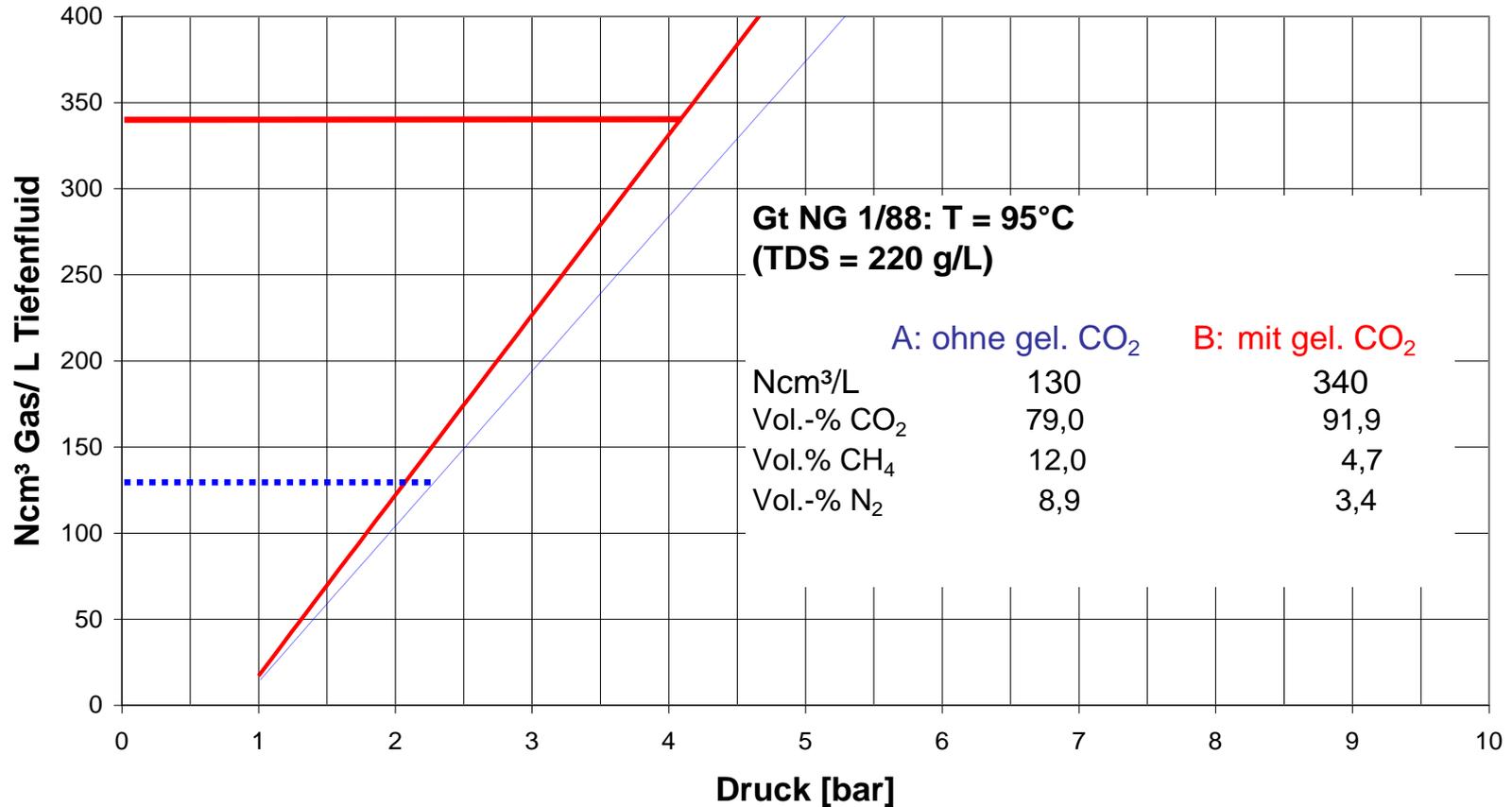
Weitere Einflüsse auf das Pflichtenheft

# Anlagengestaltung - Allgemein



Baugruppen des übertägigen Thermalwasserkreislaufes

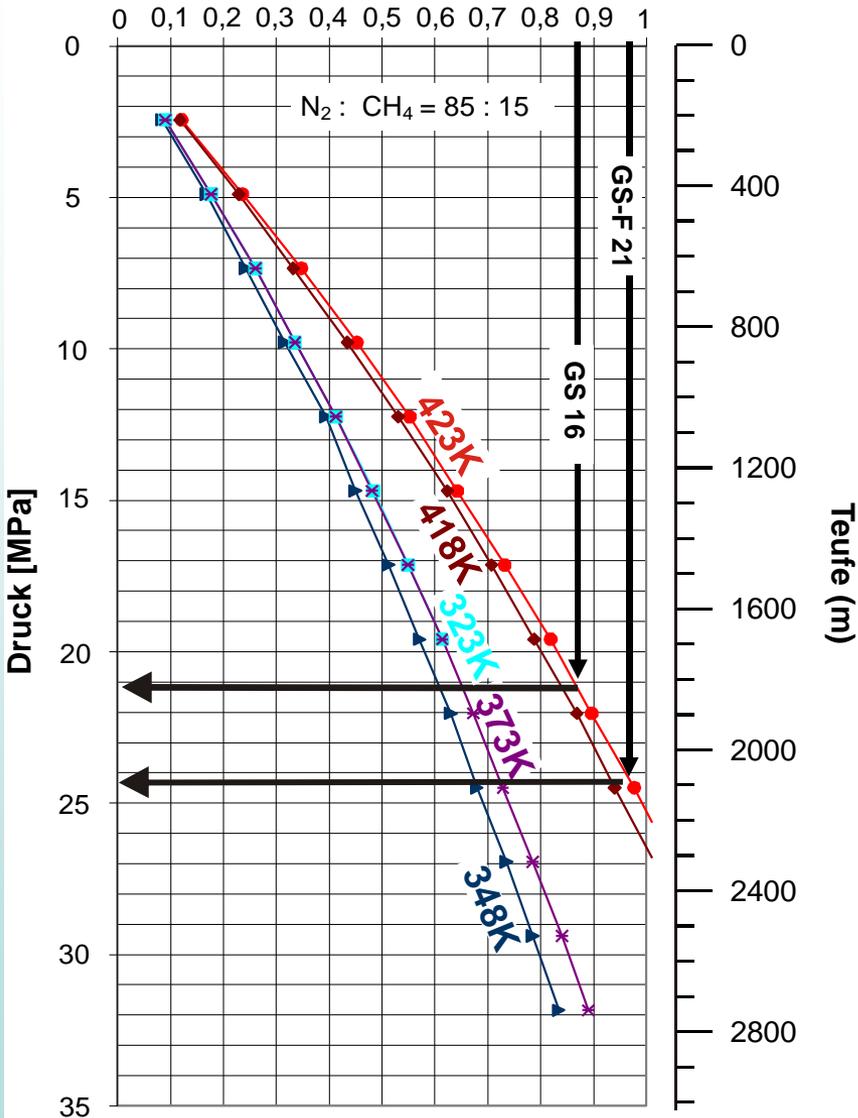
# Anlagengestaltung - Druckhaltung



Entlösendruck: Beispiel NDB (Neustadt-Glewe)

# Anlagengestaltung - Druckhaltung

Löslichkeit  
I (Gas)/I (Fluid)



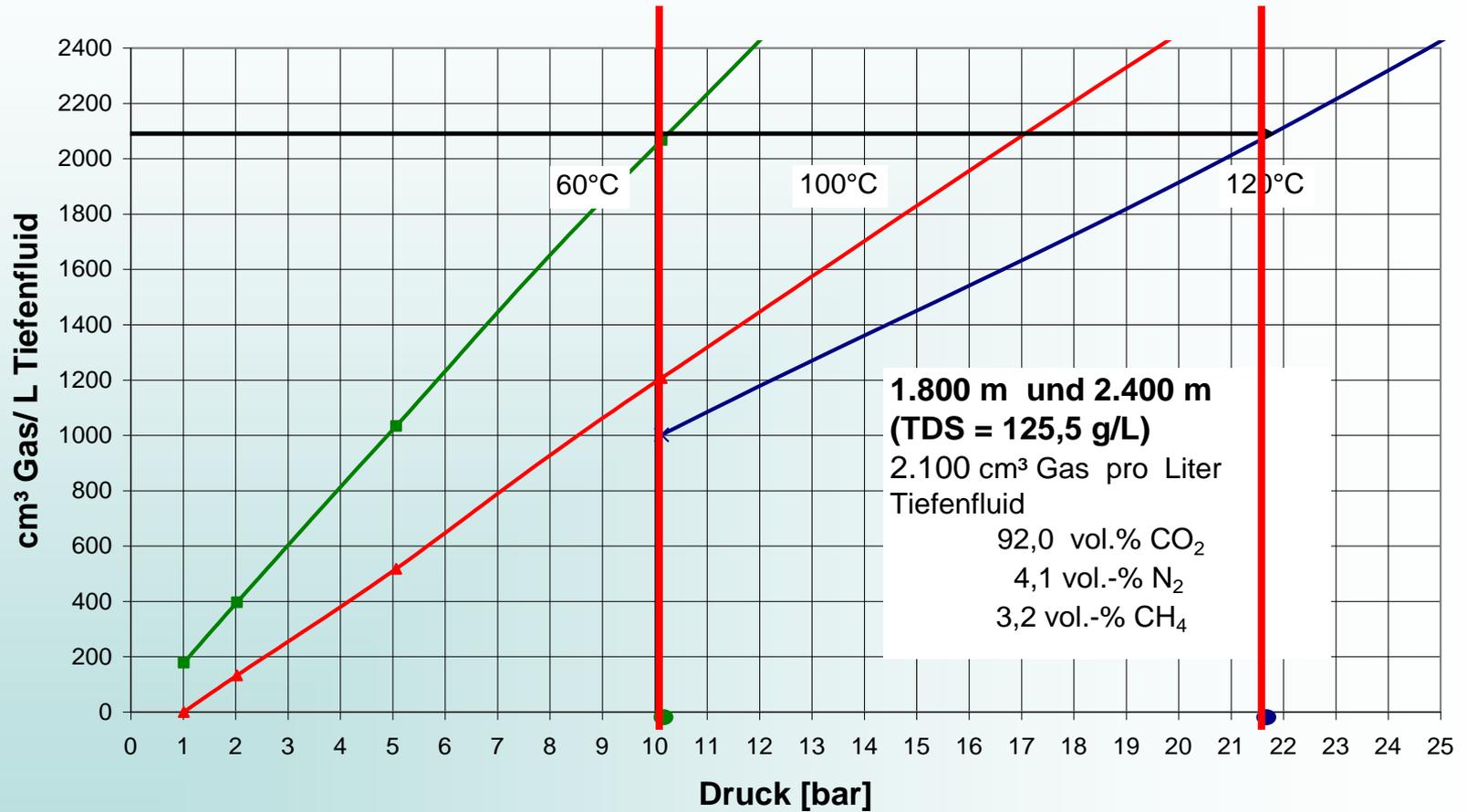
- Entgasung (N<sub>2</sub>) beginnt bei 240 bar.
- Entlösungsdruck für CO<sub>2</sub> ist 7,5 bar.

Problem: Zwei-Phasenströmung

- Die Bohrung ist charakterisiert durch
  - Tiefe: 4.200 m
  - T: 150 °C
  - Salinität: 265 g/L

Entlösungsdruck: Beispiel NDB (Groß Schönebeck)

# Anlagengestaltung - Druckhaltung



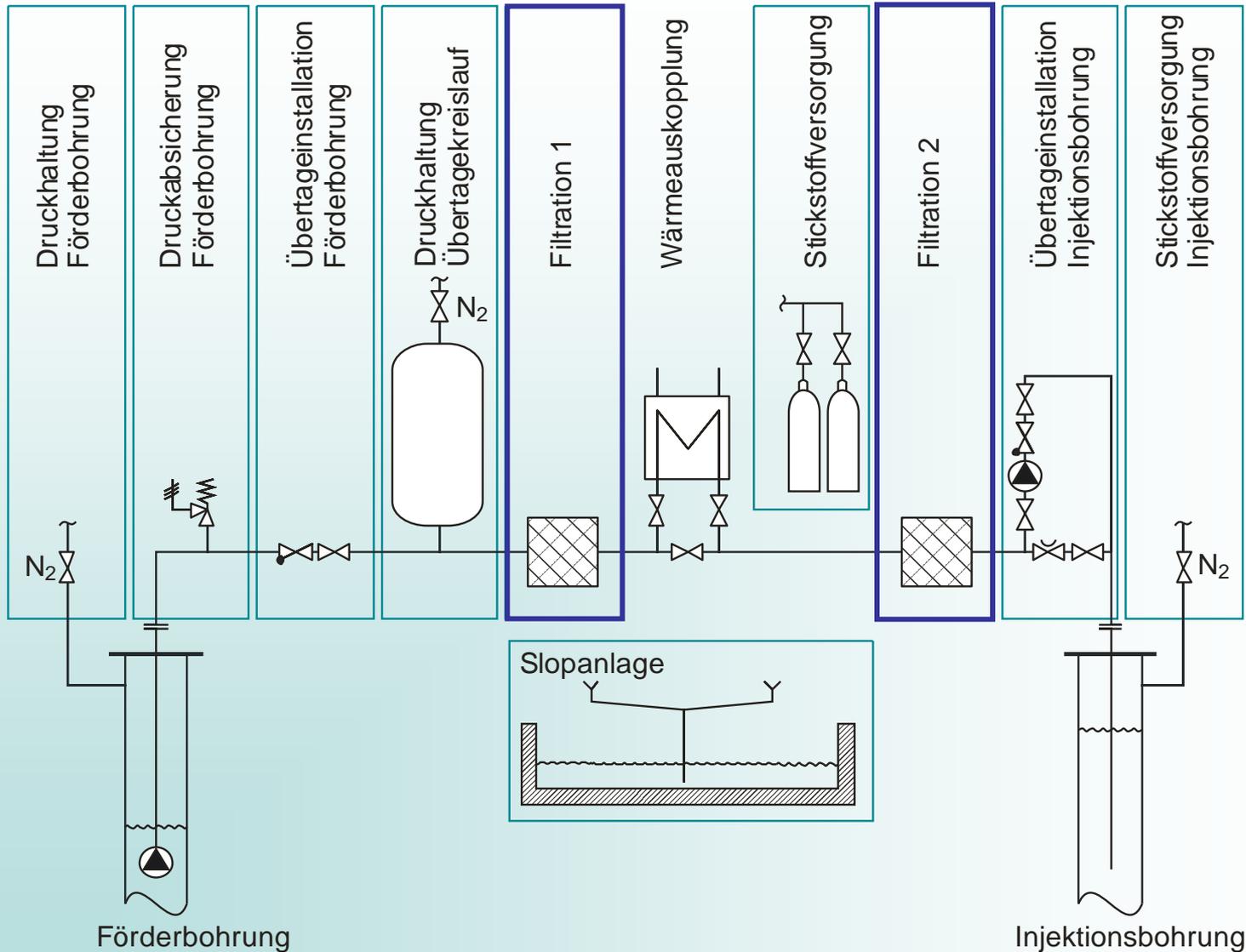
Entlösungsdruck: Beispiel Oberrheingraben (125 °C)

# Anlagengestaltung - Druckhaltung

Baugruppe	Eignung			Kommentare		
	MB	NDB <sub>meso</sub>	NDB <sub>paläo</sub> ORG	MB	NDB <sub>meso</sub>	NDB <sub>paläo</sub> ORG
<b>Übertage Förderbohrung</b>						
mit Druckschalter	0	+	+	ist zu kombinieren mit zusätzlicher Druckabsicherung, in der Regel sind An- und Abfahrvorgang mit dieser Schaltung schwer beherrschbar, wenn Tiefpumpe ohne Drehzahlregler ausgeführt ist	ist zu kombinieren mit zusätzlicher Druckabsicherung	
mit Anfahrregelung/ Mengenregelung	+	+	+	bei Tiefpumpe ohne Drehzahlregelung und/ oder Bedarf der Mengenregelung		
mit Anfahrbypass	+	+	+	bei Anlagen mit hohem Mengenstrom und/ oder Tiefpumpe ohne Drehzahlregelung		
<b>Druckabsicherung</b>						
Sicherheitsventil mit Schaltkontakt	+	0	0	Vorzugsvariante der Druckabsicherung	Gefahr der Korrosion am Ventilsitz	Gefahr der Korrosion am Ventilsitz, hohe Gefahr von Entgasung mit Druckschlägen
Sicherheitsventil mit Auffangbehälter	+	0	0	wie vor	wie vor	wie vor
Berstscheibe mit Schaltkontakt	+	+	+	Vorzugsvariante bei sehr hohen Mengenströmen und variablen Ringraumdrücken	Vorzugsvariante der Druckabsicherung	
Berstscheibe mit Strömungswächter	+	+	+	wie vor	wie vor	Risiko der Funktionsstörung des Strömungswächters durch Gasansammlung
<b>Stickstoffversorgung</b>						
mit einer Stickstoffbatterie	+	+	+			
mit Stickstoffgenerator	+	+	0	bei hohen Systemdrücken zusätzliche Verdichterstufe erforderlich		eine zusätzliche Verdichterstufe erforderlich
<b>Druckhaltung Ringraum Förderbohrung</b>						
mit Motorventilsteuerung	+	+	0	Vorzugsvariante bei großen Bohrungsabständen		
über Stellventile ohne Hilfsenergie	0	0	0	Einsatz nur bei exakter Kenntnis der Bohrungshydraulik und Gasentlösung des Mediums		
<b>Druckhaltung Übertagekreislauf</b>						
Druckbehälter im Nebenschluss	+	+	+	Vorzugsvariante der Druckhaltung		
Druckbehälter mit Durchströmung	0	0	0	nur bei hohem Druckschlagsrisiko, Entgasung muss sicher verhindert werden (CH <sub>4</sub> )		
mit Stickstoffrückgewinnung	-	0	0	es ist Anreicherung von CH <sub>4</sub> zu befürchten	Anreicherung von CO <sub>2</sub> und CH <sub>4</sub> muss unterbunden werden	

## Auswahlkriterien der übertägigen Baugruppen

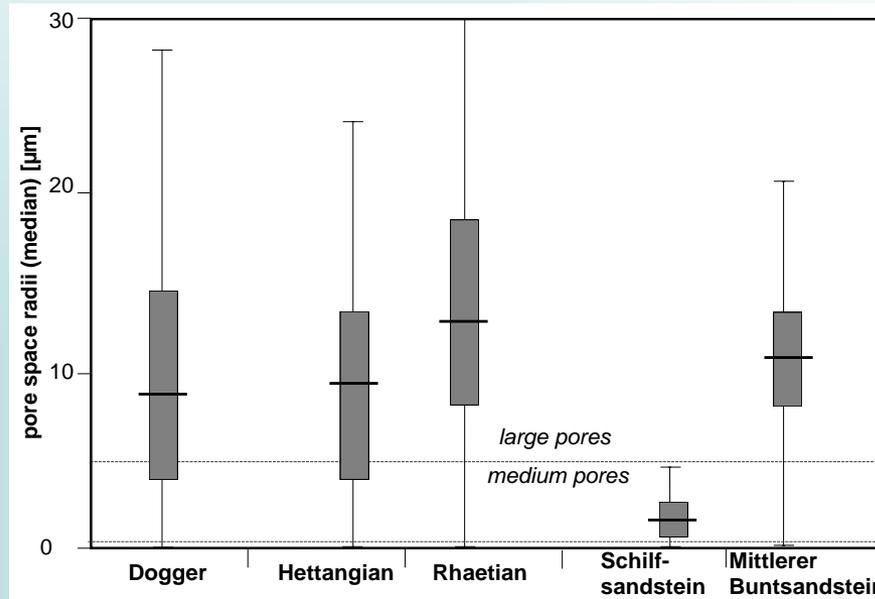
# Anlagengestaltung - Allgemein



Baugruppen des übertägigen Thermalwasserkreislaufes

# Anlagengestaltung - Filtration

- NDB, ORG porös
  - $d_{\text{Feststoff}} > 1/3 d_{\text{Pore}}$  führt zu Bildung eines inneren Filterkuchens oder Zwischenbrücken
  - $d_{\text{Feststoff}} < 1/10 d_{\text{Pore}}$  Fluid durchströmt ungehindert das Speichergestein
    - Bei Poren von 10 ... 20  $\mu\text{m}$
    - Filterporenweite 1 ... 2  $\mu\text{m}$



Filtrationsziele

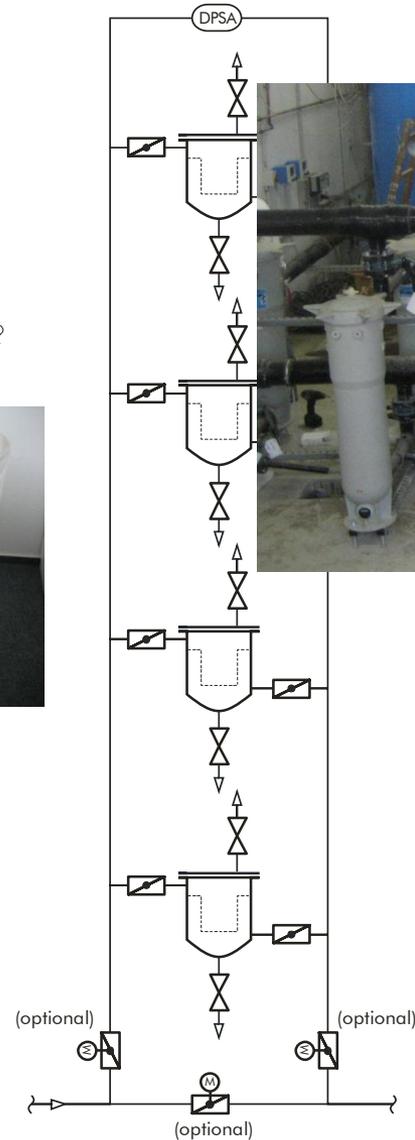
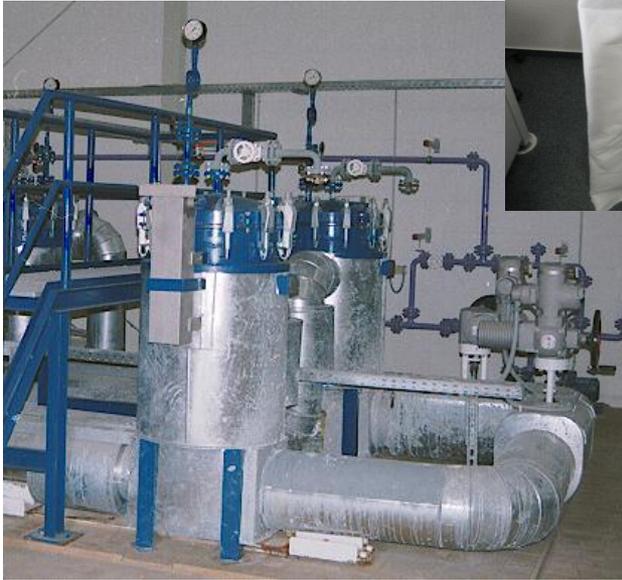
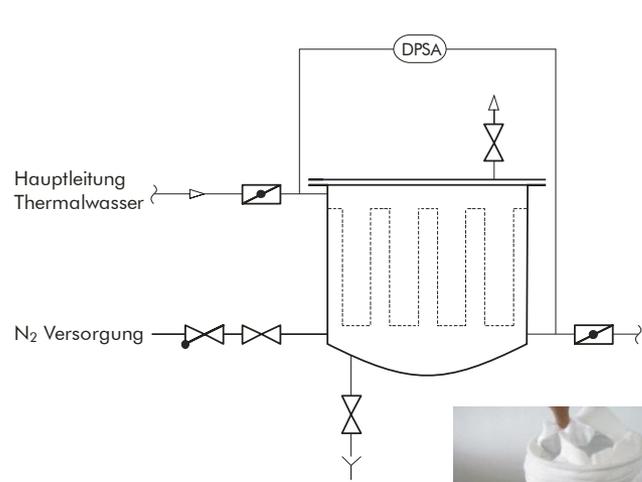
## Vorteile

- Regeneration ohne Unterbrechung der Filtration
- Rückspülung durch Eigenmedium
- Kompaktheit
- Dezentrale Auslösung des Selbstreinigungsvorgangs
- Flexibles Reagieren auf Veränderungen in der Feststofffracht
- Keine als Vorrat zu haltenden (Investition, Logistik) und später als Abfall zu entsorgende Filterelemente

## Nachteile

- Begrenzung der erreichbaren Filtrationsfeinheit
- hohe Abwassermengen, Einleitung genehmigungsfähig?
- Abwasserkosten
- Bewegliche Teile im Filterinneren
- aufwändige Peripherie zur Abkühlung des Rückspülwassers

# Anlagengestaltung - Filtration



Prinzipschema Filtration mit Filterelementen

## Vorteile

- weiter Bereich von Filterfeinheiten verfügbar, von „äußerst fein“ bis „sehr grob“
- großes Marktvolumen, da Standardtechnologie
- jeder Anwendungsfall realisierbar
- kein Abwasser (abgesehen vom Ablassvolumen bei Einsatzwechsel)

## Nachteile

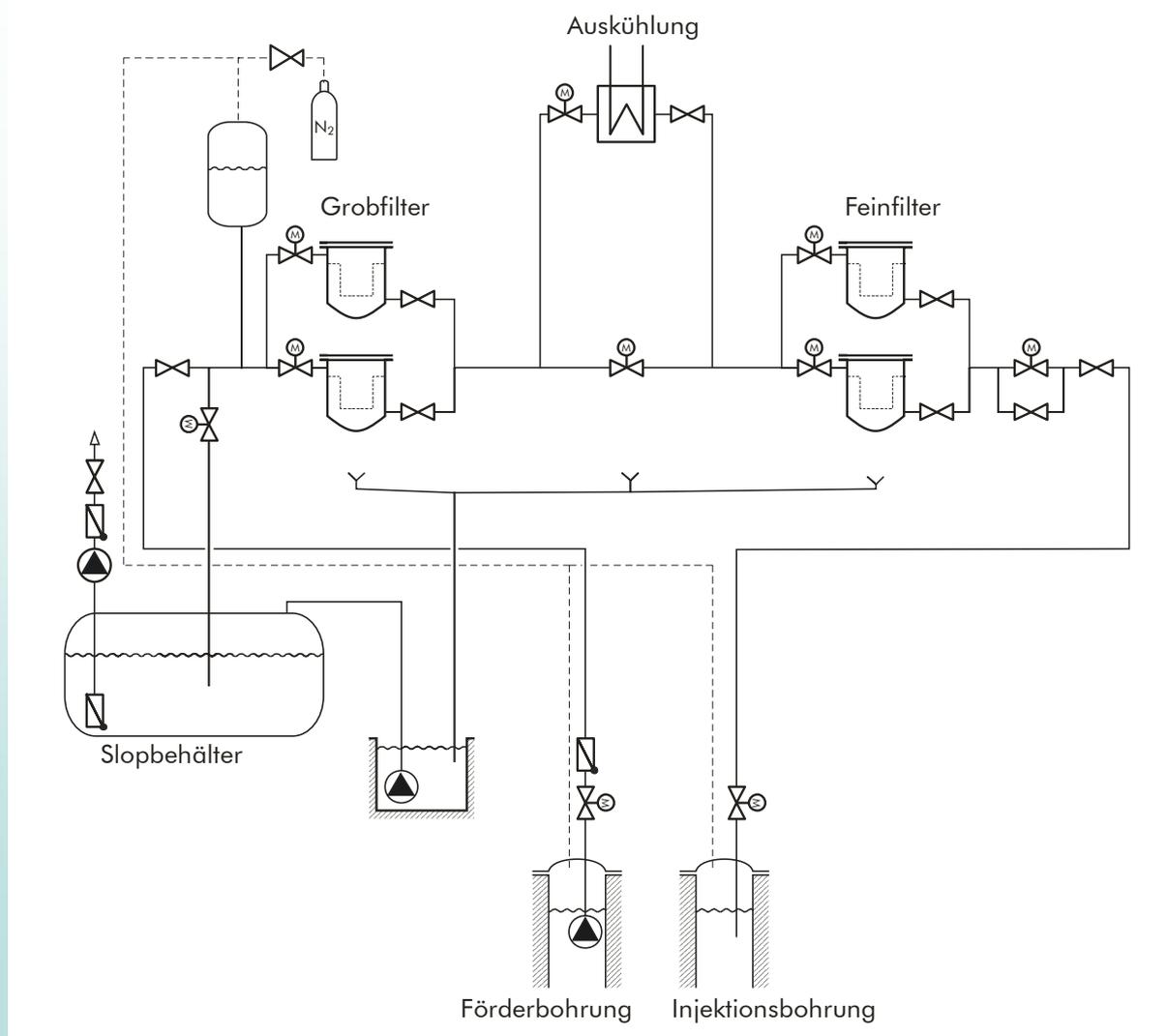
- Filterelemente i.d.R. (außer Siebkorbfilter) nicht wieder verwendbar, Lagerungs- und Entsorgungsaufwand
- Vergleichsweise hohe Kosten in der Anschaffung
- Redundante Apparate für unterbrechungsfreie Filtration
- Manueller Filterwechsel notwendig
- Alterung des Filterelements, d.h. unabhängig von der Beladung ist der Filtereinsatz in produktspezifischen Zyklen zu wechseln

# Anlagengestaltung - Filtration

Baugruppe	Eignung			Kommentare		
	MB	NDB <sub>meso</sub>	NDB <sub>paläo</sub> ORG	MB	NDB <sub>meso</sub>	NDB <sub>paläo</sub> ORG
<b>Filtration</b>						
Rückspülfilter	+	-	0	Vorzugsvariante bei ausreichender Filterfeinheit	keine ausreichende Filterfeinheit	nur wenn ausreichende Filterfeinheit erreicht werden kann (bei überwiegendem Anteil klüftiger Speicher)
Kompaktfilter mit Filterelementen	+	+	+	nur bei Erfordernis hoher Filterfeinheit einzusetzen	Vorzugsvariante der Filtration	Vorzugsvariante der Filtration, wenn hohe Filterfeinheit erforderlich ist (abhängig von Anteil klüftig-porös)
Einzelfilter mit Filterelementen	+	+	+	wie vor, bei hohen Mengen, wenn ausreichend Platzdargebot vorliegt	wie vor, bei hohen Mengen, wenn ausreichend Platzdargebot vorliegt	wie vor, bei hohen Mengen, wenn ausreichend Platzdargebot vorliegt
Zentrifugalabscheider	0	-	-	Einsatz als Vorfiltration bei hohen Partikelmengen im Medium, in Thermalsystemen noch nicht erprobt	keine ausreichende Filterfeinheit	
<b>Übertage Injektionsbohrung</b>						
mit Motorregelventil	+	+	0	bei geringem Injektionsdruck und geringen Druckdifferenzen zwischen Obertage und Injektion		nach Regelventil ist mit Entgasung und Scaling zu rechnen, einsetzbar nur bei Injektionsdruck mit geringer Differenz zum Entgasungsdruck (Regelventil nur als Feinregulierung Mengenstrom)
mit Motorregelventil und Drosseleinrichtung	+	+	0	wie vor	wie vor	wie vor
mit selbsttätigem Regler	0	0	0	Einsatz nur bei exakter Kenntnis der Bohrungshydraulik		
mit übertägigem Regler und untertägiger Drosseleinrichtung	+	+	+	Vorzugsvariante bei geringem Injektionsdruck und hohen Druckdifferenzen zwischen Obertage und Injektion, genaue Kenntnis der Injektionshydraulik erforderlich		
mit einfacher Absperrung	+	+	+	bei Injektionsdruck über dem Gasentlösungsdruck		
mit Injektionspumpe und Bypass	+	+	+	bei hohem Injektionsdruck	bei hohem Injektionsdruck	bei hohem Injektionsdruck, saugseitig muss Druckzuschlag gegeben sein, um Entgasung zu vermeiden
Injektionspumpe mit Anfahrtschaltung bzw. Mindestmengenbypass	+	+	+	bei hohem Injektionsdruck und hohen Mengenströmen (abhängig von der Pumpenausführung)		wie vor und bei hohem Injektionsdruck und hohen Mengenströmen
<b>Slopanlage</b>						
Zentrale Slopanlage	+	+	+	Vorzugsvariante bei kleinen Bohrungsabständen	Vorzugsvariante bei kleinen Bohrungsabständen, Ausführung nach WHG erforderlich	
Dezentrale Slopanlage	+	+	+	Vorzugsvariante bei großen Bohrungsabständen	Vorzugsvariante bei großen Bohrungsabständen, Ausführung nach WHG erforderlich	
mit unterirdischem Behälter	+	+	+	Vorzugsvariante, wenn Gefälleleitungen möglich sind	Vorzugsvariante, wenn Gefälleleitungen möglich sind, Ausführung nach WHG erforderlich	
mit überirdischem Behälter	+	+	+	wenn keine Gefälleleitungen möglich sind	wenn keine Gefälleleitungen möglich sind, Ausführung nach WHG erforderlich	

## Auswahlkriterien der übertägigen Baugruppen

# Anlagengestaltung – Filtration



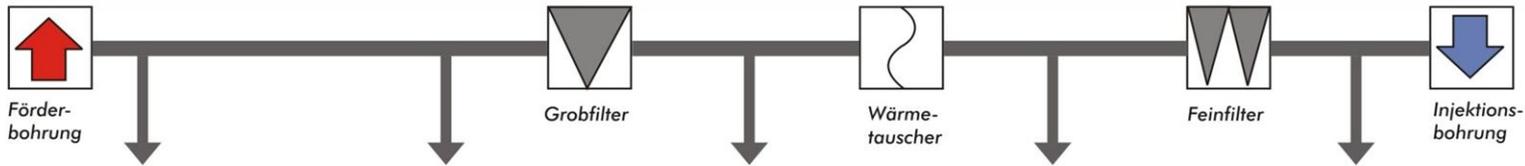
Übertägigen Thermalwasserkreislauf NDB - 1

# Anlagengestaltung - Filtration



Filtrationseinheit mit manuellem Druckregler

# Anlagengestaltung - Filtration



**K-FB**



CAF [ $\mu\text{m}$ ]		0.45	8
Druck [bar]	0.5	X	
	1	X	X
	2		
	3		
	4		
	5		

Hydrochemie  
T, pH, LF, Eh

**V-GF**



CAF [ $\mu\text{m}$ ]		0.45	8
Druck [bar]	0.5		
	1		X
	2	X	
	3		
	4		
	5		

**N-GF**



CAF [ $\mu\text{m}$ ]		0.45	8
Druck [bar]	0.5		
	1		
	2		
	3	X	
	4		
	5		

T, pH, LF, Eh

**V-FF**



CAF [ $\mu\text{m}$ ]		0.45	8
Druck [bar]	0.5		
	1		
	2		
	3	X	
	4	X	
	5	X	

**N-FF**

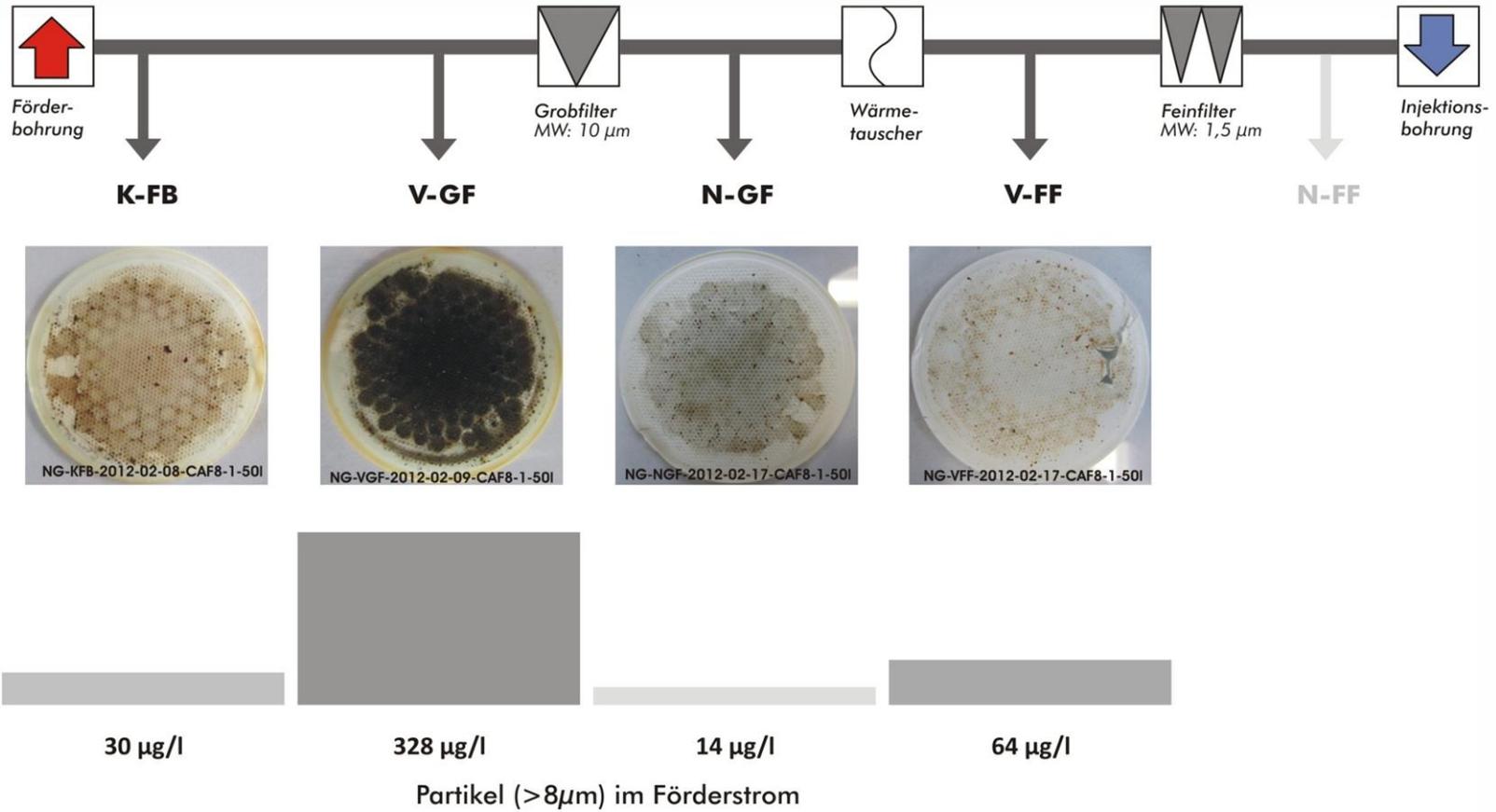


CAF [ $\mu\text{m}$ ]		0.45	8
Druck [bar]	0.5		
	1		
	2		
	3	X	
	4	X	
	5		

Hydrochemie  
T, pH, LF, Eh

Probenahmestellen Neustadt-Glewe

# Anlagengestaltung - Filtration



Grobparkelfracht Neustadt-Glewe

- Der übertägige Thermalwasserkreislauf zwischen der Förder- und der Injektionsbohrung (sinnvollerweise inkl. der Tiefpumpe) bildet die Brücke zwischen der Ressource und deren Erschließung und der Wandlung von Geothermal- in Nutzenergie.
- Von ihm aus können wesentliche Gefahren für den langfristig zuverlässigen und profitablen Betrieb der gesamten Geothermieanlage und der angeschlossenen Energiewandlung ausgehen.
- Gleichzeitig ist er die Stelle, wo durch richtiges Verfahrenskonzept, angemessene Materialien und Ausrüstungen sowie eine vor allem reservoirschonende Fahrweise diese Zuverlässigkeit und Profitabilität gesichert werden kann.

- In der Konzipierung/Planung, Errichtung und dem Betrieb des übertägigen Thermalwasserkreislaufes müssen geowissenschaftliches und ingenieurtechnisches know-how zusammenfließen.
- Dieses intensive Zusammenwirken muss organisiert werden.
- Von wesentlicher Bedeutung ist die permanente Rückkopplung aus einem intensiven Betriebsmonitoring laufender Anlagen in die Vorbereitung von neuen Projekten.