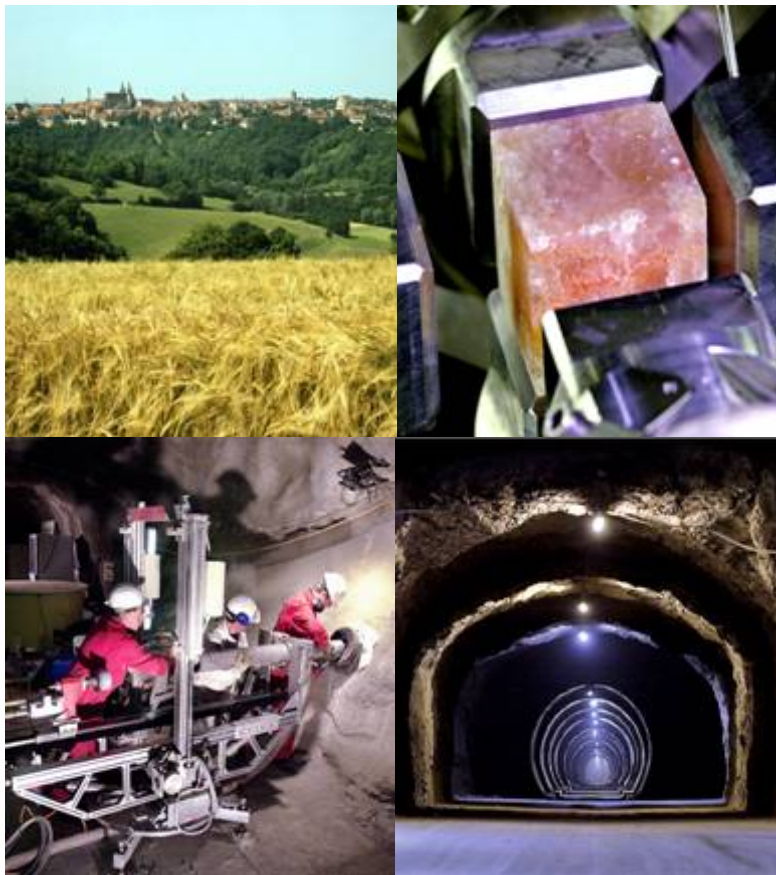


# Ergebnisse der BGR-Studien zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Tongesteinen, Steinsalz und kristallinen Gesteinen



Volkmar Bräuer

Bundesanstalt für  
Geowissenschaften und  
Rohstoffe

Hannover

BMU Endlagersymposium 2008 Berlin

# Endlagerwirtsgesteine international

Land	Endlager MAW/LAW	HAW Wirtsgestein	Vorauss. Betrieb
Deutschland	(ja) kein Betrieb	Steinsalz, (Alternativen)	2030
Frankreich	ja	Tonstein, (Kristallin)	2025
Belgien	nein	Ton	Offen
Finnland	ja	Kristallin	2020
Großbritannien	ja (LLW)	Kristallin, Vulkanite, Tonstein	Offen
Schweden	ja	Kristallin	2015
Spanien	ja	Ton, Kristallin	Konzept 2010, 2035
Niederlande	(ja) 100 Jahre	Tonstein, Steinsalz	in 100 Jahren
Italien	nein	nicht festgelegt	offen
Litauen	ja	<u>Kristallin</u> , Ton, Anhydrit, Salz,	offen
Slowak. Republik	ja	Kristallin, Tonstein	2037
Slowenien	nein	<u>Kristallin</u> , Tonstein,	Konzept 2020, 2050
Tschech. Republik	ja	Kristallin	2065
Ungarn	ja	Tonstein	2047
Schweiz	nein	Tonstein (Kristallin)	>2020
Bulgarien	ja	Tonstein, Mergel	offen
Rumänien	ja	Salz	offen
USA	ja	Tuff, (Salz)	2020
Japan	ja	Kristallin, Sedimentgestein	2035

## Beauftragung der BGR zur Durchführung der Salinar- und Kristallinstudien

### ▶ Koalitionsvereinbarung zur 12. Legislaturperiode 1990

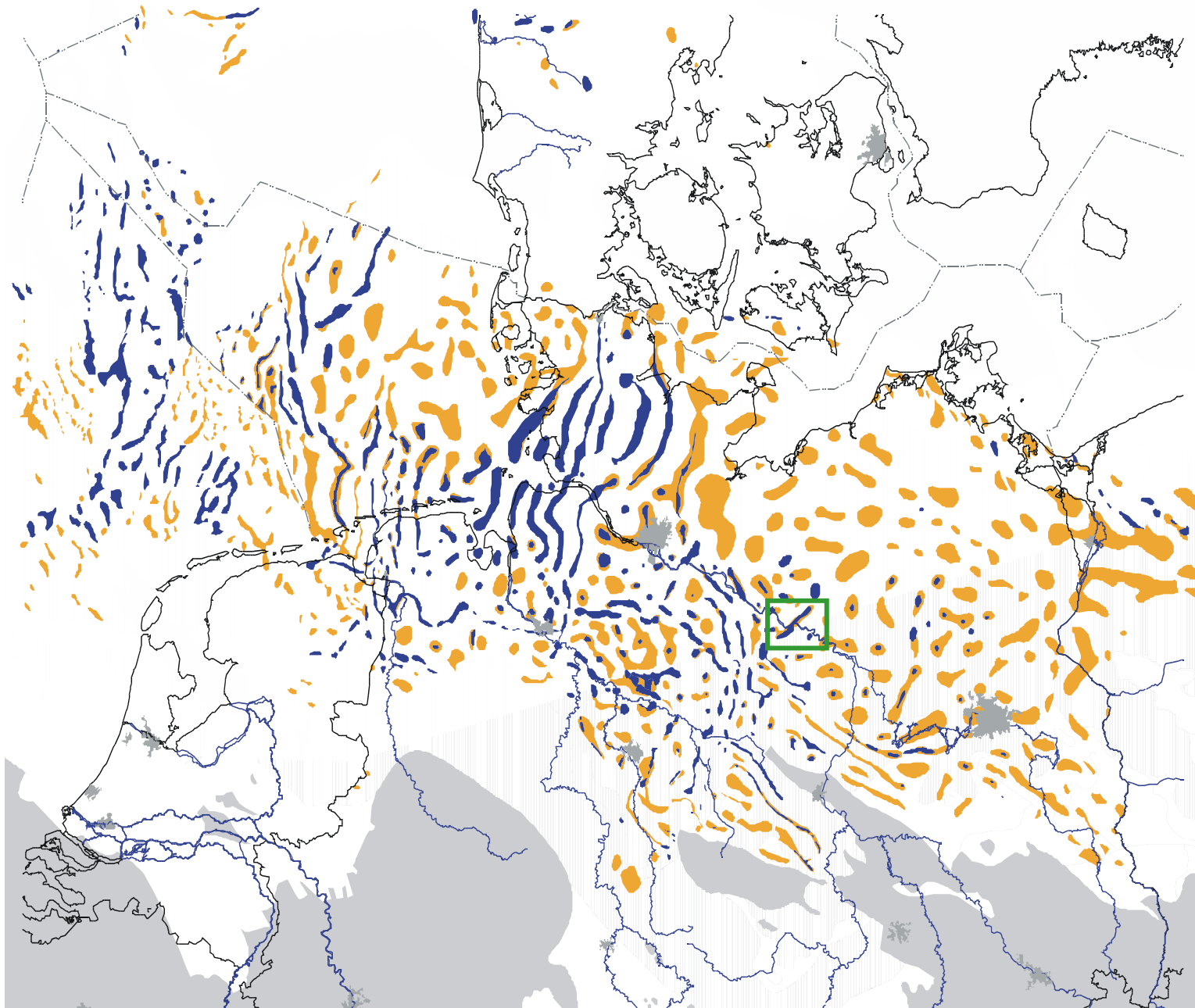
*„Standorterkundung für stark wärmeentwickelnde Abfälle, ggf. auch in europäischer Kooperation, unbeschadet der Fortführung des Genehmigungsverfahrens Gorleben“*

D.h., dass aus Gründen der Entsorgungsvorsorge auch andere Gesteinsformationen zur Vervollständigung des Kenntnisstandes über potentielle Endlagerwirtsgesteine überprüft werden sollen.

### ▶ Auftraggeber: BMU (Salinar) / BMFT (Kristallin)

# Salinarstrukturen

- Salzstöcke
- Salzkissen
- Präpermausstrich, z.T. unter Känozoikum





# Bewertung von Salzstrukturen in Deutschland

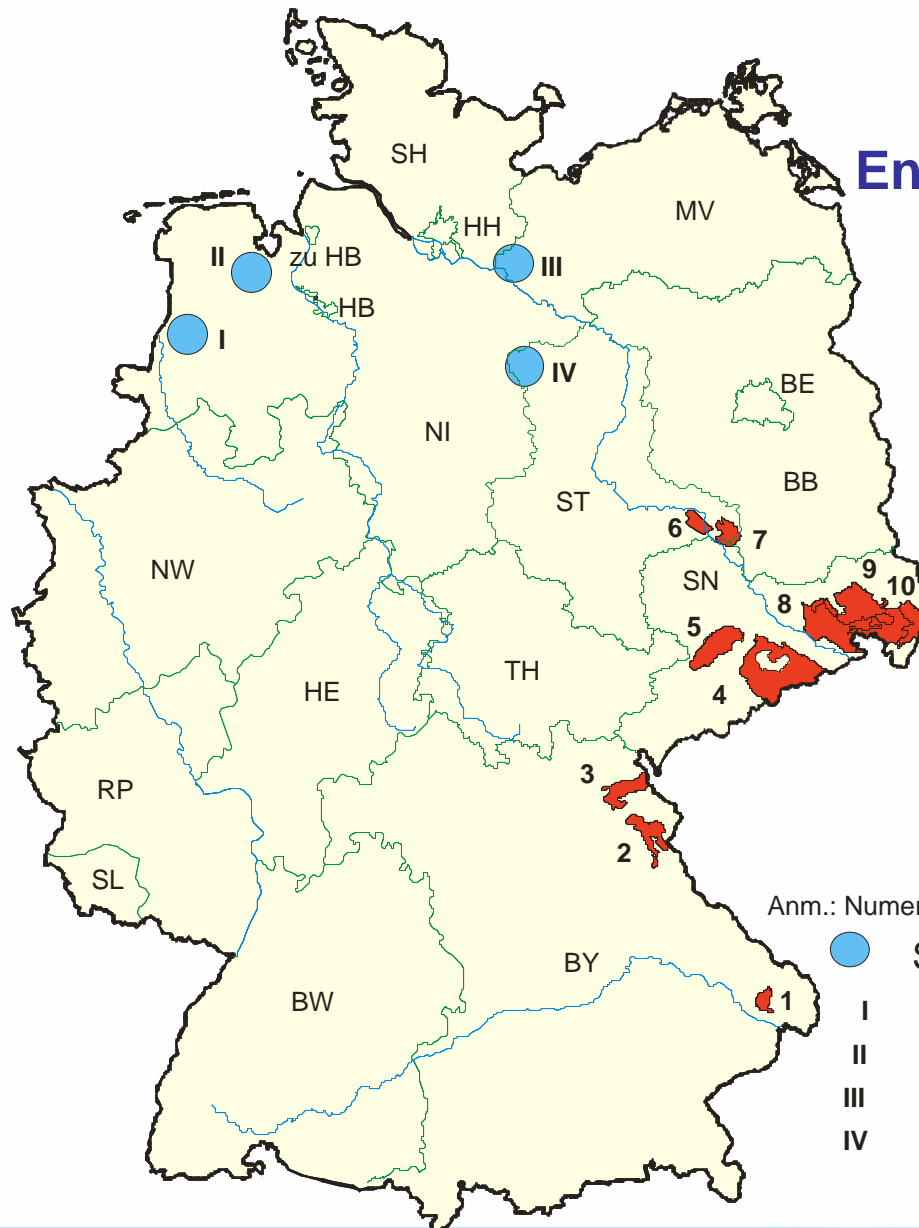
Name	Kulmination in m u. NN	Deckge- birgsmäch- tigkeit in m (min.)	Fläche 300 m u. Caprockober- fläche in km <sup>2</sup>	Fläche 1000 m u. NN in km <sup>2</sup>	Tiefe des Salz- spiegels in m u. NN	Sali- nar- al- ter	Überdeckung im Scheitel- bereich (Formation)	kon- kurr. Nutz- ung
Baccum	300-500 *	340-540	15,0	15,0	?	jo	kru, tpg, q	nein
Bahnsen	160	220	11,0	21,0	180-208	z	tpg, q,	ja
Bersenbrück (Alfhausen)	200	240	58,0	58,0	?	jo	kro, tpg, q	nein
Bippen (Ohrte)	200-500 *	225-525	52,0	52,0	?	jo	kru, tpg, q	nein
Colbitz	125	187	14,8	6,9	180-250	z	tpg, q	nein
Damme	200	240-260	15,0	15,0	?	jo	kru, kro, tpg, q	nein
Demker-Grieben	250 u. 500 (2x) **	285 u. 580	5,6 ***	5,6 ***	?	z	tpg, q	nein
Eisendorf-Gnutz	200 u. 480 (2x) **	230 u. 505	65,0	92,0	411 u. 686	ro, z	kru, kro, q	nein
Eitzendorf	389	403	6,5	13,0	440	z	tpg, q	nein
Gülze-Sumte	111 u. 305 (2x) **	122 u. 345	60,0	90,0	165 u. 367	z	tpg, tng, q	nein
Hamdorf	350	360	18,0	48,0	498	ro, z	kru, kro, q	nein
Harsefeld	240	270	37,0	40,0	300-340	ro, z	tpg, tng, q	ja
Hennstedt	390 (2x) **	395	58,5	70,0	663	ro, z	kro, tpg, q	nein
Herzlake (Haselünne)	340-500 *	355-515	30,0	30,0	?	jo	tpg, tng, q	nein
Jahrstedt	150 u. 200 (2x) **	220	5,5	9,9	?	z	tpg, q	nein
Kraak	249	280	27,7	18,4	340	z	q	ja
Krempa	30	32	26,5	62,0	75	ro, z	q	nein
Lilienthal	183	186	20,0	38,0	205	z	kro, tpg, q	nein
Lohne	300-800 *	330-830	38,0	38,0	?	jo	tpg, q	nein
Mützel-Viesen	384 u. 310 (2x) **	347 u. 420	8,5 ***	8,5 ***	?	z	tpg, q	nein
Netzeband	140	180-210	14,9	14,1	ca. 500?	z	tng, q	nein
Neusustrum	180	191	3,0	15,0	250-280	z	tng, q	nein
Oberlanger Tenge	140	152	10,0	8,5	157-180	z	tpg, tng, q	ja
Peckensen	236 u. 240 (2x) **	285	46,0	42,0	340-400	z	tpg, q	ja
Schneilingen	240	130	6,0	9,0	265	z	tpg, q	nein
Siek	200	260	6,5	14,0	400	ro, z	kro, tpg, q	nein
Stammen-Otter-Todtshorn	600 (3x) **	640-660	25,5	43,0	?	z	kro, tpg, tng q	nein
Sterup	260	320	15,3	25,5	>277	ro, z	kro, q	nein
Taaken	200 u. 250 (2x) **	225 u. 280	12,0	23,0	260-270	z	kro, tpg, tng, q	ja
Thedinghausen	275 u. 380 (3x) **	284 u. 290	9,0	11,0	300-410	z	kro, tpg, tng, q	nein
Volkwardingen	150	250	14,0	25,0	?	z	tpg, q	nein
Vorhop	200	260-270	23,0	21,0	260	z	tpg, q	ja
Waddekath	300 u. 300 (2x) **	440	16,5	16,5	363-441	z	tpg, tng, q	nein
Wahn	290 (2x) **	300-310	23,0	36,5	315-330	z	kru, tpg, tng, q	nein
Weesen-Lutterloh	49 u. 100 (2x) **	130 u. 170	15,5	40,5	114-145	z	kro, tpg, q	nein
Werle	511	545	40,0	40,0	700	z	kru, tpg, tng, q	nein
Wittingen	190	270	6,0	12,0	218-290	z	tpg, q	ja
Wredenhausen	73	150	12,0	11,0	293	z	tng, q	nein
Zechlin	200	260-300	14,8	16,0	>500?	z	tng, q	nein
Zobbenitz	200	250	11,0	0,0	219	z	tpg, q	nein
Zwischenahn	290 u. 380 (2x) **	300 u. 390	38,0	26,0	340 u. 430?	z	kro, tpg, q	nein

**BGR 1995**





## Endlagerung stark Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen



Untersuchungswürdige Regionen in salinaren und kristallinen Formationen Deutschlands (1995)

Anm.: Numerierung beinhaltet keine Wertung



Salinarstrukturen

- I Wahn
- II Zwischenahn
- III Gülze - Sumte
- IV Waddekath



Kristallinregionen

- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| 1 Saldenburg          | 6 Pretzsch         |
| 2 Nördl. Oberpf. Wald | 7 Prettin          |
| 3 Fichtelgebirge      | 8 Pulsnitz         |
| 4 Graugneis           | 9 Radeberg - Löbau |
| 5 Granulitgebirge     | 10 Zawidow         |

## Welche Wirtsgesteine wurden untersucht?





<i>Eigenschaft</i>	<i>Steinsalz</i>	<i>Ton/Tonstein</i>	<i>Kristallingestein (z. B. Granit)</i>
Temperaturleitfähigkeit	hoch	gering	mittel
Durchlässigkeit	praktisch undurchlässig	sehr gering bis gering	sehr gering (ungeklüftet) bis durchlässig (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
Temperaturbelastbarkeit	hoch	gering	hoch

günstige Eigenschaft
  ungünstige Eigenschaft
  mittel

## Eigenschaften potenzieller Wirtsgesteine in Deutschland

Endlagerung radioaktiver Abfälle  
in tiefen geologischen Formationen  
Deutschlands



Untersuchung und Bewertung von  
Tongesteinsformationen

Peer Hoth  
Holger Wirth  
Klaus Reinhold  
Volkmar Bräuer  
Paul Krull  
Hagen Feldrappe

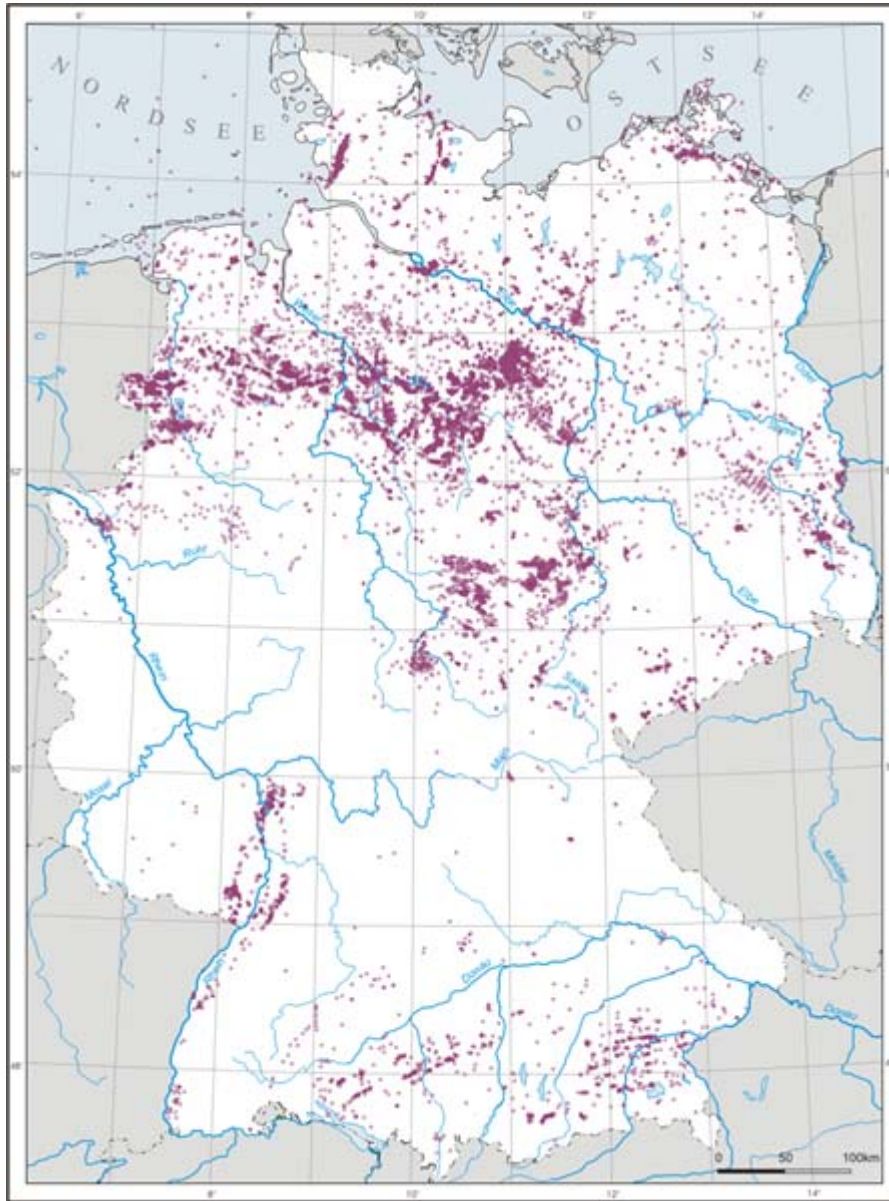
BGR 2007

Auftrag vom  
Bundesministerium für  
Wirtschaft und Technologie

# Datengrundlage zur BGR - Tonstudie

- Literatur
- Archivunterlagen
- Bohrungsdaten
- Seismik-Daten
- Bohrungs- und Seismik-Korrelationen
- Keine Felduntersuchungen





## Datengrundlage

Bohrungen  
(ca. 25 000)

Tiefenbereich >300 m

System / Abteilung	Serie / Stufe	Norddeutschland		Süddeutschland		
		W	E	W	E	
Tertiär	Quartär					
	Neogen	ca. 1,8				
		Pliozän				
		Miozän				
	Paläogen	Oligozän				
Eozän						
Paläozän						
Dan						
ca. 65						
Kreide	Oberkreide	Mastrich				
		Campan				
		Santon				
		Coniac				
		Turon				
	Unterkreide	Cenoman				
		Alb				
		Apt				
		Barrême				
		Hauterive				
Jura	Oberjura (Malm)	ca. 145				
		"Serpuit"				
		"Münder Mergel"				
		"Eimbeckhäuser P.-K."				
		"Gigas-Schichten"				
	Mitteljura (Dogger)	Kimmeridge				
		"Korallenoolith"				
		"Heersumer Sch."				
	Untejura (Lias)	Callov				
		Bathon				
		Bajoc				
		Aalen				
		Toarc				
Trias	Keuper	ca. 205				
		Rhät				
		"Steinmergelkeuper"				
		"Oberer Gipskeuper"				
		"Schilfsandstein"				
	Muschelkalk	"Unterer Gipskeuper"				
		"Lettenkeuper"				
		"Ob. Muschelkalk"				
	Buntsandstein	"Mittl. Muschelkalk"				
		"Unt. Muschelkalk"				
ca. 250						
"Röt"						
"Solling-Folge"						
Perm	Oberperm (Zechstein)	"Hardeggen-Folge"				
		"Detfurth-Folge"				
		"Voipriehausen-Folge"				
		"Quickborn-Folge"				
		"Bernburg-Folge"				
		"Calvörde-Folge"				
		"Möln-Zyklus"				
	"Friesland-Zyklus"					
Unterperm (Rotliegend)	"Ohre-Zyklus"					
	"Ailer-Zyklus"					
	"Leine-Zyklus"					
	"Staßfurt-Zyklus"					
	"Werra-Zyklus"					
	Oberrotliegend					
	Unterrotliegend					

# Stratigrafische Position von Tongesteinsformationen in Deutschland



Formation mit hohem Ton-/Tonsteinanteil



regionale/lokale Verbreitung von Tongesteinen mit guter räumlicher Charakterisierbarkeit - besonders endlagerrelevant



regionale/lokale Verbreitung von Tongesteinen mit stark eingeschränkter räumlicher Charakterisierbarkeit



Formation mit höherem grobklastischen Anteil (Sandsteine, Siltsteine)



# Inhomogenität von Tongesteinen



BMU Endlagersymposium 2008 Berlin

**BGR** Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

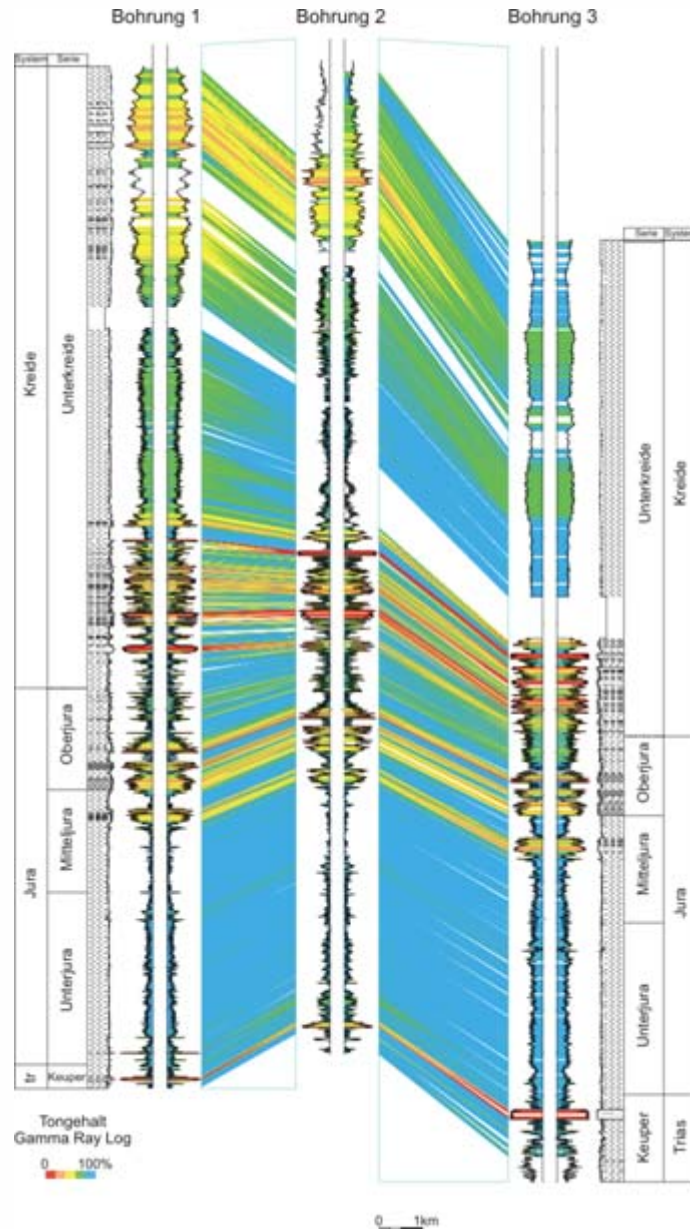
**GEOZENTRUM HANNOVER**



# Datengrundlage

Korrelation von Bohrlochmessungen (Gamma Ray Log)

Farbige Kodierung des Ton-/Tonsteingehaltes



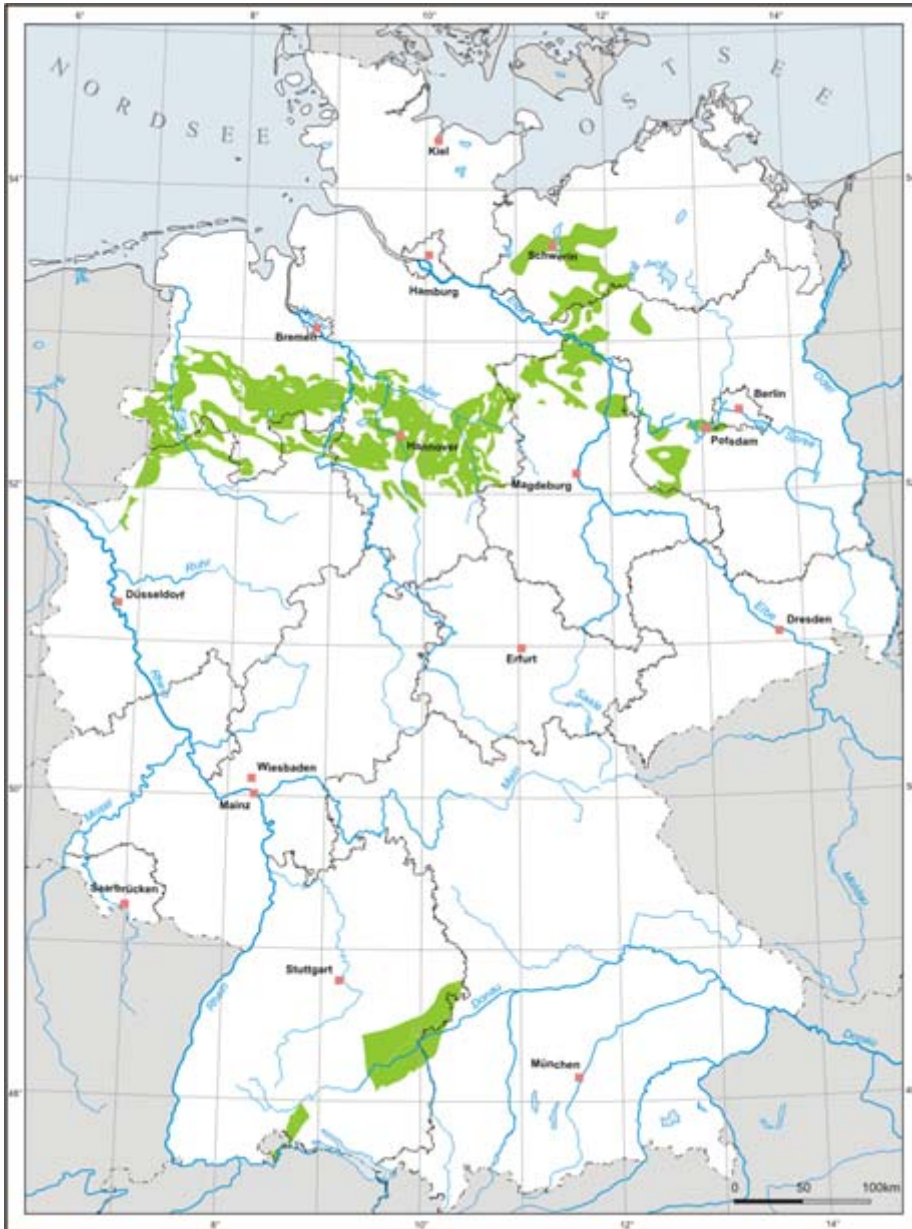
# Ausschluss- und Auswahlkriterien

## 1. Internationale Grundanforderungen (IAEO, Nagra (CH), Andra (F))

- Geologische Langzeitstabilität
- Günstige Wirtsgesteinseigenschaften
- Genügende Ausdehnung der Gesteinsformation
- Robustheit gegenüber Störeinflüssen
- Gute Explorierbarkeit
- Gute Prognostizierbarkeit

## 2. Ausschlusskriterien/Mindestanforderungen (AkEnd 2002)

## 3. Regionale Einschränkungen in Deutschland



## Untersuchungswürdige Tongesteinsformationen in Deutschland

**BGR 2007**

BMU Endlagersymposium 2008 Berlin

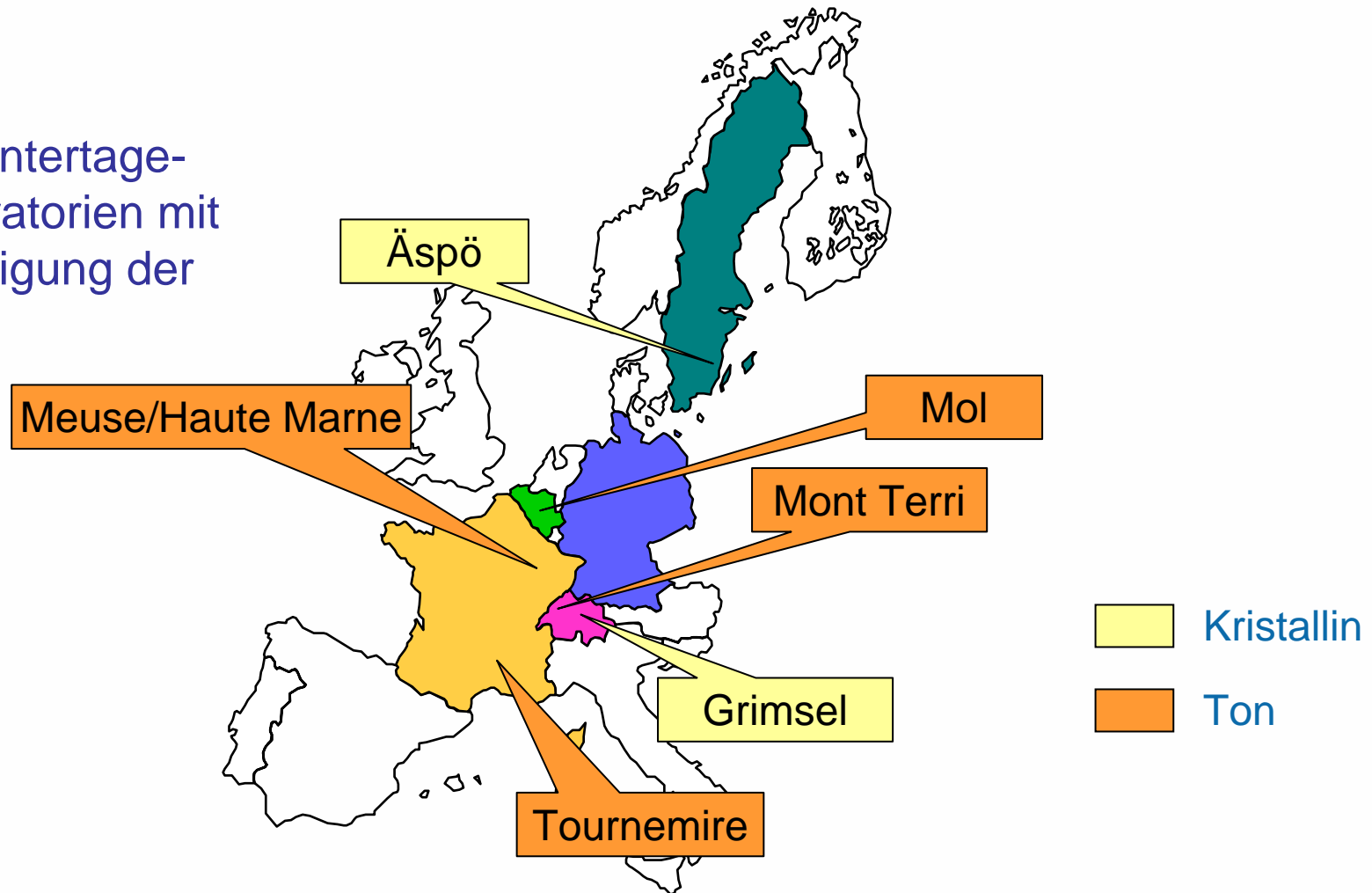
**BGR** Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

**GEOZENTRUM HANNOVER**



# Internationale Zusammenarbeit

Die Untertage-  
Laboratorien mit  
Beteiligung der  
BGR





Frankreich: Meuse/Haute-Marne (Ton)



Schweiz: Mont Terri (Ton)



Zielsetzung:

- Erprobung und Optimierung der Methoden und in situ-Messtechnik für Tongestein
- Know-how - Transfer auf Tongesteinsformationen in Deutschland
- Entscheidungsgrundlage für die Vorgehensweise in Deutschland



June 2004 - B2.2 in situ group  
URL Meuse / Haute Marne, France

BMU Endlagersymposium 2008 Berlin

**BGR** Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

**GEOZENTRUM HANNOVER**



# Endlagerkonzepte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen

Endlagerkonzept	Steinsalz	Tongestein	Kristallingestein
Einlagerungssohle	ca. 900 m	ca. 500 m	500 – 1200 m
Lagerungstechnik	Strecken und tiefe Bohrlöcher	Strecken bzw. kurze Bohrlöcher	Bohrlöcher oder Strecken
Temperatur	max. 200° C	max. 100° C	max. 100° C
Versatzmaterial	Salzgrus	Bentonit	Bentonit
Zwischenlagerzeit (BE u. HAW-Kokillen)	min. 15 Jahre	min. 30 – 40 Jahre	min. 30 – 40 Jahre
Streckenausbau	nicht erforderlich	erforderlich, ggf. sehr aufwändig	in stark geklüfteten Bereichen erforderlich
Behälterkonzepte	vorhanden	für Deutschland neu zu entwickeln	für Deutschland neu zu entwickeln
Bergbauerfahrung	sehr groß (Salzbergbau)	kaum	groß (Erzbergbau)

# Zukünftige Forschungsarbeiten

F&E	Wirtsgesteine		
	Salz	Tonstein	Kristallin
Wirtsgesteins- charakterisierung	x	<b>X</b>	(X)
Geotechnische Barriere	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Standortauswahl	(X)	(X)	(X)
Langzeitsicherheit	<b>X</b>	<b>X</b>	--