Wirtsgestein Ton/Tonstein / Salz / Kristallin: Forschungsstand und Forschungsbedarf

Jan Richard Weber

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover

Wirtsgesteinsspezifischer Forschungsstand und Forschungsbedarf in Deutschland

- Verbreitung
- Erkundungsmethoden
- Eigenschaften
- Langzeitsicherheitsnachweismethodik

Wirtsgesteinsspezifischer Forschungsstand und Forschungsbedarf in Deutschland

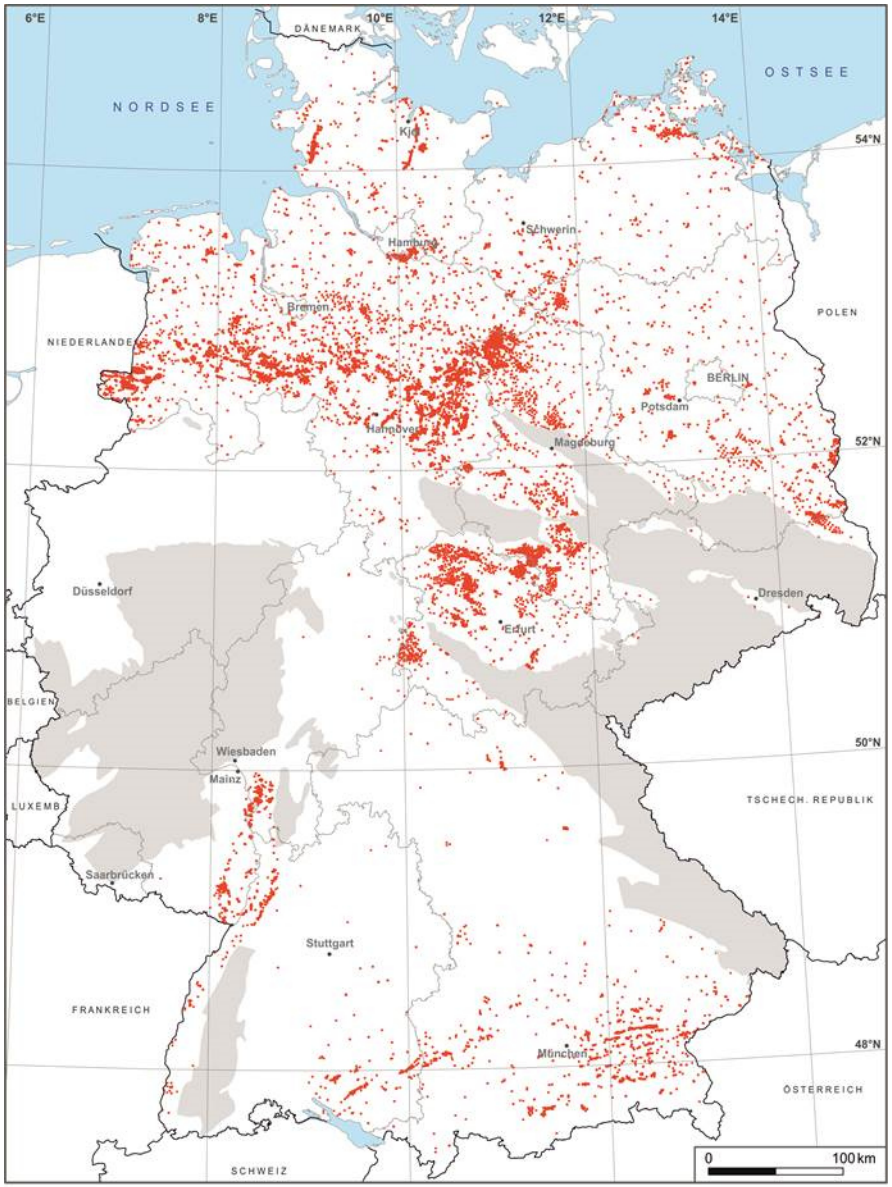
- **Verbreitung**
- **Erkundungsmethoden**
- **Eigenschaften**
- **Langzeitsicherheitsnachweismethodik**

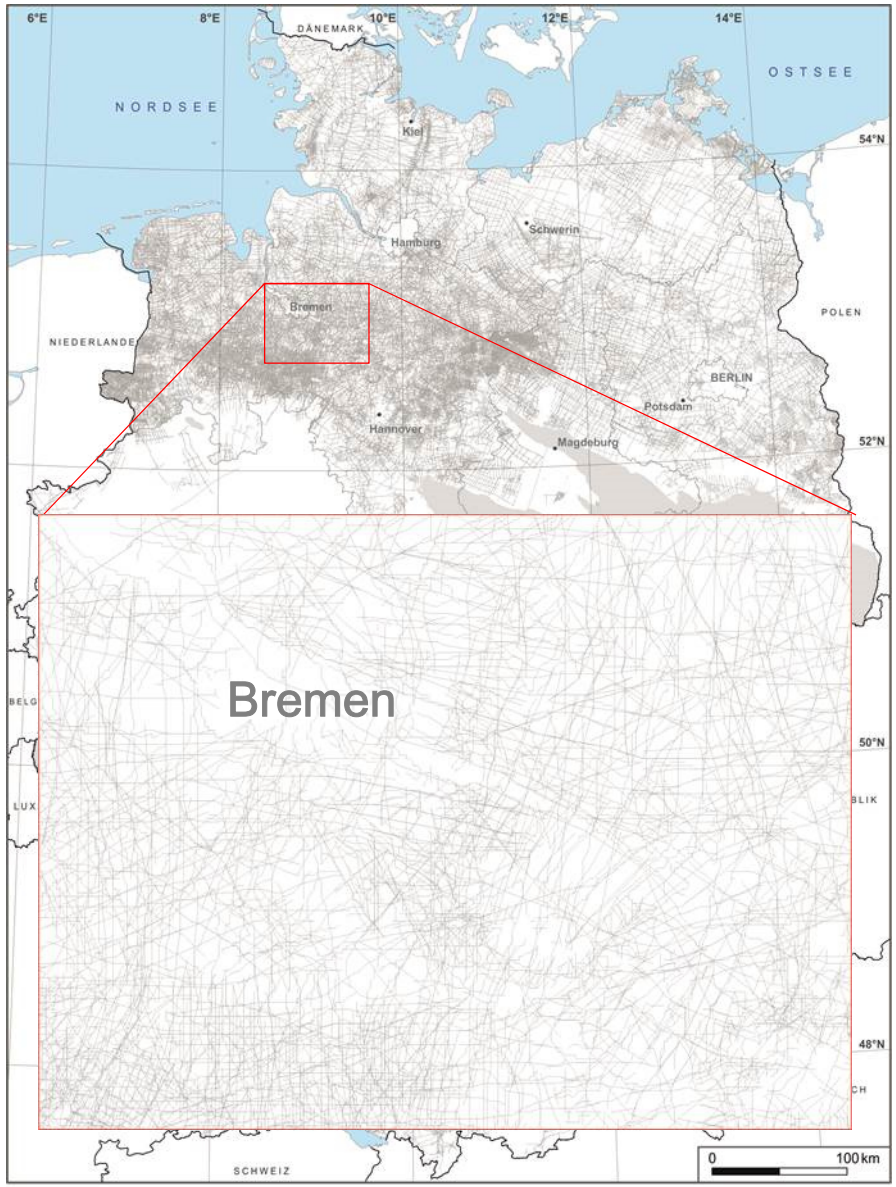
Forschungsstand: Verbreitung

Kenntnisse über den Aufbau des Untergrundes aus

- Aufschlüssen
- Seismik / Geophysik

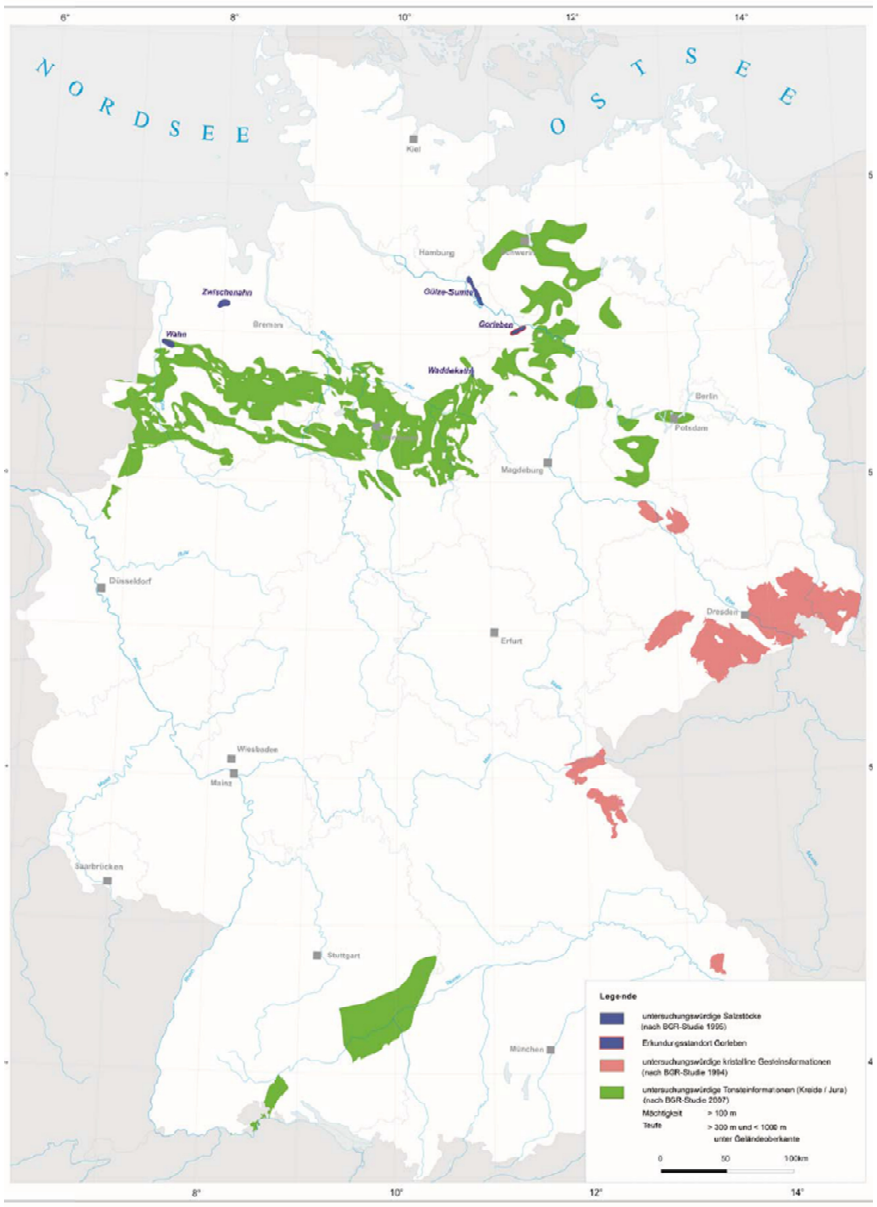
Forschungsstand: Verbreitung





Forschungsstand: Verbreitung

- Salzstudie
- Kristallinstudie
- Tonstudie



Forschungsstand: Verbreitung

1977
Katalog geeigneter Formationen

1982
Salzstudie Best

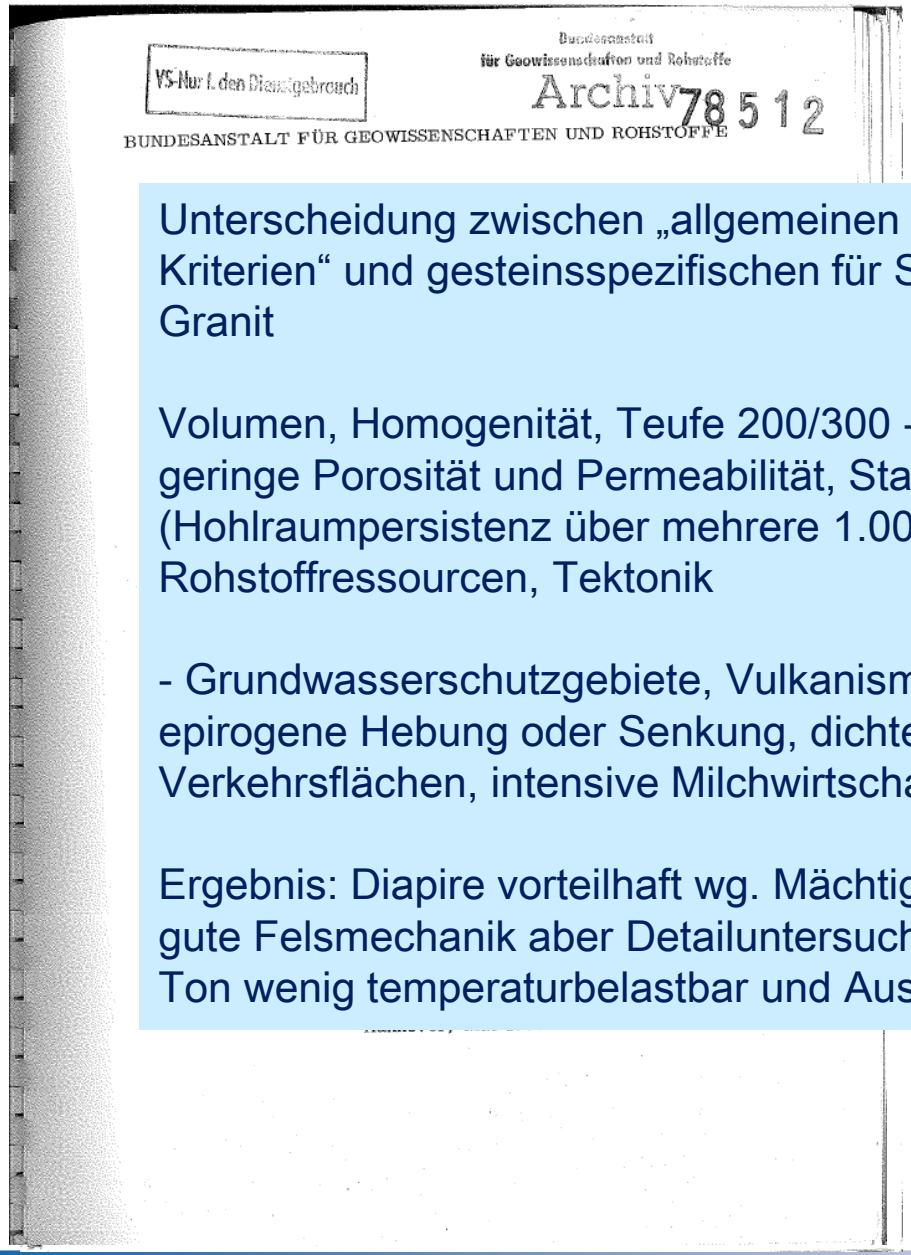
1983
Salzstudie Jaritz

1994
Kristallinstudie

1995
Salzstudie

2007
Tonstudie

Forschungsstand: Verbreitung



Unterscheidung zwischen „allgemeinen geologischen Kriterien“ und gesteinsspezifischen für Salz, Ton und Granit

Volumen, Homogenität, Teufe 200/300 - 1.000/1.500 m, geringe Porosität und Permeabilität, Standfestigkeit (Hohlraumpersistenz über mehrere 1.000 Jahre), Rohstoffressourcen, Tektonik

- Grundwasserschutzgebiete, Vulkanismus, starke epirogene Hebung oder Senkung, dichte Besiedlung, Verkehrsflächen, intensive Milchwirtschaft

Ergebnis: Diapire vorteilhaft wg. Mächtigkeit, Granit gute Felsmechanik aber Detailuntersuchungen fehlen, Ton wenig temperaturbelastbar und Ausbau erforderlich

1977
Katalog geeigneter
mationen

32
zstudie Best

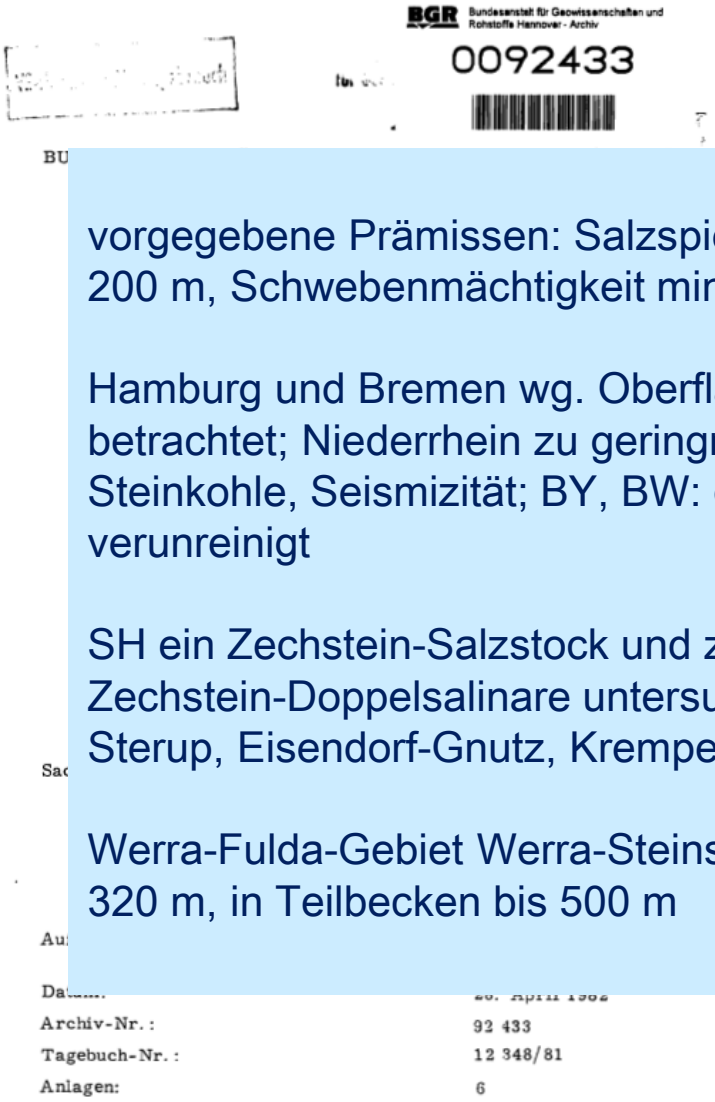
33
zstudie Jaritz

94
stallinstudie

95
zstudie

2007
Tonstudie

Forschungsstand: Verbreitung



vorgegebene Prämissen: Salzspiegel nicht höher als 200 m, Schwebenmächtigkeit mind. 300 m; 9 km²

Hamburg und Bremen wg. Oberflächennutzung nicht betrachtet; Niederrhein zu geringmächtig, unter Steinkohle, Seismizität; BY, BW: geringmächtig, verunreinigt

SH ein Zechstein-Salzstock und zwei Rotliegend-Zechstein-Doppelsalinare untersuchungswürdig: Sterup, Eisendorf-Gnutz, Krempe

Werra-Fulda-Gebiet Werra-Steinsalzmächtigkeit 220 – 320 m, in Teilbecken bis 500 m

1977
Katalog geeigneter
mationen

82
zstudie Best

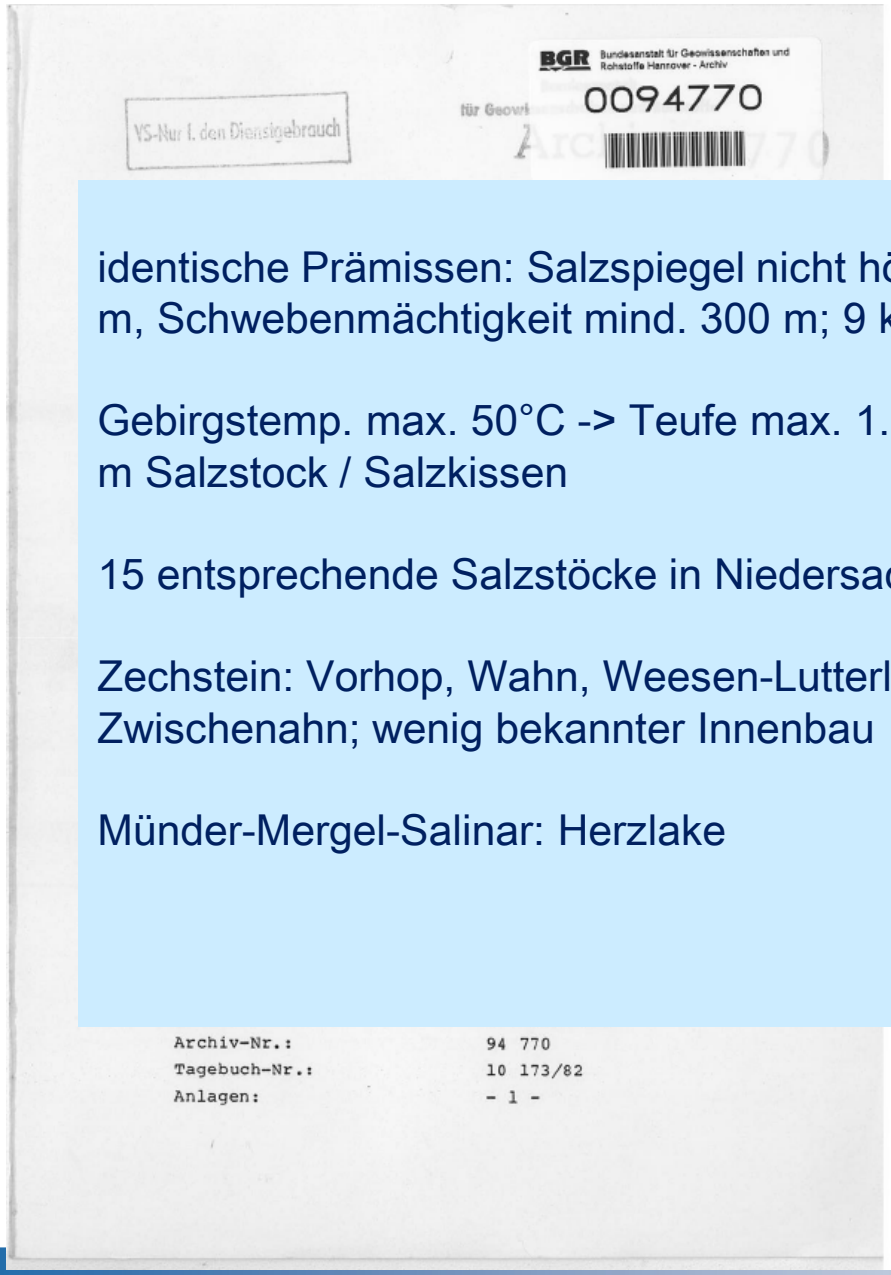
83
zstudie Jaritz

94
stallinstudie

95
zstudie

2007
Tonstudie

Forschungsstand: Verbreitung



identische Prämissen: Salzspiegel nicht höher als 200 m, Schwebenmächtigkeit mind. 300 m; 9 km²

Gebirgstemp. max. 50°C -> Teufe max. 1.000 m / 1.200 m Salzstock / Salzkissen

15 entsprechende Salzstöcke in Niedersachsen

Zechstein: Vorhop, Wahn, Weesen-Lutterloh, Zwischenahn; wenig bekannter Innenbau

Münder-Mergel-Salinar: Herzlake

1977
Katalog geeigneter
mationen

32
zstudie Best

83
zstudie Jaritz

94
stallinstudie

95
zstudie

2007
Tonstudie

Forschungsstand: Verbreitung

B e w e r t u n g   d e r   K r i s t a l l i n v o r k o m m e n   i n   D e u t s c h l a n d

Faktoren		Bayerisches Kristallin				Elbezone					Erzgebirge/Vogtland						Gran.-G	Hal-Wittenb.-Scholle			Lausitzer Scholle					Schw.-wald		Thür. Wald	
						Granodiorit		Meissener Massiv			Osterzgebirge			W-Erzgeb./Vogtland				Plut.-kompl. P.-P.-S.			Granite		Granodiorite						
		Fichtel-gebirge	Fin-sterau	Nördl. Oberpf. Wald	Salden-burg	Dahlen-Laas	Schil-dau	Amphib-monzon	Biotit-mo-gra	Syenit Reudnitz	Grau-gneise	Nieder-bobr.	Schel-lerhau	Bergen	Eiben-stock	Kirch-berg	Granul.	Prettin	Pretzsch	Schöne-walde	Bern-stadt	Königs-hain	Radebg-Löbau	Puls-nitz	Zawidow	Bühler-tal	Mals-burg	Ruhla	Suhl
		ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW	ZW
Bearbeitete Kristallinfläche in km²		360	101	385	137	84	44	48	* 89	* 40	1347	21	16	+ 50	+334	+116	527	221	164	30	27	26	° 1038	° 716	279	58	94	19	31
Dichte der wesentl. tekt. Elemente in Anz/km²	(F6)	0,14	0,19	0,13	0,08	0,09	0,11	0,14	0,19	0,10	0,04	0,00	0,19	0,20	0,06	0,04	0,05	0,07	0,04	0,17	0,15	0,19	0,01	0,01	0,03	0,25	0,24	0,16	0,19
Verteilung tekt. Elemente, günstig bis ungünstig in Bezug auf Freiflächen	(F3)	g	m	g	m	g	u	g	u	m	g	g	u	u	m	g	g	(g)	(g)	(g)	m	m	m	m	g	g	u	g	g
Deformationsgrad, hoch bis gering	(F3)	m	g	m	g	h	(g)	g	g	(m)	m	g	g	m	m	m	m	(g)	(g)	(g)	m	g	m	h	m	g	m	g	g
Gesteinshomogenität, hoch bis gering	(F3)	g	m	g	m	g	(h)	g	g	m	g	g	g	m	g	m	m	g	g	g	m	h	h	m	m	h	g	h	h
Anzahl der Quellen/km²	(F3)	0,5	0,9	0,2	0,5	0,0	0,0	<0,1	<0,1	–	0,1	–	0,1	0,1	0,3	0,1	–	–	–	–	0,2	0,5	0,1	0,1	0,1	3,7	0,9	1,1	0,2
Bewertung Gruppe I	(F3)						( )			( )								( )	( )	( )									
Flächenanteil Untertageabbaue in °/o	(F3)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5	0,2	2	8	12	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4	2
Flächenanteil Übertageabbaue in °/o	(F3)	0,3	–	0,2	0,8	7,0	0,4	3	4	5	0,2	0,5	–	2	0,2	2	2	2	0,2	–	0,2	–	3,0	1	3,0	0,2	0,2	–	–
Bewertung Gruppe II	(F3)																												
Dichte der Vorfluter in km/km²	(F3)	1,2	1,6	1,1	1,3	0,5	0,6	0,6	0,5	1,1	3,4	0,6	1,6	0,8	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,8	0,6	0,8	0,7	0,6	1,4	1,4	1,1	0,9
Entwässerungsrichtg. bezügl. Trennflächen, parallel bis nicht parallel (= ; ≠)	(F2)	=	–	≠	≠	=	=	=	=	=	–	≠	=	=	≠	=	=	=	=	=	–	≠	≠	≠	=	≠	–	=	≠
Anteil max. Stauhaltung in Mm³/km²	(F3)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,08	–	–	–	0,3	0,01	0,02	–	–	–	–	–	0,05	–	–	–	–	–	–
Bewertung Gruppe III	(F3)																												
Erdbebenzone nach DIN 4149	(F3)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0/1	0	0/1	0	0	0	0	0	0	0	0	0/1	0/1	0	0
Effektive Flächengrösse in km²	(F6)	344	50	380	137	84	44	47	*83	*39	1261	21	15	+46	+283	+113	501	220	149	30	26	26	°994	°696	268	54	93	17	22
Durchschnittliches Alter p=prävariszisch; v=variszisch	(F3)	v	v	v	v	p	p	v	v	v	p	v	v	v	v	v	p	p	p	p	p	v	p	p	p	v	v	v	v
Durchschnittliches Vorflutergefälle in °/oo	(F3)	22	60	3	9	2	3	5	5	10	20	13	22	16	34	17	10	3	<1	<3	9	8	7	7	9	32	17	54	45
Max. Mächtigkeit des Deckgebirges in m	(F3)	<10	<10	<10	<10	50	150	50	50	50	–	–	–	–	–	–	50	150	150	250	50	50	100	10	100	<10	<10	–	–
Bewertung Gruppe V	(F3)																												
Bewertung Gruppen I–IV	(F6)						( )			( )								( )	( )	( )									
Gruppen I–V	**(F6)**						( )			( )								( )	( )	( )									

…nwert ; VB = Vergleichende Bewertung ; ( ) nicht ausreichender Kenntnisstand ; – ohne Zahlenwertung; * 2 Teilflächen; ° geschlossene Fläche, ohne Kleinstflächen; + Fläche in 300m NN

Faktoren	Fichtel-gebirge	Fin-sterau	Nördl. Oberpf. Wald	Salden-burg	Dahlen-Laas	Schil-dau	Amphib-monzon	Biotit-mo-gra	Syenit Reudnitz	Grau-gneise	Nieder-bobr.	Schel-lerhau	Bergen	Eiben-stock	Kirch-berg	Granul.	Prettin	Pretzsch	Schöne-walde	Bern-stadt	Königs-hain	Radebg-Löbau	Puls-nitz	Zawidow	Bühler-tal	Mals-burg	Ruhla	Suhl
Flächenanteil Naturschutzgebiet und Nationalpark in °/o	1,4	50	0,8	–	–	–	–	1	2	1	–	2	–	0,1	0,3	0,3	–	9	–	–	2	2	2	0,4	–	–	–	–
Flächenanteil Naturpark in °/o	100	–	22	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Flächenanteil Landschaftschutzgebiet in °/o	–	50	–	1	3	43	<1	20	17	46	–	98	–	11	42	20	5	3	<1	1	95	25	42	8	93	30	100	100
Flächenanteil Waldflächen in °/o	62	88	49	48	7	16	3	10	31	34	2	80	55	79	22	3	75	11	75	29	62	21	31	13	76	76	78	45
Flächenanteil Siedlungen >5000 Einw. in °/o	2,7	1,0	0,4	0,1	–	–	0,1	5,5	–	0,3	–	–	–	1,0	1,6	4,3	0,3	–	–	–	–	2,1	1,2	3,5	7	0,6	4,2	27,6
Bevölkerungsdichte in Einw./km² bezügl. max. Flächenanteil	100–200	<100	<100	<100	100–200	<100	200–300	200–300	100–200	<100	200–300	<100	200–300	300–450	200–300	100–200	<100	100–200	<100	200–300	<100	200–300	100–200	<100	>300	200–300	100–200	450–1000

* die bearbeitete Kristallinfläche bezogen

Forschungsstand: Verbreitung

1977
Katalog geeigneter
mationen

Überprüfung der Studien 82/83 (geotektonischer Atlas NW-Deutschland), Einzelbeschreibung von 28 untersuchungswürdigen Strukturen

Stratiforme Lager (Mächtigkeit) und Festlandsockel (Technik) unberücksichtigt

Dach zu flach / zu tief; fehlende Ton-Überdeckung (negativ: quartäre Rinnen), anderweitige Nutzung: BACCUM, BERSENBRUCK, BIPPEN, DAMME, EISENDORF-GNUTZ, GÜLZE-SUMTE, HAMDORF, HERZLAKE, LOHNE, STERUP, THEDINGHAUSEN, WADDEKATH, WAHN und ZWISCHENAHN

Innengefüge (vermutet) und Salinartyp: WADDEKATH, WAHN, ZWISCHENAHN, GÜLZE-SUMTE

82
zstudie Best

83
zstudie Jaritz

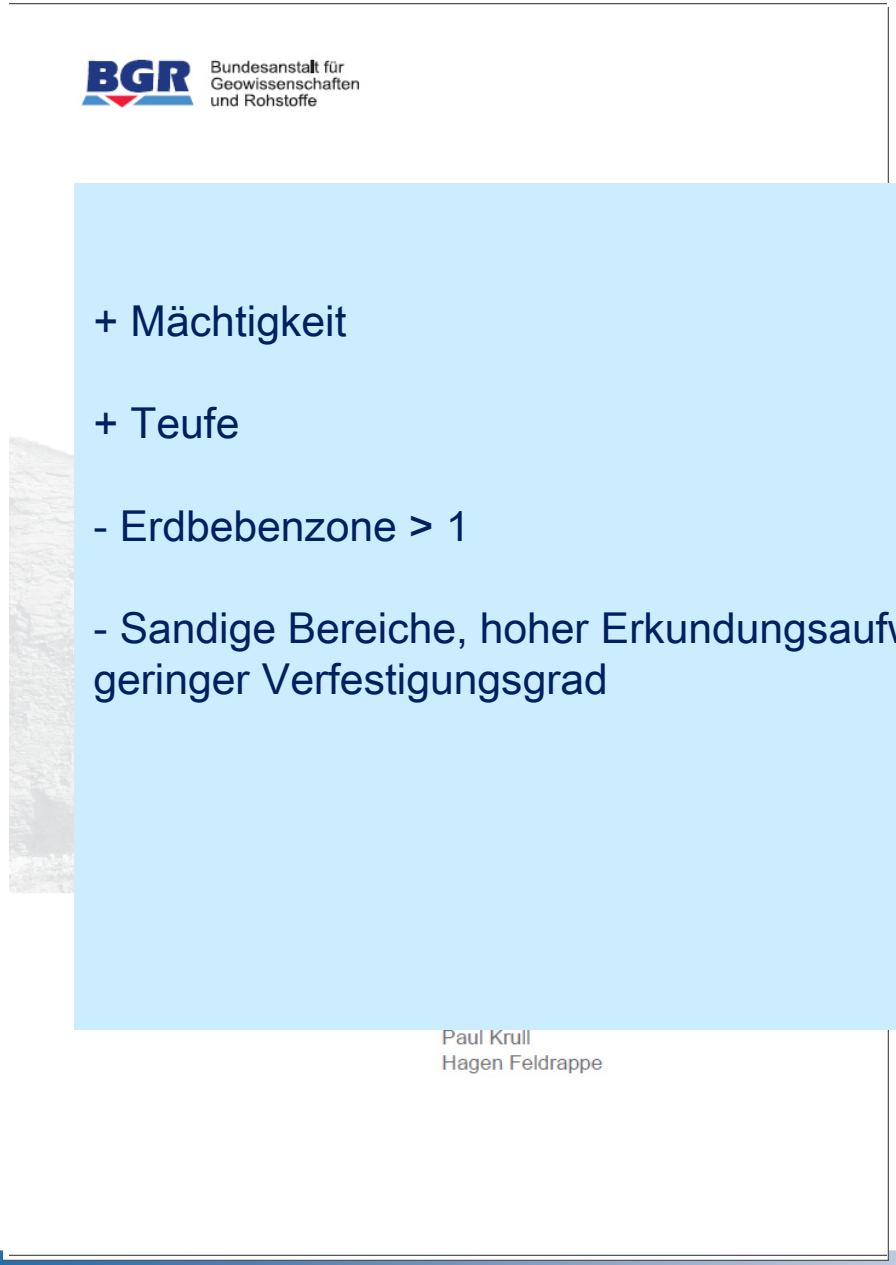
94
stallinstudie

95
zstudie

Tagebuch-Nr.:	11 187
Anlagen:	4 + 1 Anhang
Abbildungen:	5
Tabellen:	16

2007
Tonstudie

Forschungsstand: Verbreitung



1977
Katalog geeigneter
mationen

32
zstudie Best

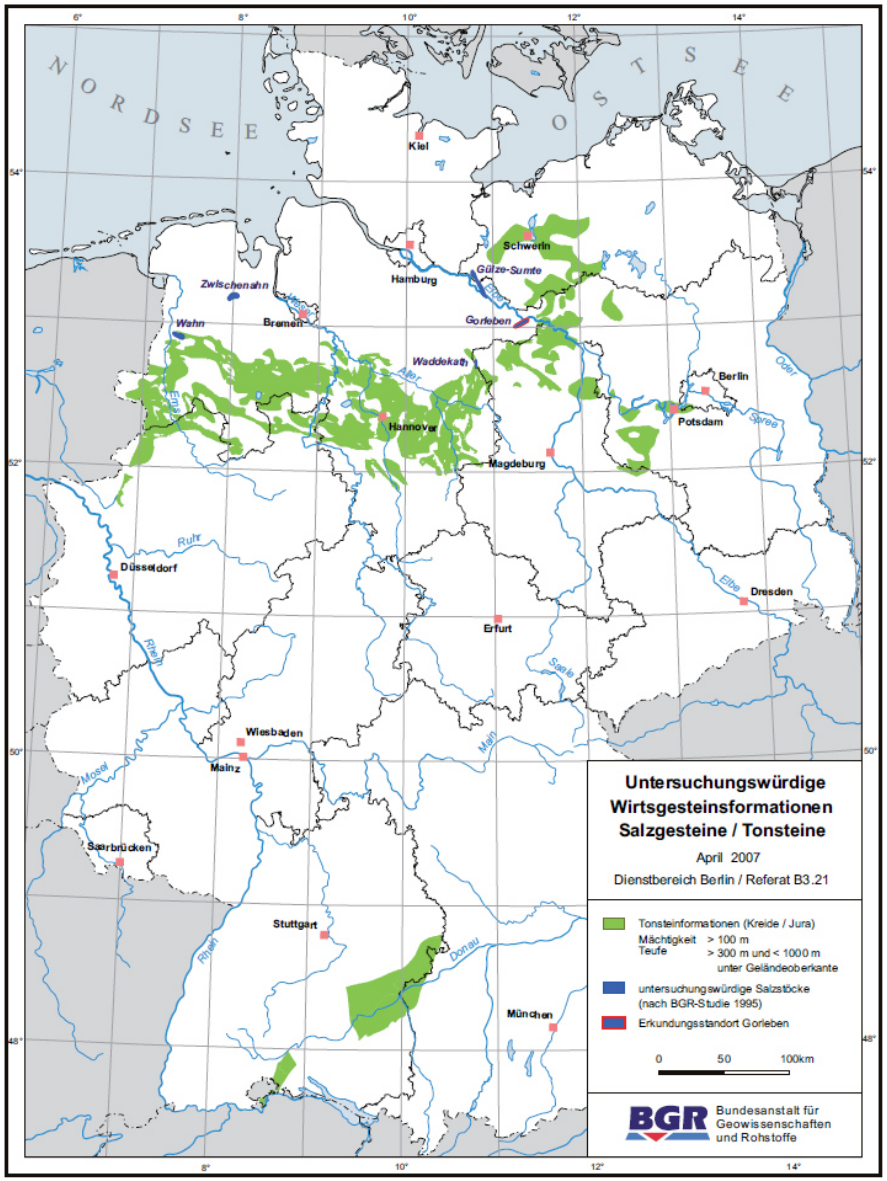
33
zstudie Jaritz

94
stallinstudie

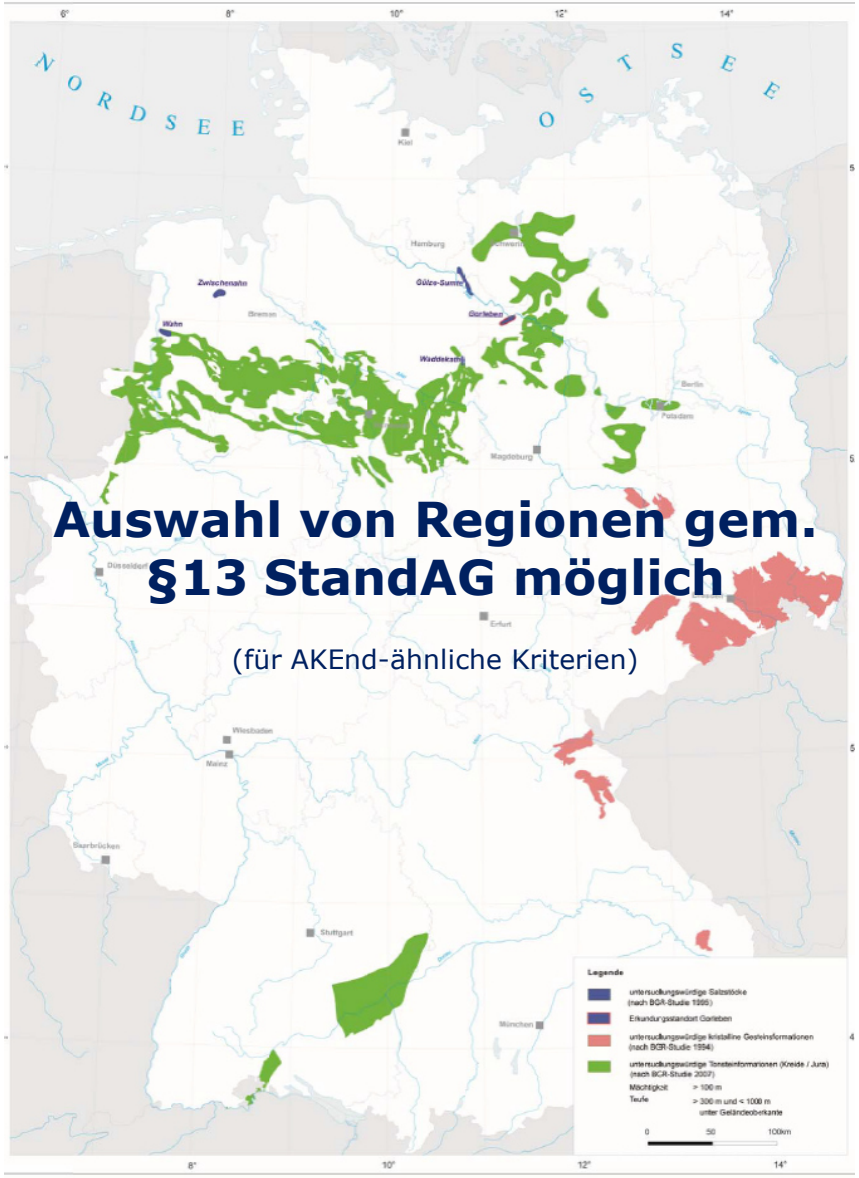
95
zstudie

2007
Tonstudie

Forschungsstand: Verbreitung



Forschungsstand: Verbreitung



Auswahl von Regionen gem. §13 StandAG möglich

(für AKEnd-ähnliche Kriterien)

Forschungsbedarf: Verbreitung

Anwendung aktualisierter Kriterien

- Mächtigkeit
- ewG-Gedanke / Deckgebirgsfunktion
- Erkundungsaufwand
- …

Wirtsgesteinsspezifischer Forschungsstand und Forschungsbedarf in Deutschland

- **Verbreitung**
- **Erkundungsmethoden**
- **Eigenschaften**
- **Langzeitsicherheitsnachweismethodik**

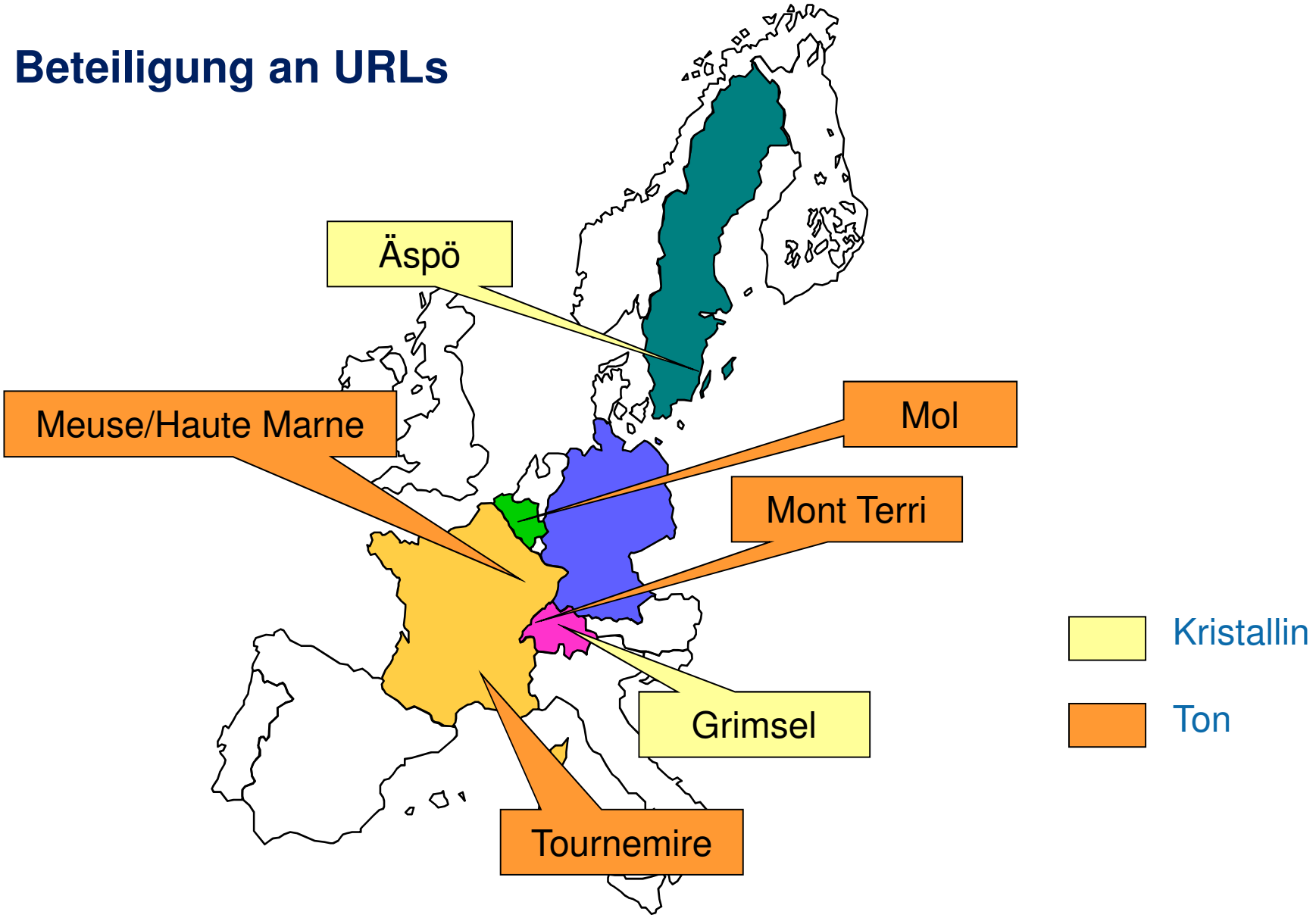
Forschungsstand: Erkundungsmethoden

Kenntnisse und praktische Erfahrungen zu Erkundungsmethoden aus

- **Arbeiten an verschiedenen Salzstandorten (z.B. Gorleben)**
- **Beteiligung an Forschungsprojekten in internationalen Untertagelaboren in Ton und Kristallin**

Forschungsstand: Erkundungsmethoden

Beteiligung an URLs



Forschungsstand: Erkundungsmethoden

Übertägig

- **(Richt-)Bohrtechnik**
- **3D-Seismik**

-> von KW-Industrie kontinuierlich weiterentwickelt

Untertägig

- **geophysikalische Methoden**

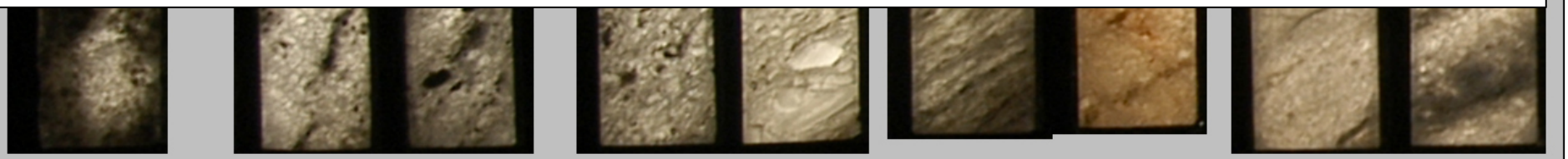
-> im Gewinnungsbergbau bedarfsweise weiterentwickelt

Forschungsstand: Erkundungsmethoden

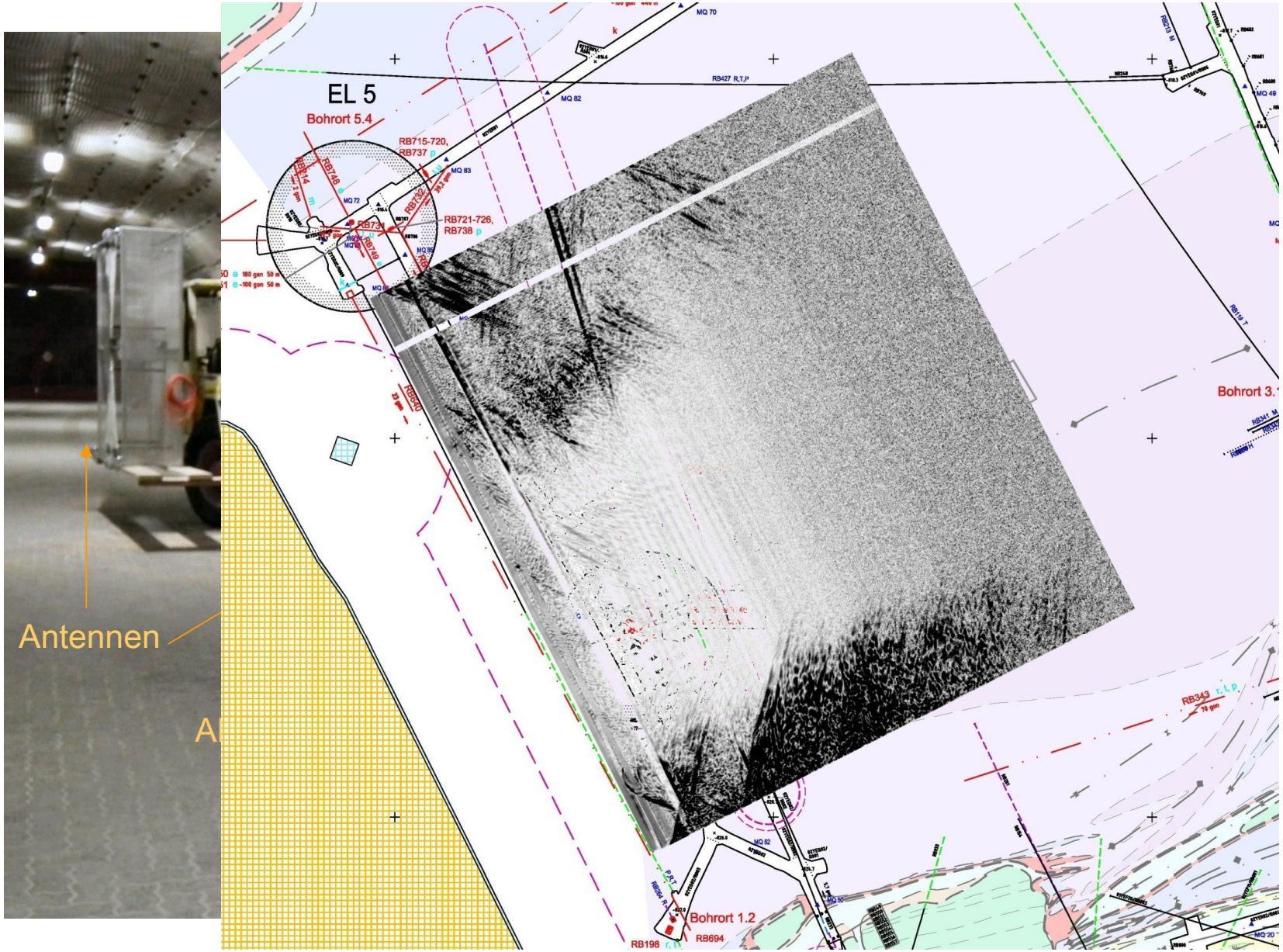
z2HS1 z2HS2 z2HS3 z2HG z2UE

Zechstein 7 (Mölln-Folge)	z7
Zechstein 6 (Friesland-Folge)	z6
Zechstein 5 (Ohre-Folge)	z5
Zechstein 4 (Aller-Folge)	z4
Zechstein 3 (Leine-Folge)	z3
Zechstein 2 (Staßfurt-Folge)	**z2**
Zechstein 1 (Werra-Folge)	z1

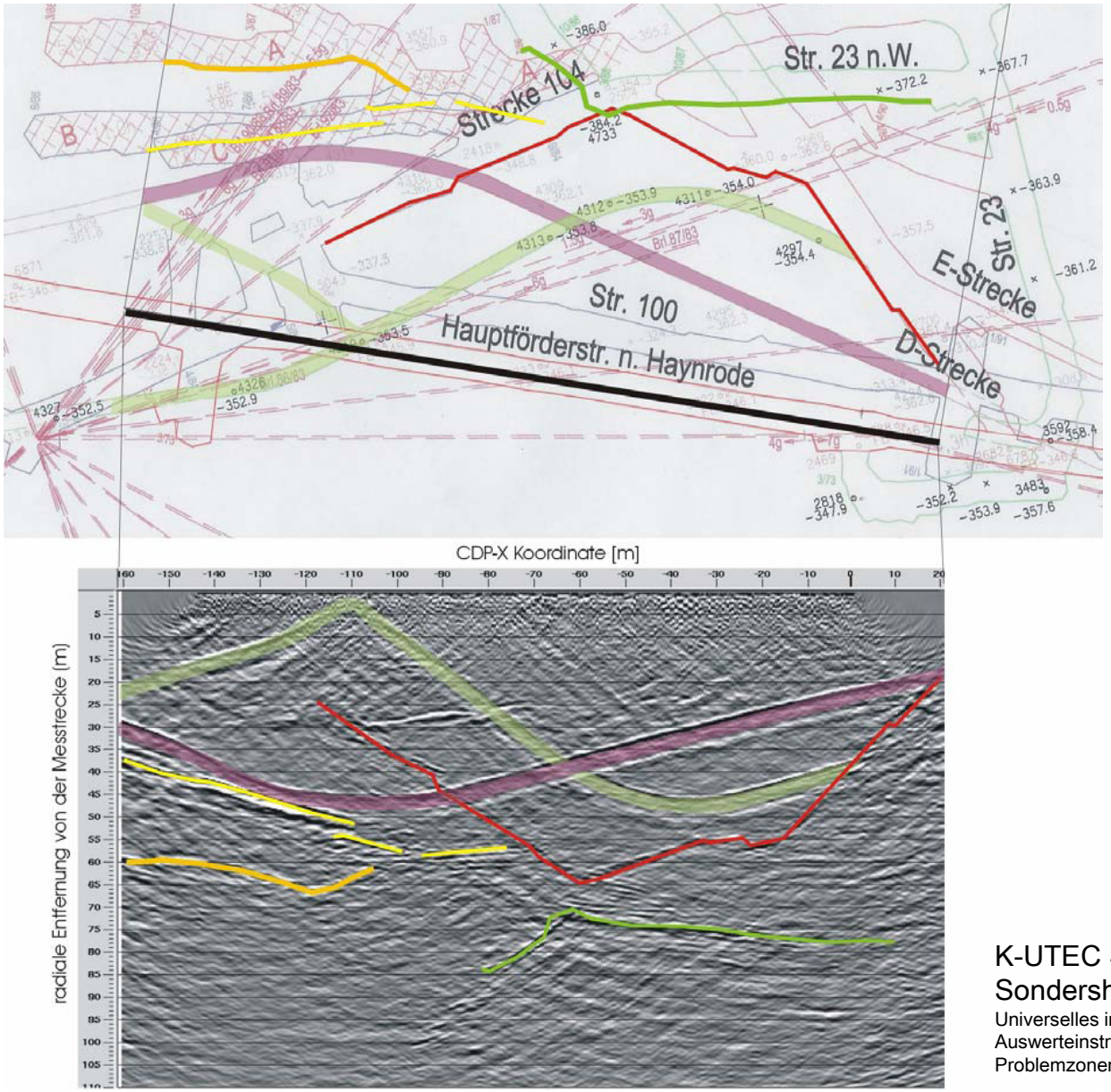
Oberer Staßfurt-Ton	z2STO
Gebänderter Deckanhydrit	z2DA
Decksteinsalz	z2DS
Kaliflöz Staßfurt	z2SF
Kieseritische Übergangsschichten	z2UE
Tonliniensalz	z2TS
Polyhalitbänkchensalz	z2PS
Speisesalz	z2SP
Hangendsalz	z2HG
Hauptsalz	z2HS
Basissalz	z2BS
Basalanhydrit	z2BA
Staßfurt-Karbonat	z2SK
Staßfurt-Ton	z2ST



Forschungsstand: Erkundungsmethoden



Forschungsstand: Erkundungsmethoden

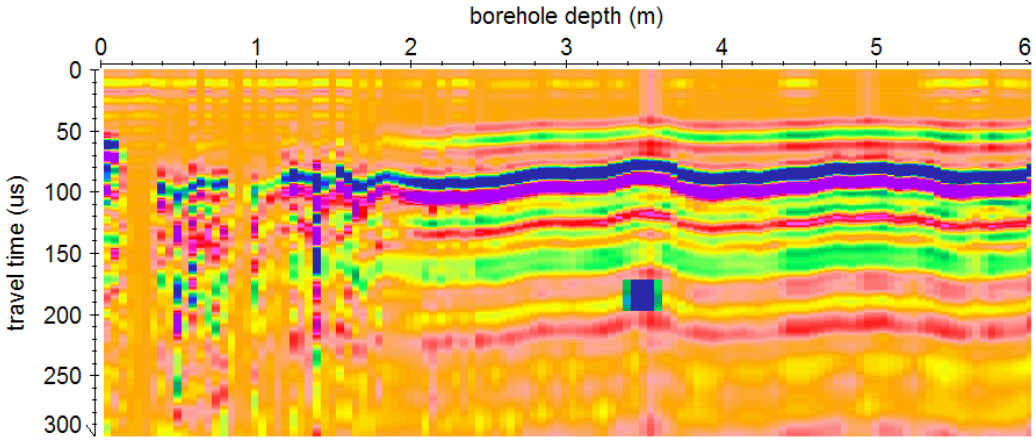


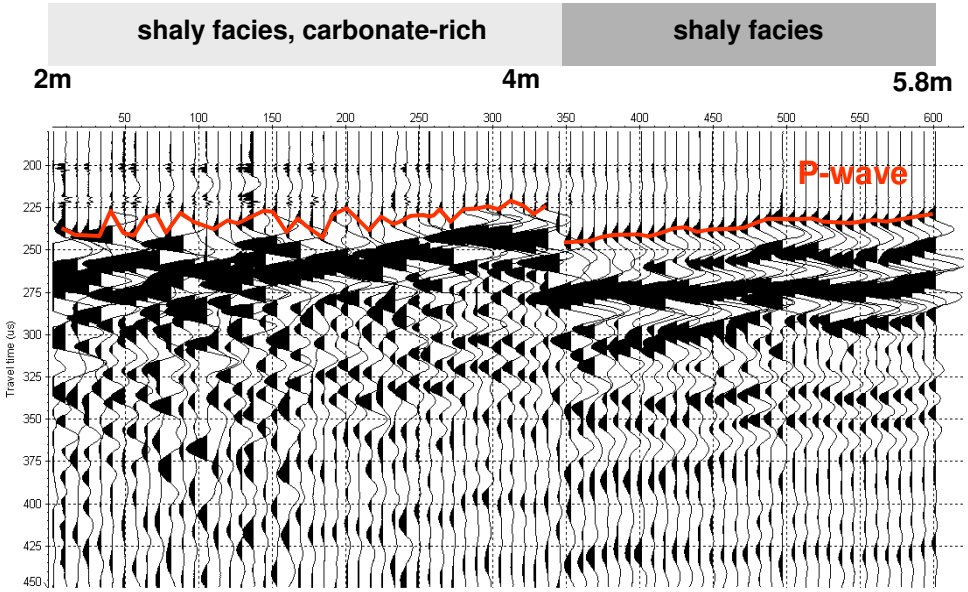
K-UTEC Salt Technologies AG, Sondershausen

Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar

Forschungsstand: Erkundungsmethoden

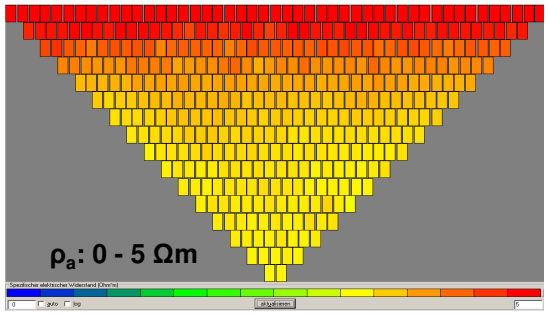
Tonstein: kleinskalige Variation



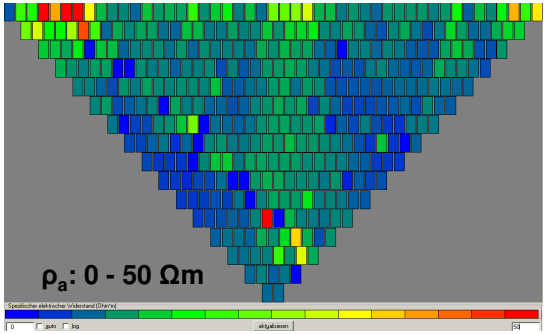


74 cm

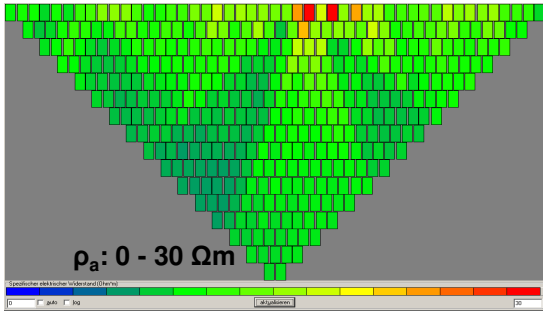
shaly facies



shaly facies, carbonate-rich



sandy facies



BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
GEOZENTRUM HANNOVER

Forschungsbedarf: Erkundungsmethoden

Tonstein

- zerstörungsfreie Erkundung

Wirtsgesteinsspezifischer Forschungsstand und Forschungsbedarf in Deutschland

- **Verbreitung**
- **Erkundungsmethoden**
- **Eigenschaften**
- **Langzeitsicherheitsnachweismethodik**

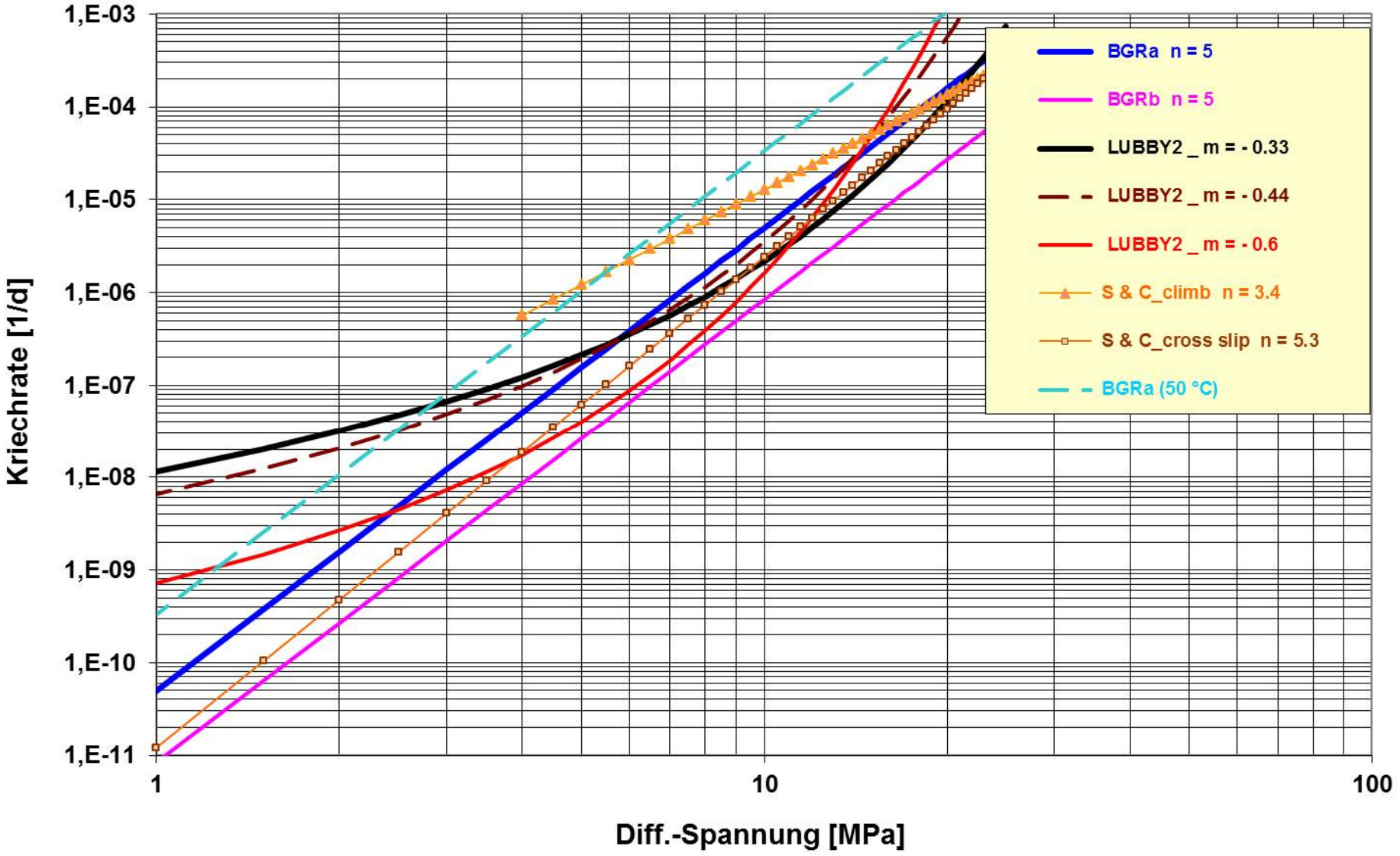
Forschungsstand: Eigenschaften

Eigenschaft	*Steinsalz*	*Ton/Tonstein*	*Kristallingestein (z. B. Granit)*
Temperaturleitfähigkeit	hoch	gering	mittel
Durchlässigkeit	praktisch undurch-lässig	sehr gering bis gering	sehr gering (unge-klüftet) bis durchläs-sig (geklüftet)
Festigkeit	mittel	gering bis mittel	hoch
Verformungsverhalten	viskos (Kriechen)	plastisch bis spröde	spröde
Hohlraumstabilität	Eigenstabilität	Ausbau notwendig	hoch (ungeklüftet) bis gering (stark geklüftet)
In-situ Spannungen	lithostatisch isotrop	anisotrop	anisotrop
Lösungsverhalten	hoch	sehr gering	sehr gering
Sorptionsverhalten	sehr gering	sehr hoch	mittel bis hoch
Temperatur-belastbarkeit	hoch	gering	hoch

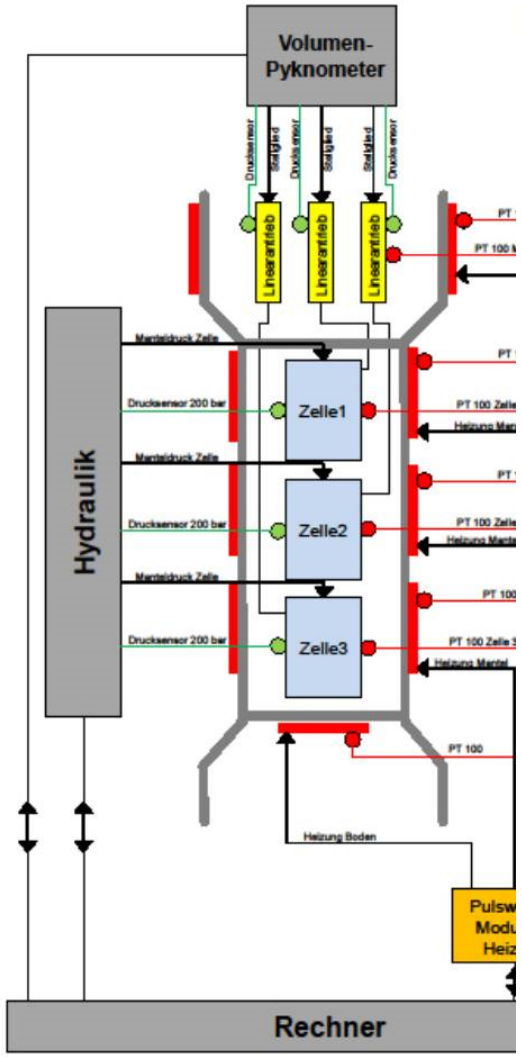
günstige Eigenschaft ungünstige Eigenschaft mittel

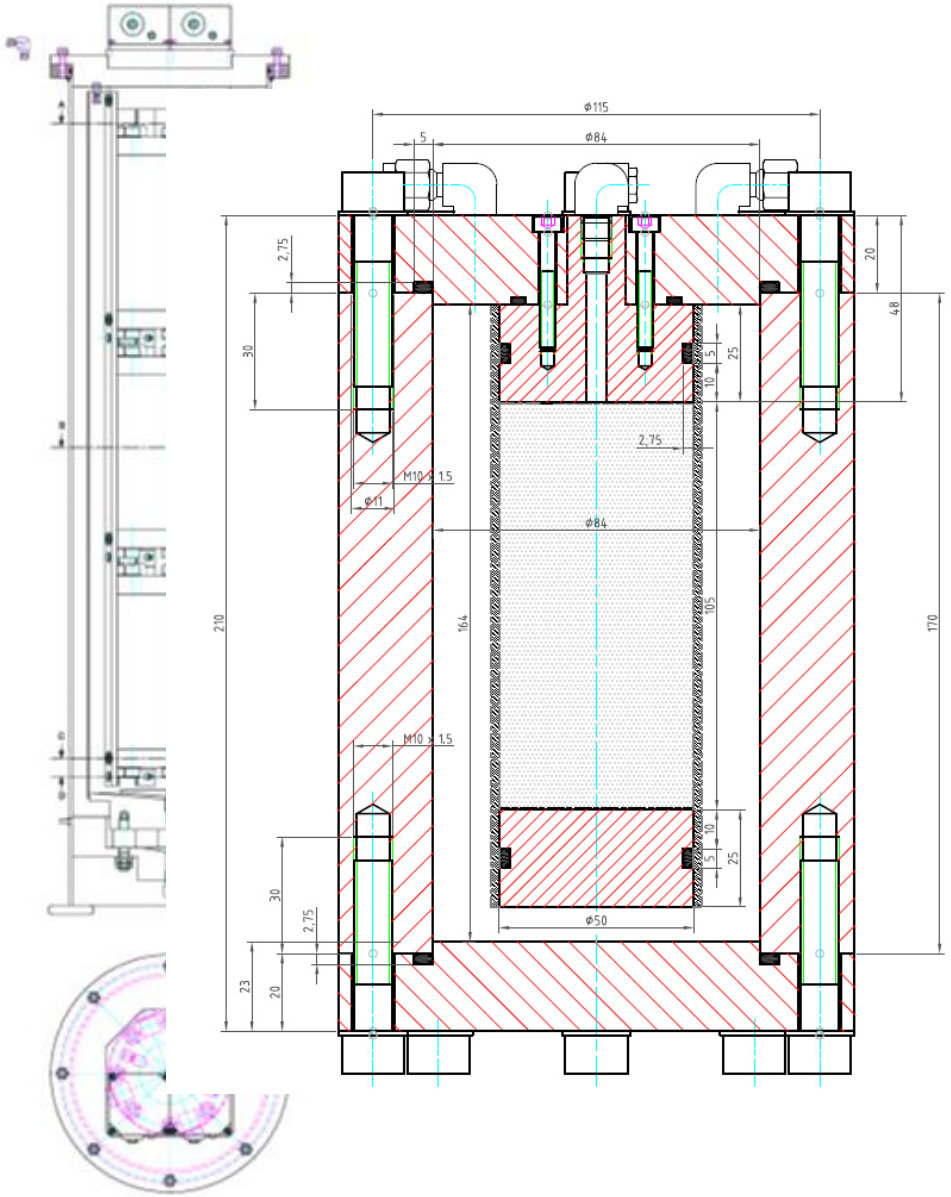
Forschungsstand: Eigenschaften

Forschungsbedarf: Eigenschaften



Forschungsbedarf: Eigenschaften





Forschungsbedarf: Eigenschaften

	Mess-/Regel-bereich	Regel-genauigkeit	Messgenauigkeit {theoret. Limit bei 16-Bit}	Rampen
Temperatur [°C]	RT – 150°C	0.02	0.005 {0.0023}	≤ 10°C/h (Heiz-/Kühlleistung wohl eher hinsichtlich der Regelgüte optimieren)
Manteldruck [MPa]	30	0.01	0.01 {0.0005}	≤ 0.1 MPa/s ≥ 10^{-4} MPa/s
Axialkraft [kN]	200 (~ 100 MPa)	0.02 (~ 0.01 MPa)	0.02 (~ 0.01 MPa) {0.003 (~0.0016MPa)}	≤ 0.2 kN/s (≤ 0.1 MPa/s) ≥ $2 \cdot 10^{-4}$ kN/s (≥ 10^{-4} MPa/s)
Weg [mm]	5 50	0.0001 0.001	0.0001 {$7.6 \cdot 10^{-5}$} 0.001 {$7.6 \cdot 10^{-4}$}	≥ 0.0003 µm/s ($\dot{\varepsilon} \geq 3 \cdot 10^{-9}$/s) ≥ 0.003 µm/s $\dot{\varepsilon} \geq 3 \cdot 10^{-8}$/s
Volumen [cm^3]		–	0.005 (~ 0.0025%)	–
Fluiddruck [MPa] (aktiv für Durchströmung)	10	0.005	0.002 {0.00015}	–
Fluiddruck [MPa] (passiv)	20…30	–	0.01 {0.0003… 0.0005}	–
relat. Feuchte [%] (indirekt: Saugspannung [MPa])	70 – 100% (42 – 0 MPa)	–	0.2% (0.3 MPa)	–
Permeabilität [m^2]	10^{-20} – 10^{-14}	–	10^{-20}	–

Forschungsbedarf: Eigenschaften

- Deformation Salz bei kleinen Spannungen
- Deformation Ton, Porendruckeffekte
- Mikrostruktur Ton

Wirtsgesteinsspezifischer Forschungsstand und Forschungsbedarf in Deutschland

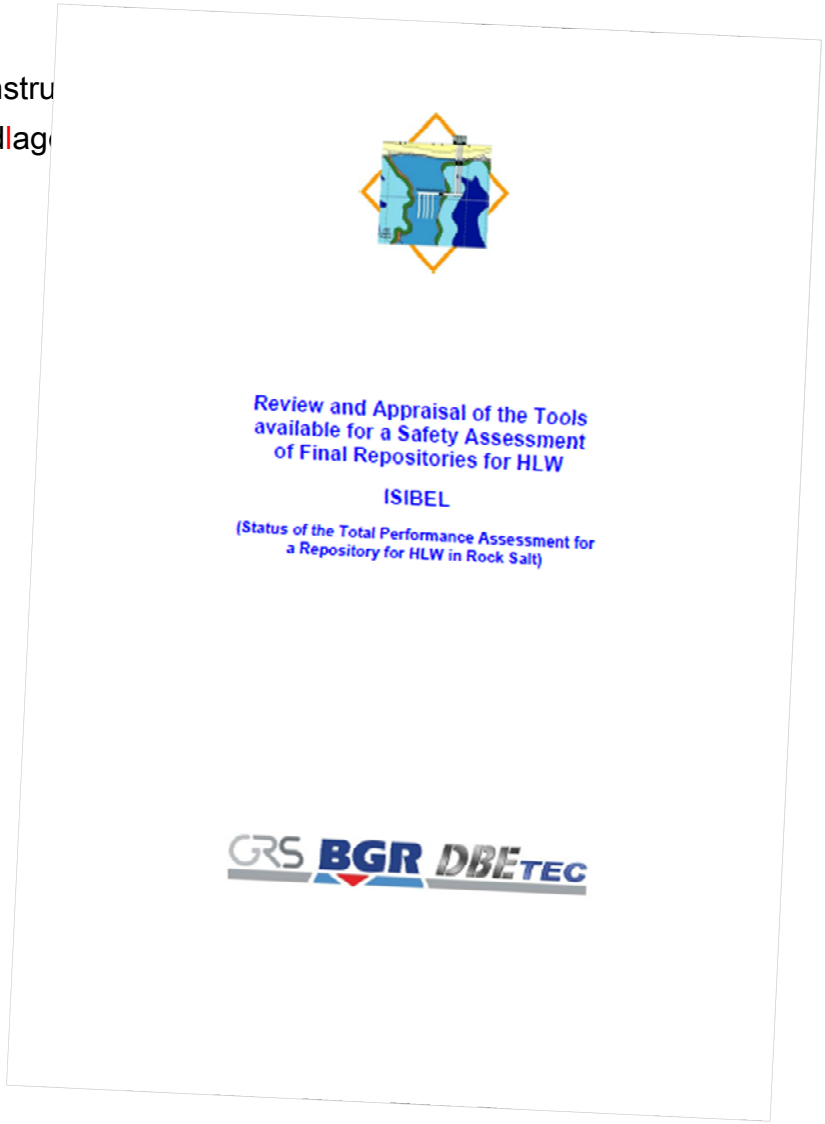
- **Verbreitung**
- **Erkundungsmethoden**
- **Eigenschaften**
- **Langzeitsicherheitsnachweismethodik**

Forschungsstand: Langzeitsicherheit

- **Isibel**

  Überprüfung und Bewertung des Instru
  sicherheitliche Bewertung von Endlag

- **VSG**



Forschungsbedarf: Langzeitsicherheit

- **Modellierung gekoppelter Prozesse**
- **Eiszeitliche Rinnen**
- **FEP-Kataloge**
- **Umgang mit Ungewissheiten**
- **Abhängig von Ergebnis AnSicht**
- ***Standortvergleich***
  „Soweit für … den Standortvergleich … geowissenschaftliche … Daten … benötigt werden…"

Zusammenfassung

Wirtsgesteinsspezifischer Forschungsstand und Forschungsbedarf in Deutschland

- **Verbreitung**
  - ✓ Datengrundlage: Bohrungen, Seismik/Geophysik
  - ✓ Studien Salz, Ton, Kristallin
    -> Auswahl von Regionen gem. §13 StandAG möglich
  - – Anwendung aktualisierter Kriterien (Mächtigkeit, Rolle ewG, Erkundungsaufwand…)

- **Erkundungsmethoden**
  - ✓ EMR Salz
  - – Zerstörungsfreie Erkundung Ton

- **Eigenschaften**
  - ✓ petrophysikalische Eigenschaften
  - ✓ Kriechprozesse Steinsalz / Salzgrus
  - – Deformation Salz bei kleinen Spannungen
  - – Deformation Ton, Porendruckeffekte

- **Langzeitsicherheitsnachweismethodik**
  - ✓ Isibel, VSG
  - – AnSicht, THMC-Modellierung, Rinnen, FEPs, Ungewissheiten, Vergleich

Ende