

Die Rolle der Geologie im Suchverfahren

Michael Mehnert

kontakt@endlagerdialog.de

Online, 21.01.2021

Gesucht wird in einem wissenschaftsbasierten Verfahren ein langzeitstabiler dichter Bereich im tiefen Untergrund (*), um eine Freisetzung der radioaktiven Stoffe möglichst klein zu halten. Die gefragte Wissenschaft ist die Geologie in Verbindung mit der Geophysik, also die Geowissenschaften.

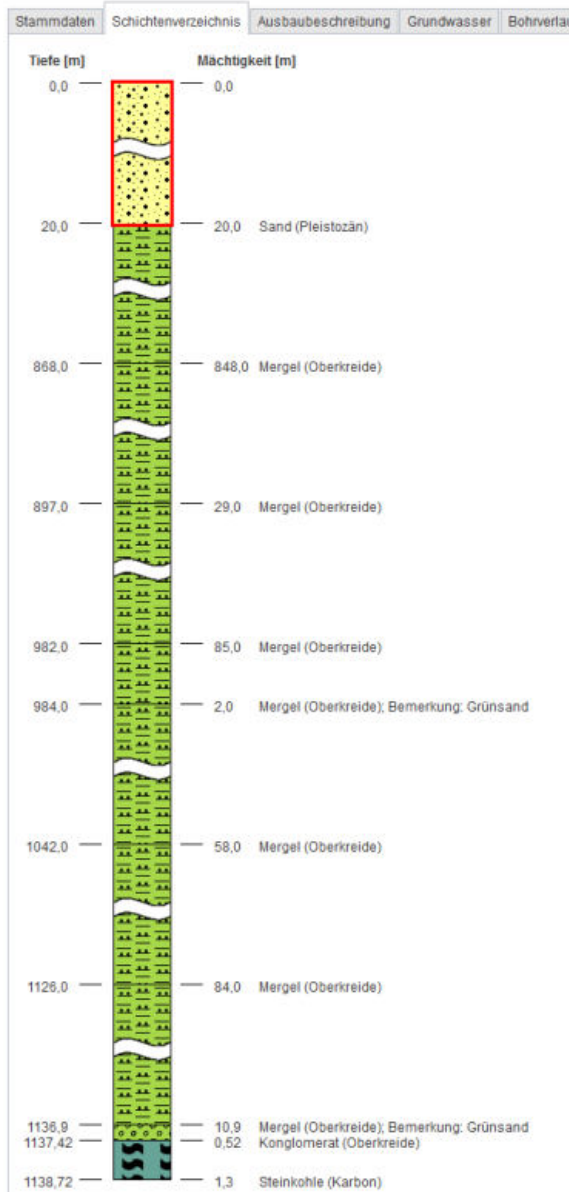
- **Wie arbeitet die Geologie, was kann sie (noch) nicht?**
- **Was spielte sich in den letzten 420 Mio. Jahren in Deutschland ab?**
- **Welche Einflüsse gab es von unten und von oben?**
- **Wie sieht das Ergebnis aus? Welche allgemeinen Erkenntnisse gibt es über den Untergrund in Deutschland?**
- **Kann die weitere Entwicklung prognostiziert werden?**

Der Mensch und damit die übertägigen Belange (Planungskriterien) spielen erst einmal keine Rolle.

(*) einschlusswirksamer Gebirgsbereich (ewG) mit sog. *sicheren* Einschluss

Geologie

- **Geologie ist eine historische Wissenschaft.**
- **Betrachtet werden die letzten 4,5 Mrd. Jahre der Erdgeschichte.**
- **Informationen stammen aus dem schichtförmigen Aufbau der Erdkruste.**
- **Die Informationen werden gewonnen**
 - **an der Erdoberfläche (Felswände, Steinbrüche, genannt Aufschlüsse),**
 - **aus Bohrungen und**
 - **seismischen Untersuchungen zur Interpolation.**




Bohrung mit Schichtenverzeichnis (ca. 1.000 EUR pro Meter)

- Mergel (Oberkreide)
- Steinkohle (Karbon)

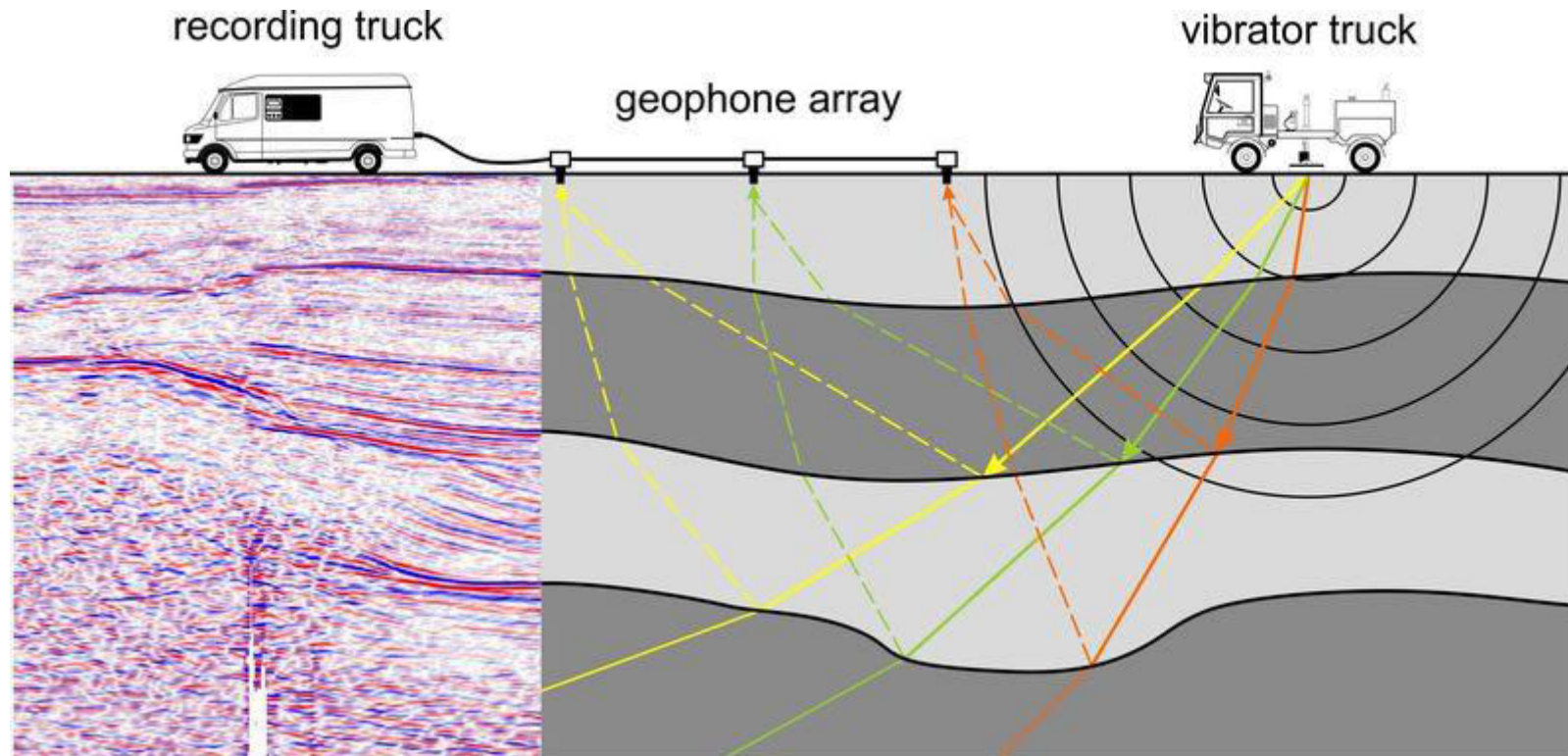
- Unterschieden wird zwischen
 - Gesteinsalter (Stratigraphische Formationen) und
 - Gesteinsarten (Lithologie)

**Stratigraphische Handtabelle
von Deutschland 2012**

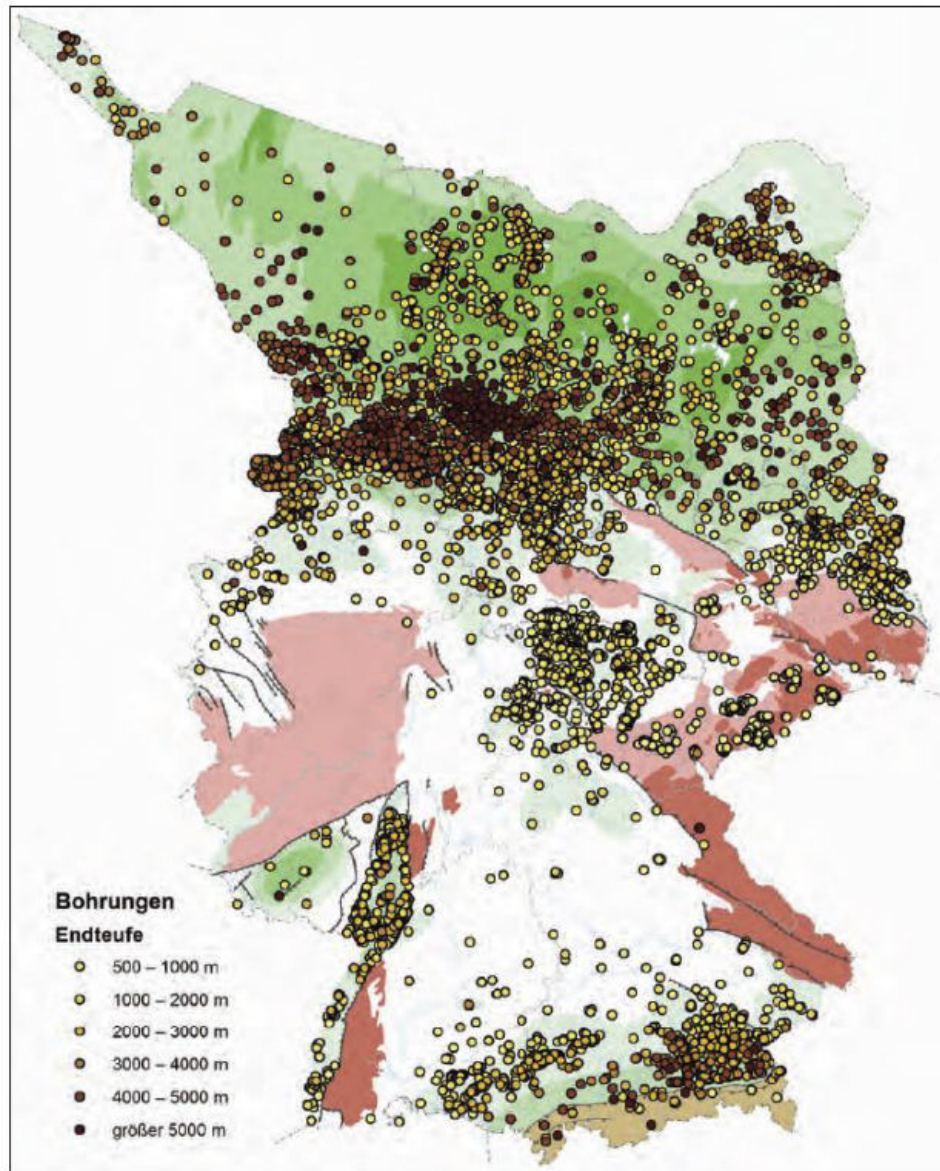


		Globale Stratigraphische Skala (GSS)			Regionale Stratigraphische Skala (RSS)		
ÄRATHEM ARA	SYSTEM PERIODE	SERIE EPOCHE	STUFE ALTER	ZEIT STD 2002	Regionale Einheit GLOBALE EINHEIT Hauptgruppe		
Z O I K U M	Ä R	HOLOZÄN	HOLOZÄN	0,012	QUARTÄR	QUARTÄR	
			o. (TARANTIUM)	0,127			
		PLEISTOZÄN 2,6	m. (IONIUM)	0,78			PLEISTOZÄN
			u. CALABRIUM	1,8			
			GELASIUM				
			PLIOZÄN 2,7	o. PIACENZIUM			
	MIOZÄN 18,5	o. ZANCLEUM	5,3	MIOZÄN			
		o. MESSINIUM	7,1				
		o. TORTONIUM	11,2				
		m. SERRAVALLIUM	14,8		NEOGEN		
		m. LANGHIUM	16,4				
		u. BURDIGALIUM	20,5				
		u. AQUITANIUM	23,8				
		u. MERXEMIUM	2,6			NEOGEN	
	u. SCALDISIUM	3,6					
u. MORSUM./KATTENDIJK.	5,3	NEOGEN					
u. SYLTIUM	7,1						
u. GRAMIUM	11,2	NEOGEN					
u. LANGENFELDIUM	14,8						
u. REINBEKIUM	16,4	NEOGEN					
u. HEMMOORIUM	20,5						
u. VIERLANDIUM	23,8	NEOGEN					
u. NEOCHATTIUM	23,8						

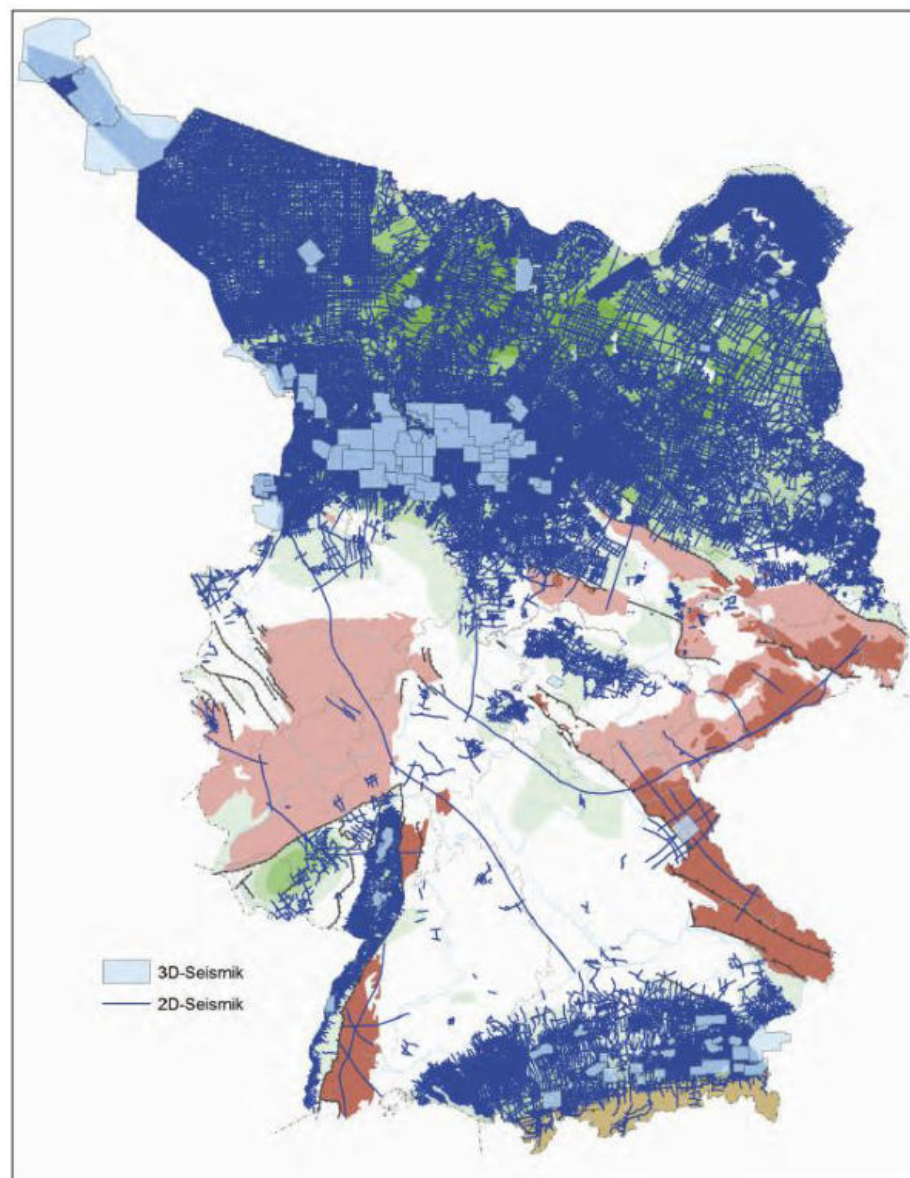
Seismische Untersuchungen zur Feststellung des Schichtenverlaufs



Bohrungen (BGR, K-MAT 11)



2D- und 3D- Seismik (BGR, K-MAT 11))



Hauptgesteinsarten (Lithologie)

1. Magmatite

Plutonite (Tiefengestein), kristallin, z. B. **Granit**

Vulkanite (Ergussgestein), verglast, z. B. Basalt

2. Sedimente

durch z. B. Erosion und Ablagerung, Diagenese (Verdichtung, Schichtenbildung), z. B. **Tonstein (klastische Sedimente)**, **Salzgestein (chemische Sedimente)**, **Kohle etc. (biologische Sedimente)**

3. Metamorphe

durch Absinken von Magmatite oder Sedimentgestein hoher Druck/Temperatur Metamorphose (Schieferung), z. B. **Gneis**

Klastische Sedimente

Korngrößengruppen

Korngröße	Bezeichnung	Anmerkung
$\varnothing < 0,002$	Ton	nicht mit bloßem Auge sichtbar
0,002 - 0,06 mm \varnothing	Schluff (Silt)	nicht mit bloßem Auge sichtbar
0,06 - 2 mm \varnothing	Sand	wie Mehl bzw. etwas kleiner als Streichholzköpfe
2 - 63 mm \varnothing	Kies	wie Erben bzw. Haselnüss
$\varnothing > 63$ mm	Blockwerk	größer als Hühnereier

Gesteine / Gebirge zur Langzeitlagerung radioaktiver Abfälle

Eigenschaft/Wirtsgestein	Ton	Tonstein	Kristallines Hartgestein	Steinsalz
Temperaturbelastbarkeit	gering	gering	gering (durch Bentonitversatz)	hoch
Grundwasser	stagnierend	stagnierend, Trennflächen	Kluftgrund- wasserleiter	kein Grundwasser
Eigentragfähigkeit	sehr gering	gering bis mittel	hoch	mittel
Verformungsverhalten	plastisch	plastisch bis spröde	spröde	duktil (Kriechen)
Löslichkeit	sehr gering	sehr gering	sehr gering	hoch
Sorptionsfähigkeit	sehr hoch	hoch	gering	sehr gering

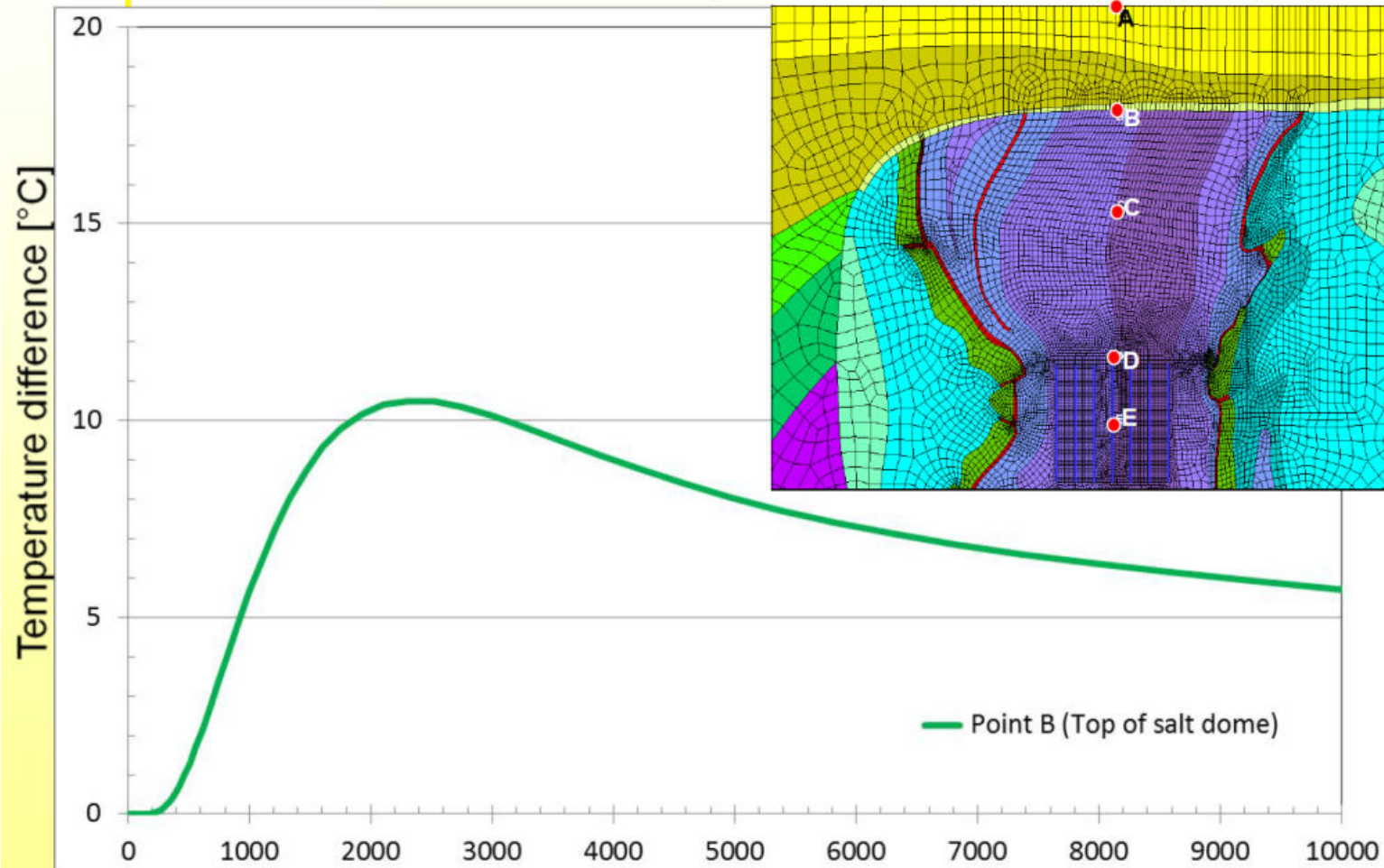
nach Chaudry, S., V. Mintzloff, et al. (2016). *Der Beitrag der Geologie zur Tiefenlagerung hoch radioaktiver Reststoffe*, in: U. Smeddinck, S. Kuppler und S. Chaudry (Hrsg.), *Inter- und Transdisziplinarität bei der Entsorgung radioaktiver Reststoffe*.

Grenzen der Geologie

- **„Vor der Hacke ist es duster.“** - kein einfaches bildgebendes Verfahren mit hoher Auflösung verfügbar
- **Prognostizierbarkeit** - aus der Rekonstruktion der Vergangenheit folgt keine eindeutige Vorhersage (Szenarienanalyse, FEP-Katalog)
- **Störung des Gebirges durch das Endlagerbergwerk** - Auflockerungszonen, Verschluss der Strecken (waagrechte Zugänge) und der Schächte (senkrechte Zugänge), thermische Belastung



Differenztemperatur am Salzspiegel (B)



Arens, G. (2012). *Sicherheitskriterien: Fangen wir mit dem Konsens des AkEnd wieder an?*

Einflüsse von unten (endogen)

Gebirgsbildung durch Plattenkollisionen

Bildung von Störungen

Isostatische Ausgleichsbewegung

Vulkanismus (quartär, tertiär)

Einflüsse von oben (exogen)

Klima

- **Gehalt an Klimagasen,**
- **Geografische Breite,**
- **Veränderung der Sonneneinstrahlung durch drei Phänomene (Croll-Milankovic-Zyklen)**
 - **Veränderung der Erdachsenneigung (40.000 Jahre)**
 - **Exzentrizität der Erdumlaufbahn (100.000 Jahre)**
 - **Überlagerung der Präzession der Erdachse mit Drehung der Bahnellipse (19.000 und 23.000 Jahre)**

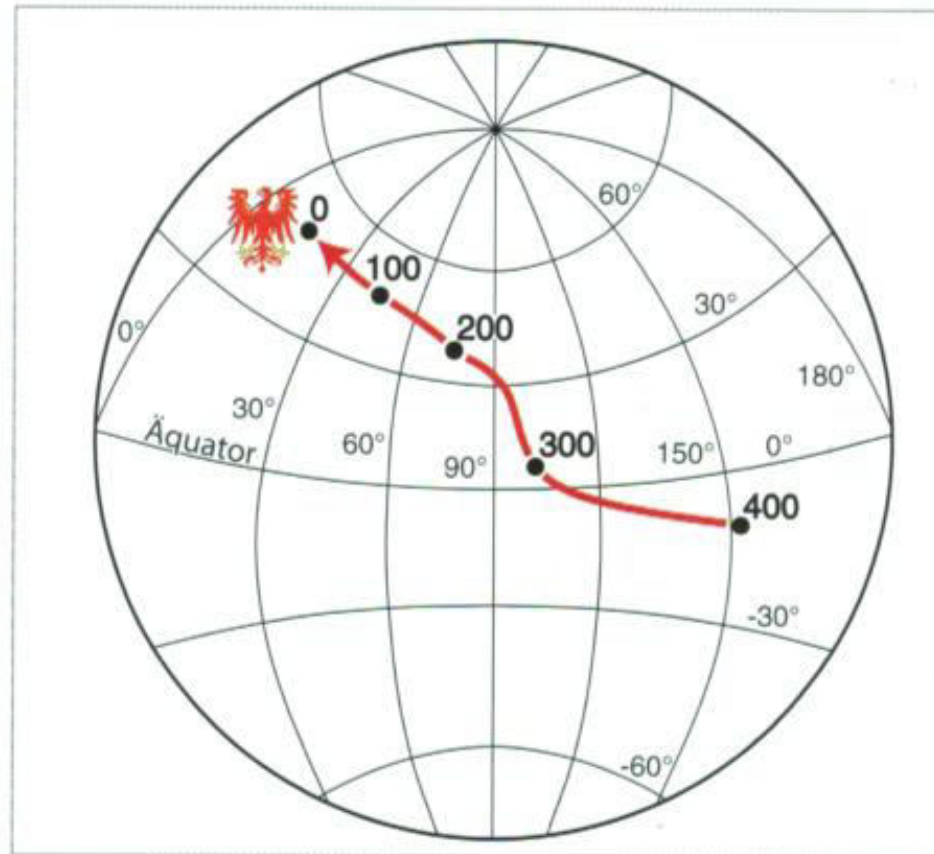


Abb. 1-1: Brandenburgischer Vogelflug: Die Lageveränderungen der Region in den vergangenen 400 Millionen Jahren (aus Stackebrandt & Manhenke, 2010)

Stackebrandt, W.(2020). Mehr als nur ‚die Streusandbüchse‘ – Zur Erdgeschichte von Brandenburg und Berlin.

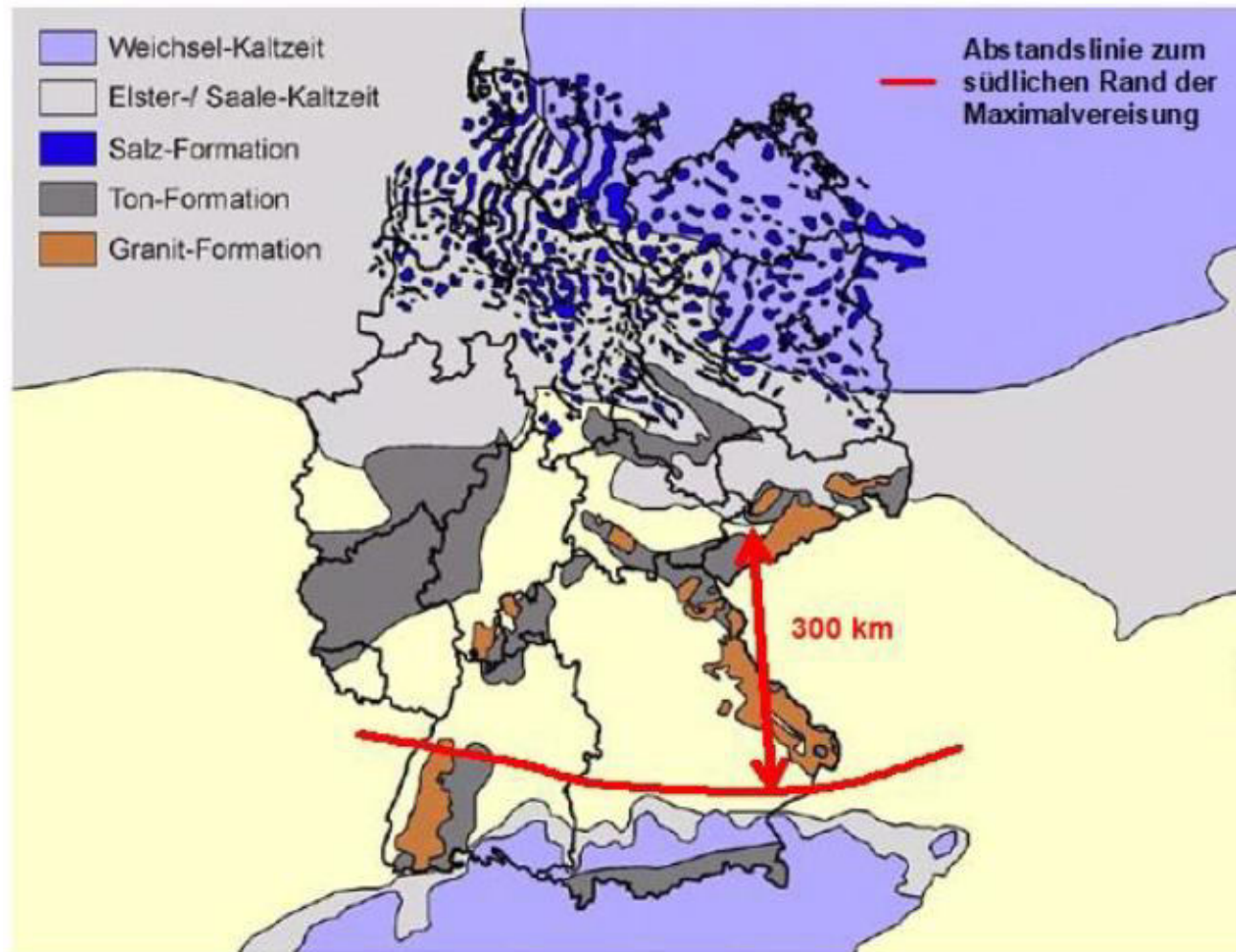
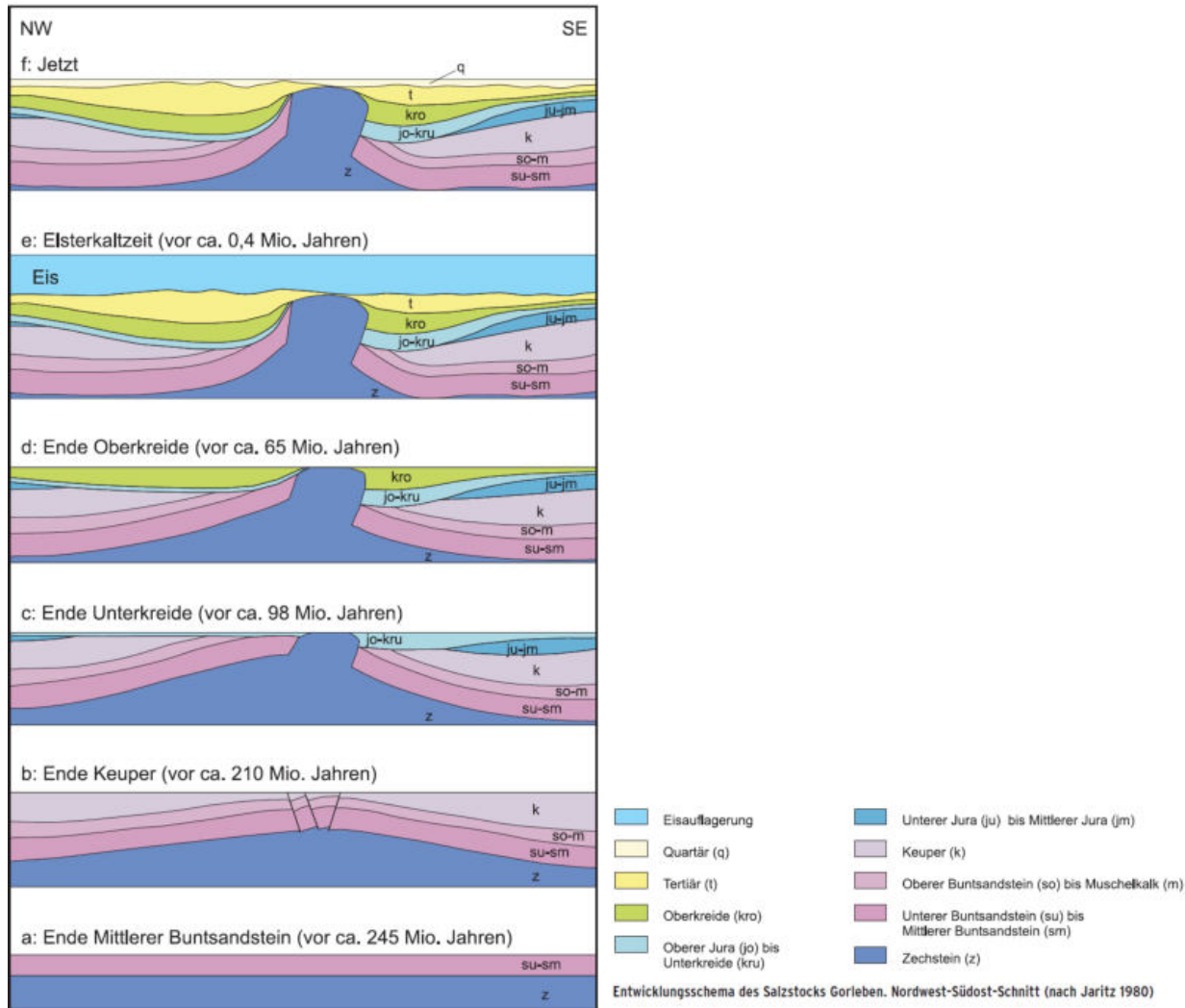


Abbildung 14: Bereich bis 300 km vor der Gletscherfront (größte Ausdehnung während des Quartärs) mit Angabe der Verbreitung bedeutender Salz-, Ton- und Granit-Formationen in Deutschland; ergänzt nach [Noseck & Brewitz, 2005]

Brosig, A., B. Bräutigam, et al.(2020). *Evaluierung des Kenntnisstandes von aktiven Störungszonen in Deutschland (KaStör)* Vorhaben 4717F01301.

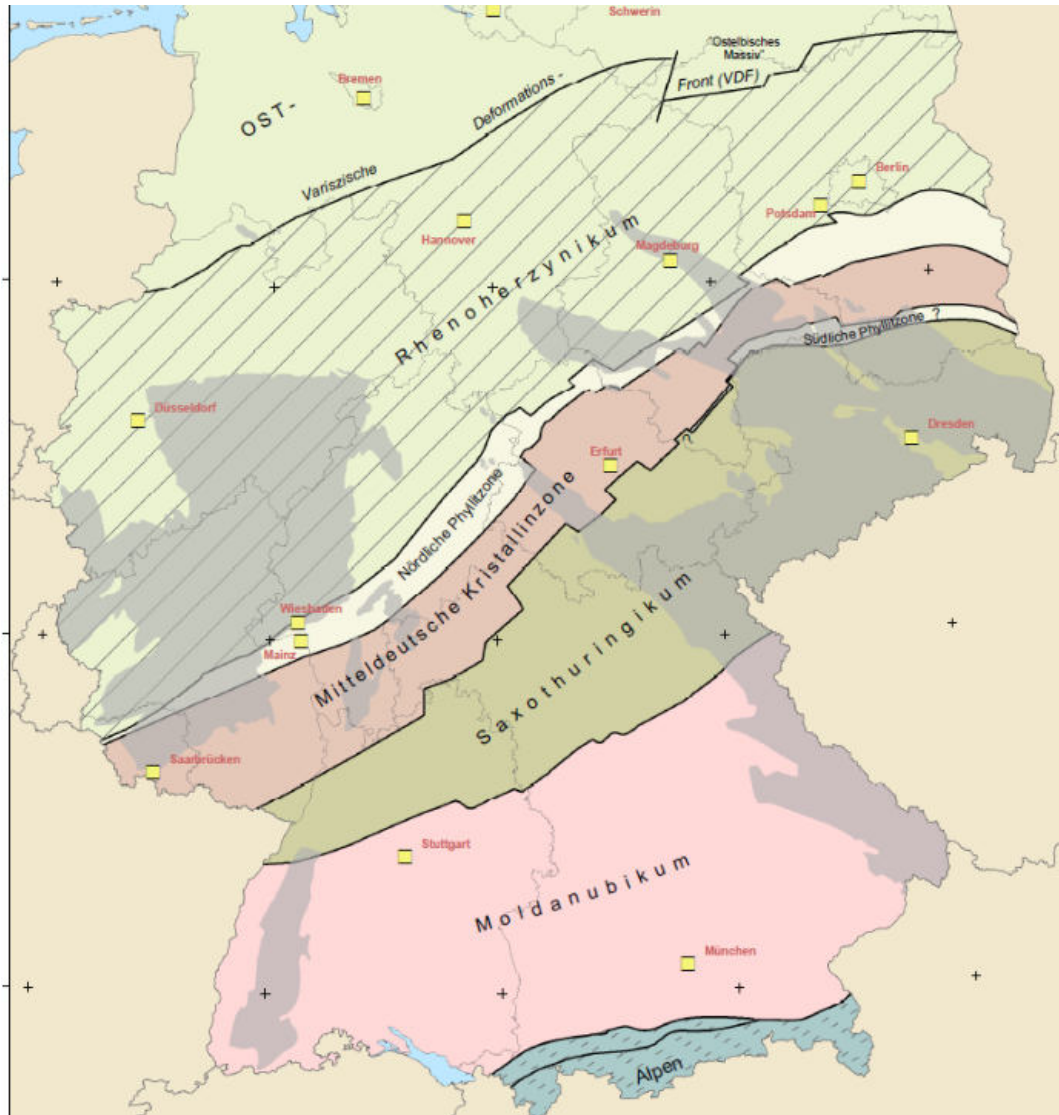
Salz: geringe Dichte und viskos → Halokinese



Salz in flacher (stratiformer) und in steiler Lagerung (Salzstock)

Kristallines Hartgestein

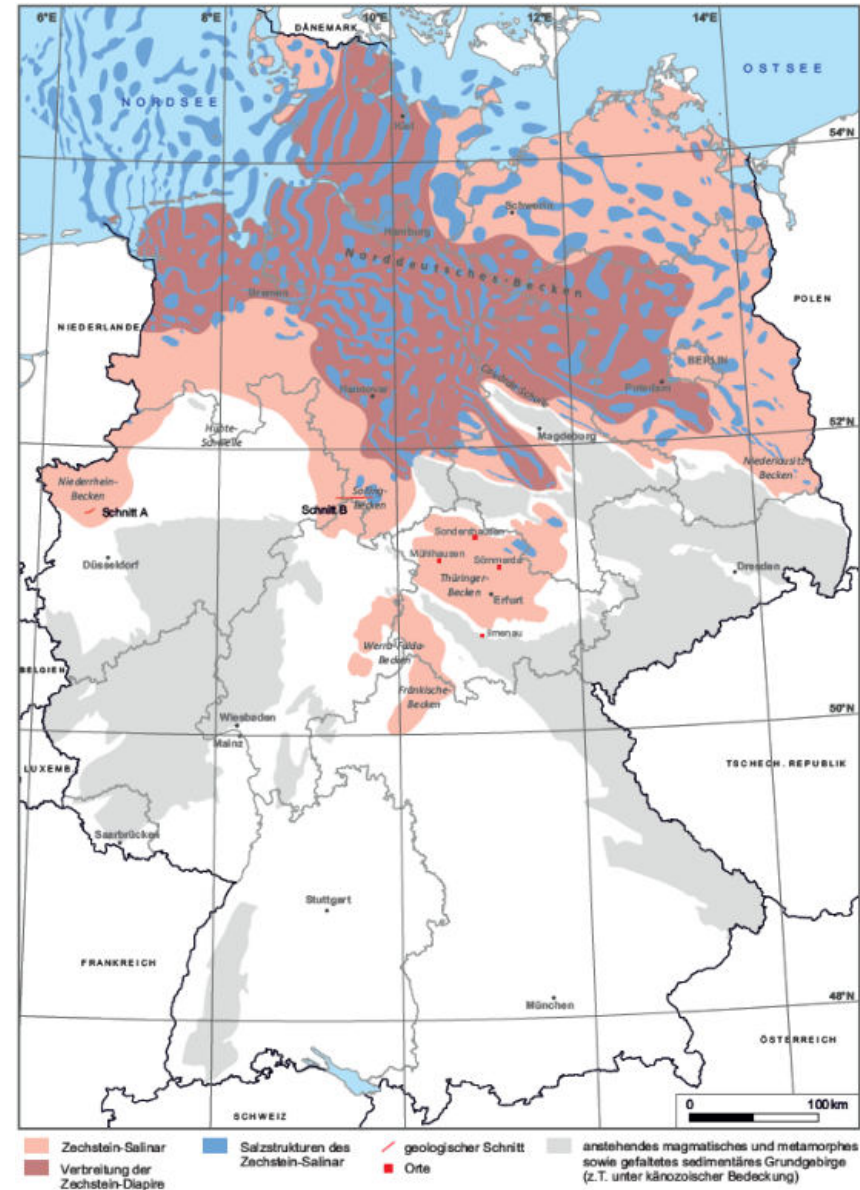
Grundgebirgsbildung (Orogenese) 420 bis 350 Mio. Jahre



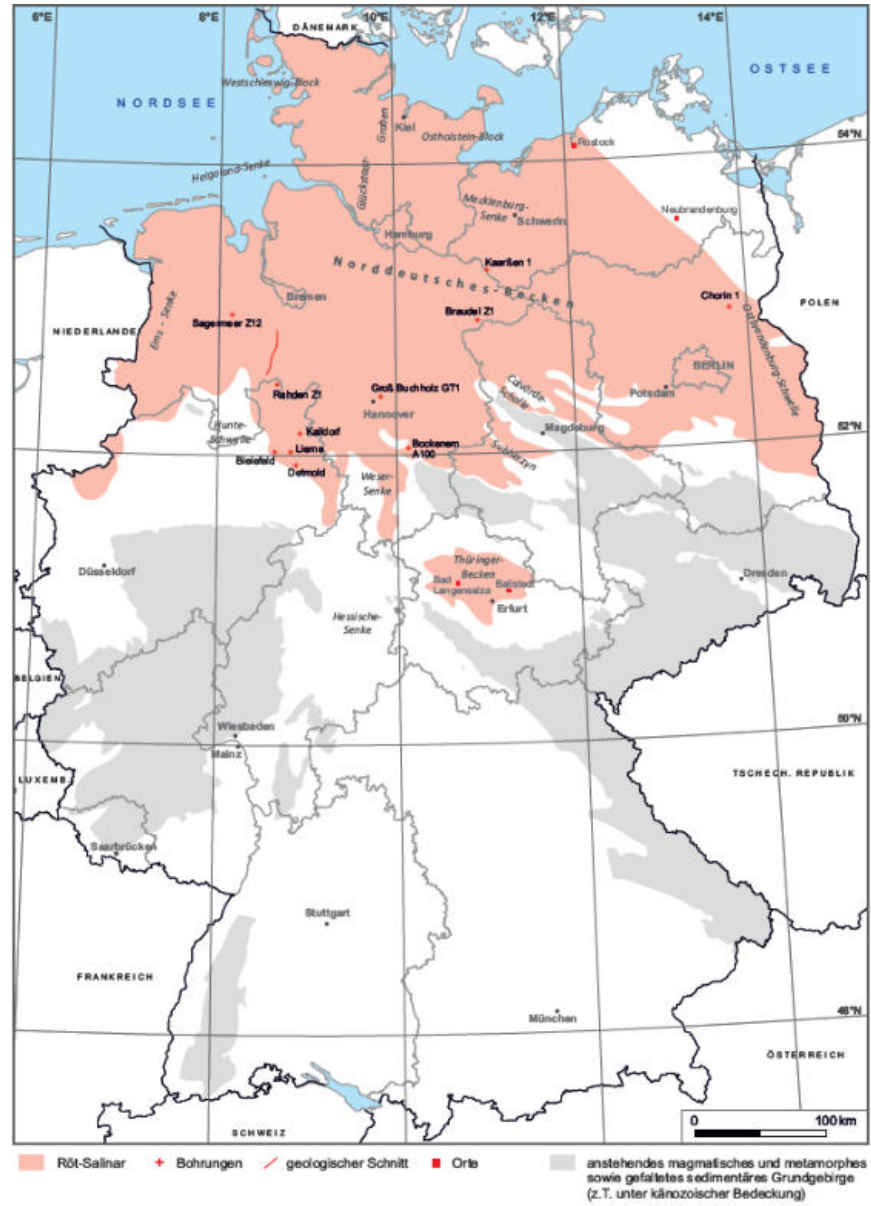
Ärathem	System	Beginn (mya)	Orogenese
Känozoikum Erdneuzeit Dauer: 66 Ma	Quartär	2,588	alpidische Orogenese
	Neogen	23,03	
	Paläogen	66	
Mesozoikum Erdmittelalter Dauer: 186,2 Ma	Kreide	145	variszische Orogenese
	Jura	201,3	
	Trias	251,9	
Paläozoikum Erdfrühzeit Dauer: 288,8 Ma	Perm	298,9	kaledonische Orogenese
	Karbon	358,9	
	Devon	419,2	
	Silur	443,4	
	Ordovizium	485,4	
Neoproterozoikum Jungproterozoikum	Kambrium	541	cadomische Orogenese
	Ediacarium	635	
	Cryogenium	720	

Steinsalz

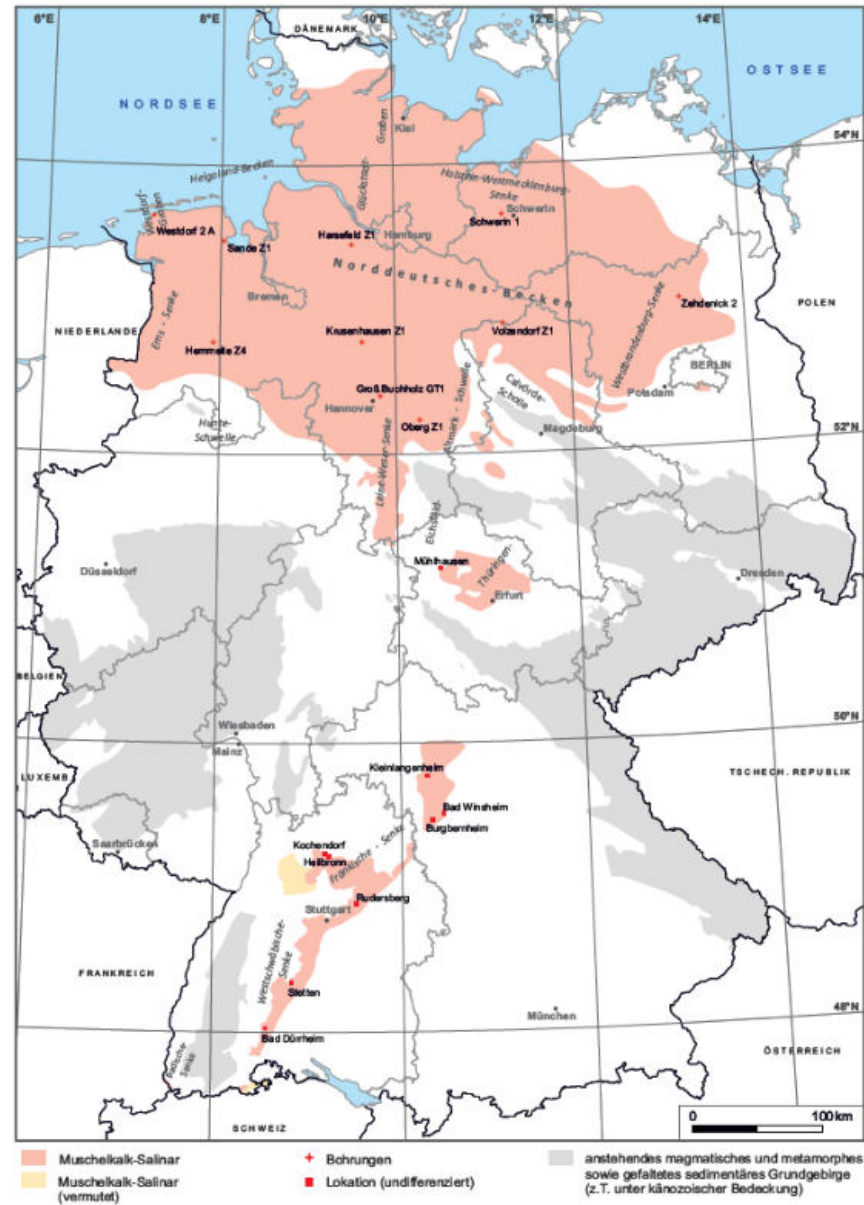
Zechstein-Salz (255 Mio. Jahre) (BASAL 2014)



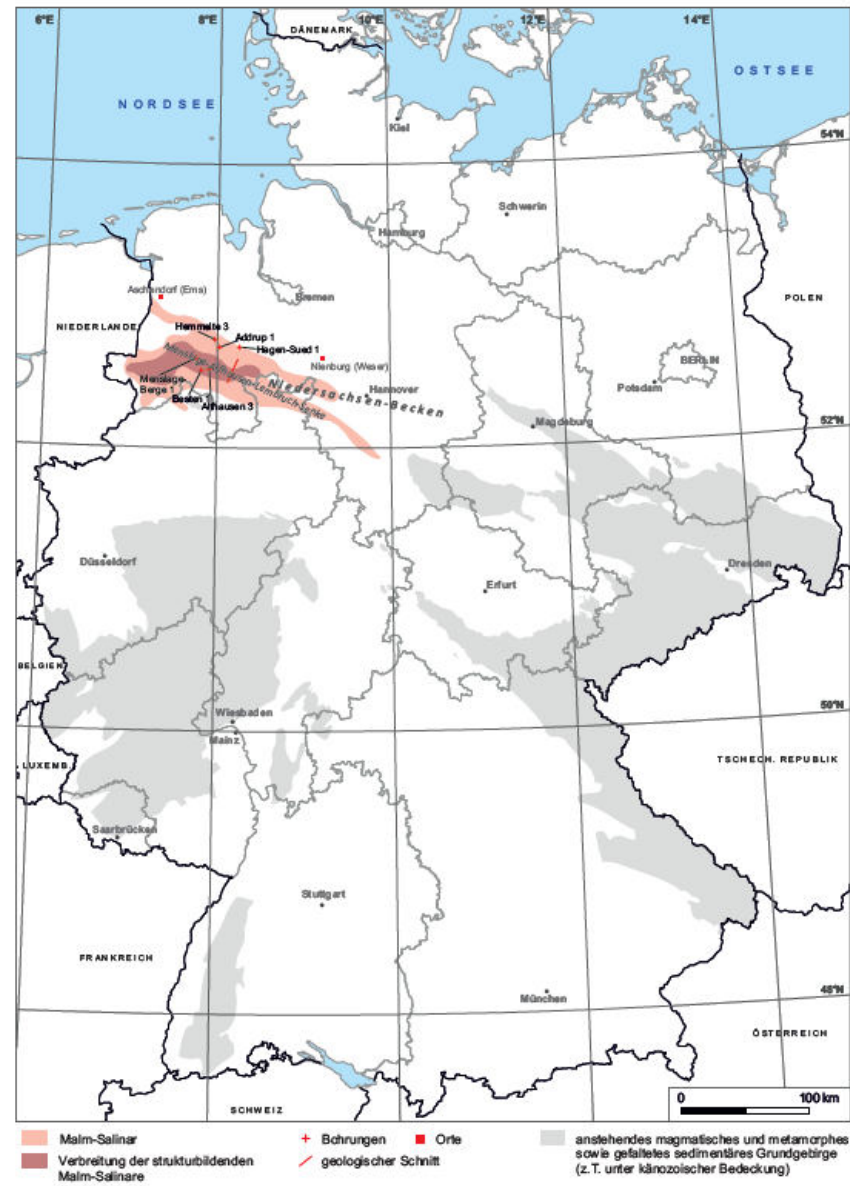
Röt-Salz (245 Mio. Jahre) (BASAL 2014)



Muschelkalk-Salz (240 Mio. Jahre) (BASAL 2014)

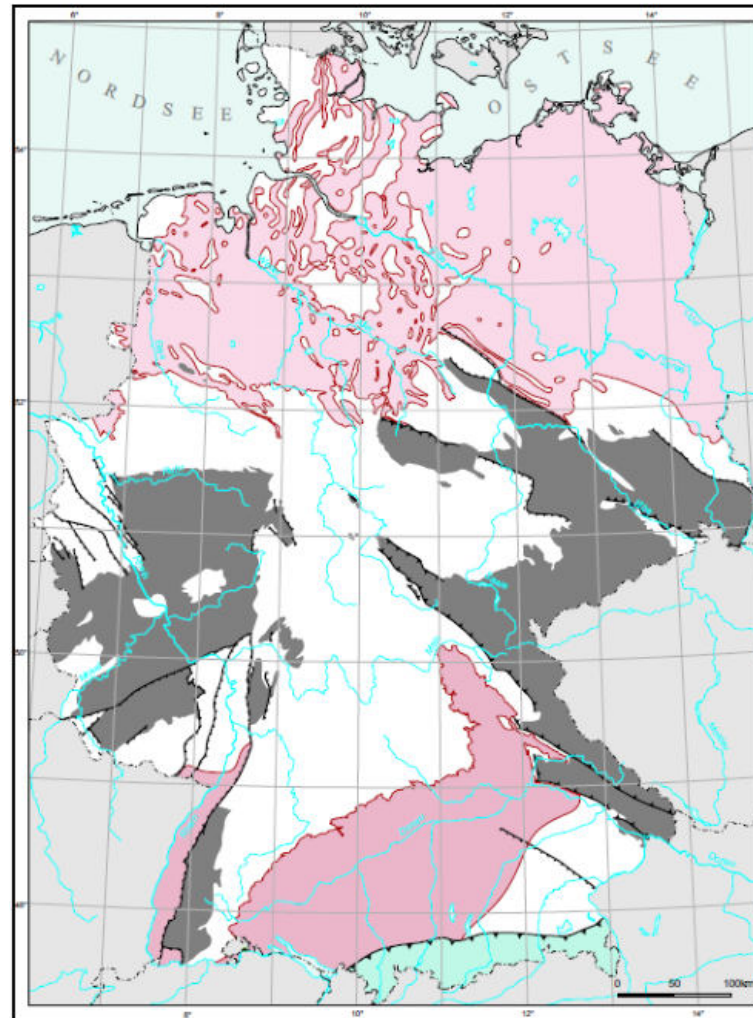


Malm-Salz (150 Mio. Jahre)



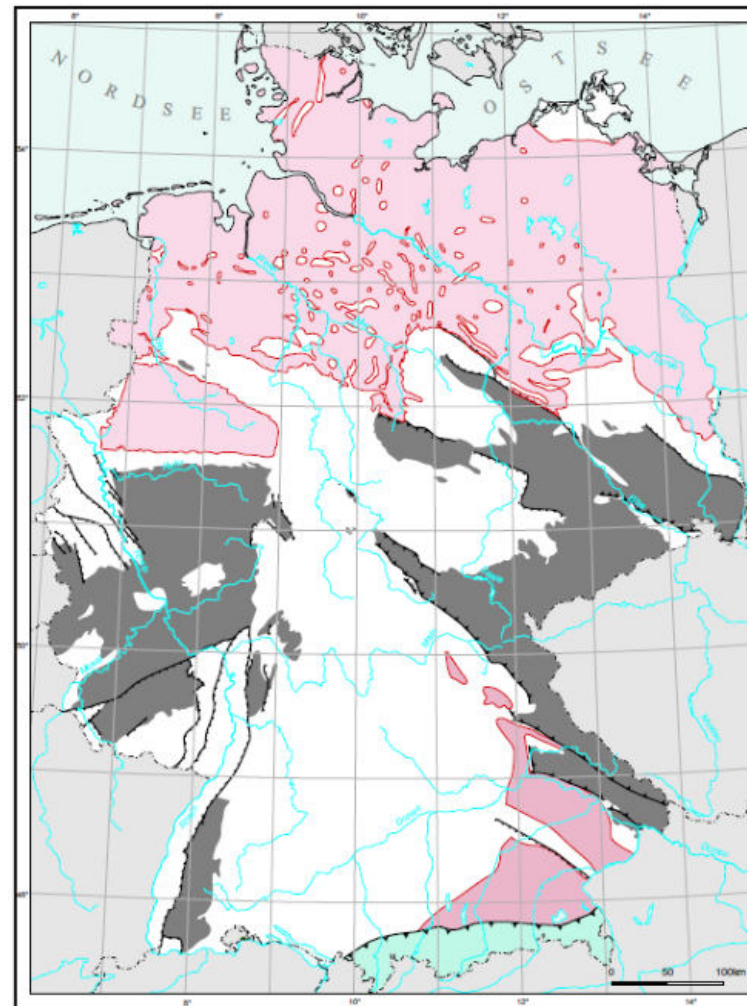
Tonstein

Jura-Ton (170 Mio. Jahre)

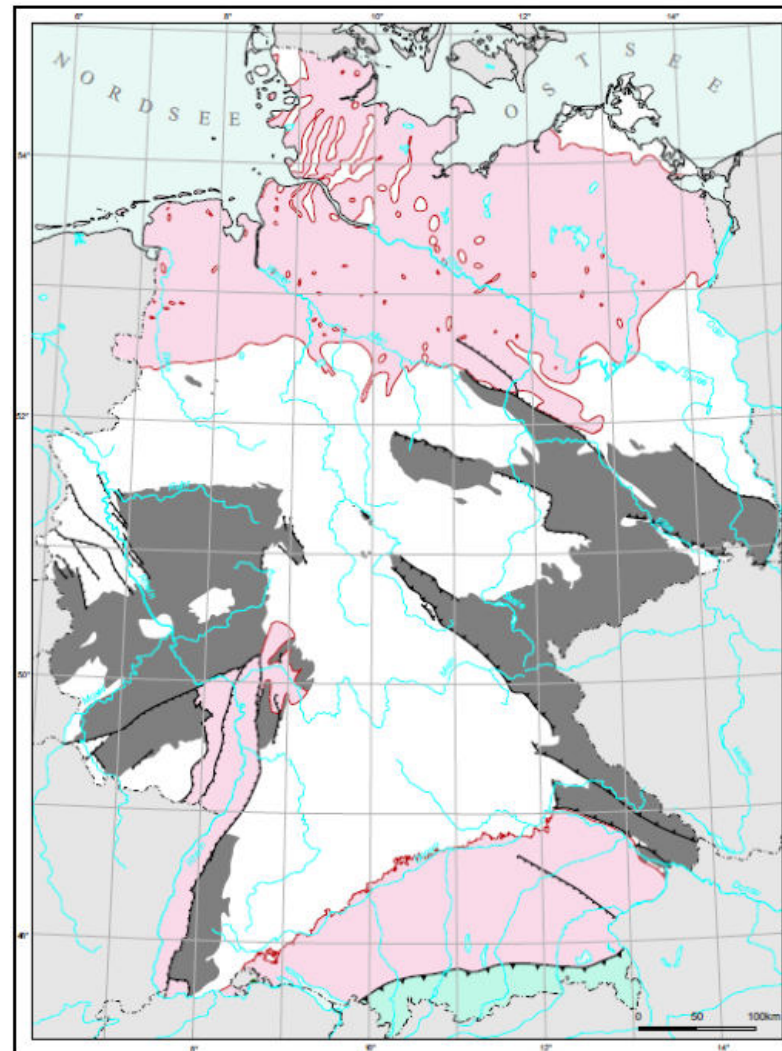


- überregionale Störungen
- Abschiebungen
- Aufschiebungen
- Tonformationen im Mittel- und Unterjura
- Opalinuston
- anstehendes Grundgebirge (einschließlich der Molasse des Permokarbons), z. T. unter känozoischer Bedeckung
- Alpenorogen

Kreide-Ton (100 Mio. Jahre)



Tertiär-Ton (30 Mio. Jahre)



- | | |
|-------------------------|--|
| Überregionale Störungen | wesentliche Tonformationen im Tertiär |
| Abschiebungen | anstehendes Grundgebirge (einschließlich der Molasse des Permokarbons), z. T. unter känozoischer Bedeckung |
| Aufhebungen | Alpenorogen |

Die Entsorgung wärmeentwickelnder radioaktiver Reststoffe ist ein komplexes Problem. Da sich die Erdoberfläche nach geologischen Maßstäben schnell verändert, wird die Tiefenlagerung als mögliche Langzeitlösung angesehen. Geologische Prozesse laufen im Vergleich zu gesellschaftlichen Prozessen langsam ab.

Die wichtigsten Grenzen der Aussagekraft der Geologie liegen im geringen Aufschlussgrad des Gebirges und in den Grenzen des aktualistischen Prinzips. Dazu kommt, dass im Falle eines menschlichen Eingriffs in den Untergrund die natürlichen Verhältnisse gestört werden.

Ein Tiefenlager soll die Radionuklide sicher für einen langen Zeitraum von der Biosphäre isolieren. Daraus erwachsen eine Reihe von Anforderungen: Ein mögliches Wirtsgestein soll nur geringe Durchlässigkeit aufweisen, die Einlagerung radioaktiver Reststoffe soll möglichst keine Schäden im Wirtsgestein verursachen, Hohlräume sollen eigentragfähig sein. Keines der möglichen Wirtsgesteine kann all diese Anforderungen in gleicher Weise gut erfüllen. So kann Steinsalz einen dichten Einschluss der Reststoffe in das Wirtsgestein durch seine Kriechfähigkeit sicherstellen, während Tongesteine durch ihre hohe spezifische Oberfläche Radionuklide bedingt sorbieren können und nur geringen Grundwassertransport zulassen. In kristallinen Hartgesteinen muss dagegen der Einschluss der Radionuklide allein durch (geo-)technische Barrieren sichergestellt werden. Dafür sind Hohlräume in kristallinen Hartgesteinen langzeitstabil, was Konzepte, die eine Rückholbarkeit der Reststoffe vorsehen, erleichtert. Ein Vergleich unterschiedlicher Konzepte in den Wirtsgesteinen ist nicht trivial, vor allem, wenn konkrete Standorte fehlen. Die generelle Gegenüberstellung ist jedoch möglich. Konkrete Nachweise zur Langzeitsicherheit eines Tiefenlagers sind nur standortspezifisch belastbar zu führen.

Chaudry, S., V. Mintzlaff, et al. (2016). Der Beitrag der Geologie zur Tiefenlagerung hoch radioaktiver Reststoffe, in: U. Smeddinck, S. Kuppler und S. Chaudry (Hrsg.), Inter- und Transdisziplinarität bei der Entsorgung radioaktiver Reststoffe.

Beim Blick in die geologische Zukunft begegnen wir einem Paradox: Was in der fernen Zukunft liegt, können wir bis zu einem gewissen Grad genauer erkennen als das, was sich unmittelbar vor uns befindet...

Anstatt in existenzielle Verzweiflung zu verfallen, weil es uns in einer Milliarde Jahre nicht mehr geben wird, sollten wir zumindest die kommenden Jahrhunderte für uns reklamieren.

Wenn ein Erwachsener mit Schulabschluss heute, im einundzwanzigsten Jahrhundert, nicht in der Lage ist, auf einer Weltkarte die Kontinente zu bezeichnen, zeigen wir uns schockiert, sind aber ziemlich schmerzfrei, was die Unkenntnis selbst der gängigsten Höhepunkte in der langen Geschichte des Planeten anbelangt (mhm, Beringsstraße...Dinosaurier..Pangaea?).

Geologie wäre vollkommen in die naturwissenschaftlichen Lehrpläne integriert und würde womöglich als Brückenfach dienen, in dem Schüler und Schülerinnen physikalische, chemische und biologische Prinzipien auf das immens komplexe System der Erde anwenden könnten.

Bjornerud, M.(2020). Zeitbewusstheit - Geologisches Denken und wie es helfen könnte, die Welt zu retten.