CO_2 - Verpressung:
Beitrag zum Klimaschutz oder zur Umweltzerstörung?

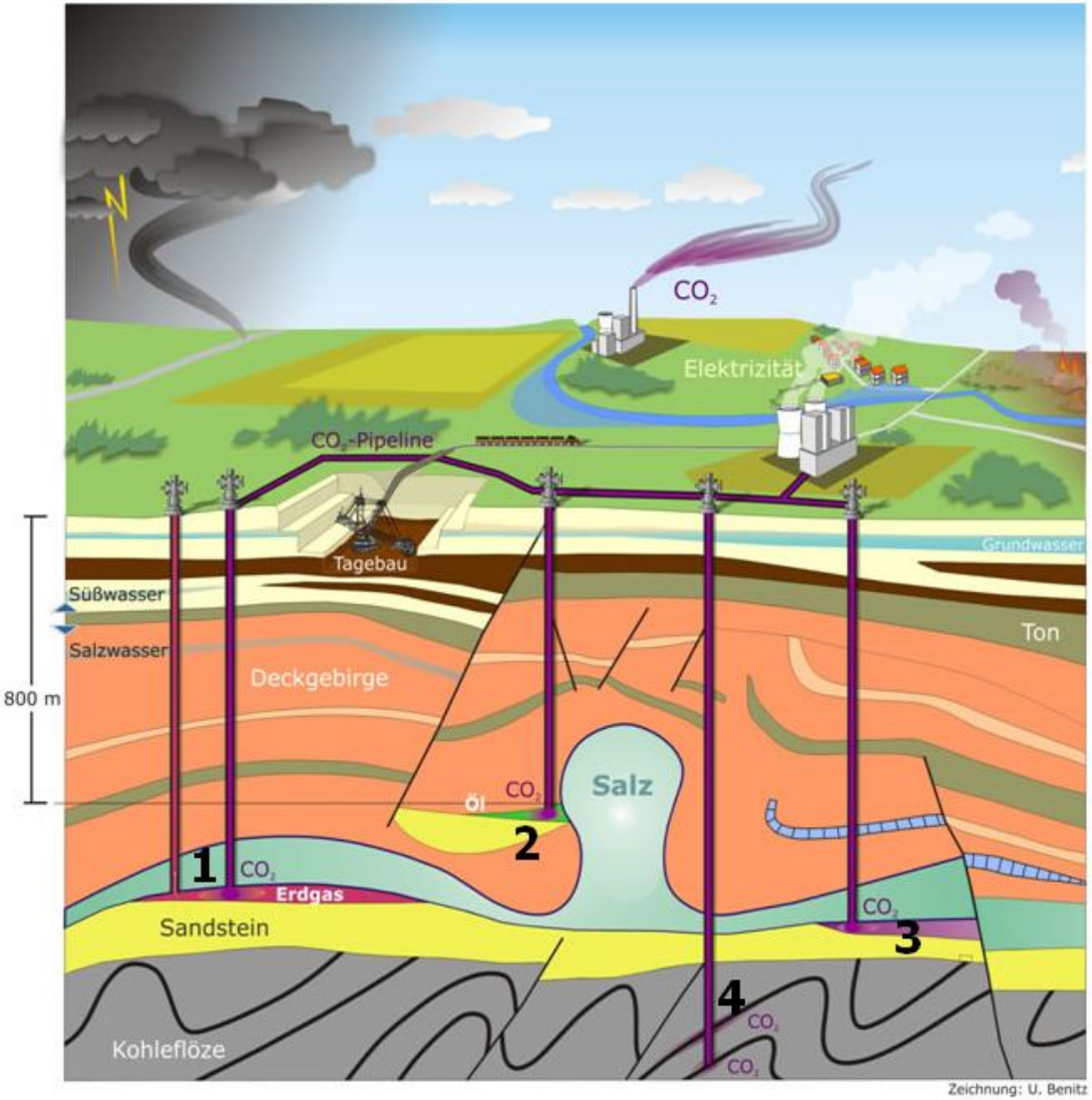
Dr.habil Ralf E. Krupp

Wriezen, 13. Mai 2011

Bild: http://green.blogs.nytimes.com/tag/poland/

Dr. habil. Ralf E. Krupp

SPEICHER-TYPEN



Schematische Darstellung der unterschiedlichen Speichertypen für CCS.

1 – Einspeicherung in Erdgasfeld, Enhanced Gas Recovery (EGR)

2 – Einspeicherung in Erdölfeld, Enhanced Oil Recovery (EOR)

3 – Einspeichrung in salinen Aquifer

4 – Einspeicherung in Kohleflöze

Quelle: BGR (2010), Nummern ergänzt.

CCS-EFFIZIENZ #1: KOHLEBERGBAU

- Deutscher Kohlebergbau verbraucht ca. 9 Prozent des aus Kohle erzeugten Stroms selbst.
- Kohlebergbau verursacht Methan-Emissionen (0,3 bis 2,2 m^3 CH4 pro Tonne)

Braunkohle-Tagebau Garzweiler
Bild: http://www.bildschirmhintergruende.de/Bildschirmhintergrund_Garzweiler.php

CCS-EFFIZIENZ #2: CO2-ABSCHEIDING

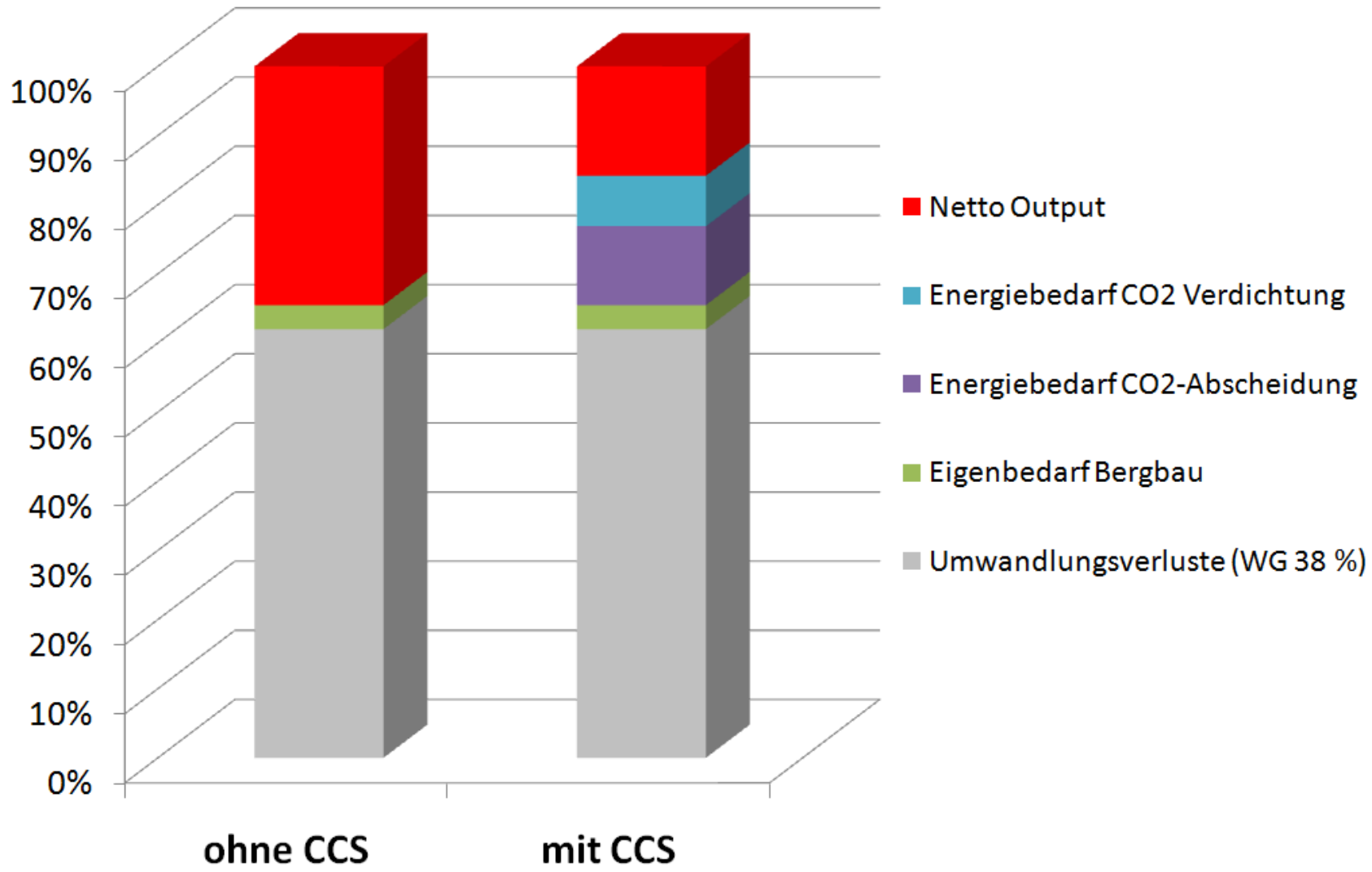
Schwarze Pumpe CCS-Pilot-Anlage
Bild: http://www.vorwaerts.de/artikel/ccs-kann-2020-serienreif-sein

CCS-EFFIZIENZ #3: CO2-VERDICHTUNG

CO2-Verdichtung und Pipeline-Transport verbrauchen ca.19 Prozent des erzeugten Stroms selbst.

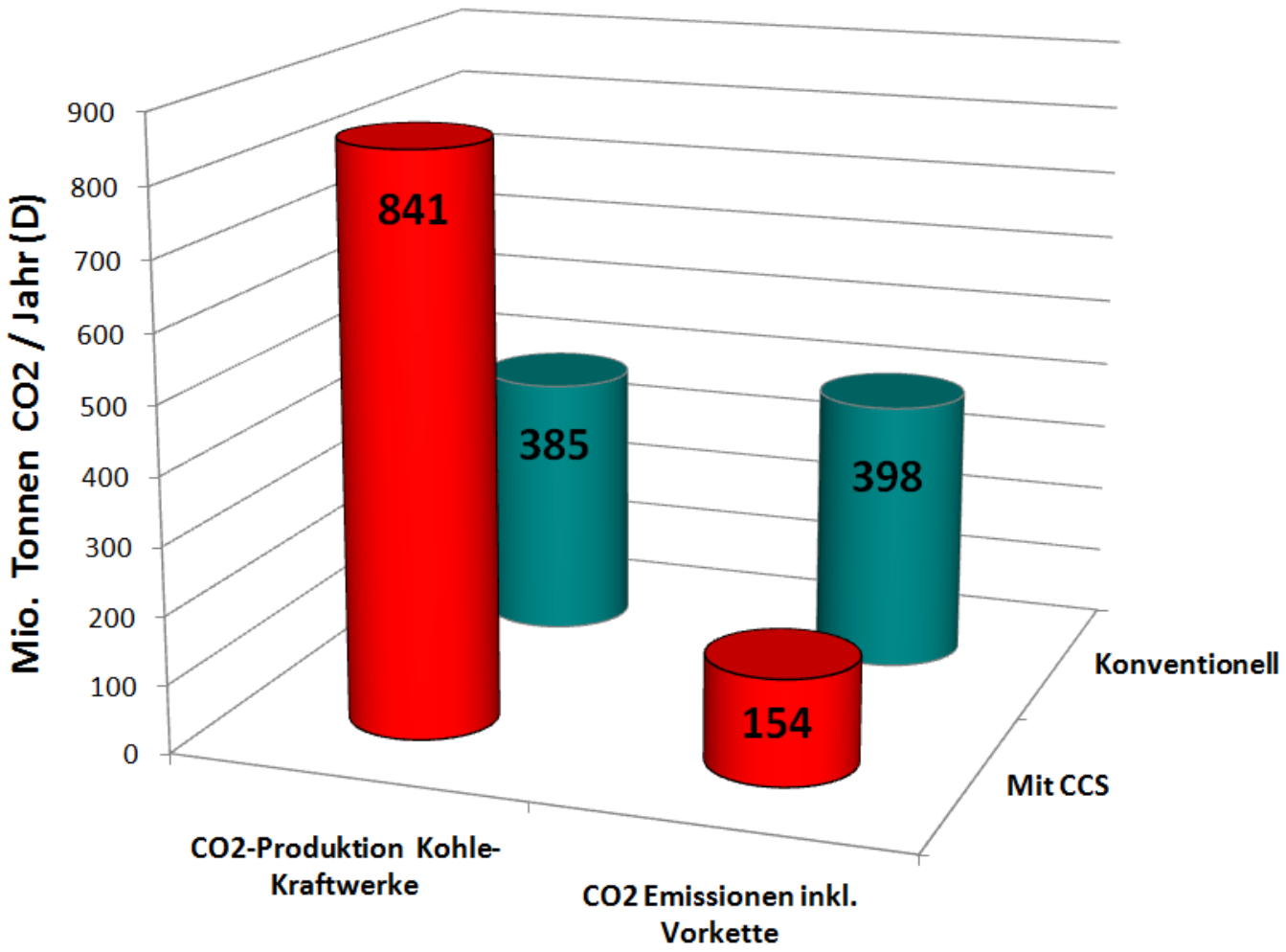
Snøhvit CO2-Verdichteranlage Hammerfest
Bild: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/98/Melk%C3%B8ya_winter4.jpg

ENERGIE-EFFIZIENZ EINES BRAUNKOHLE-KRAFTWERKS OHNE UND MIT CCS BEZOGEN AUF DEN PRIMÄRENERGIE-EINSATZ



Dr. habil. Ralf E. Krupp

VERGLEICH DER CO2-BILANZEN



➔ Effektiv werden nicht 80 bis 90 %, sondern nur ca. 61 % weniger Treibhausgase (CO2(eq) emittiert.

Dr. habil. Ralf E. Krupp

KLIMAWIRKSAMKEIT VON CCS

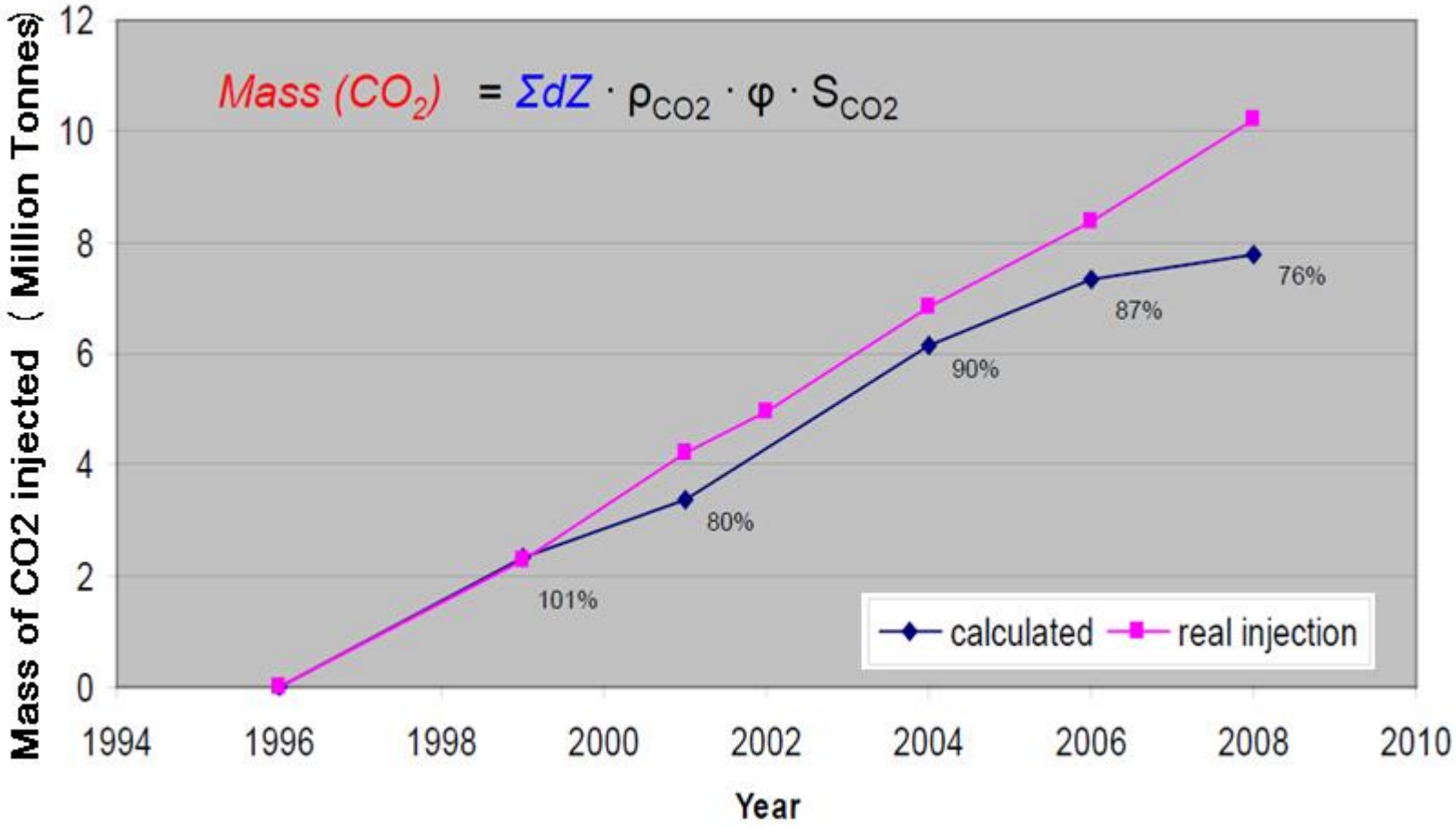
- Abscheidegrade für CO2: 80 bis 90 Prozent
- Gleiche Netto-Stromerzeugung: 2,2-facher Kohlebedarf !
- Methan-Emissionen durch Kohlebergbau
- Effektiv werden durch CCS nicht ***80*** bis ***90 %***, sondern ***nur ca. 61 %*** weniger Treibhausgase ($CO_{2(eq)}$) emittiert !

Dr. habil. Ralf E. Krupp

WEYBURN. GAS-AUSTRITTE

Dr. habil. Ralf E. Krupp

SLEIPNER CCS PROJEKT

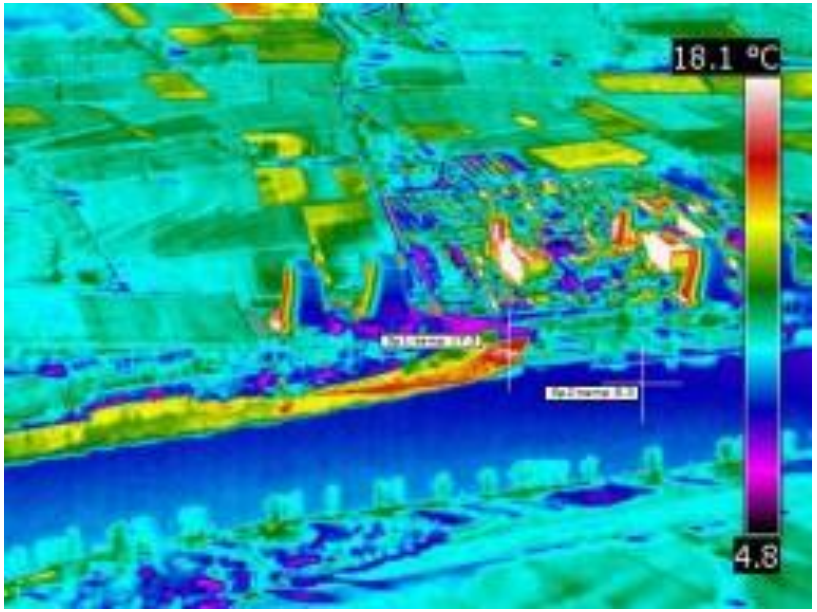


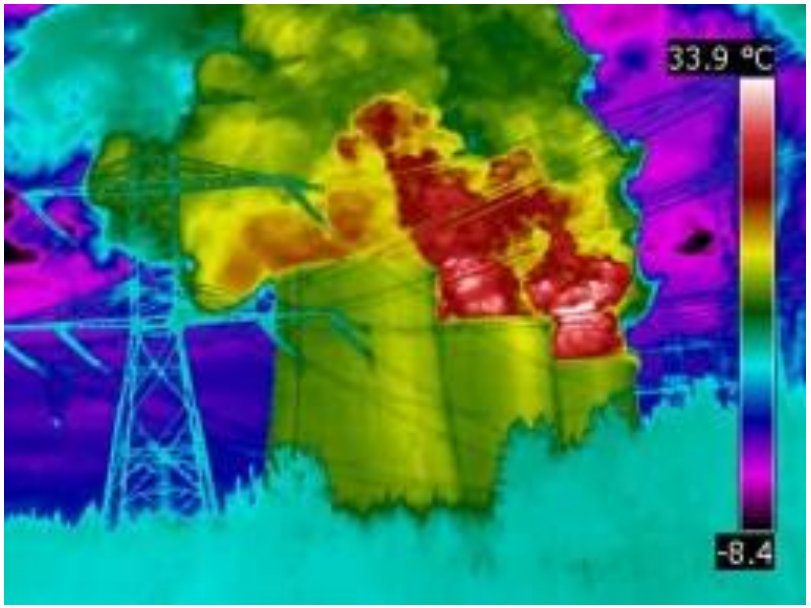
Vergleich der seit 1996 tatsächlich injizierten CO_2-Mengen mit den auf Grundlage seismischen Monitorings wieder gefundenen CO_2-Mengen.

(Arts et al., 2010)

Höherer Kohle-Verbrauch für CCS führt zu proportional:

- Höherem Kühlwasserbedarf der Kraftwerke.
- Schneller wachsenden und größeren Kohle-Tagebauen und Kippen.
- Stärkeren Grundwasserschäden durch Wasserhaltung, Versauerung und Schadstoff-Mobilisation.
- Mehr Kraftwerksabfällen (Rauchgasreinigungs-Rückstände, Flugstäube, Kraftwerksaschen).





Bildquelle: http://www.baubiologie-bremerhaven.de/html/ir_-_bilder.html

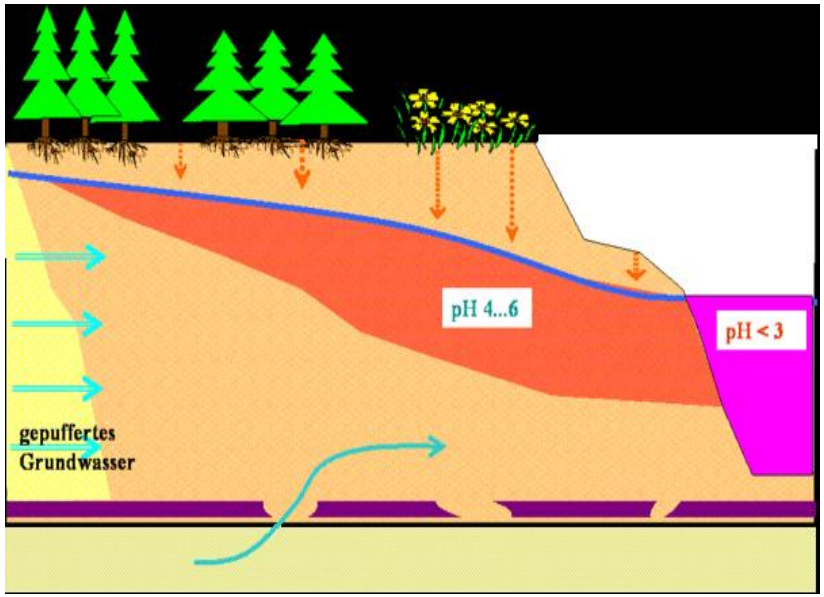
Höherer Kohle-Verbrauch für CCS führt zu proportional:

- Höherem Kühlwasserbedarf der Kraftwerke.
- Schneller wachsenden und größeren Kohle-Tagebauen und Kippen.
- Stärkeren Grundwasserschäden durch Wasserhaltung, Versauerung und Schadstoff-Mobilisation.
- Mehr Kraftwerksabfällen (Rauchgasreinigungs-Rückstände, Flugstäube, Kraftwerksaschen).

Bildquellen:
http://www.welt.de/wirtschaft/article5530001/RWE-bangt-um-seine-Braunkohlekraftwerke.html
http://de.wikipedia.org/wiki/Absetzer

Höherer Kohle-Verbrauch für CCS führt zu proportional:

- Höherem Kühlwasserbedarf der Kraftwerke.
- Schneller wachsenden und größeren Kohle-Tagebauen und Kippen.
- Stärkeren Schäden durch Wasserhaltung, Versauerung und Schadstoff-Mobilisation.
- Mehr Kraftwerksabfällen (Rauchgasreinigungs-Rückstände, Flugstäube, Kraftwerksaschen).



Bildquellen:
http://abenteuerwissen.zdf.de/ZDFde/s_img/12/0,6992,7030668-render-A6-,00.jpg
http://de.wikipedia.org/wiki/Bergbaubedingte_Versauerung_von_Grund-_und_Oberfl%C3%A4chenwasser

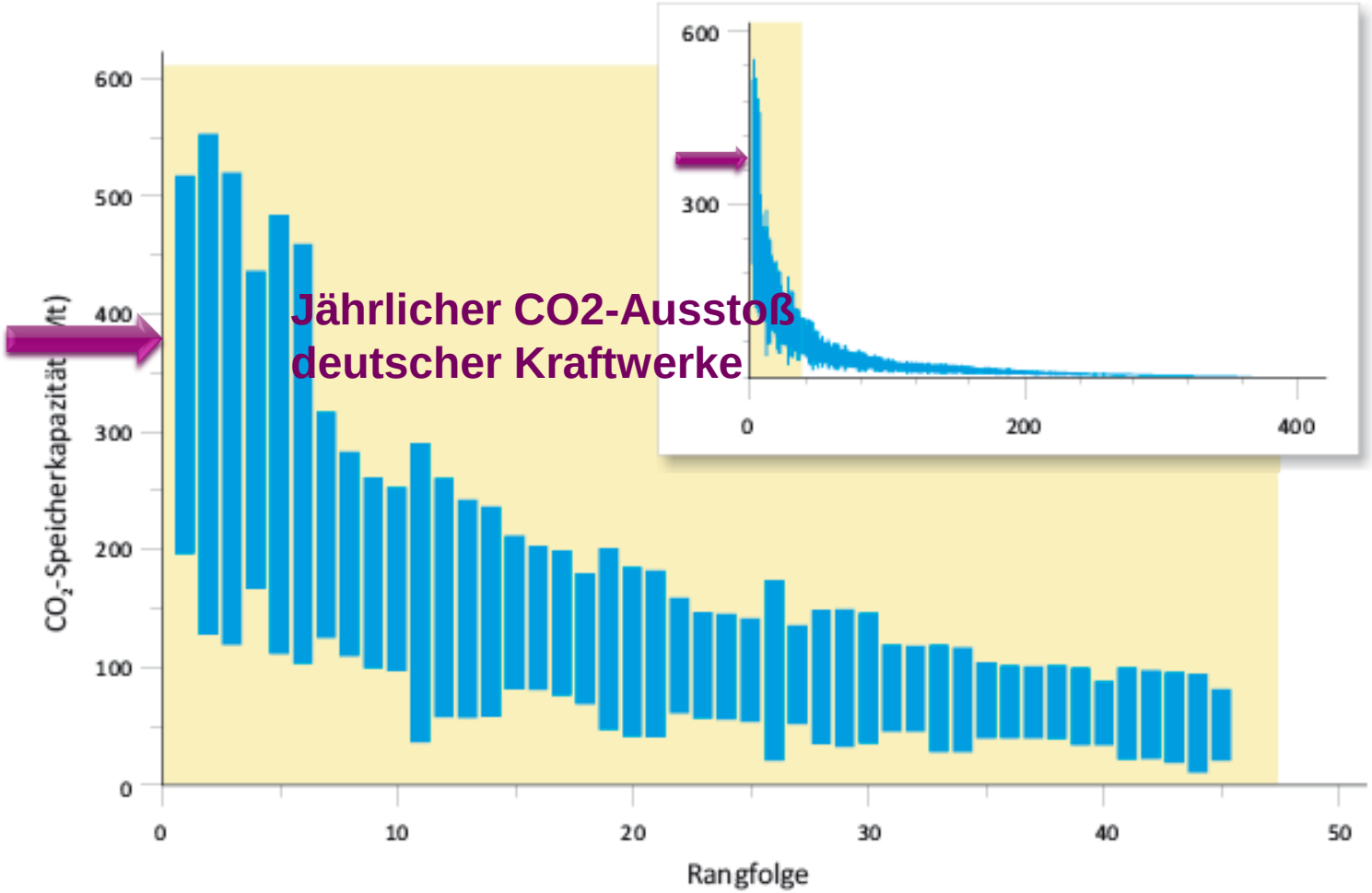
Höherer Kohle-Verbrauch für CCS führt zu proportional:

- Höherem Kühlwasserbedarf der Kraftwerke.
- Schneller wachsenden und größeren Kohle-Tagebauen und Kippen.
- Stärkeren Grundwasserschäden durch Wasserhaltung, Versauerung und Schadstoff-Mobilisation.
- Mehr Kraftwerksabfällen (Rauchgasreinigungs-Rückstände, Flugstäube, Kraftwerksaschen).

Bildquellen:
http://www.naturschatz.org/gips/hg-reagips.htm
http://www.lmbvinternational.de/refd_halde_terpe.htm

Dr. habil. Ralf E. Krupp

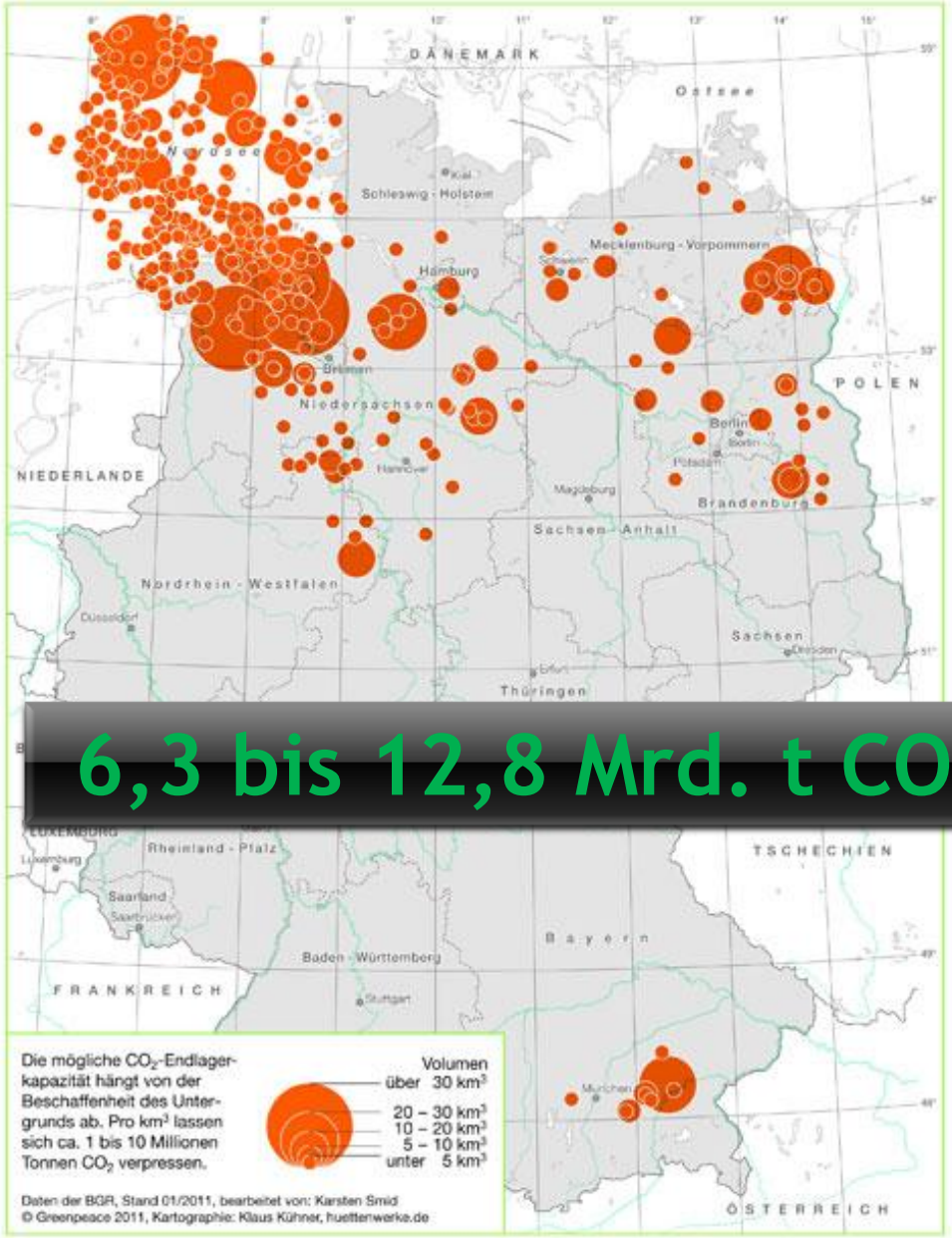
RANGFOLGE DER 45 SPEICHER MIT EINEM MEDIANWERT VON MINDESTENS 50 MIO. T ALS TEILMENGE ALLER UNTERSUCHTEN 408 SPEICHER



BGR (2010) ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE TAGESFRAGEN 60. Jg. Heft 4

Dr. habil. Ralf E. Krupp

SALINE AQUIFERE.
WICHTIGE STANDORTE



- Deutscher Nordseesektor (**7**)

- Uplengen (Ostriesland)
- Spiekeroog
- Westerstede
- Jericho (Wesermarsch)
- Brake (Wesermarsch)
- Brake-Rastede (Wesermarsch)
- Großenkneten (Oldenburg)

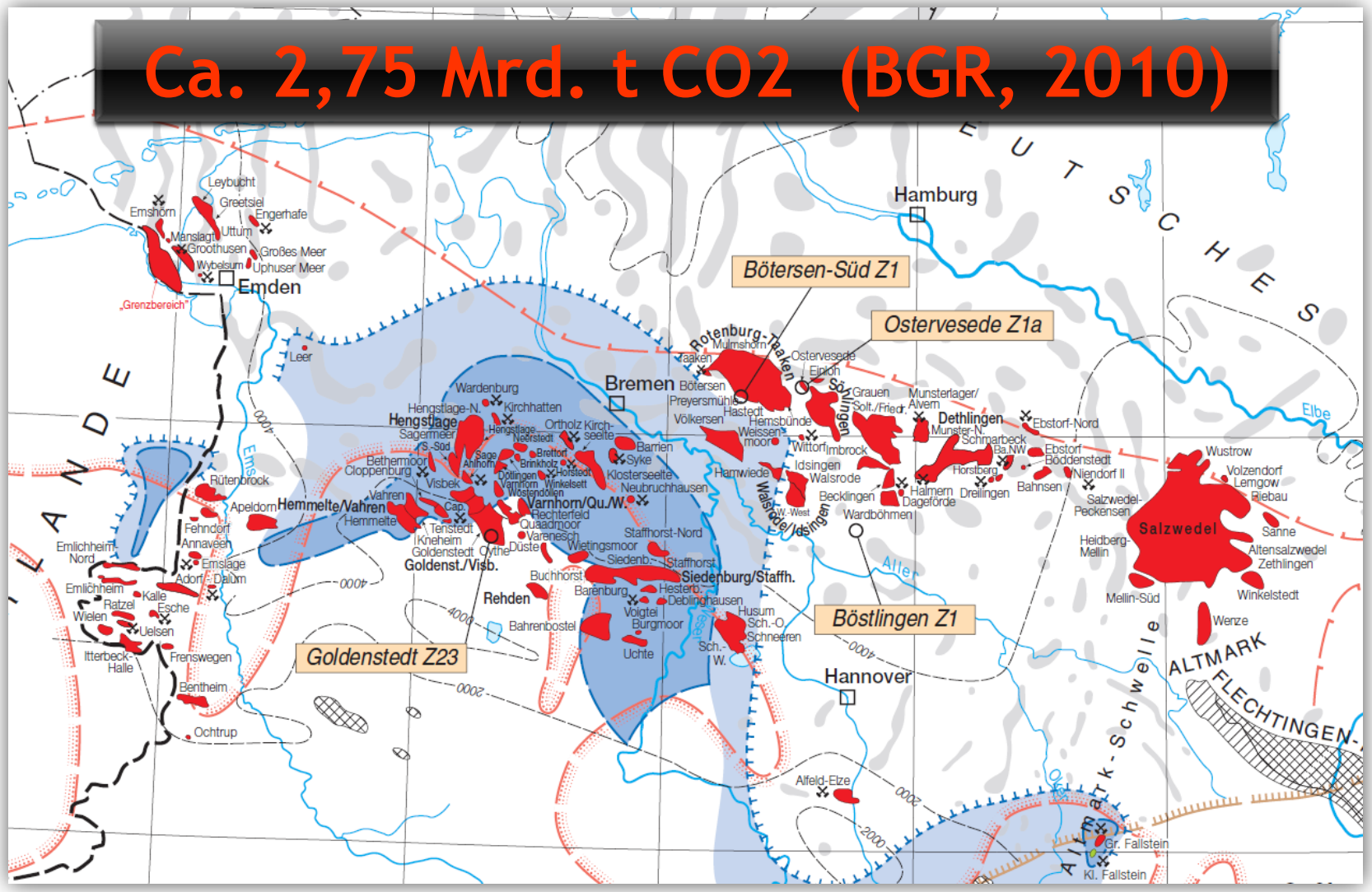
6,3 bis 12,8 Mrd. t CO2 (BGR, 2010)

- Steinhorst (Gifhorn)
- Schweinrich (Wittstock/Dosse) **?**
- Jatznick (Uecker-Randow)
- Löcknitz (Uecker-Randow)
- Streganz (Königs-Wusterhausen)

- Waldkraiburg (Bayern)

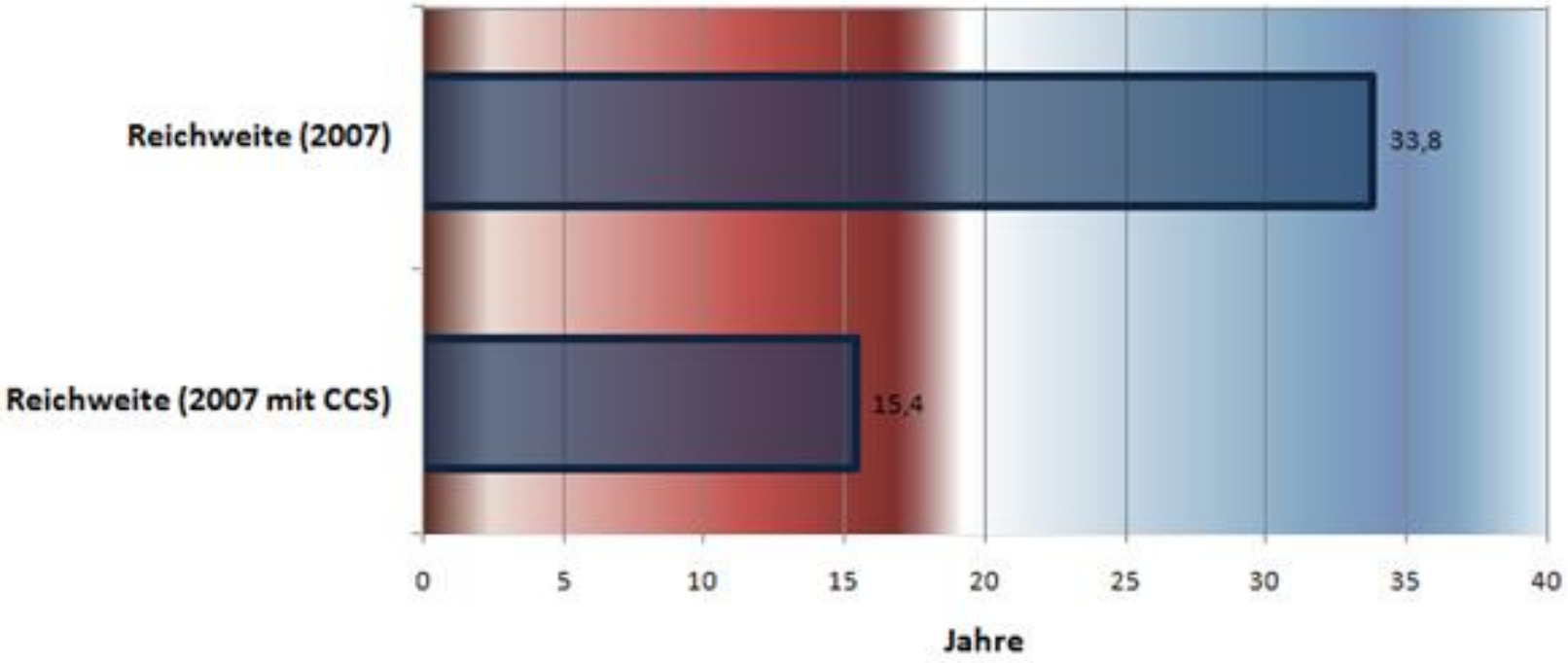
SPEICHERKAPAZITÄTEN IN ERDGASFELDERN

(LBEG,2009)



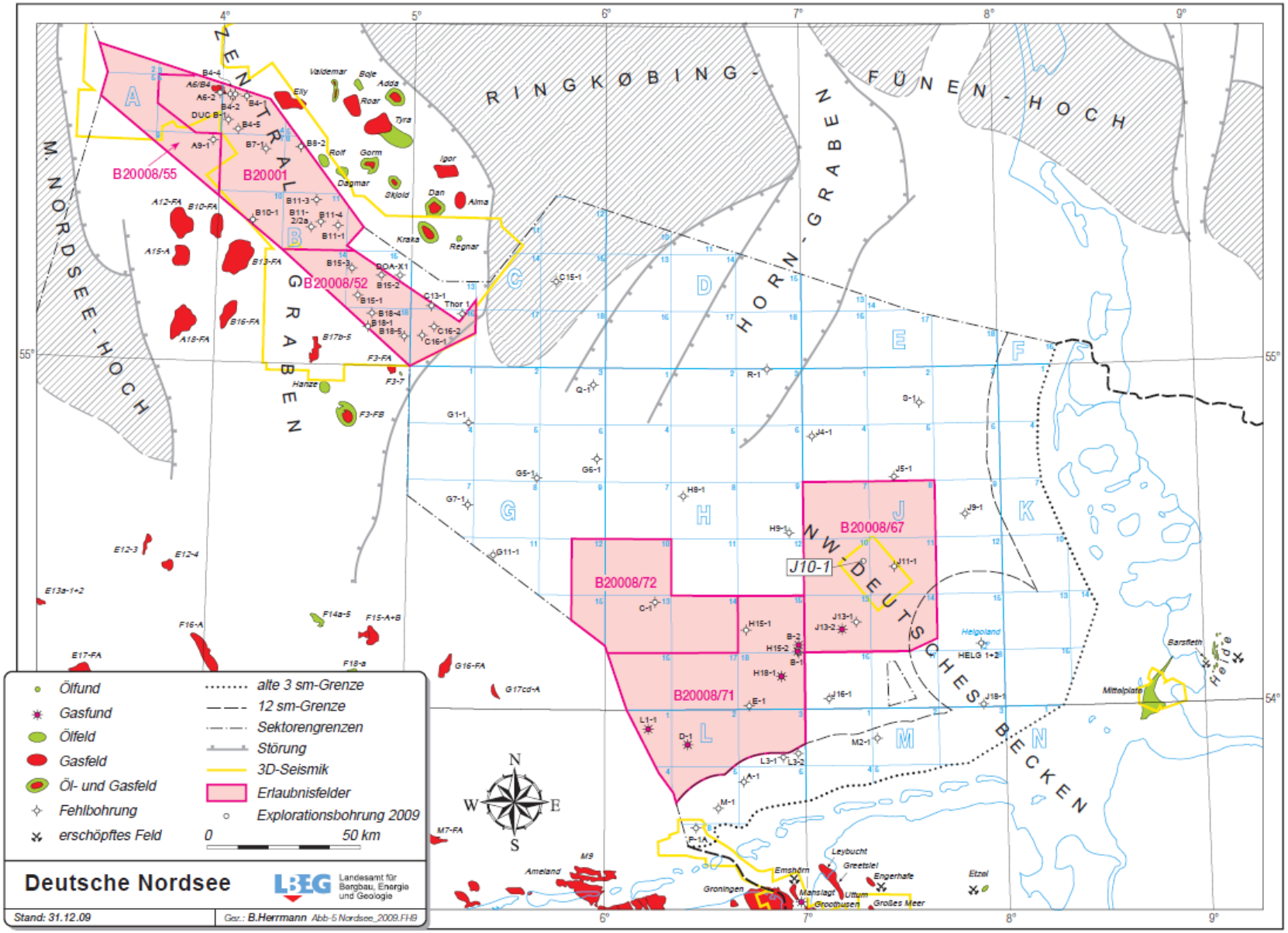
Dr. habil. Ralf E. Krupp

REICHWEITE DER DEUTSCHEN CCS - SPEICHERKAPAZITÄTEN



Dr. habil. Ralf E. Krupp

NUTZUNGSKONFLIKTE



Dr. habil. Ralf E. Krupp

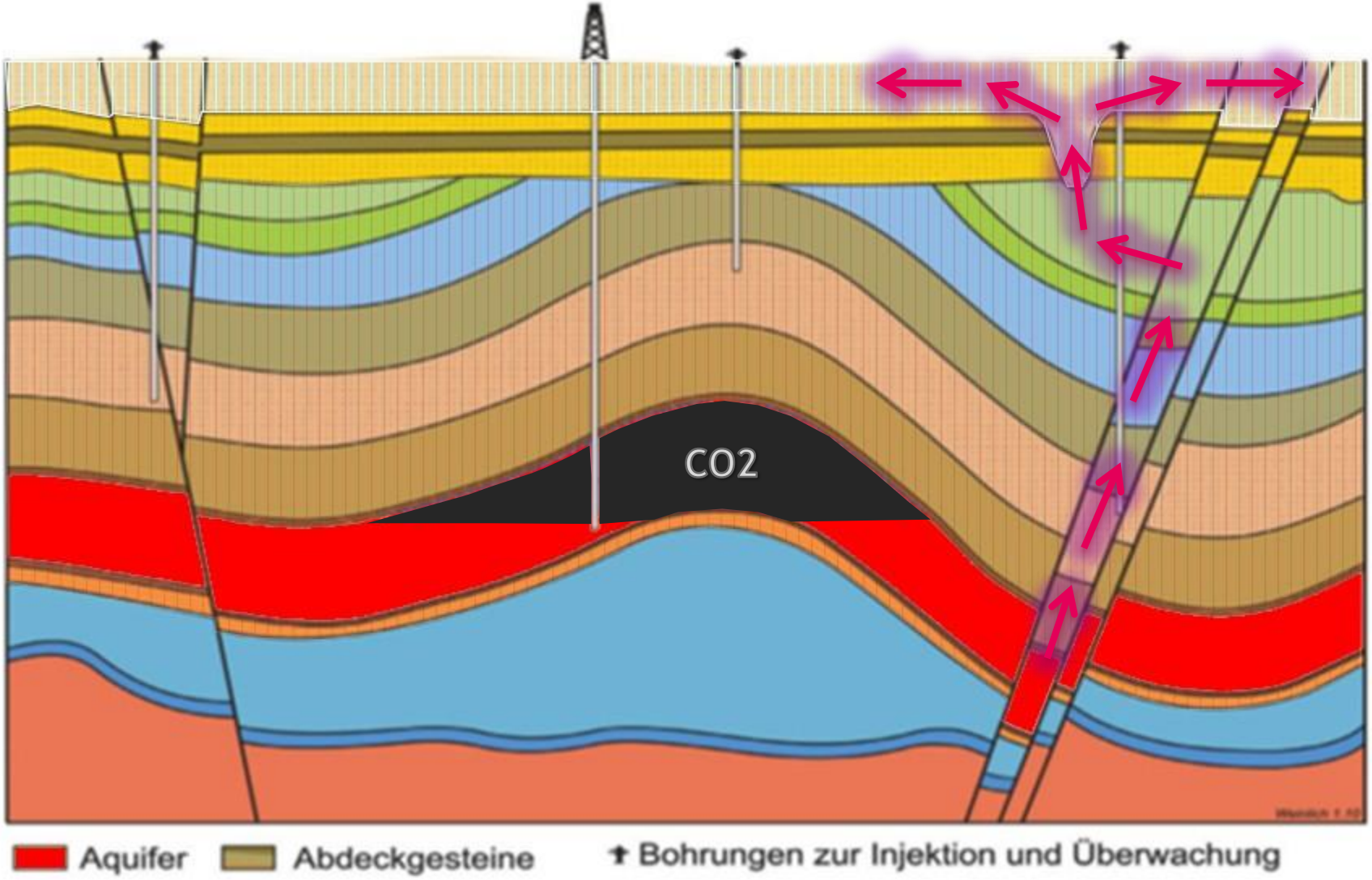
RAUMSCHAFFUNG IM AQUIFER

- Kompression des Formationswassers
- Dehnung des Speichers
- Verdrängung des Formationswassers

- Kompressibilität zu gering: (50 m^3 pro 1 Mio. m^3 pro bar), Effekt temporär
- Erfordert unzulässig hohe Drücke
- Einzig relevanter Mechanismus:
  1 m^3 Wasser pro 0,6 t CO2

Dr. habil. Ralf E. Krupp

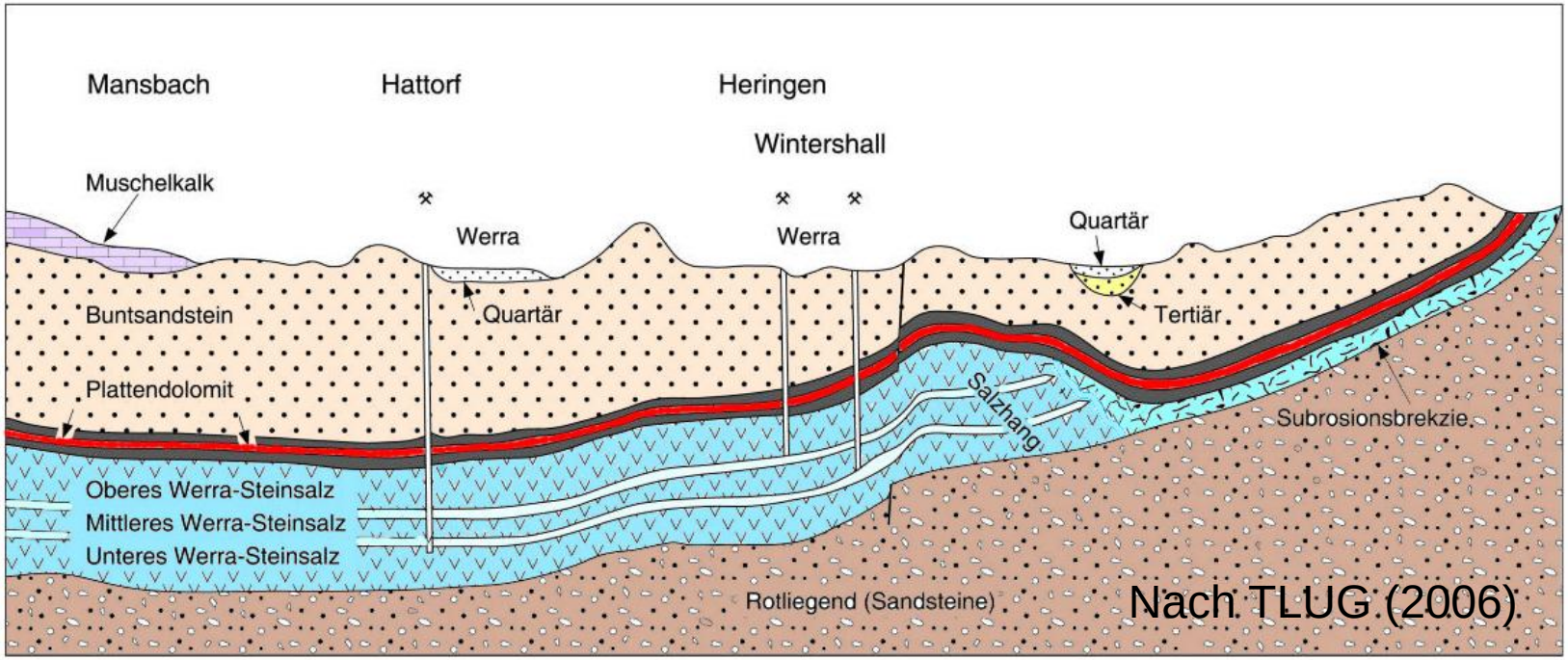
SICHERHEIT VON CO2-SPEICHERN # 2 : VERSALZUNG DURCH VERDRÄNGTES FORMATIONSWASER



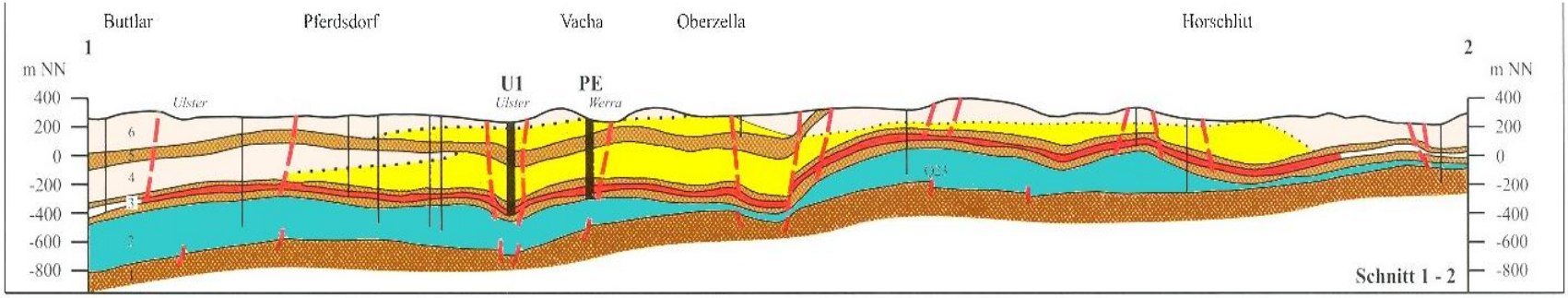
Bildvorlage: BGR

Dr. habil. Ralf E. Krupp

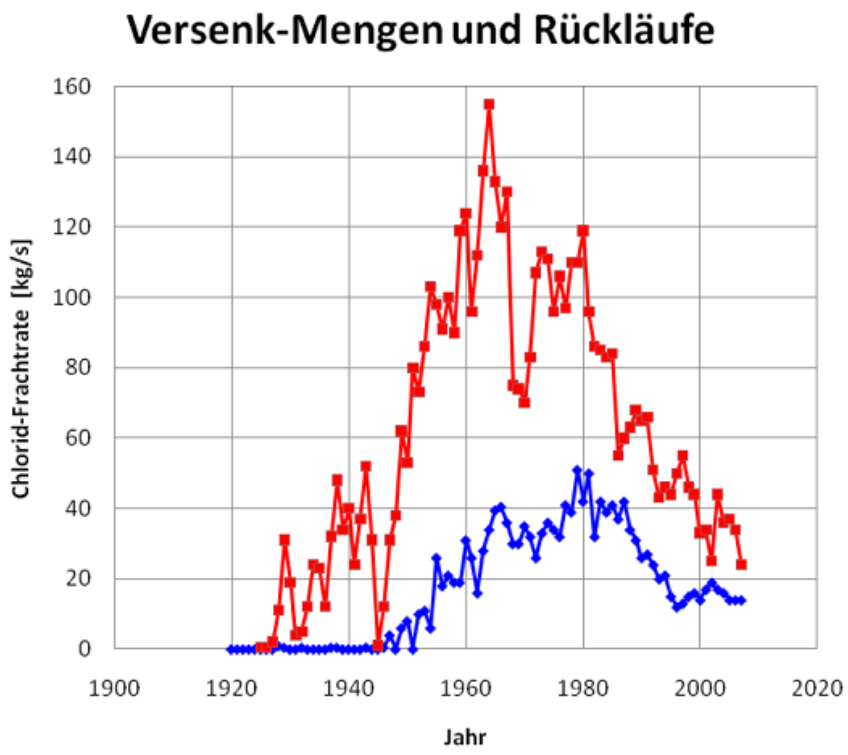
GRUNDWASSERVERSALZUNG DURCH VERSENKTE KALIABWÄSSER IM PLATTENDOLOMIT, HESSEN UND THÜRINGEN

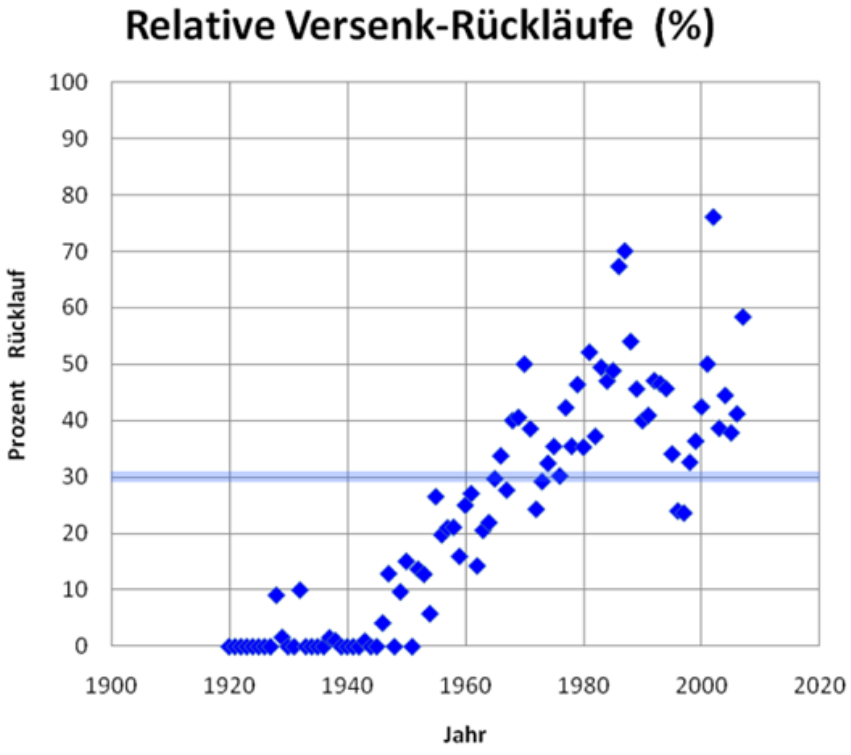


Nach TLUG (2006)



Nach Käbel (2006)



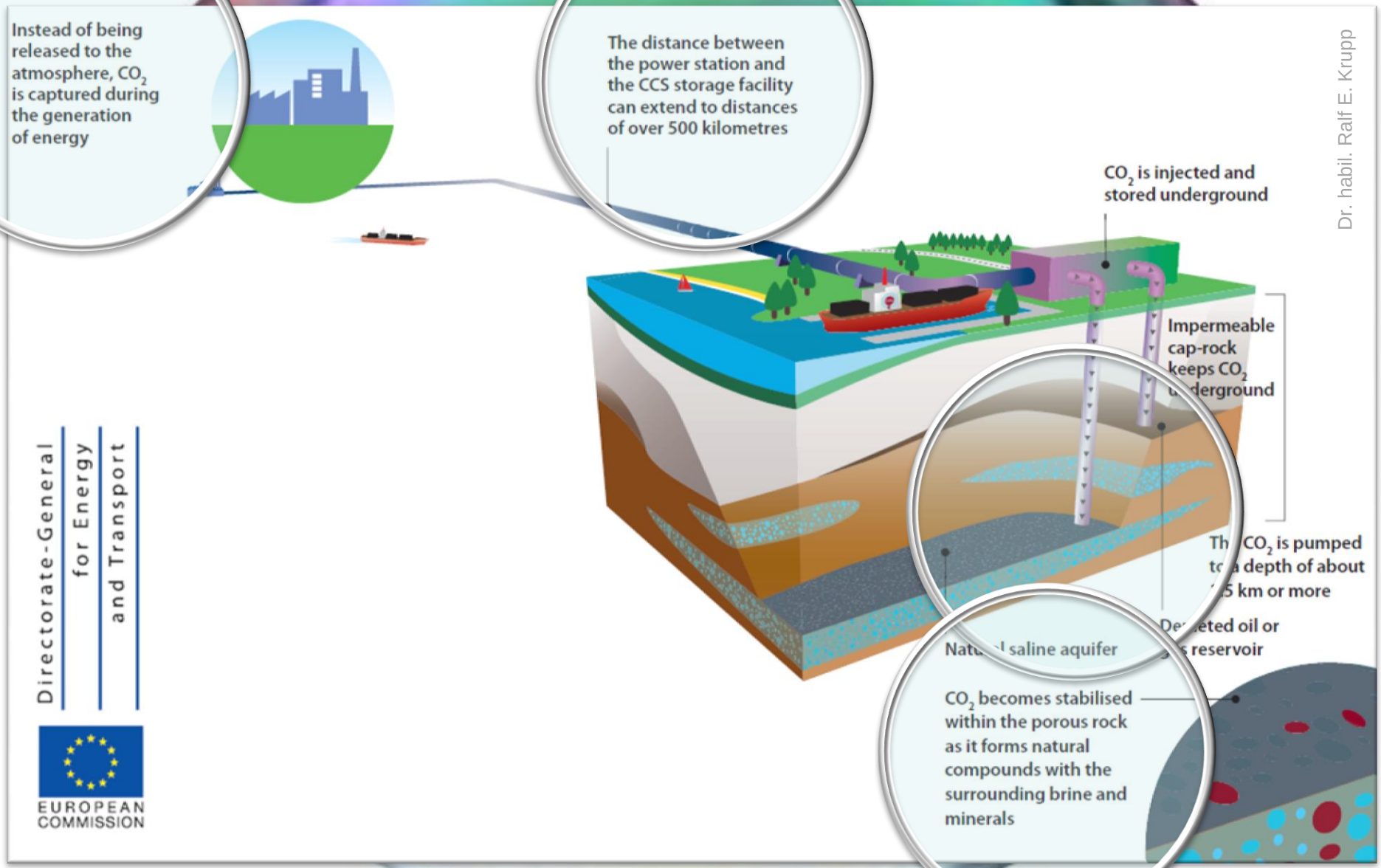


Versenkte Abwassermengen und Rückläufe im Werra-Kaligebiet.
Linkes Diagramm: Die rote Kurve stellt die Versenk-Raten (in kg Cl/s) seit 1925 im Versenk-Gebiet dar, während die blaue Kurve die Chlorid-Rückläufe (in kg Cl/s) darstellt.
Rechtes Diagramm: Prozentualer Anteil der Rückläufe an den versenkten Chlorid-Frachten (aus dem linken Diagramm) für den gleichen Zeitraum.

Quelle: Krupp (unveröffentlicht)

Dr. habil. Ralf E. Krupp

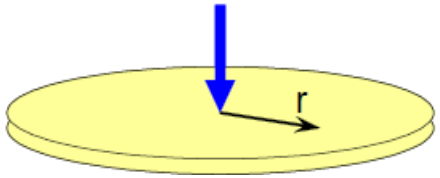
CCS .. WUNSCH UND WIRKLICHKEIT



Dr. habil. Ralf E. Krupp

Tab. 5.5 Parameter und Ergebnisse für den Referenzfall und die 2D-Varianten

2D-model



Norddeutschland: $5 \cdot 10^{-6}$ m/s

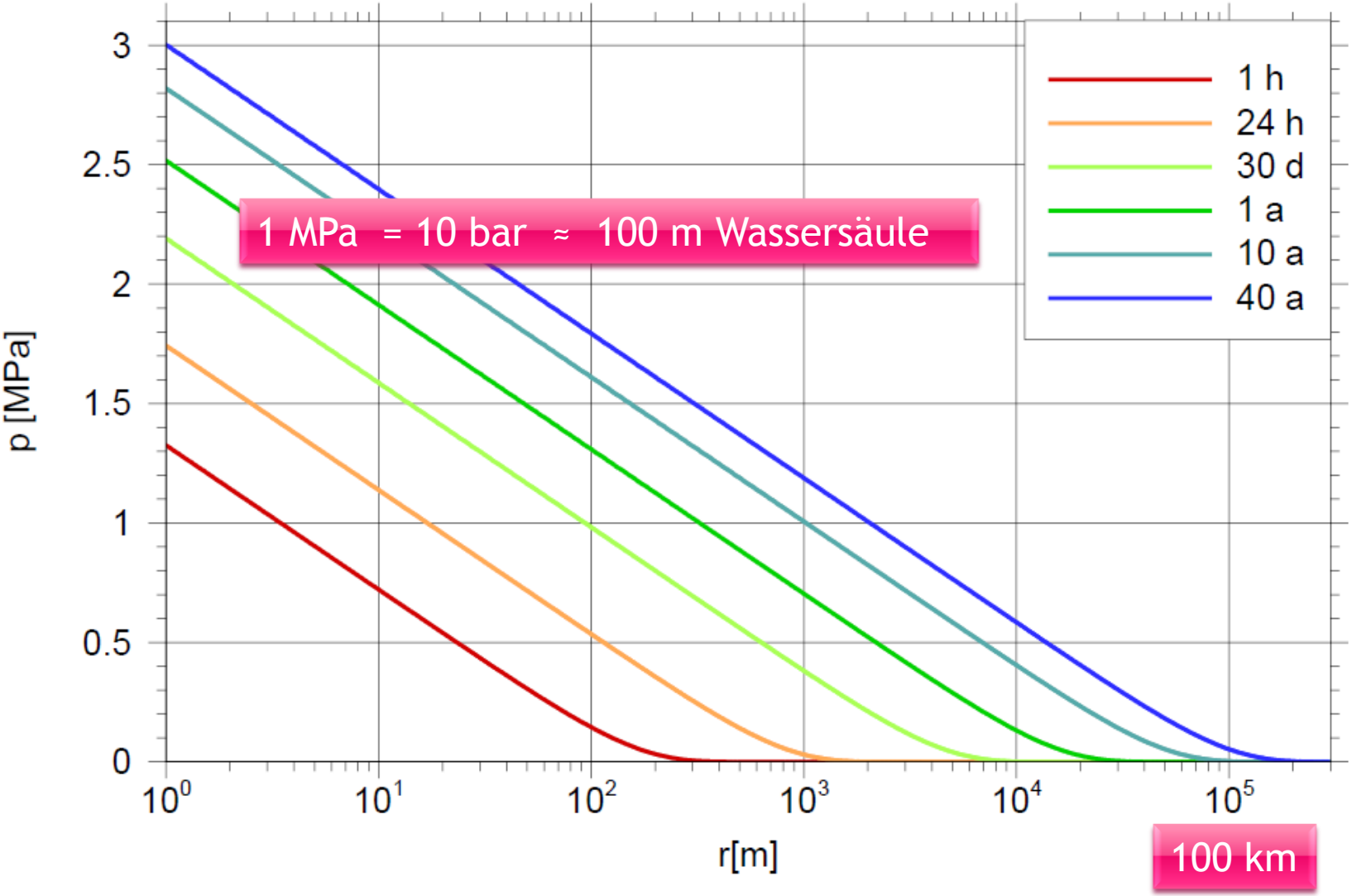
Entspricht 10 Mio. t /a CO2

Norddeutschland: ≈20m

	Ref.fall	Varianten					
		1a	1b	2	3	4a	4b
Hydraulische Leitfähigkeit [10^{-5} m/s]	1,5	0,15	0,015				
Spezifischer Speicherkoeffizient [10^{-6} 1/m]	5				1		
Einstromrate [m³/s]	0,466			0,047			
Aquiferdicke [m]	200					100	40
Erforderlicher Injektionsdruck [MPa]	3,0	27	240	0,30	3,3	6,0	15
Einflussbereich [km]	75	51	23	2	236	102	136

GRS (2009)

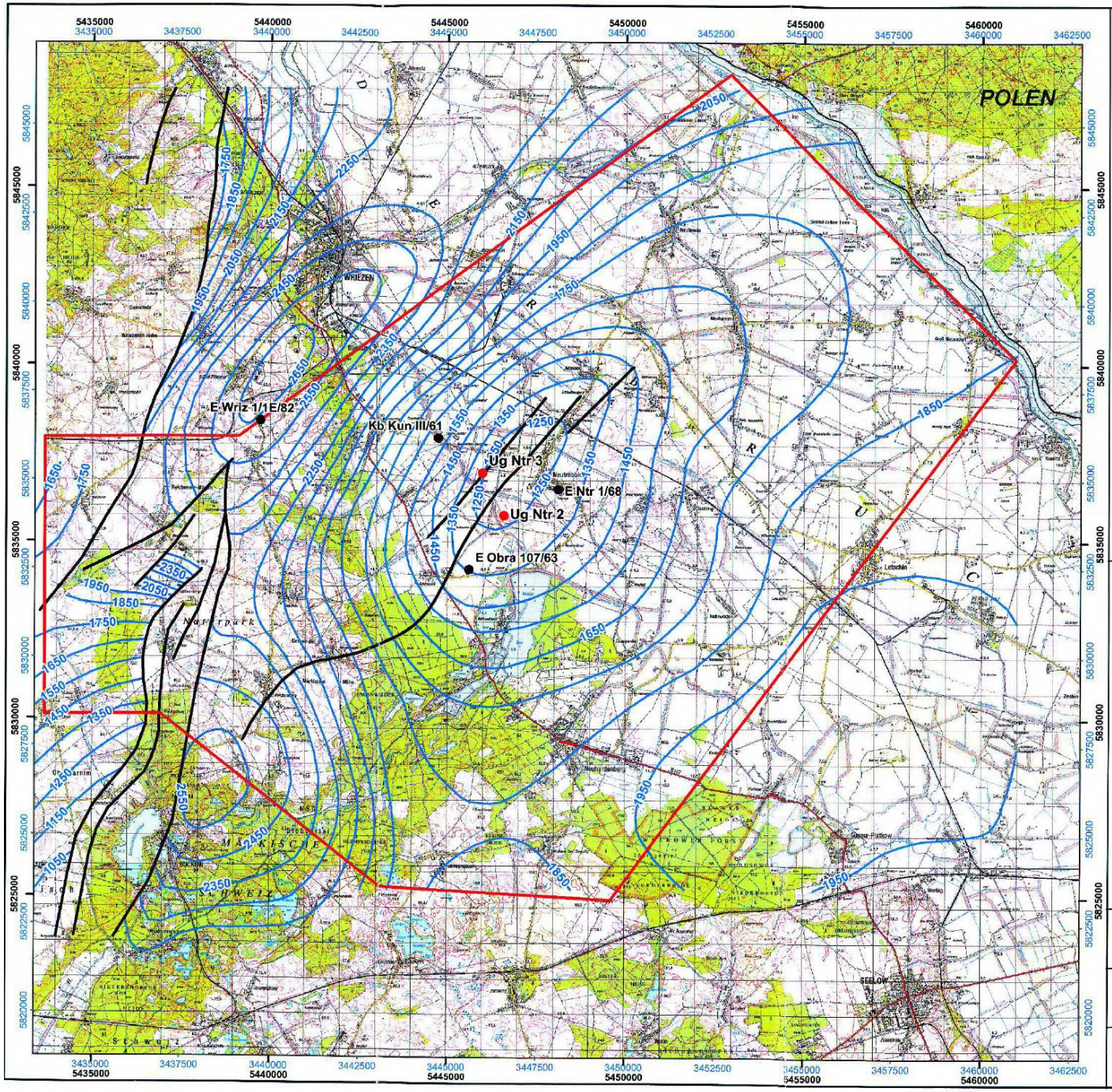
Dr. habil. Ralf E. Krupp



Zeitliche Entwicklung des Überdrucks p als Funktion der radialen Distanz r von der Injektionsstelle im Referenzfall.

Nach GRS (2009)

Dr. habil. Ralf E. Krupp



Legend

- Neubohrungen
- Altbohrungen
- Isobathen Detfurth
- Störungen Detfurth
- Erlaubnisfeld

Topographische Grundlage

Topographische Übersichtskarte 1 : 50 000
Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg

Geodätische Grundlage

ETRS89 - Brandenburg	3415000	Rechtswert [m]
Datum GRS 1980	5805000	Hochwert [m]
Gauß-Krüger	3415000	Rechtswert [m]
RD 83	5805000	Hochwert [m]

Geologische Daten

verändert nach REINHARDT H.-G. et al. (1986-1989): Regionales geophysikalisches Kartenwerk der DDR, Tiefenlinienkarten der Rx-Horizonte.– VEB Geophysik, Leipzig

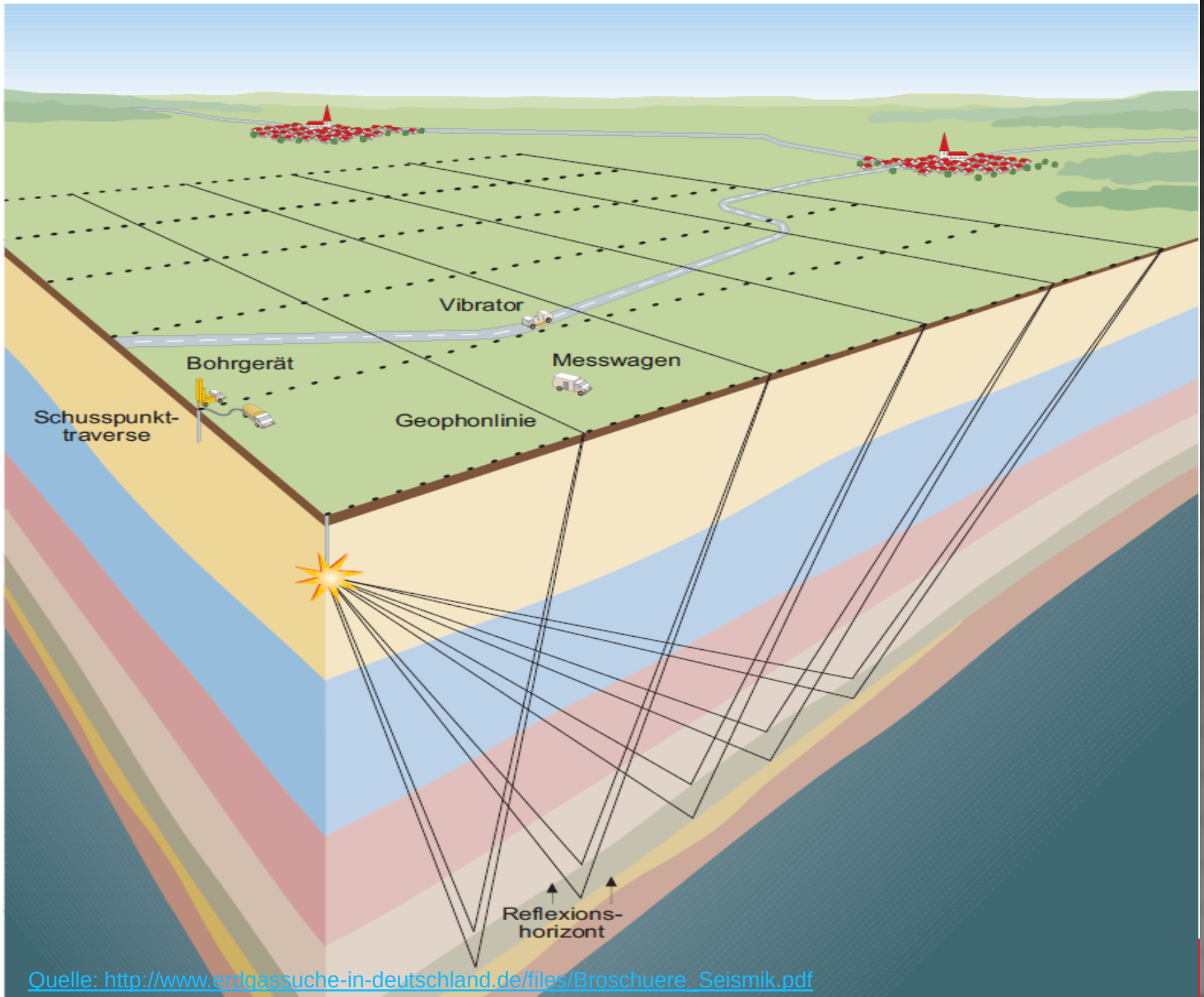
Maßstab 1 : 110 000

0 1 2 3 4 5 6 7 km

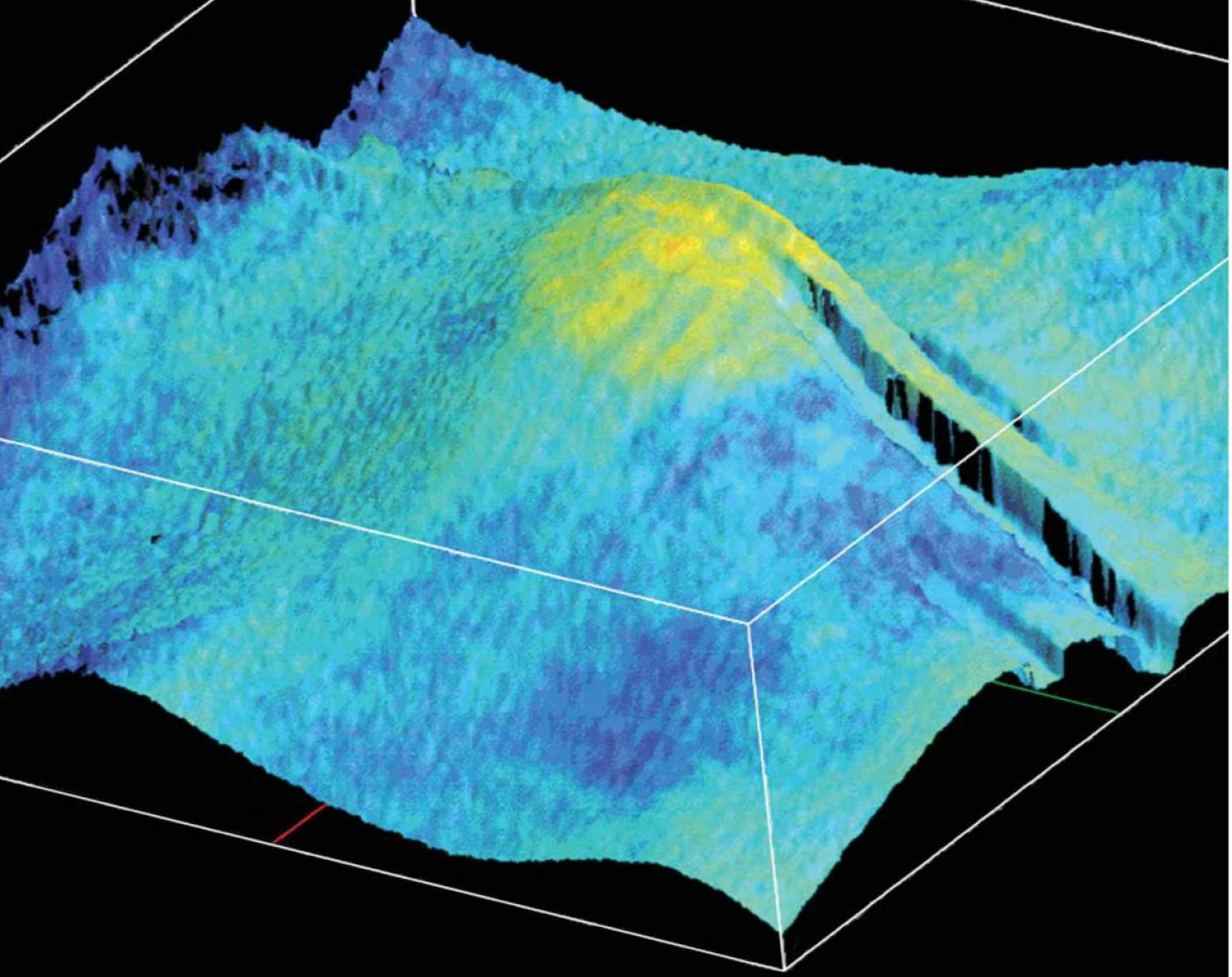
Dokument	Antrag auf Erlaubnis von Aufsuchungsarbeiten auf den Bergfreien Bodenschatz Sole der Struktur Neutrebbin
Anlage 4	Übersichtskarte Isobathen Detfurth-Sandstein Neutrebbin
Ort, Datum	Mittenwalde, März 2009

UGS

Dr. habil. Ralf E. Krupp

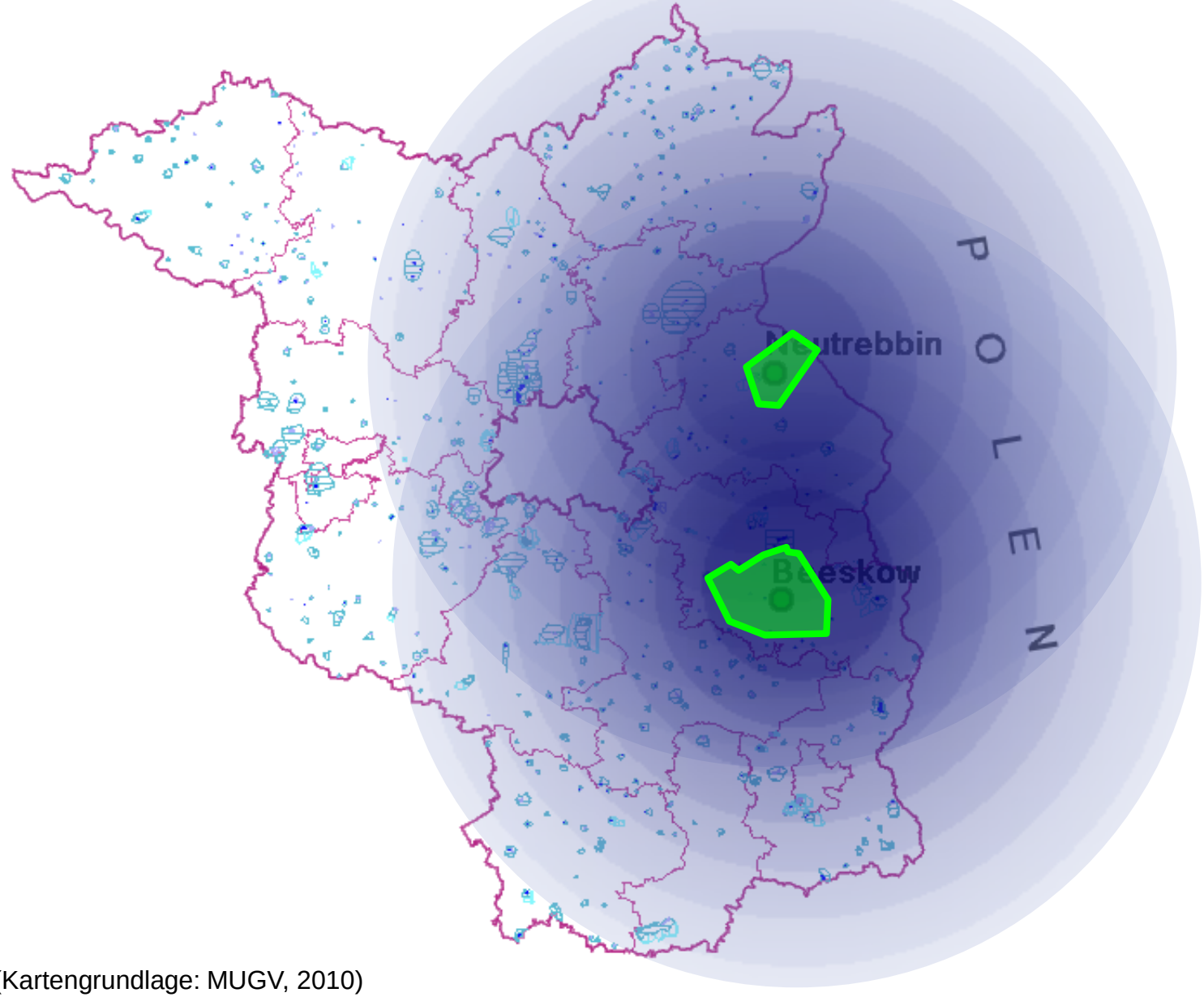


Quelle: http://www.erdgassuche-in-deutschland.de/files/Broschuere_Seismik.pdf



Quelle: http://www.erdgassuche-in-deutschland.de/files/Broschuere_Seismik.pdf

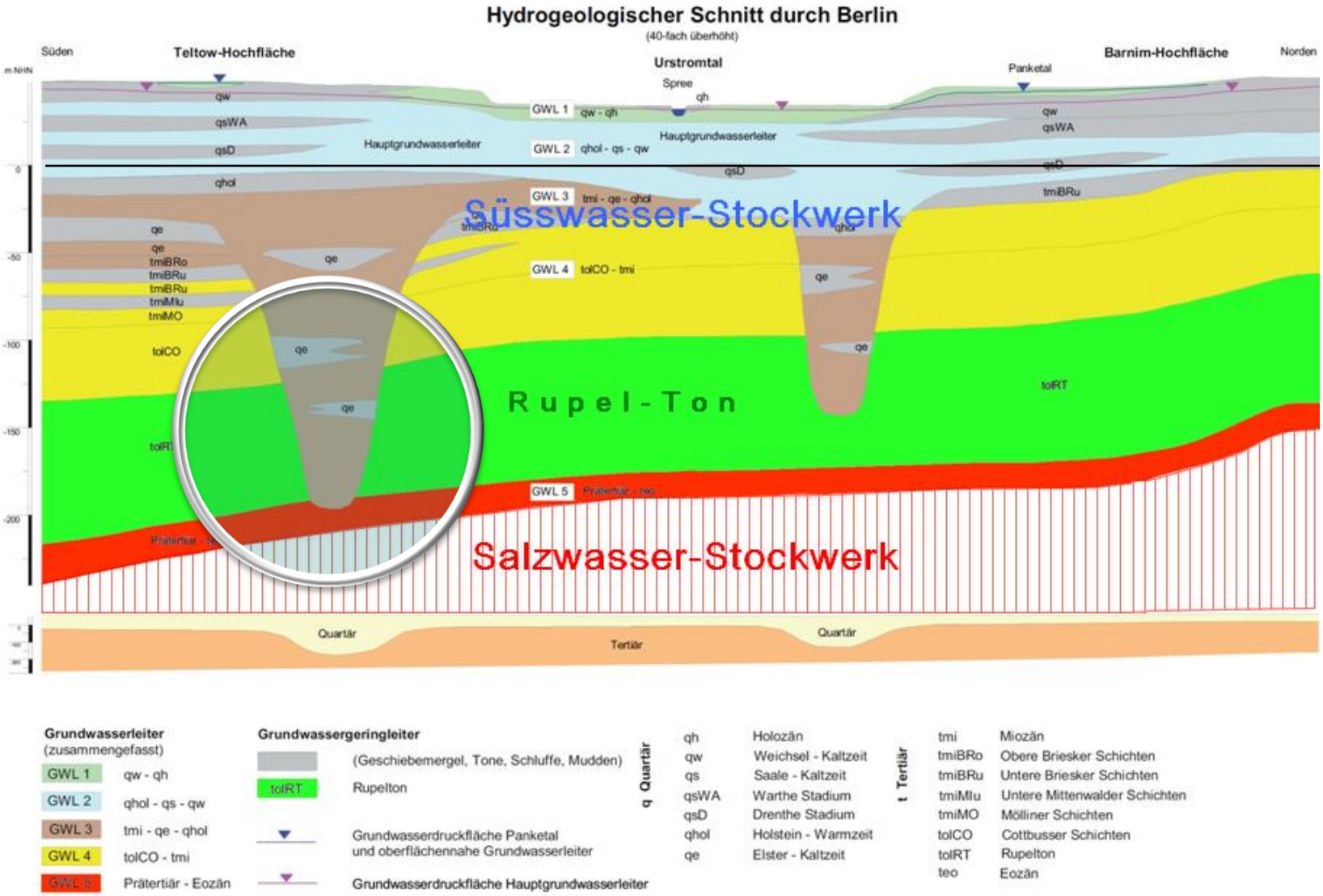
WASSERSCHUTZGEBIETE IN BRANDENBURG



(Kartengrundlage: MUGV, 2010)

Dr. habil. Ralf E. Krupp

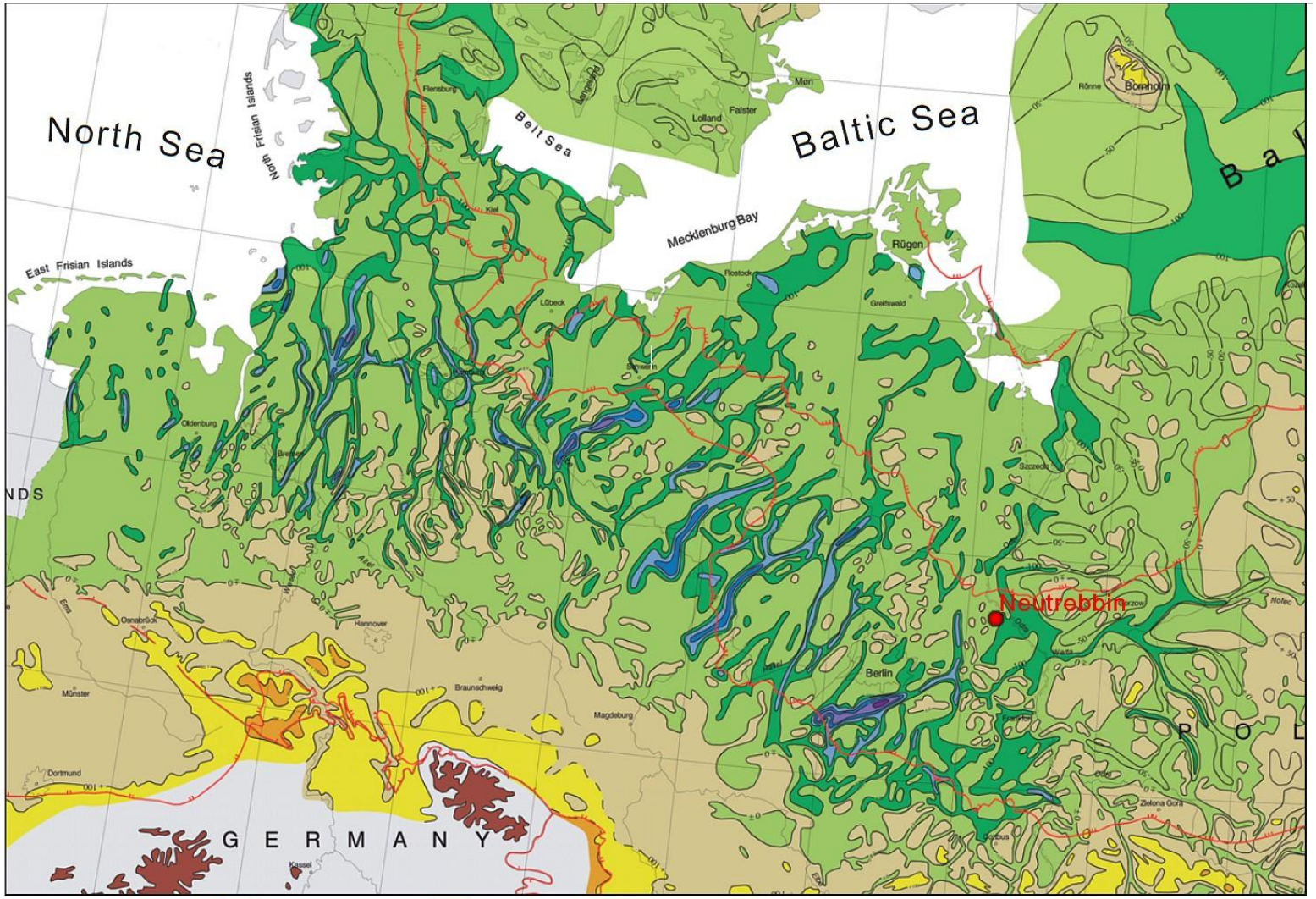
HYDROGEOLOGISCHE STOCKWERKE IN BRANDENBURG UND BERLIN



Nach: http://www.berlin.de/sen/umwelt/includes/fenster.php?bild=/sen/umwelt/wasser/pix/extra_bild/hydrostratigrafie-neu.gif&titel=Hydrostratigrafie%20-%20Hydrogeologischer%20Schnitt%20durch%20Berlin&zeilen=0-0-0

Dr. habil. Ralf E. Krupp

TIEFENLAGE DER QUARTÄR-BASIS, MIT TIEFEN EINSCHNITTEN ELSTERZEITLICHER SUBGLAZIALER RINNEN



Tiefe der Quartärbasis
- über +500 m
- +500 m bis +300 m
- +300 m bis +200 m
- +200 m bis +100 m
- +100 m bis +/-0 m
- +/-0 m bis -100 m
- -100 m bis -200 m
- -200 m bis -300 m
- -300 m bis -400 m
- -400 m bis -500 m
- unter-500 m

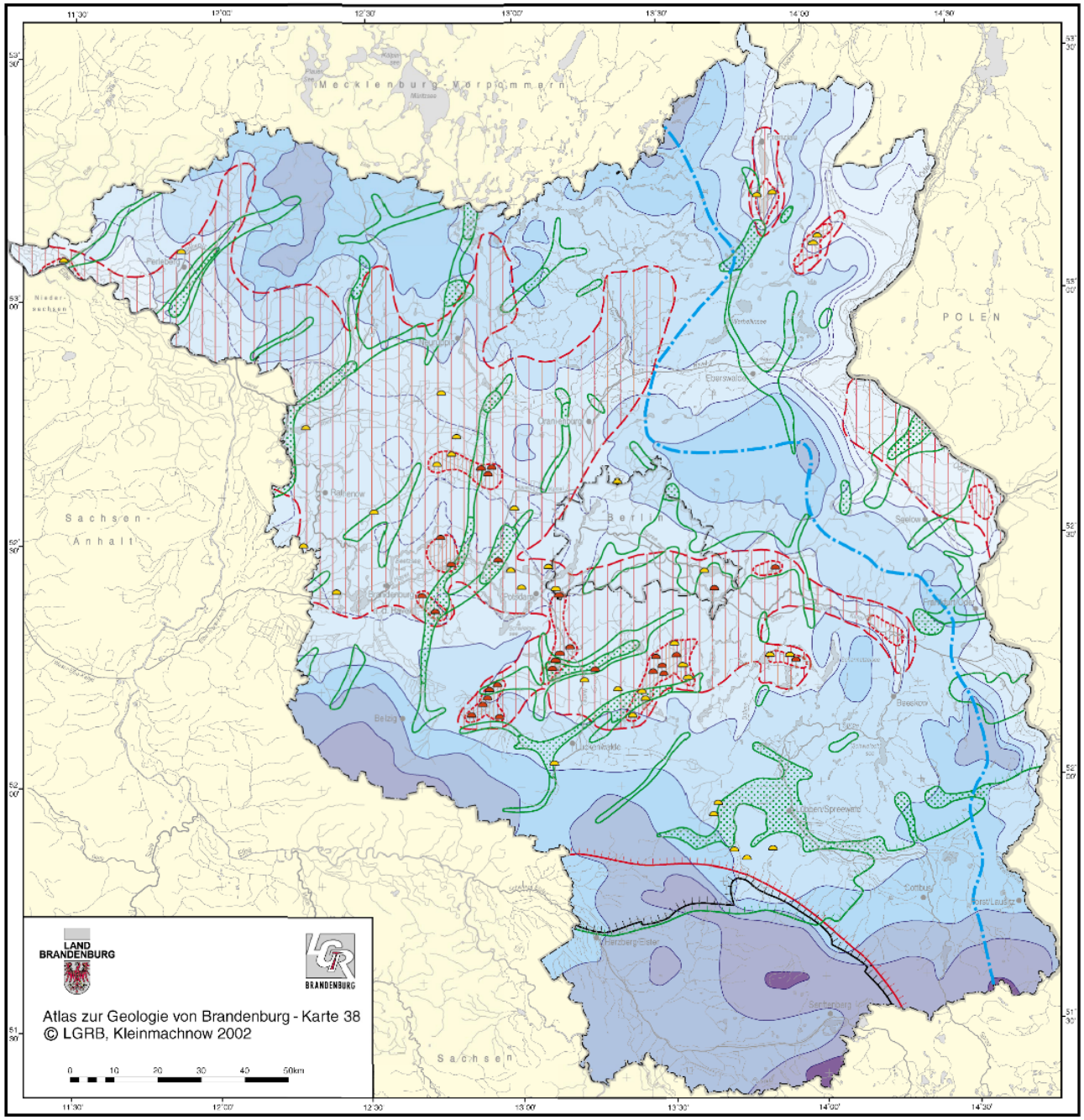
Eisrandlagen der
- Weichsel-Kaltzeit (3 Stadien)
- Saale-Kaltzeit
- Elster-Kaltzeit

Nach Stackebrandt (2009) und Stackebrandt et al. (2001)

Dr. habil. Ralf E. Krupp

Grundwasserversalzung

1 : 1 000 000



Salzwasser

- an der Oberfläche hydrochemisch nachgewiesen
- an der Oberfläche botanisch nachgewiesen oder keine näheren Angaben
- flächenhaft oberhalb NN
- oberhalb des Rupels
- Südgrenze zusammenhängender Salzwasserverbreitung im präquartären Untergrund

relevante geologische Strukturen

- Südgrenze der Zechsteinverbreitung
- Südgrenze des tonigen Rupels
- Rupelton reduziert
- Rupelton ausgeräumt

Grundwasserstand (mNN) des quartären Hauptgrundwasserleiterkomplexes (GWLK2)

- 0 - 20 m
- 20 - 40 m
- 40 - 60 m
- 60 - 80 m
- 80 - 100 m
- 100 - 120 m
- > 120 m

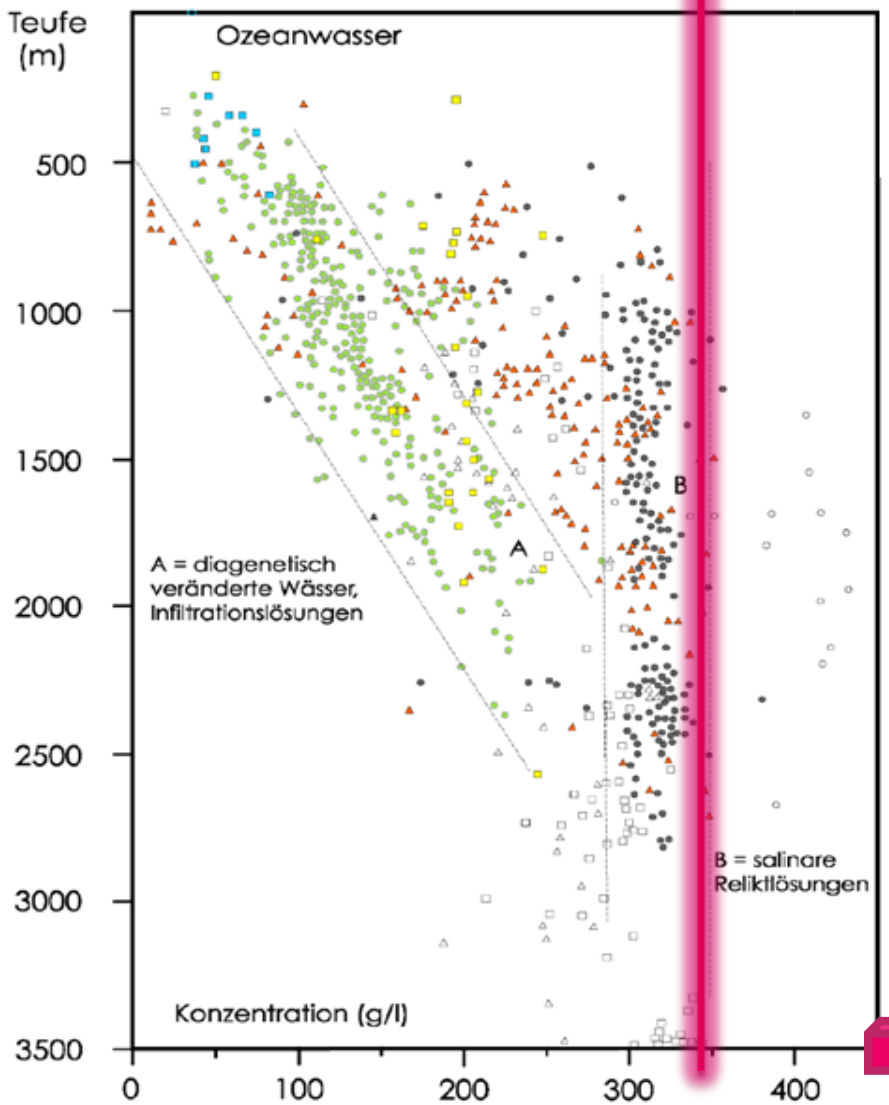
- Hauptgrundwasserscheide Oder/Elbe

Dr. habil. Ralf E. Krupp

Kartengrundlage: Topographische Karte, Land Brandenburg, Maßstab 1 : 1 000 000 Nutzung mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Brandenburg, Nummer: GB 107/01

Schirrmeister, W.

SALINE FORMATIONSWÄSSER DES NORDDEUTSCHEN BECKENS.



1 Liter gesättigte Salzlösung kann 1000 Liter Süßwasser unbrauchbar machen durch Überschreitung des Chlorid-Grenzwertes.

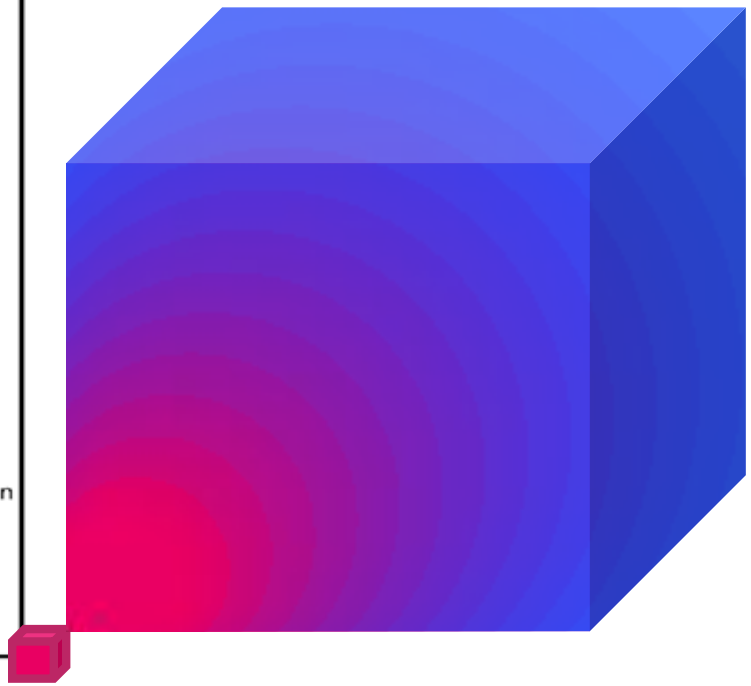
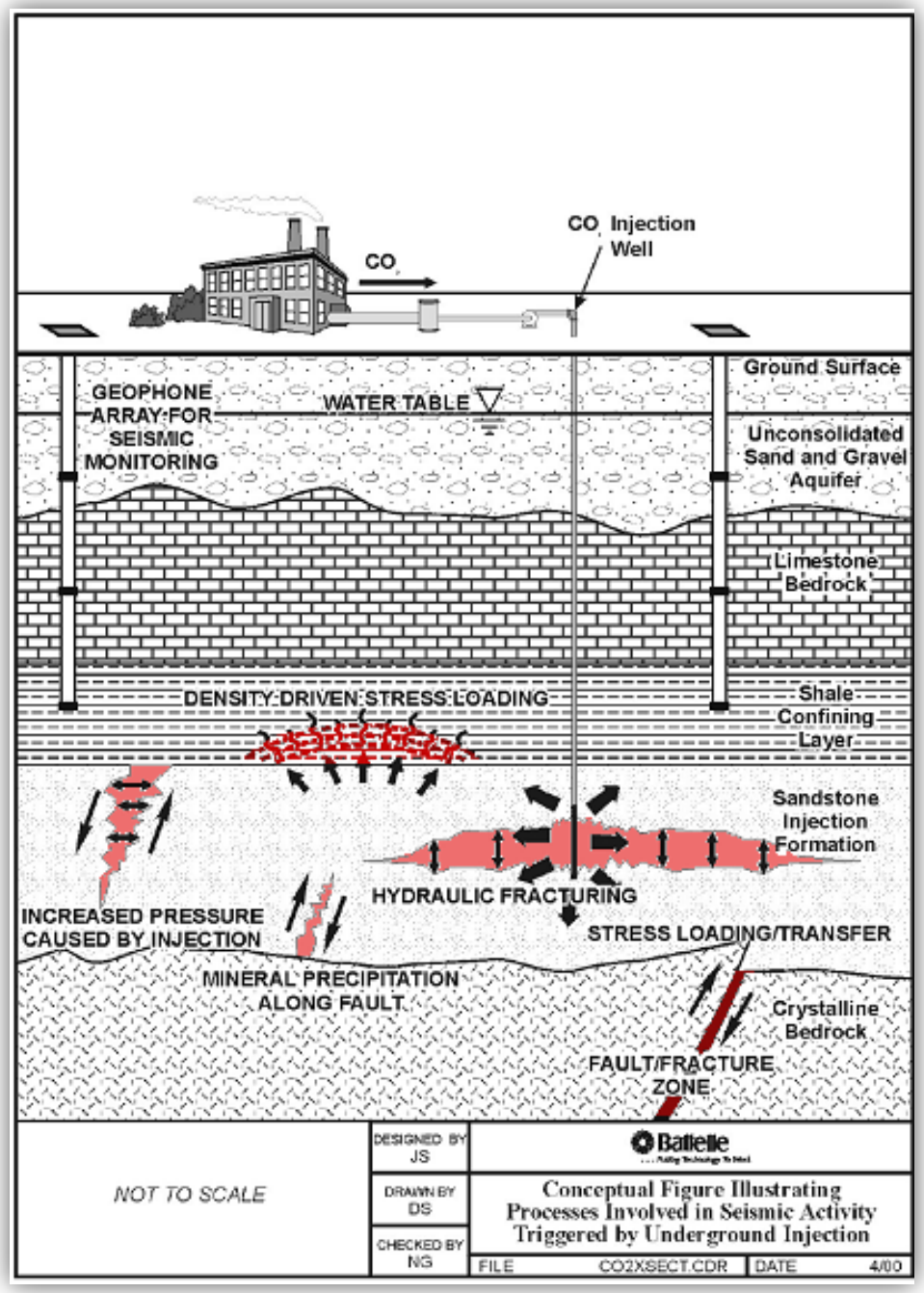


Bild: Hoth et al. (1997)

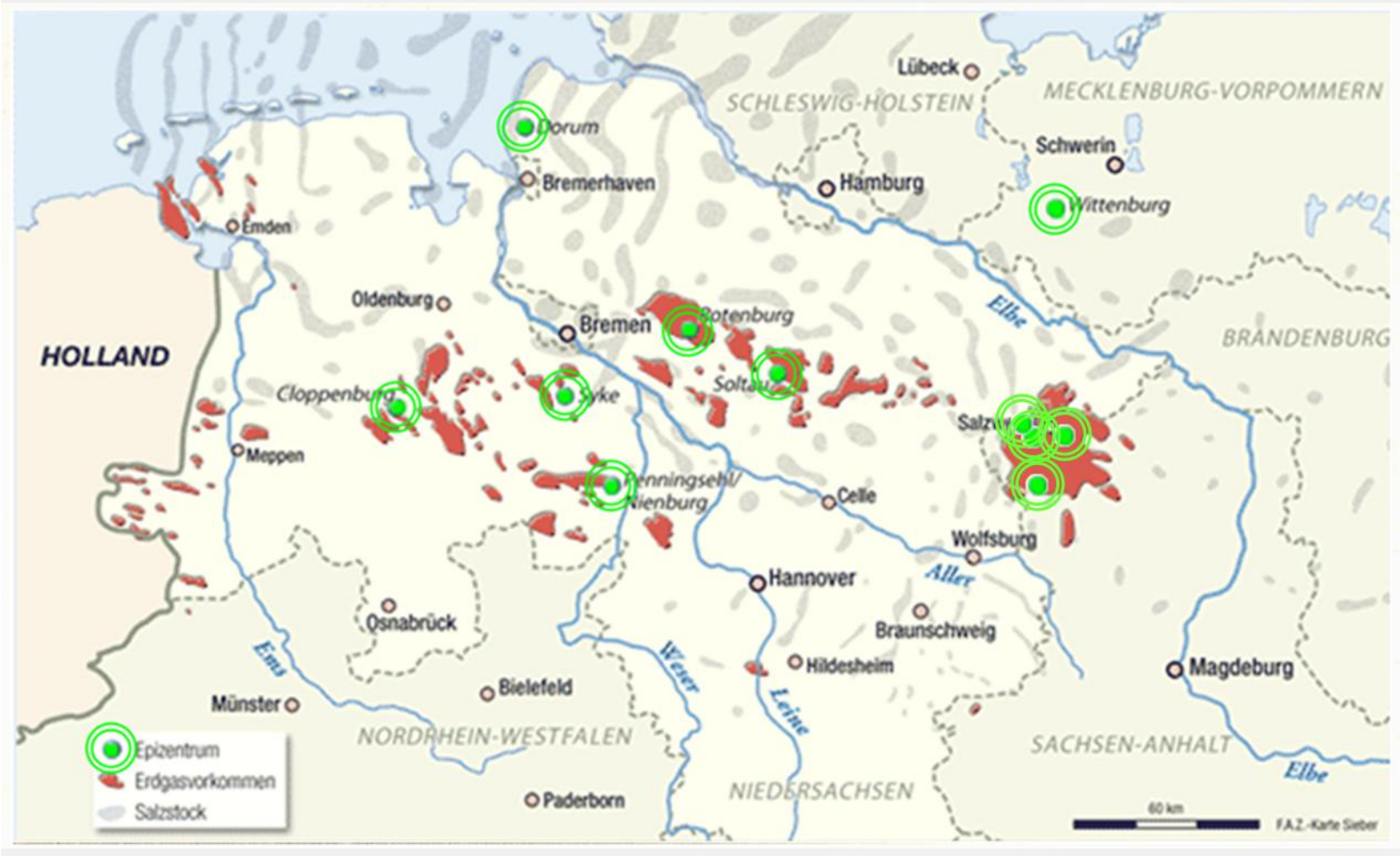


Einige Ursachen für seismische Aktivität in Verbindung mit CO_2-Injektionen.

- Spannungsumlagerungen
- Zunehmender Fluiddruck in Störungsflächen
- Auflösung von Mineralzement auf Störungsflächen
- Hydraulische Rissbildung
- Auf Deckschicht wirkende Auftriebskräfte

Quelle: Sminchak et al. (2001)

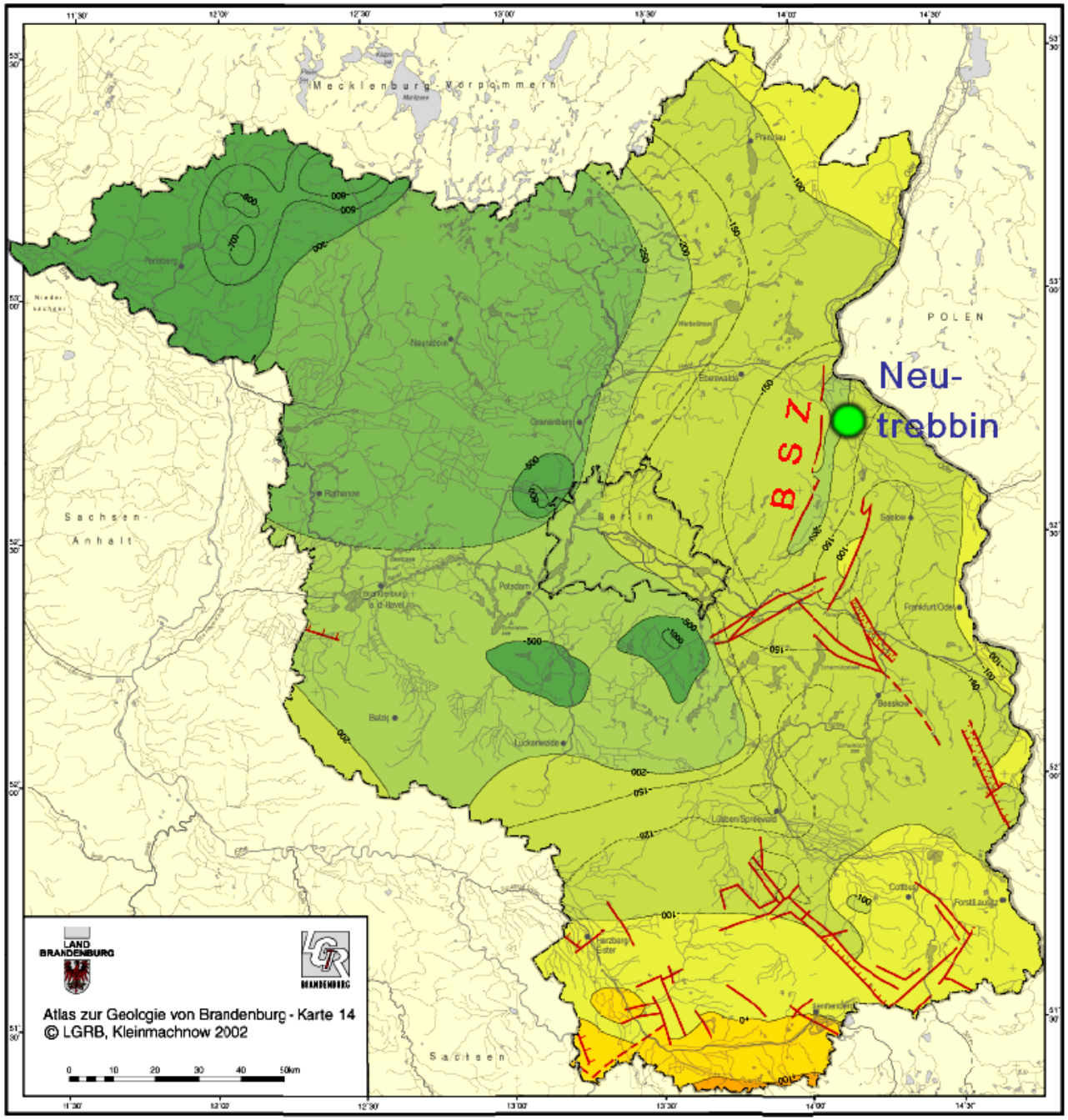
EPIZENTREN NORDDEUTSCHER ERDBEBEN, ERDGASFELDER UND SALZSTRUKTUREN



Quellen: FAZ (2006), Volksstimme (2011)

Neotektonisches Bewegungsverhalten

1 : 1 000 000



Kartengrundlage: Topographische Karte, Land Brandenburg, Maßstab 1 : 1 000 000 Nutzung mit Genehmigung des Landesvermessungsamtes Brandenburg, Nummer: GB 107/01

Ludwig, A. O.

Vertikalbewegung seit Beginn des Oligozän

- über 300 m
- 250 - 300 m
- 200 - 250 m
- 100 - 200 m
- 0 - 100 m
- 0 - 100 m
- über 100 m

Senkung

Hebung

Neotektonisch aktive Störungen

- Bruchstörung
- Bruchstörung (vermutet)
- Abschiebung

Verwendete Unterlagen:

Karten und Unterlagen des IGCP-Projektes Nr. 346 'Neogeodynamica Baltica

AHRENS, H. & D. LOTSCH (1967): Karte der Rupelmächtigkeit des Nordteils der DDR 1 : 500 000. - ZGI Berlin (unveröff.)

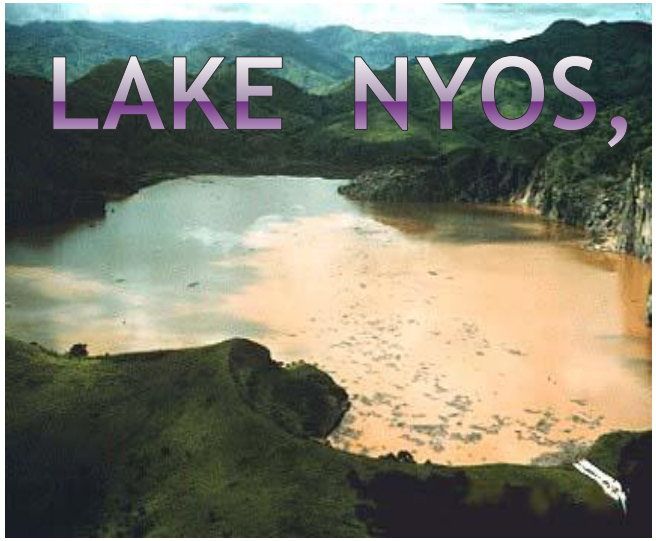
AHRENS, H. & D. LOTSCH (1968); überarb. von HAUPT, J. (1993): Tiefenlinienkarte der Basis des Mitteloligozäns des Nordteils der DDR 1 : 500 000. - Gommern bzw. GLA Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin

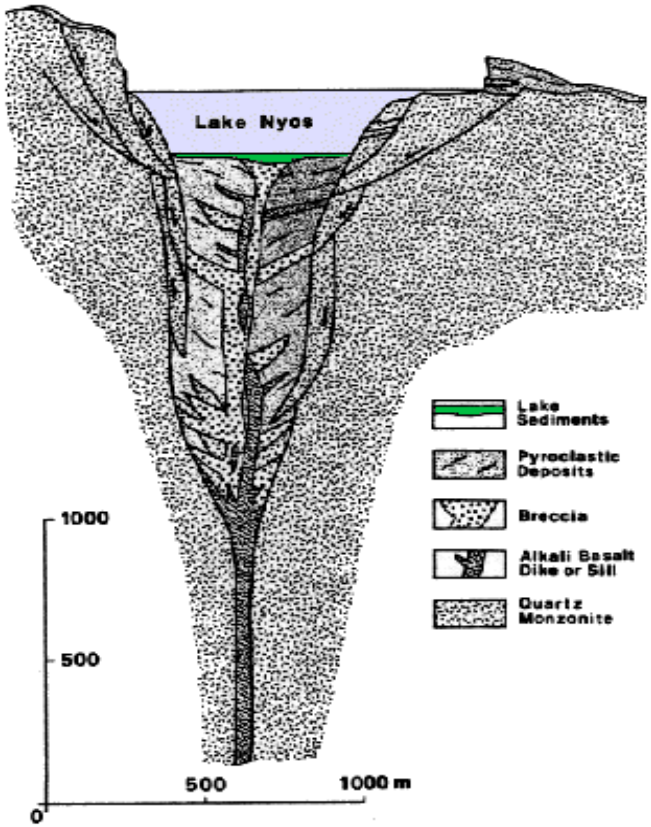
AHRENS, H., LOTSCH, D. u.a. (1972): Neotektonische Karte der DDR 1 : 1 000 000. - ZGI Berlin (unveröff.)

Archivunterlagen des LGRB

Dr. habil. Ralf E. Krupp

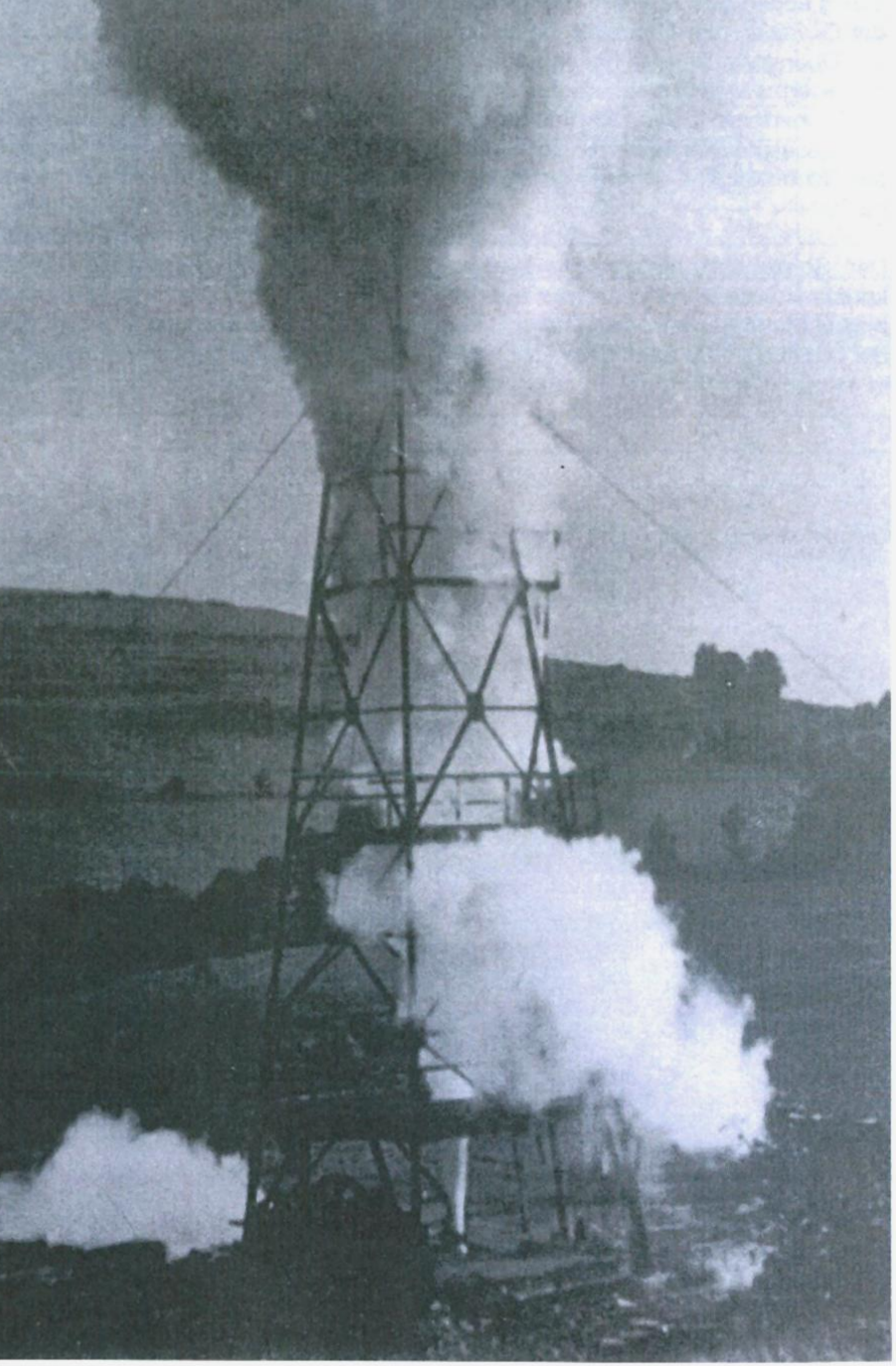
LAKE NYOS, KAMERUN





Dr. habil. Ralf E. Krupp

CO2-BLOWOUT . BOHRUNG BERMBACH 2 BEI GEISA, THÜRINGEN



DER ANSCHNITT 49, 1997, H. 4

Sheep Mountain, Colorado CO2-Blowout (1982):

- 10.000.000 m^3_N CO_2/d
- 4 fehlgeschlagene „Kill-Versuche“
- 2 ½ Wochen außer Kontrolle

MENZENGRABEN, FELDA-TAL

CO2-Ausbruch am 7.7.1953.
3 Todesopfer (über Tage)

Dr. habil. Ralf E. Krupp

CCS: CUI BONO ?

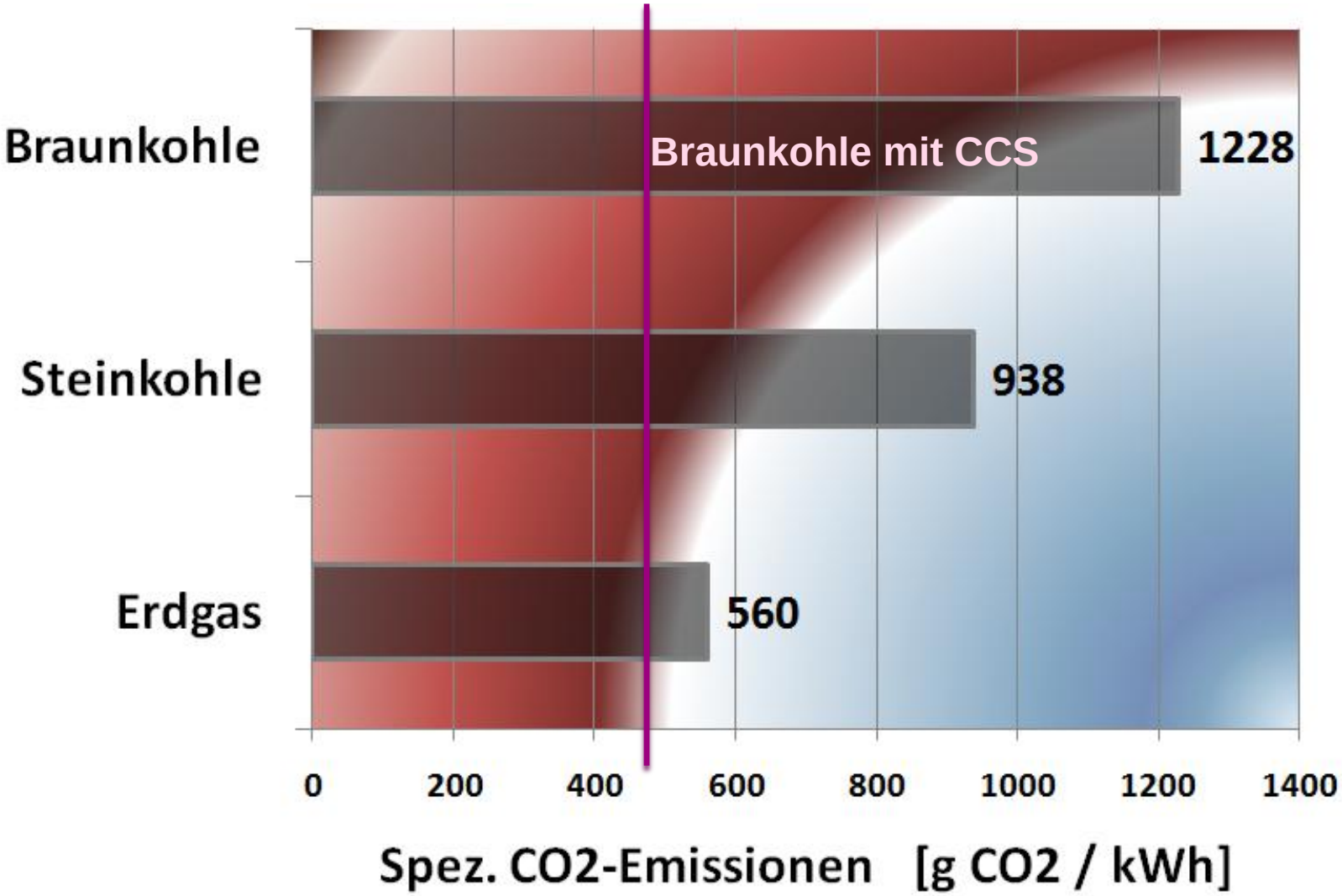
http://view.stern.de

Dr. habil. Ralf E. Krupp

BRAUNKOHLE - INDUSTRIE IN DEUTSCHLAND

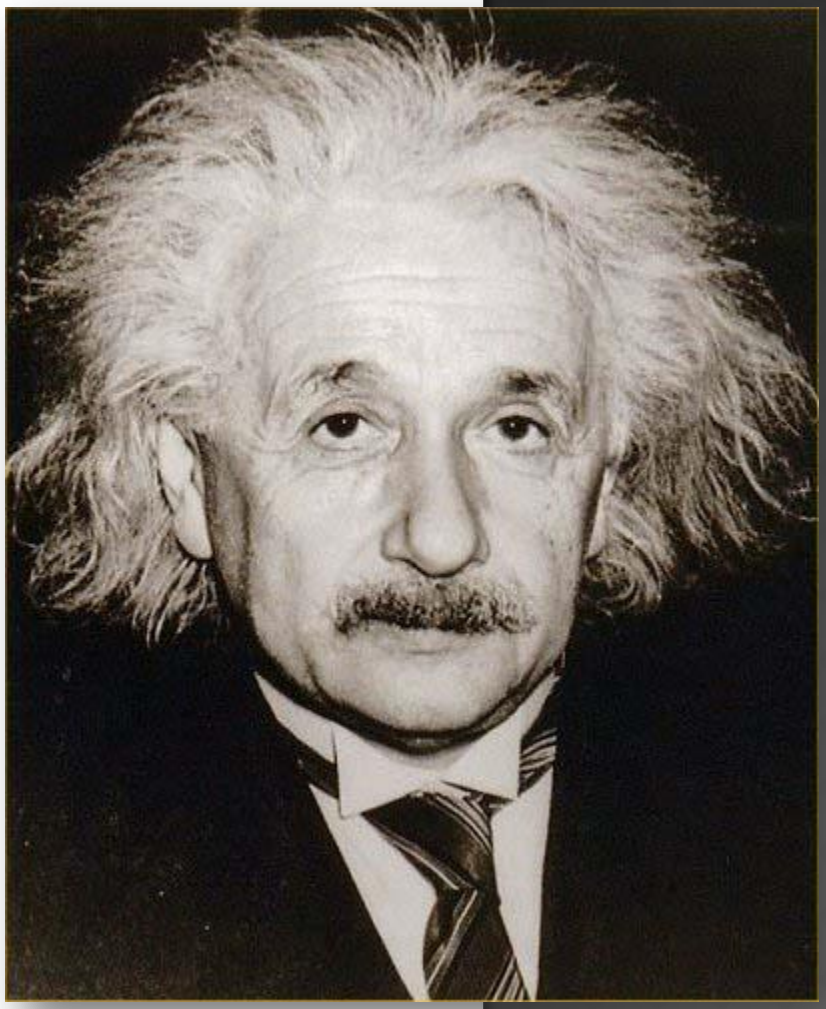
- Produktion 2007: 180,4 Mio. Tonnen.
  (BGR, 2009)
- 18,4 Prozent der Welt-Braunkohlefördrung
  (BGR, 2009)
- Aufgeschlossene Braunkohle-Vorräte (2006): 6.318 Mio. Tonnen
  (BGR, zitiert in Deutscher Bundestag, 2008)
- Statische Reichweite: 35 Jahre (ohne CCS)
- Keine Förder- oder Feldesabgaben
  (Landtag Brandenburg, 2006)

CO2-EMISSIONEN PRO KILOWATTSTUNDE



Datenquelle: UBA

Dr. habil. Ralf E. Krupp



JEDER INTELLIGENTE NARR KANN SACHEN GRÖßER, KOMPLEXER UND GEFÄHRLICHER MACHEN.

ES BRAUCHT ETWAS GENIALITÄT – UND VIEL MUT – UM DIE GEGENRICHTUNG EINZUSCHLAGEN.

Albert Einstein

Dr. habil. Ralf E. Krupp