



GREENPEACE

# Der Salzstock Gorleben ist als Endlager ungeeignet

Eine Bewertung von Gorleben  
mittels der BGR - Kriterien von 1995

## ➔ **Kein Geld von Industrie und Staat**

**Greenpeace ist international, überparteilich und völlig unabhängig von Politik, Parteien und Industrie. Mit gewaltfreien Aktionen kämpft Greenpeace für den Schutz der Lebensgrundlagen. Mehr als eine halbe Million Menschen in Deutschland spenden an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt.**

**Die Studie wurde im Auftrag von Greenpeace durchgeführt von Intac GmbH  
Beratung, Konzepte, Gutachten zu Technik und Umwelt  
Autor: Jürgen Kreusch**

**Impressum** **Herausgeber** Greenpeace e.V. Große Elbstr. 39, 22767 Hamburg, Tel. 040/306 18-0, Fax 040/306 18-100, mail@greenpeace.de, www.greenpeace.de  
**Politische Vertretung Berlin** Marienstr. 19-20, 10117 Berlin, Tel. 030/30 88 99-0 **V.i.S.d.P.:** Tobias Riedl **Gestaltung** zimmermann und spiegel  
**Titelfoto** © Michael Meyborg/Signum **Stand** 2/2012

## **KURZSTUDIE**

**Die Bewertung des Standortes Gorleben mittels Kriterien, die von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zur Untersuchung und Bewertung von Salzformationen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle aufgestellt wurden**

**Im Auftrag von Greenpeace Deutschland e.V.**

**Autor:**

Jürgen Kreusch

Intac - GmbH

Kleine Düwelstr. 21

30171 Hannover

Tel: 0511 – 85 30 55

e-mail: [jkreusch@intac-hannover.de](mailto:jkreusch@intac-hannover.de)

**Hannover, Februar 2012**

<b>Inhalt</b>	<b><u>Seite</u></b>
1 Vorgang und Aufgabenstellung	3
2 Die Bewertung der Salzformationen durch die BGR	4
2.1 Anmerkungen zur Methode	4
2.2 Benutzte Kriterien	5
2.3 Ergebnisse der Bewertung durch die BGR	7
3 Die Einbeziehung von Gorleben in die Bewertungsstruktur	7
3.1 Gewählter Ansatz, Vorgehensweise	7
3.2 Bewertung der Befunde von Gorleben mittels der Kriterien der BGR	8
3.3 Zusammenfassende Bewertung der Einzelergebnisse	14
4 Diskussion möglicher Einwände	16
5 Zusammenfassung, Konsequenzen	25
6 Schriftenverzeichnis	27

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Bewertung des Standortes Gorleben anhand von Kriterien zur Barrierefunktion des Deckgebirges und zu strukturellen Komplikationen im Dachbereich von Salzstöcken Entsprechend der BGR (1995a)	14
---	----

## **1 Vorgang und Aufgabenstellung**

Im August 1995 legte die BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) eine Studie über die Untersuchung und Bewertung von Salzformationen für die Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle vor (BGR 1995a). Die Studie wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aus Gründen der Entsorgungsvorsorge bearbeitet. Ziel war die Festlegung von Kriterien speziell für Salzstrukturen und die Auswahl potenziell untersuchungswürdiger Salzstrukturen auf der Grundlage von Literatur und Archivmaterial. In die Studie wurden überwiegend Salzstöcke aus Zechsteinsalzen einbezogen. Nicht berücksichtigt wurde die Salzstruktur Gorleben, die seit 1977 mit dem Ziel untersucht wird, dort ein Endlager zu errichten.

Bereits im November 1994 legte die BGR eine entsprechende Studie über nichtsalinare Formationen (kristalline Gesteine) vor (BGR 1994). Im April 2007 schließlich veröffentlichte die BGR eine Studie über potenziell für die Endlagerung radioaktiver Abfälle geeignete Tonsteinformationen in Deutschland (BGR 2007a). Anlässlich der Präsentation dieser „Tonstudie“ am 18.04.2007 in Berlin wurde von dem Projektleiter der BGR hervorgehoben, dass die Kriterien und Ergebnisse sowohl der Salzstudie von 1995 als auch der Kristallinstudie von 1994 immer noch gültig seien.

Vor diesem Hintergrund hat Greenpeace Deutschland e.V. die intac – GmbH in Hannover beauftragt, neben der Überprüfung der Sinnhaftigkeit der von der BGR (1995a) vorgelegten Auswahlkriterien, den vorgesehenen Endlagerstandort Gorleben mittels der Bewertungskriterien der Salzstudie der BGR daraufhin zu überprüfen, ob bzw. wie sich der Standort Gorleben in die Reihe der untersuchungswürdigen Salzstrukturen einreicht und welche Konsequenzen daraus zu ziehen sind.

Die Ausarbeitung beruht auf drei aufeinander aufbauenden Elementen: Erstens eine kurze Darstellung und Bewertung der Kriterien und der Ergebnisse der Salzstudie (BGR 1995a); zweitens die Anwendung ausgewählter Kriterien der Salzstudie auf Gorleben und drittens der Umgang mit denkbaren Einwänden gegen die hier gewählte Vorgehensweise. Abschließend werden aus den Ergebnissen Schlussfolgerungen gezogen.

## 2 Die Bewertung der Salzformationen durch die BGR

### 2.1 Anmerkungen zur Methode

Mit der Untersuchung und Bewertung von Salzformationen für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen durch die BGR (1995a) wurde ein spezieller Kriterienkatalog zur Identifizierung untersuchungswürdiger Salzstöcke vorgelegt (s. dazu Kap. 2.2.). **Diese Kriterien sind für den speziellen Anwendungsbereich entwickelt worden, und sie sind auch grundsätzlich dafür geeignet** (GÖK 1998).

Die für die Studie gewählten **Rahmenbedingungen und Auswahlgesichtspunkte erscheinen weitgehend sinnvoll**. Einzelne Bedingungen sind aber diskussionswürdig (z.B. der Ausschluss stratiformer und kissenförmiger Vorkommen von Keupersalzen, der erhöhte Forschungsbedarf bei Nicht-Zechstein-Salinaren als faktischer Ausschlussgrund). In einer früheren Studie über die Eignung von Salzformationen in Niedersachsen für die Endlagerung (BGR 1983) wird beispielsweise auf entsprechende Salinare des Rotliegenden und der Trias, speziell auch auf das Munder-Mergel-Salinar des Oberen Jura hingewiesen.

Die in der Studie (BGR 1995a: Kap. 9) gezogenen Schlussfolgerungen lassen zudem hinsichtlich der Art und Weise der **Aggregation der Kriterien bzw. der Einzelmerkmale zu einer Gesamtbewertung** Fragen offen. Die Aggregation (Zusammenfassung) der einzelnen Kriterien zu einer Gesamtbewertung der jeweiligen Salzformationen und gegebenenfalls ihre vergleichende Bewertung ist methodisch der schwierigste Schritt der Bewertung und muss entsprechend sorgfältig geschehen. Hier wäre eine detailliertere und vor allem systematischere Darstellung notwendig, speziell hinsichtlich der Vorgehensweise bei der Abwägung der Vor- und Nachteile der Salzstrukturen (das multikriterielle Entscheidungsproblem – vergleiche STRASSERT 1995).

Darüber hinaus treten weitere **Unklarheiten hinsichtlich der Gewichtung** der geowissenschaftlichen Kriterien auf. So ist unklar, wie groß das Gewicht einzelner Kriterien bei der vergleichenden Bewertung tatsächlich ist und wie die Gewichtung sachlich begründet wird. Gleichfalls nicht immer deutlich wird die Bewertung bei unzureichendem Kenntnisstand (wie ist tatsächlich damit an einzelnen Standorten und Kriterien umgegangen worden?). Zudem besteht bei einigen Kriterien die Gefahr der Doppelbewertung von Merkmalen (z.B. die Kriterien „ungestörte Dachregion mit Decksedimenten“ sowie „quartäre Rinnen“).

Einschränkungen ergeben sich naturgemäß dadurch, dass nur Literatur und Archivmaterial benutzt wurden, denn auf dieser Betrachtungsebene liegen unterschiedliche Kenntnisse zu einzelnen Salzformationen vor. Daraus resultiert auch ein **Irrtumsvorbehalt**, der erst im Verlaufe der weiteren Erkundung von Standorten bezüglich einzelner Annahmen beseitigt oder bestätigt werden kann. Diese generelle Unsicherheit zu Beginn der Auswahl von Standorten und ihre schrittweise Eliminierung während der weiteren Erkundung ist kein Negativmerkmal der von der BGR (1995a) vorgelegten Bewertung von Salzformationen, sondern sie ist methodologisch unvermeidbar.

**Trotz der genannten – überwiegend methodischen - Mängel stellen die Kriterien der Studie und ihre Ergebnisse insgesamt eine wertvolle Grundlage für weitere darauf aufbauende Arbeiten (Standortalternativen zu Gorleben) dar.**

## **2.2 Benutzte Kriterien**

Bei den in der Studie der BGR (1995a) benutzten Kriterien handelt es sich um geogene (geologisch-strukturelle) Kriterien und um nicht-geogene (anthropogene) Kriterien.

### **Geogene Kriterien (geologisch-strukturelle Kriterien).**

Diese lassen sich in fünf Kriteriengruppen mit jeweils verschiedenen (Einzel-)Kriterien gliedern. Drei Gruppen beziehen sich auf den eigentlichen Salzgesteinskörper, zwei Gruppen auf das Deckgebirge des Salzstocks. Für jede Kriteriengruppe werden einzelne Merkmale angegeben, die positiv oder negativ zu bewerten sind.

#### **Kriteriengruppe Salzkörper:**

- Volumetrische Kriterien (Bezug zu nutzbarem Volumen der Struktur)
- Kriterien, die auf möglichst ungestörte Steinsalzvolumina hinweisen
- Stoffliche Kriterien des Wirtsgesteins (möglichst großes Volumen Na2)

### Kriteriengruppe Deckgebirge:

- Bewertung der Barrierefunktion des Deckgebirges
- Strukturelle Komplikationen im Deckgebirge

### Anthropogene Kriterien

Hierzu zählen zwei Kriteriengruppen:

- Nutzung des Salzkörpers oder seines Umfeldes (Unverritztheit)
- Nutzung der Erdoberfläche über der Struktur

**Dieser Kriterienkatalog ist gezielt zur Identifizierung untersuchungswürdiger Salzstöcke im norddeutschen Tiefland entwickelt worden. Diese Kriterien und die damit gewonnenen Ergebnisse sind heute noch aktuell (BGR 2007b).**

Bei Anwendung der Kriterien gilt nach BGR (1995a), dass Befunde, die hinsichtlich eines Kriteriums als negativ bewertet werden „*nicht in jedem Fall eine Nichteignung*“ nach sich ziehen, sondern als „*eignungsmindernd*“ oder als „*Untersuchungsdefizit*“ zu verstehen seien. Weiterhin wird in BGR (1995a: 18) ausdrücklich betont, dass in Abweichung zu früheren Studien der 80er Jahre eine **große Aufmerksamkeit der Barrierefunktion des Deckgebirges gewidmet** wird. Denn eine flächenhafte Überdeckung des Caprock einer Salzstruktur mit wasserhemmenden Unterkreidetonen und einer ungestörten Decke aus Sedimenten der Oberkreide oder des Alttertiärs würden ein „*optimales geologisches Barriere-System darstellen*“. Auch eine unverritzte und möglichst ungestörte Überdeckung allein durch Tone des Alttertiärs wird noch als akzeptabel angesehen. **Damit wird die Bedeutung der Barriere Deckgebirge bei der Endlagerung in einem Salzstock anerkannt** (s. dazu auch Kap. 4).



## 2.3 Ergebnis der Bewertung durch die BGR

Untersucht und bewertet wurden 41 Salzstrukturen; der Salzstock Gorleben wurde dabei nicht berücksichtigt. Von diesen wurden wegen des Vorhandenseins ungünstiger oder des Fehlens günstiger Standortmerkmale schrittweise die Standorte mit eignungs-mindernden Merkmalen oder Untersuchungsdefiziten ausgeschlossen. Betroffen sind die Standorte mit zu geringem Volumen des Salzgesteinskörpers in dem für die Endlagerung vorgesehenen Tiefenbereich, Standorte mit einem ungünstigen Aufbau des Deckgebirges und Standorte mit Sicherheitseinbußen auf Grund anthropogener Kriterien.

Nach dieser Einengung verblieben 14 untersuchungswürdige Standorte. Von diesen Standorten wurden dann diejenigen zurück gestellt, deren Aufbau durch Salinare des Oberjura und des Rotliegenden nicht den definierten Anforderungen oder Randbedingungen entspricht. **Im Ergebnis werden vier Salzstrukturen als untersuchungswürdig für die weitere Diskussion ermittelt.** Es sind dies die Salzstöcke **Waddekath, Wahn, Zwischenahn und – mit Vorbehalten – Gülze-Sumte.**

Anzumerken bleibt nach der BGR (1995a), dass manche Negativkriterien in ihrer prinzipiellen Bedeutung nicht immer abgewogen werden können (z.B. die Existenz von quartären Rinnen und deren Tiefgang). Hierzu sind im Einzelfall konkrete und standortspezifische Untersuchungen nötig (s. dazu Kap. 2.1 – Irrtumsvorbehalt).

## 3 Die Einbeziehung von Gorleben in die Bewertungsstruktur

### 3.1 Gewählter Ansatz, Vorgehensweise

Im folgenden wird der Standort Gorleben mittels der Kriterien der Salzstudie der BGR (1995a), die das Deckgebirge betreffen, daraufhin überprüft, ob er als untersuchungswürdig anzusehen ist und den vier prioritär vorgeschlagenen Salzstrukturen (s. Kap. 2.3) zugeordnet werden müsste.

Da durch die langjährige Erkundung von Gorleben viele Ergebnisse vorliegen, können die Deckgebirgskriterien der Salzstudie (BGR 1995a) für diesen Standort besser beurteilt werden, als dies für die 41 von der BGR bewerteten Strukturen möglich ist. Ungewissheiten bestehen je-

doch noch für die Barriere Salzstock, da bisher nur einer von mehreren vorgesehenen Erkundungsbereichen in Gorleben erkundet worden ist.

Im folgenden Kapitel 3.2 wird deshalb folgendermaßen vorgegangen:

**Die geologisch-strukturellen Kriterien, die sich auf den eigentlichen Salzstock Gorleben beziehen** (volumetrisches Kriterium, Kriterium zum Vorhandensein möglichst ungestörter Steinsalzvolumina, stoffliche Kriterien des Wirtsgesteins, s. Kap. 2.2) **werden als erfüllt angesehen.** Dies bedeutet, dass die Merkmale bzw. konkrete Erkundungsergebnisse, die für die Bewertung der einzelnen Kriterien bekannt sein müssen, als entsprechend positiv hinsichtlich der Eignung angenommen werden, auch wenn im Einzelfall noch Zweifel oder Unkenntnis darüber bestehen. Damit werden **alle Kriterien die den Salzstock betreffen, als erfüllt im Sinne der Untersuchungswürdigkeit angesehen.**

Des Weiteren wird ohne nähere Prüfung davon ausgegangen, dass die Salzstruktur bzw. der Standort Gorleben durch anderweitig existierende oder geplante Nutzungen des Wirtsgesteinskörpers oder seines Umfeldes nicht beeinträchtigt ist (**anthropogene Kriterien**, s. Kap. 2.2). Damit werden auch diese **nutzungsbezogenen Kriterien als erfüllt im Sinne der Untersuchungswürdigkeit angesehen.**

**Es verbleiben also die zwei das Deckgebirge betreffenden Kriteriengruppen** (s. Kap. 2.2). Es sind dies die Barrierefunktion des Deckgebirges sowie die strukturellen Komplikationen im Deckgebirge/Dachbereich der Struktur. Die Erfüllung der einzelnen Kriterien für diese Kriteriengruppen wird im nächsten Kapitel (Kap. 3.2) behandelt, und in Kapitel 3.3 werden die Ergebnisse dargestellt.

## **3.2 Bewertung der Befunde von Gorleben mittels der Kriterien**

Zur Bewertung der Barrierefunktion des Deckgebirges sowie struktureller Komplikationen im Deckgebirge/Dachbereich der Struktur hat die BGR (1995a) folgende, im Einzelnen wiedergegebene Kriterien formuliert.

## **Bewertung der Barrierefunktion des Deckgebirges**

### **Positiv zu bewerten ist:**

- (A): Vollständige Überdeckung des Caprock mit tonigen Unterkreidesedimenten
- (B): Vollständige Überdeckung des Caprock durch Oberkreidesedimente
- (C): Vollständige oder weitestgehende Überdeckung mit alltertiären Tonen, insbesondere dem mitteloligozänen Rupelton.

Dabei gilt: Die Kriterien besitzen von (A) nach (C) abnehmende Qualität.

### **Negativ zu bewerten ist:**

- (D): Überdeckung mit sandigem Alttertiär ohne Rupelton (am Südrand des Beckens)
- (E): Überdeckung des Caprock nur mit oberoligozänen, neogenen oder quartären Sedimenten (Süßwasserführung, Kontakt mit genutzten Grundwasserstockwerken und zur Biosphäre möglich).

## **Bewertung struktureller Komplikationen im Deckgebirge/Dachbereich**

### **Positiv zu bewerten ist:**

- (F): intakte, ungestörte Dachregion mit Decksedimenten.

### **Negativ zu bewerten sind:**

- (G): Scheitelstörungen oder Scheitelgräben, vor allem, wenn die Störungen in den Caprock einschneiden
- (H): quartäre Rinnen, die sich tief in die Dachsedimente einschneiden
- (I): Anzeichen von rezenter Subrosion im Firstbereich der Struktur.

Im Folgenden soll geprüft werden, wie sich die vorliegenden Befunde des gut untersuchten Deckgebirges bzw. Dachbereichs des Salzstocks Gorleben zu den in BGR (1995a) formulierten

Kriterien verhalten. Dazu werden die mit (A) bis (I) bezeichneten Kriterien den entsprechenden Befunden gegenüber gestellt.

**Kriterium (A): Vollständige Überdeckung des Caprock mit tonigen Unterkreidesedimenten**

Befund Gorleben:

Tonige Unterkreidesedimente fehlen am Standort Gorleben (KÖTHER, HOFFMANN, KRULL et al. 2007).

Ergebnis:

Positives Kriterium nicht erfüllt – führt zu negativer Bewertung.

**Kriterium (B): Vollständige Überdeckung des Caprock durch Oberkreidesedimente**

Befund Gorleben:

Über dem Salzstock bzw. dem Caprock sind nur noch geringmächtige Relikte von Oberkreidesedimenten mit Mächtigkeiten von wenigen Metern zu finden (KÖTHER, HOFFMANN, KRULL et al. 2007, BGR 1991a).

Ergebnis:

Positives Kriterium nicht erfüllt – führt zu negativer Bewertung.

**Kriterium (C): Vollständige oder weitestgehende Überdeckung mit alttertiären Tonen, insbesondere dem mitteloligozänen Rupelton.**

Befund Gorleben:

Eine vollständige oder weitestgehende Überdeckung mit alttertiären Tonen und/oder dem oligozänen Rupelton ist über dem Salzstock nicht gegeben. Diese Tone wurden speziell im Bereich der Gorlebener Rinne durch Glazialerosion während der Eiszeiten beseitigt. Sie sind durch quartäre Ablagerungen ersetzt worden (BGR 1999).

Ergebnis:

Positives Kriterium nicht erfüllt – führt zu negativer Bewertung.

**Kriterium (D): Überdeckung mit sandigem Alttertiär ohne Rupelton (am Südrand des Beckens)**

Befund Gorleben:

Schluffig-sandige Schichten des Alttertiärs (Paläozän, Eozän) sind mehr oder weniger geschlossen auf dem Salzstock verbreitet, allerdings schwankt ihre Mächtigkeit mit 10 bis 110 m stark (KLINGE et al. 2002). Der oligozäne Rupelton ist zwar über dem Salzstock teilweise vorhanden, allerdings fehlt er über dem zentralen Salzstockdach (BGR 1995c, 1991b). Insbesondere im zentralen Bereich der Gorlebener Rinne wurde der Rupelton weitestgehend erodiert (KLINGE et al. 2002).

Ergebnis:

Negatives Kriterium ist wegen des Fehlens von Rupelton über dem zentralen Salzstockdach erfüllt – führt zu negativer Bewertung.

**Kriterium (E): Überdeckung des Caprock nur mit oberoligozänen, neogenen oder quartären Sedimenten (Süßwasserführung, Kontakt mit genutzten Grundwasserstockwerken und zur Biosphäre möglich)**

Befund Gorleben:

Der Caprock wird von neogenen (miozänen) Ablagerungen in meist sandiger Ausbildung überdeckt. Sedimente des Oberoligozän sind nur auf die Ränder der Salzstruktur begrenzt (KLINGE et al. 2002). Quartäre Sedimente (untere Elster-Rinnensande) liegen dem Hutgestein, lokal auch direkt den Zechsteinsalzen, auf einer Kontaktfläche von mehreren Quadratkilometern direkt auf. Die komplexe Gesteinsabfolge und ihre gleichfalls komplexe räumliche Anordnung führen dazu, dass über der Gorlebener Rinne lokale Wegsamkeiten aus dem unteren Rinnenaquifer in oberflächennahe Grundwasserleiter bestehen (KLINGE, H., BOEHME, J., GRISSEMANN, Ch. et al. 2007, KLINGE et al. 2002).

Ergebnis:

Negatives Kriterium ist erfüllt – führt zu negativer Bewertung.

**Zwischenergebnis I:** *Sämtliche fünf Kriterien, die die Barrierefunktion des Deckgebirges ermöglichen, führen zu ungünstigen Ergebnissen für den Salzstock Gorleben. Die drei positiv zu bewertenden Kriterien werden nicht erfüllt, und die zwei negativ zu bewertenden Kriterien werden erfüllt.*

#### **Kriterium (F): Intakte, ungestörte Dachregion mit Decksedimenten**

##### Befund Gorleben:

Eine intakte bzw. ungestörte Ausbildung der Dachregion mit entsprechenden Decksedimenten ist insoweit gegeben, als tektonische Störungen im Deckgebirge fehlen. Allerdings stellt die NNE-SSW verlaufende ca. 10 km lange Gorlebener Rinne eine erhebliche Störung der ursprünglich abgelagerten Schichtenfolge dar, indem durch Erosion die ursprünglich abgelagerten tertiären Sedimente weitgehend beseitigt und durch relativ durchlässige elstereiszeitliche Ablagerungen ersetzt wurden. Stellenweise wird das Salinar direkt von Schmelzwassersanden überlagert (KÖHTE, HOFFMANN, KRULL et al. (2007)).

##### Ergebnis:

Positives Kriterium ist wegen der Gorlebener Rinne eher nicht erfüllt – führt zu tendenziell negativer Bewertung.

#### **Kriterium (G): Scheitelstörungen oder Scheitelgräben, vor allem, wenn die Störungen in den Caprock einschneiden**

##### Befund Gorleben:

Am Standort Gorleben existieren weder ausgeprägte Scheitelstörungen noch Scheitelgräben (lediglich zwischen Lenzen und der Elbe ist nach KÖTHE, A., HOFFMANN, N., KRULL, P. et al. (2007) eine ausgeprägte Scheitelstörung nachgewiesen).

##### Ergebnis:

Das negative Kriterium ist nicht erfüllt – führt zu positiver Bewertung.

**Kriterium (H): Quartäre Rinnen, die sich tief in die Dachsedimente einschneiden**

Befund Gorleben:

Die Gorlebener Rinne quert den Salzstock in NNE-SSW-Richtung und schneidet sich tief in die Dachsedimente ein. Auf einer Fläche von ca. 5 km<sup>2</sup> bis ca. 7,5 km<sup>2</sup> liegt die gut durchlässige quartäre Rinnenfüllung direkt auf Hutgestein bzw. stellenweise auch direkt auf dem Salinar auf (KLINGE et al. 2002).

Ergebnis:

Negatives Kriterium ist erfüllt – führt zu negativer Bewertung.

**Kriterium (I): Anzeichen von rezenter Subrosion im Firstbereich der Struktur.**

Befund Gorleben:

Im Zentrum der Gorlebener Rinne sind Bereiche nachgewiesen, in denen Grundwasser in direktem Kontakt mit dem Zechsteinsalinar steht. Es ist belegt, dass innerhalb der Gorlebener Rinne die rezente Wasserbewegung den unteren Rinnenaquifer erfasst, wobei die durch Ablaugung gebildeten Solen die ursprünglich dort vorhandenen pleistozänen Wässer verdrängen bzw. sich mit diesen mischen (KLINGE et al. 2002). Es muss also davon ausgegangen werden, dass auch heute noch Subrosion (Salzablaugung) stattfindet. Untersuchungen von RÜBEL (2000) ergeben eine subrodierte Salzmenge von ca. 1.000 m<sup>3</sup> pro Jahr in der Gorlebener Rinne. Daraus ergibt sich bei Annahme einer Kontaktfläche zwischen Grundwasser und Salzstock von 5 km<sup>2</sup> eine Subrosionsrate von 0,2 mm/a (RÜBEL 2000).

Ergebnis:

Negatives Kriterium ist erfüllt – führt zu negativer Bewertung.

**Zwischenergebnis II:**

***Von den vier Kriterien, die sich auf strukturelle Komplikationen im Dachbereich des Salzstocks beziehen, führen zwei Kriterien eindeutig zu ungünstigen Ergebnissen. Ein weiteres Kriterium ist überwiegend als nicht positiv zu bewerten, und nur ein Kriterium ist eindeutig nicht als negativ für den Standort zu bewerten. Anders ausgedrückt: Das als positiv zu bewertende Kriterium wird überwiegend nicht erfüllt, und von den drei negativ zu bewertenden Kriterien werden zwei erfüllt und eines nicht erfüllt.***

### 3.3 Zusammenfassung und Bewertung der Einzelergebnisse

Zusammengefasst sind die Ergebnisse der Bewertungen in folgender Tabelle 1 dargestellt:

<b>Bewertung der Barrierefunktion des Deckgebirges</b>		
<b>Kriterium</b>	<b>Befund</b>	<b>Bewertung</b>
<b>(A)</b> Positiv: Vollständige Überdeckung des Caprock mit tonigen Unterkreidesedimenten	nicht zutreffend (tonige Unterkreide fehlt)	nicht positiv (= ungünstig)
<b>(B)</b> Positiv: Vollständige Überdeckung des Caprock durch Oberkreidesedimente	nicht zutreffend (nur Relikte über dem Caprock)	nicht positiv (= ungünstig)
<b>(C)</b> Positiv: Vollständige oder weitestgehende Überdeckung mit alttertiären Tonen, insbesondere durch den mitteloligozänen Rupelton	nicht zutreffend (speziell in der Gorlebener Rinne beseitigt und durch quartäre Ablagerungen ersetzt)	nicht positiv (= ungünstig)
<b>(D)</b> Negativ: Überdeckung mit sandigem Alttertiär ohne Rupelton	zutreffend (Rupelton zwar lückenhaft über Salzstock vorhanden, im zentralen Bereich der Gorlebener Rinne weitestgehend erodiert)	negativ (= ungünstig)
<b>(E)</b> Negativ: Überdeckung des Caprock nur mit oberoligozänen, neogenen oder quartären Sedimenten (Süßwasserführung, Kontakt mit genutzten Grundwasserstockwerken und zur Biosphäre möglich)	zutreffend (Quartäre Sedimente liegen dem Hutgestein direkt auf, Oberoligozän ist auf die Ränder der Salzstruktur begrenzt, sandige neogene Ablagerungen über Caprock)	negativ (= ungünstig)
<b>Strukturelle Komplikationen im Dachbereich</b>		
<b>(F)</b> Positiv: Intakte, ungestörte Dachregion mit Decksedimenten	zwar fehlen tektonische Störungen, aber Gorlebener Rinne mit erheblichen Störungen der ursprünglichen Verhältnisse	eher nicht positiv (= eher ungünstig)
<b>(G)</b> Negativ: Scheitelstörungen oder Scheitelgräben, vor allem, wenn die Störungen in den Caprock einschneiden	nicht zutreffend	nicht negativ (= günstig)
<b>(H)</b> Negativ: Quartäre Rinnen, die sich tief in die Dachsedimente einschneiden	zutreffend (Gorlebener Rinne reicht teilweise bis auf Hutgestein bzw. Salinar hinab)	negativ (= ungünstig)
<b>(I)</b> Negativ: Anzeichen von rezenter Subrosion im Firstbereich der Struktur	zutreffend (von rezenter Subrosion muss ausgegangen werden)	negativ (= ungünstig)

**Tab. 1** Bewertung des Standortes Gorleben anhand von Kriterien zur Barrierefunktion des Deckgebirges und zu strukturellen Komplikationen im Dachbereich von Salzstöcken (die positiv wertenden Kriterien A, B und C besitzen nach der BGR (1995a: 37) eine von A über B nach C abnehmende Barrierenqualität)



Die Bewertung des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben mittels der von der BGR (1995a) aufgestellten Kriterien **zeigt zweifelsfrei, dass dieser Salzstock wohl kaum als untersuchungswürdig** angesehen worden wäre, hätte die BGR ihn bei ihrer Untersuchung und Bewertung der Salzformationen mit berücksichtigt. **Jedenfalls wäre er nicht in die „Spitzengruppe“ der vier Standorte Waddekath, Wahn, Zwischenahn und Gülze-Sumte gelangt.**

Betrachtet man die 14 zunächst verbliebenen Salzstöcke in BGR (1995a), dann fehlen bei keinem alle günstigen Merkmale des Deckgebirges, und keiner weist alle ungünstigen Merkmale auf (s. Kap. 2.3). Jedoch weisen alle mindestens eines der günstigen Merkmale auf. Nur bei zwei Standorten sind quartäre Rinnen vorhanden, allerdings ohne dass die Überdeckung des Gipshutes mit tonigen Sedimenten zerstört ist. Demgegenüber weist der Salzstock Gorleben mit der bekannten, nicht nur in die Dachsedimente sondern bis auf den Salzgesteinskörper einschneidenden quartären Gorlebener Rinne, **keines der in Tab. 1 genannten positiven Merkmale** auf (Merkmale A, B, C, F). Gorleben wäre also wohl nicht einmal der Gruppe der 14 zunächst verbliebenen Salzstöcke zugeordnet worden.

Daran ändert auch die Berücksichtigung nur der Negativkriterien nichts, die von der BGR (1995a: 42) als die wichtigsten Negativkriterien angesehen werden (Volumen-Kriterium des Salzstocks, Barriere-Kriterium des Deckgebirges, Unverritztheit), **denn das Barriere-Kriterium des Deckgebirges ist bei Gorleben hinsichtlich aller zugeordneten Einzelkriterien verletzt** (Kriterien A bis E, s. Tab. 1). Die hier nicht weiter untersuchten/überprüften und als erfüllt (im Sinne der Untersuchungswürdigkeit) angenommenen Kriterien zum Salzstock selber und zu den anthropogenen Merkmalen (s. auch Kap. 3.1) können das schlechte Ergebnis von Gorleben nicht relativieren oder gar kompensieren. Einzelne Kriterien mögen sich vielleicht kompensieren lassen, aber **nicht alle Kriterien einer der drei bedeutungsvollsten Kriteriengruppen.**

Im übrigen ist es nicht nachvollziehbar, wenn im Nachhinein von der BGR versucht wird, die Ergebnisse ihrer eigenen Studie bzw. die Grundlagen der Studie neu bzw. um zu interpretieren. Insbesondere die Aussage von BRÄUER (1999), „*daß das Deckgebirge hinsichtlich des sicheren Einschlusses der Abfälle keine entscheidende Funktion als Komponente im Mehrbarrierensystem erfüllen muß*“ widerspricht eindeutig der Funktion, die dem Deckgebirge in BGR (1995a) zu Recht zugeschrieben wird. Die Aussage von BRÄUER (1999), dass es einen idealen Standort für ein Endlager weder in einem Salzstock noch in einem anderen Wirtsgestein geben wird, und dass negative und positive Aspekte abzuwägen seien, ist trivial. Genau diese Abwägung ist nämlich in der Studie der BGR (1995a) für Salzstrukturen näherungsweise versucht worden.

Die benutzten Kriterien bedeuten unabhängig von den Rahmenbedingungen und Vorgaben laut der BGR (1995a: 34) „*nicht in jedem Fall eine `Nichteignung` sondern sind als eignungsmin-dernd oder als Untersuchungsdefizit zu verstehen*“. Sie dienen allein der „*Vorauswahl untersuchungswürdiger Salzstrukturen*“ (BGR 1995a: 6). **Zu diesem Zweck sind diese Kriterien der BGR auch geeignet**, und sie sind mit gebührender Vorsicht (Datenmangel – Irrtumsvorbehalt, s. Kap. 2.1) angewandt worden. Folgerichtig kommt die BGR (1995a) auch zu einem entsprechenden Ergebnis, indem nämlich **einige wenige (vier) Salzstrukturen vor allen anderen für die weitere Diskussion begründet empfohlen werden. Gorleben wäre bei der Vorauswahl von Salzstrukturen nach den Kriterien der BGR (1995a) wegen seiner sehr schlechten Deckgebirgsbewertung nur unter „ferner liefen“ einzuordnen und würde keinesfalls zur Spitzengruppe gehören.**

#### 4 Diskussion möglicher Einwände

Folgende Einwände sind zu betrachten:

- **EINWAND: Der Salzstock ist die eigentliche Barriere; das Deckgebirge ist nicht gleichberechtigt und stellt „keine entscheidende Funktion als Komponente im Multi-barrierensystem“ (BRÄUER 1999) dar.**

Diese oder ähnlich lautende Aussagen sind ab dem Zeitpunkt wahrnehmbar, seit die Ergebnisse der Erkundung des Deckgebirges beim Salzstock Gorleben den Erwartungen zuwidergelaufen sind. Wenn man obige Aussage auf ihren allgemeingültigen Gehalt hin untersucht, dann zeigt sich ihre Dürftigkeit. Denn die Bedeutung des Deckgebirges ergibt sich im Zusammenhang mit den spezifischen endlagerungsrelevanten Eigenschaften von Steinsalz **und** den konfigurativen Besonderheiten von Salzstöcken (APPEL & KREUSCH 2006). Daraus leitet sich die relative Bedeutung der verschiedenen geologischen Barrieren bei einem Endlager in einem Salzstock ab. Hauptursachen dafür sind die hohe Wasserlöslichkeit von Steinsalz, seine Vergesellschaftung mit potenziell wasserleitenden Gesteinstypen, der komplexe innere Bauplan des Salzgesteinskörpers mit insbesondere Anhydrit- und Salzton-Serien bei gleichzeitig tendenziell vertikaler Ausrichtung der einzelnen Gesteinskörper sowie der relativ geringe Abstand des Salzgesteinskörpers zur Erdoberfläche und der daraus resultierende (mögliche) Kontakt mit oberflächennahem Grundwasser. Damit lassen sich **zwei Hauptfunktionen der Barriere Deckgebirge ableiten**: Schutz des Salzgesteinskörpers und Radionuklidrückhaltung.

### Schutz des Salzgesteinskörpers

Die Tatsache, dass Salzgesteinskörper in humiden Klimazonen ohne den Schutz überlagernder Schichten („Deckgebirge“) längerfristig nicht existenzfähig sind, belegt bereits die Abhängigkeit des Salzgesteinskörpers und letztlich des darin enthaltenen einschlusswirksamen Gebirgsbereichs von den Eigenschaften des Deckgebirges. Das Ausmaß der Salzauflösung an der Deckfläche des Salzgesteinskörpers (Salzspiegel) eines Salzstocks ist wesentlich vom Aufbau des Deckgebirges (einschließlich Hutgesteinskörper) und von der Tiefenlage des Salzspiegels abhängig (KELLER 1990). Es findet keine bzw. kaum Subrosion statt, wenn sich der Steinsalzkörper tief unter der Erdoberfläche befindet und/oder durch überlagernde Gesteinskörper mit geringer Wasserdurchlässigkeit gegen Auflösung geschützt wird. Zudem wird durch Subrosion der Abstand zwischen wasserführenden Gesteinen und Endlager verringert und die Konfiguration der Grenzfläche zwischen Salzgesteinskörper und Deckgebirge sowie der Aufbau des Gipshutes verändert.

Wo Grundwasser im Bereich des Salzspiegels in Kontakt mit Einschaltungen besonders stark wasserlöslicher Kalisalze kommt, kann es darüber hinaus zu weit in den Salzgesteinskörper hineinreichender selektiver Auflösung oder Umlösung kommen. Dies ist auch beim Salzstock Gorleben nachgewiesen. Dort sind beim Kaliflöz Staßfurt bis zu einer Tiefe von 170 m unterhalb des Salzspiegels die Einwirkungen von Grundwasser nachweisbar (BFS 2005). Die Tatsache, dass bisher beim Salzstock Gorleben keine weiteren vorauseilenden Lösungsvorgänge bekannt sind, bedeutet nicht, dass sie nicht stattgefunden haben.

Bei Kontakt mit Grundwasser führenden Schichten des Deckgebirges können Gesteinsstränge aus Anhydrit oder Salzton Wasser bzw. Lauge weit in den Salzgesteinskörper hineinleiten, wenn entsprechende hydraulische Bedingungen gegeben sind. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn das Endlager und alle zugehörigen künstlichen oder natürlichen Hohlräume (noch) nicht (wieder) vollständig geschlossen sind. Umgekehrt können solche Gesteinsstränge für den konvergenzinduzierten Radionuklidtransport aus dem Endlager zur Verfügung stehen.

Die auflösungshemmende Schutzfunktion des Deckgebirges durch das Vorhandensein ausgehnter Gesteinskörper mit geringem Wasserleitvermögen ist aus diesen Gründen unerlässliche Voraussetzung dafür, dass der Steinsalzkörper eines Salzstocks überhaupt als einschlusswirksamer Gebirgsbereich in Frage kommt - es sei denn, es könnte für die genannten und denkbare andere Auswirkungen von Subrosion nachgewiesen werden, dass sie sicherheitsmäßig irrelevant sind. Beispielsweise wäre für den gesamten erweiterten Bereich des geplanten Endlagerbergwerks **der Nachweis zu führen**, dass potenziell wasserleitende Anhydritstränge

zwischen Endlagertiefe und Salzspiegel in isolierte, hydraulisch getrennte Einzelschollen zerlegt sind, so dass der Zutritt von Lauge an Abfälle zuverlässig ausgeschlossen werden kann. Dieser Nachweis ist bisher nicht zweifelsfrei geschehen.

Die Salzauflösung wird zwar auch gehemmt oder sogar verhindert, wenn im Bereich des Salzspiegels auf Grund geringer bis sehr geringer hydraulischer lokaler/regionaler Grundwasser-Gradienten kein oder nur sehr geringer Grundwasserdurchsatz durch das Deckgebirge stattfindet. Diese Voraussetzungen werden ihrerseits jedoch vor allem morphologisch und/oder klimatisch gesteuert. Sie unterliegen schwierig zu prognostizierenden Veränderungen und sind für sich allein kein Beleg für langfristig ausbleibende Subrosion. Die geforderte Schutzfunktion kann am zuverlässigsten durch einen geeigneten Aufbau des Deckgebirges gewährleistet und auch belegt werden.

HERRMANN & RÖTHEMEYER (2007) bezweifeln, dass die Gorlebener Rinne als Schwachstelle des Barrierensystems anzusehen sei, da geochemische Naturbeobachtungen im Salzgesteinskörper zeigen, dass im Zentralteil des Salzstocks seit ca. 250 Millionen Jahren bis heute keine Einflüsse nachweisbar sind, die von außen gekommen sind. Doch dieses Argument trifft die Funktion der Gorlebener Rinne nicht: Sie stellt einerseits einen bevorzugten Ansatzpunkt für die Subrosion dar, und andererseits ist sie ein Weg für die Ausbreitung von aus dem Salzstock austretenden Radionukliden. Die Aussage, dass bis heute keine äußeren Einflüsse bis in den Zentralteil des Salzstockes nachweisbar sein sollen, belegt nicht, dass dies auch zukünftig so sein wird (es sei an dieser Stelle z.B. an die aktuelle Diskussion über Herkunft und Sicherheitsrelevanz der Kohlenwasserstoffe im Salzstock Gorleben erinnert – z.B. SCHNEIDER (2011), WEBER, HAMMER & SCHULZE (2011)). Wesentlich ist darüber hinaus, dass durch das Auffahren des Bergwerks und das Einbringen der Abfälle (v.a. Wärmeeintrag, Gasbildung) ein erhebliches „Stressmoment“ auf den Salzstock wirkt, und deshalb nach Auffahren aller Grubenhohlräume und Einlagerung der Abfälle deutlich andere Bedingungen herrschen werden als vorher.

Der von HERRMANN & RÖTHEMEYER (2007) mit Blick auf Arbeiten von DELISLE (1988, 1989) gegebene Hinweis, ähnlich einschneidende Erosionsereignisse, wie sie zur Bildung der Gorlebener Rinne führten, seien zukünftig nicht mehr zu erwarten, darf angezweifelt werden. Bei den Überlegungen von DELISLE (1988, 1989) handelt es sich im Kern um Modellbetrachtungen bzw. –rechnungen, mit denen die Bildungsbedingungen entsprechender Rinnen simuliert worden sind. Die gerade von HERRMANN & RÖTHEMEYER immer gerne herangezogenen Naturbeobachtungen spielen in den Überlegungen von DELISLE (1988, 1989) aufgaben-

gemäß eher eine nachgeordnete Rolle. Im Übrigen ist die Überlegung, ob eine zukünftige Rinnebildung stattfinden kann oder nicht, nachrangig. In Gorleben existiert diese Rinne jetzt und in absehbarer Zukunft, und sie stellt in ihrer spezifischen Ausprägung einen erheblichen Schwachpunkt in der Barriere Deckgebirge dar.

### **Beitrag des Deckgebirges zur Radionuklid-Zurückhaltung**

Sofern der Zutritt von Lauge an die Abfälle nicht zuverlässig ausgeschlossen werden kann oder bei der Beschreibung des Endlager-Salzstocks bzw. bei der Prognose seiner künftigen Entwicklung sicherheitsrelevante Unsicherheiten bestehen bleiben, kann nicht sicher gewährleistet werden, dass der Salzgesteinskörper die ihm zugedachte Funktion als einschlusswirksamer Gebirgsbereich mit vollständigem Einschluss der Abfälle für den erforderlichen langen Zeitraum erfüllen wird.

Beispielsweise lassen sich über denkbare zukünftige Entwicklungen des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben Szenarien konstruieren, die durch den Wechsel von Warm- und Kaltzeiten gekennzeichnet sind. Es ist also möglich, dass im Verlaufe der nächsten (wenigen) 100.000 Jahre das jetzige Deckgebirge des Salzstocks durch die Entwicklung einer Kaltzeit und den damit zusammenhängenden Vorgängen „abgeräumt“ und durch andere Sedimente ersetzt wird. Diese können eine noch geringere oder aber auch höhere Barrierenwirkung aufweisen. Diese Möglichkeit darf jedoch nicht dazu führen, dass man dem Deckgebirge keine besondere Barrierenfunktion zuschreibt. Diese ist vor allem in der ersten Zeit (wenige tausend Jahre) nach der Einlagerung der Abfälle notwendig, weil in dieser Zeitspanne wesentliche sicherheitsbedeutsame Entwicklungen im Endlager ablaufen werden (z.B. Verschluss von Resthohlräumen, funktionsfähige Dichtungssysteme). Für den Fall, dass dabei andere als die geplanten Entwicklungen ablaufen, ist das (jetzige) Deckgebirge zwingend zur Radionuklidrückhaltung notwendig, kann diese Funktion im Falle Gorleben aber nur unzureichend leisten.

In solchen Fällen muss das Deckgebirge durch seine barrierewirksamen Eigenschaften und die Anordnung der an seinem Aufbau beteiligten Gesteinskörper die Ausbreitung von Radionukliden verhindern oder zumindest wirksam behindern. Dazu muss es zu möglichst großen Teilen aus Gesteinen mit geringer Wasserdurchlässigkeit bestehen, die den Salzgesteins- bzw. den Hutgesteinskörper möglichst unmittelbar überlagern und eine flächenhafte Ausdehnung haben. Dadurch wird der grundwassergetragene Radionuklidtransport vom Salzgesteinskörper in die Biosphäre unterbunden oder doch stark verzögert. Aus den Forderungen nach Schutz des Salzgesteinskörpers und Beitrag des Deckgebirges zur Radionuklidisolation ergeben sich also prinzipiell ähnliche Anforderungen an die Eigenschaften und die Anordnung der das Deckgebir-

ge aufbauenden Gesteinskörper. **Davon abweichende ungünstige Deckgebirgsverhältnisse von Salzstöcken können grundsätzlich nicht durch positive Merkmale des Salzgesteinskörpers kompensiert werden.**

**Zusammenfassend erweist sich das Deckgebirge damit als wesentliches Element des Mehrbarrierensystems eines Endlagers in einem Salzstock.** Seine Schutzfunktion gegen (selektive) Subrosion des Salzgesteinskörpers und sein Beitrag zur Schadstoffzurückhaltung müssen bei der Beurteilung der Langzeitsicherheit gezielt bewertet und nachgewiesen werden. Deshalb muss bereits bei der Standortauswahl auf entsprechende Merkmale geachtet werden – wie auch in BGR (1995a) dargelegt und in Kriterien gefasst. Die Einlassungen von BRÄUER (1999) zur Barriere Deckgebirge gehen an den dargestellten Sachverhalten und Problemen vorbei (s. Kap. 3.3), denn auf Grund der unterschiedlichen Sicherheitsfunktionen von Salzgesteinskörper (Isolation der Radionuklide) und Deckgebirge (Isolation der Radionuklide und Schutz des Salzgesteinskörpers) können ungünstige Deckgebirgsverhältnisse von Salzstöcken nicht durch positive Merkmale des Salzgesteinskörpers kompensiert werden.

Im Übrigen ist bei der Bearbeitung der „Sicherheitstechnischen Einzelfragen“, die im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) von Dritten bearbeitet wurden, auch die Bedeutung des Mehrbarrierenkonzepts für die Endlagerung behandelt worden. Die entsprechende Studie von GRUNDFELT et al. (2005) gibt Hinweise auf die Bewertung von Salzstöcken. In ihr wird festgestellt, dass bei Endlagern in Salzstöcken zwar der Salzgesteinskörper selbst die Hauptbarriere darstellt, dass er aber in ausreichendem Maße gegen den Angriff durch Grundwasser geschützt sein muss. Dies wiederum kann nur durch ein gutes Deckgebirge gewährleistet werden. Es muss den Salzgesteinskörper vor Lösungsangriffen schützen und gegebenenfalls die Ausbreitung von aus dem Salzkörper austretenden Radionukliden wirksam verzögern.

- **EINWAND: Der vollständige bzw. sichere Einschluss in Salz ist machbar und erfordert deshalb kein qualitativ hochwertiges Deckgebirge**

Der Gedanke des vollständigen bzw. sicheren Einschlusses der radioaktiven Abfälle in Salz beruht darauf, dass nach Einlagerung der Abfälle innerhalb relativ kurzer Zeit der verbleibende Hohlraum um die Abfälle herum durch Konvergenz des umgebenden Salzes vollständig geschlossen wird. Wenn dieser Prozess abgelaufen ist, soll kein Transportmittel für Radionuklide (Lauge, Wasser) mehr an die Abfälle herantreten können bzw. sich von diesen entfernen können. Die Abfälle sind also eingeschlossen, und das Deckgebirge braucht keine tragende Si-

cherheitsfunktion zu haben. **Vollständiger Einschluss** bedeutet, dass keinerlei Radioaktivität aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich (ewG) austritt, **sicherer Einschluss** meint, dass nur ein geringfügiger (noch gerade akzeptierter) Austrag von Radionukliden aus dem ewG freigesetzt werden darf. Im Übrigen ist für die Endlagerung im Salz der vollständige Einschluss zu fordern, denn wenn Salz als Einlagerungsmedium für stark wärmeentwickelnde Abfälle wegen seiner besonderen Eigenschaften so gut geeignet ist, wie es häufig behauptet wird (z.B. auch von der BGR (2007b), dann darf man sich nicht mit dem sicheren Einschluss zufrieden geben.

Diese Vorstellung des vollständigen Einschlusses ist jedoch nur dann zu verwirklichen, wenn kein (erkanntes oder unerkanntes) Problem bei der Endlagerung im Salz auftritt. Genau diese Voraussetzung ist jedoch nicht als selbstverständlich hinzunehmen. Man muss sich im Klaren sein, dass durch die Anlage des Endlagerbergwerkes innerhalb der verschiedenen Salz- bzw. Gesteinsarten eines Salzstocks (mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften), durch das Einbringen einer erheblichen Wärmelast in den Salzstock (thermomechanische Belastung) und möglicherweise durch die Bildung größerer Gasmengen (Folge? wie wegführen? wohin damit?) sowie sonstiger Abläufe (z.B. Bedeutung von Auflockerungszonen, Wirksamkeit geotechnischer Barrieren) eine negative Beeinflussung auf die Integrität der Barriere Salz ausgeübt werden kann.

Es dürfen Zweifel angebracht sein, ob durch Modellrechnungen allein die entsprechenden langfristigen Auswirkungen tatsächlich **sicher** erfasst werden (Über- und Unterschreitungen sind möglich – zur Verlässlichkeit von Voraussagen mittels Modellrechnungen siehe z.B. PILKEY & PILKEY-JARVIS 2006); auch Ergebnisse von Labor- oder Feldversuchen lassen sich nur begrenzt in die Zukunft fortschreiben. Deshalb ist **nicht mit der notwendigen Sicherheit** auszuschließen, dass es – zumindest so lange die Konvergenz noch nicht vollständig abgelaufen ist – zur Mobilisierung von Lösungen bzw. Lösungszutritten kommen kann, die zu den Abfällen hin bzw. anschließend weg gelangen können. Wenn dies geschieht steht zu befürchten, dass bei Vorhandensein eines Deckgebirges mit unzureichendem Isolationsvermögen längerfristig Radionuklide in die Biosphäre freigesetzt werden. Einer ähnlichen Meinung sind offensichtlich auch die Autoren von der BGR (1995b: 121), denn dort heißt es: „*Das Deckgebirge hat nur dann eine Funktion, wenn das Salzgebirge seine Funktion nicht voll erfüllt*“. Allerdings übersieht die BGR die **doppelte Schutzfunktion** des Deckgebirges (Schutzfunktion des Salzgesteinskörpers und Schutz gegen Radionuklidenausbreitung). Zudem wird eine problematische Zuordnung vorgenommen, indem das Deckgebirge nur dann eine Funktion haben soll, wenn das Salzgebirge versagt. Da aber bisher niemand die volle Funktion des Salzgebirges und der geotechnischen Barrieren nachweisen kann, muss das Deckgebirge seine Schutzfunktion(en) erfül-

len. Zumindest für den kritischen Zeitraum der ersten Jahrtausende nach der Einlagerung ist deshalb ein möglichst gutes Deckgebirge erforderlich (APPEL & KREUSCH 2006).

Auch die Überlegungen von HERRMANN & RÖTHEMEYER (2007), die auf Naturbeobachtungen des Salzstocks Gorleben beruhen, blenden ein wesentliches Problem aus: Der Einfluss der menschlichen Tätigkeit bzw. die von den eingelagerten Abfällen ausgehenden Wirkungen (v.a. Wärme, Gas) auf das Isolationsvermögen des Salzkörpers. Auch wenn der Salzstock Gorleben in seinem Zentralbereich bis heute keine Anzeichen dafür zeigt, dass in der Vergangenheit von außen kommende Einflüsse wirksam waren, so ist dies keine Gewähr dafür, dass dies unter dem Einfluss zukünftiger durch Abfalleinlagerung induzierter thermomechanischer Spannungen, Gasbildung o.ä. so bleibt. Der Nachweis des Isolationsvermögens eines Geosystems in der Vergangenheit ist noch kein Beweis für seinen zukünftigen Bestand unter zusätzlicher Beeinflussung durch menschliches Handeln. Wieso stellen sich vor diesem Hintergrund HERRMANN & RÖTHEMEYER nicht die Frage, wie denn der vollständige bzw. sichere Einschluss der Abfälle im Salzgesteinskörper gewährleistet und auch sicher nachgewiesen werden kann? Die Reduktion der Barrierefunktion auf die Frage, wie lange die über der 840-m-Sohle lagernden Salzschichten bei alleiniger (flächenhafter) Subrosion ihre Barrierefunktion beibehalten werden, greift vor dem genannten Hintergrund entschieden zu kurz.

Es ist letztendlich nicht nachvollziehbar, warum die verantwortlichen Fachinstitutionen im Laufe der Erkundung von Gorleben zu der Meinung gelangt sind, auf ein wirksames Deckgebirge faktisch verzichten zu können. Mögliche Antworten sind eher im politischen und ökonomischen Raum zu suchen; Argumente, die mit der immer wieder beschworenen (Langzeit-)Sicherheit und der seit einigen Jahren erwünschten Robustheit des Endlagersystems zu tun haben, können es kaum sein. Beispielhaft ist die Aussage von BRÄUER (1999), am Standort Gorleben habe ...*„das Deckgebirge hinsichtlich des sicheren Einschlusses der Abfälle keine entscheidende Funktion als Komponente im Mehrbarrierensystem...“*. Begründet wird diese Aussage mit der *„... geologische(n) Barrierewirkung durch die großen Mächtigkeiten der Salzschichten, die von der Einlagerungssohle bis zur Salzstockoberfläche etwa 600 m betragen...“*. Die Schlichtheit dieser Argumentation überrascht. Es sei nur noch einmal kurz darauf hingewiesen, dass allein die Mächtigkeiten von Salzschichten kein Argument sind, sondern dass die spezifischen Eigenschaften der verschiedenen Gesteinsschichten und ihre strukturelle Anordnung im Salzkörper bei der Bewertung entscheidend sind.



- **EINWAND: Gorleben ist zum Zeitpunkt des Erscheinens der Studie der BGR (1995a) bereits gut untersucht und entzieht sich somit der Bewertung der Studie.**

Ein solcher Einwand trifft nicht, denn gerade ein gut untersuchter Standort, der weit überwiegend negative Merkmale im Deckgebirge aufweist (s. Kap. 3.2), muss besonders kritisch betrachtet werden. Dieser Aspekt stellt sich noch verschärft, wenn man bedenkt, dass der Hauptteil der obertägigen Erkundung bereits zwischen 1979 und 1983 geschah. Spätestens mit dem Zwischenbericht über die bisherigen Ergebnisse der Standortuntersuchungen in Gorleben (PTB 1983) hätte man die Situation neu überdenken müssen. Die PTB (1983) selbst erklärt, „*dass die über den zentralen Bereichen des Salzstocks Gorleben vorkommenden tonigen Sedimente keine solche Mächtigkeit und durchgehende Verbreitung haben, dass sie in der Lage wären, Kontaminationen auf Dauer von der Biosphäre zurückzuhalten*“. Oder anders gesagt: Der notwendige Beitrag des Deckgebirges zur Radionuklidrückhaltung ist beim Salzstock Gorleben nicht gegeben. Diese Erkenntnis der PTB und die daraus resultierende Schlussfolgerung, nämlich die Auswahl anderer Endlagerstandorte, wurden offensichtlich durch politischen Einfluss verworfen (BMU 2009).

Übrigens lagen bereits vor Beginn der Erkundung Hinweise auf die Existenz einer eiszeitlichen Rinne quer über dem Salzstock vor (KUSTER & MEYER 1979). Nach VIERHUFF (1981) war diese Rinne über dem Salzstock bereits nachgewiesen, auch wenn die Verbindungen zwischen den wenigen Bohrungen und der Tiefgang der Rinne noch hypothetisch waren.

Aus den frühzeitigen Kenntnissen über das Deckgebirge von Gorleben, dass nämlich genau nicht das von JARITZ (1981) angesprochene interessante geologische Mehrbarrierensystem aus Salzstock und Tonsteinüberdeckung am Standort verwirklicht ist, hätte zur Aufgabe des Standortes oder zumindest zu einem Moratorium mit erneutem Nachdenken über das Problem führen müssen. Damit hätte man sich zumindest die Kosten der untertägigen Erkundung erspart – und damit einen sogenannten Sachzwang, der heute gerne als ein Grund für die Weitererkundung angeführt wird. Die Problematik des am Standort Gorleben vorgefundenen Deckgebirges war damals jedenfalls bei den damit beschäftigten bzw. daran interessierten Geowissenschaftlern wohl bekannt (z.B. APPEL 1981, DUPHORN 1984).

Im Jahre 1995 war der Standort Gorleben also relativ gut untersucht, und man besaß seit langem recht detaillierte Kenntnisse über sein Deckgebirge und Teile des Salzstocks. Es hätte sich also angeboten, Gorleben mit in die Bewertung der Salzstudie der BGR (1995a) einzubeziehen. Die methodologischen Schwierigkeiten, die dabei aus unterschiedlichen Kenntnisständen für

die zu vergleichenden Salzstrukturen zwangsweise entstehen, waren und sind nicht unüberwindbar.

Der Ausschluss von Gorleben in der Salzstudie der BGR (1995a) kann wohl nur aus anderen als sicherheitsgerichteten Gründen stattgefunden haben. Denn ein Widerspruch kann nicht aufgelöst werden: Zum einen die bis heute gültigen sicherheitsorientierten Kriterien der BGR (1995a) und zum anderen die mit „Eignungshöflichkeit“ begründete Weitererkundung von Gorleben, als gäbe es diese Kriterien und die entsprechenden standortspezifischen Befunde zum Deckgebirge nicht. Offensichtlich scheute man sich 1995 immer noch, die eigenen Kriterien auf Gorleben anzuwenden. Diese Situation hat sich bis heute nicht verändert.

- **EINWAND: Die Macht des Faktischen - Gorleben existiert als geplanter Endlagerstandort, und damit erübrigt sich die Anwendung von Kriterien, die auf die Auswahl von Standorten zielen.**

Dieser Einwand übersieht einen wesentlichen Aspekt, da er die tatsächliche Bedeutung der Kriterien der BGR (1995a) verkennt. Zwar dienen diese Kriterien der Vorauswahl von potenziellen Endlagerstandorten, aber gerade deshalb beschreiben sie genau **grundlegende Anforderungen**, die an Endlagerstandorte im Salzgestein gestellt werden müssen. Gerade weil die Auswahlkriterien sich auf diese Anforderungen beziehen, stehen sie in direktem Zusammenhang mit Eignungsfragen. Dies gilt selbstverständlich auch für die Kriterien, die aus sicherheitsorientierten Anforderungen an das Deckgebirge abgeleitet worden sind. **Gerade weil das Deckgebirge von Gorleben gut erkundet ist, können und müssen diese grundlegenden Vorauswahlkriterien benutzt werden, um den Standort im Verhältnis zu anderen zu beurteilen.** Wer also behauptet, diese Kriterien seien heute überholt, weil der Standort sich in einem fortgeschrittenen Erkundungsstadium befindet, irrt entweder oder will absichtlich vom Inhalt dieser Kriterien ablenken.

Die von verschiedenen Seiten (z.B. BGR 1991b, BFS 1990, PTB 1983) seit langem geäußerte Meinung, Gorleben sei „eignungshöflich“, betrifft übrigens diesen Aspekt mittelbar: „Eignungshöflich“ ist der Standort nur dann, wenn man keine konkreten (sicherheitsorientierten) Anforderungen an ihn stellt, sondern davon ausgeht, dass er bis zum Beweis des Gegenteils „eignungshöflich“ ist. Diese Vorgehensweise entspricht einer Beweislastumkehr: Ein Endlagerstandort muss sich nicht durch positive Merkmale qualifizieren, sondern er qualifiziert sich allein durch seine Existenz und durch seine bis zum Beweis des Gegenteils angenommene Eignungshöflichkeit.

Dies führt natürlich zu einer Art Zirkelschluss: So lange kein klares Anforderungsprofil an Eignungshöfliche Standorte existiert, so lange wird es unmöglich sein, den Beweis des Gegenteils von Eignungshöflichkeit anzutreten.

Damit führt die Antwort auf den formulierten Einwand weiter zu der allgemeinen und lange bekannten Problematik am Standort Gorleben, **nämlich dem Fehlen von Kriterien und Bewertungsmaßstäben, mit deren Hilfe eine nachvollziehbare Eignungsbewertung des Standortes möglich ist.** So lange dies fehlt, wird die (fachliche und politische) Auseinandersetzung um Gorleben weitergehen. Im Übrigen ist es fraglich, ob solche Bewertungsmaßstäbe im Nachhinein überhaupt noch einen Sinn machen; sie müssen **vor der Befunderhebung** festgelegt werden. Dieses gesamte Problembündel ist ja einer der wesentlichen Gründe, warum das Vertrauen der Bevölkerung in die zuständigen staatlichen Institutionen abnimmt.

## 5 Zusammenfassung, Konsequenzen

- Der Studie der BGR (1995a) zur Untersuchung und Bewertung von Salzformationen für die Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle liegt – abgesehen von einzelnen methodischen Problemen – ein nachvollziehbarer und sicherheitsorientierter Ansatz zur Vorauswahl von Salzformationen zu Grunde. **Die entwickelten geowissenschaftlichen Kriterien sind der Problemstellung angemessen. Insbesondere wird dem Deckgebirge die Bedeutung zugesprochen, die ihm hinsichtlich seiner Doppelfunktion für den Schutz des Salzstocks einerseits und für die Rückhaltung von eventuell aus dem Salzstock austretenden Radionukliden andererseits zukommen muss.**
- In der Studie der BGR (1995a) werden 41 Salzformationen untersucht. Es zeigt sich, dass keine der untersuchten Formationen alle durch die verwendeten Kriterien definierten Anforderungen optimal erfüllt. Dies war auch nicht zu erwarten. In einem weiteren Schritt wurden dann 14 Salzformationen ausgewählt, aus denen unter Berücksichtigung weiterer geowissenschaftlicher Aspekte und Randbedingungen **vier Salzstrukturen als am untersuchungswürdigsten identifiziert** wurden. Es handelt sich um die **Salzstöcke Waddekath, Wahn, Zwischenahn und mit Vorbehalt Gülze-Sumte**, die für die weitere Diskussion empfohlen wurden.

- **Der Salzstock Gorleben wurde in der Studie der BGR nicht berücksichtigt.** Bewertet man Gorleben mittels der in der BGR-Studie entwickelten Kriterien zum Deckgebirge, kommt man zu dem Ergebnis, dass **Gorleben wohl kaum als untersuchungswürdig anzusehen ist und folglich auch nicht in der Spitzengruppe der vier Salzstöcke (s.o.) auftauchen würde.** Dies gilt selbst dann, wenn man alle Kriterien zum Wirtsgestein Salz und zur Nutzung des Wirtsgesteinskörpers und seines Umfeldes – wie in dieser Kurzstudie geschehen - positiv bewertet.
- Der Grund für die **schlechte Bewertung des Standortes Gorleben liegt in seinem Deckgebirge begründet.** Von den neun Einzelkriterien zur Beurteilung des Deckgebirges führen sieben Kriterien zu einer ungünstigen Bewertung, ein Kriterium führt zu einer eher ungünstigen Bewertung und nur ein Kriterium führt zu einer günstigen Bewertung. Wegen der umfangreichen Erkundungsmaßnahmen am Standort Gorleben ist die Beurteilung der Kriterien zum Deckgebirge mit recht großer Sicherheit möglich.
- Als wichtigste **Konsequenz der vorgenommenen Bewertung des Standortes Gorleben** ergibt sich die **Einstellung der weiteren Untersuchungsarbeiten in Gorleben** und der Beginn eines **sicherheitsorientierten Standortauswahlverfahrens** unter Berücksichtigung tatsächlicher Beteiligungsrechte der Bevölkerung. Vorarbeiten dazu sind in erheblichem Umfang bereits geleistet worden (z.B. AKEND 2002).

Obwohl spätestens 1983 bekannt war, wie unzureichend das Deckgebirge des Salzstocks von Gorleben ist (PTB 1983), haben die verantwortlichen Institutionen am Standort Gorleben bis heute aus Gründen festgehalten, deren Sicherheitsorientierung nicht erkennbar ist. JARITZ kommt in einer Studie über die Eignung von Salzstöcken in Niedersachsen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (BGR 1983) zu dem Ergebnis, dass *"es ratsam [wäre], mehrere Lagerstätten von übertage zu erkunden, die Untersuchungsergebnisse vergleichend zu bewerten und anschließend nur die Lagerstätte untertägig zu erkunden, die die größte Eignungshöflichkeit ergeben hat"* (BGR 1983: 17). Die negativen Befunde zu Gorleben und die seit Jahrzehnten bestehende Forderung nach einer vergleichenden sicherheitsorientierten Bewertung von Endlagerstandorten sind heute aktueller als jemals zuvor. Sie erfordern eine grundlegende Umorientierung und die Herbeiführung eines gesellschaftlichen Konsenses im Bereich der Endlagerung.

## 6 Schriftenverzeichnis

AKEND – Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (2002): Empfehlungen des AkEnd.-Bonn, 2002.

APPEL, D. (1981): Zwischenergebnisse zum Thema Quartär, Tertiär und Grundwasser - Berechnungen von Salzaufstiegs- und Subrosionsraten am Salzstock Gorleben mit Hilfe geologischer Schnitte.- In: Bundesministerium für Forschung und Technologie (1981, Hrsg.): Zwischenergebnisse der Standorterkundung Gorleben – Dokumentation der Informationsveranstaltung im Rahmen des Energiedialogs am 15. und 16. Mai 1981 in Lüchow, Gildehaus, S. 253 – 259, Bonn, November 1981.

APPEL, D. & KREUSCH, J. (2006): Das Mehrbarrierensystem bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle in einem Salzstock.- Studie im Auftrag von Greenpeace Deutschland e.V., November 2006, Hannover.

BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2005): Endlagerung radioaktiver Abfälle als nationale Aufgabe.- Salzgitter.

BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (1990): Fortschreibung des Zusammenfassenden Zwischenberichtes über bisherige Ergebnisse der Standortuntersuchung Gorleben vom Mai 1983.- Bericht ET-2/90, Salzgitter.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007a): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands – Untersuchung und Bewertung von Tonformationen.- April 2007, Berlin/Hannover.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007b): Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland – Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen.- Hannover/Berlin.

BRÄUER, V. (1999): Stellungnahme zum Leserbrief des Herrn Messerschmidt.- Schriftliche Stellungnahme plus Anhang.- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, August 1999, Hannover.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995a): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands – Un-

tersuchung und Bewertung von Salzformationen.- 66 S., Projektleitung: F. KOCKEL & P. KRULL, August 1995, Hannover.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995b): Projekt Gorleben – Stellungnahme zu Gutachten, die im Auftrag des NMU zur Eignungshöflichkeit des Standortes Gorleben angefertigt wurden.– Abschlußbericht zum Arbeitspaket 9G/31461000, Hannover.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1995c): Projekt Gorleben. Standortbeschreibung Gorleben-Süd. Hydrogeologie des Deckgebirges. Kenntnisstand 1994. Arbeitspaket: Hydrogeologische Untersuchungen AP 9G 312 1211 000.- BGR-Archiv Nr. 112 693, Hannover.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1994): Endlagerung stark wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands – Untersuchung und Bewertung von Regionen in nichtsalinaren Formationen.- November 1994, Hannover.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1991a): Biostratigraphische Untersuchungen paläogener Proben des Salzstocks Gorleben anhand von Dinoflagellaten und deren geologische Interpretation.- Zwischenbericht zum Arbeitspaket 9G 411 110 00.- 42 S., Hannover (Bearbeiterin: A. KÖTHER).

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1991b): Übertägige geowissenschaftliche Erkundung des Standortes Gorleben – Zusammenfassender Bericht, Stand 01.01.1990.- BGR-Archiv Nr. 108 880, Hannover.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1983): Eignung von Salzstöcken in Niedersachsen zur Endlagerung radioaktiver Abfälle.- Auftraggeber: Bundesministerium für Forschung u. Technologie, 20 S., Hannover (Bearbeiter: W. JARITZ).

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2009): Akten lassen keinen Zweifel an der Einflussnahme der Kohl-Regierung auf Gutachten zu Gorleben.- Pressemitteilung Nr. 324/09 des BMU, Berlin, 24.09.2009.

DELISLE, G. (1989): Genese glazialer Rinnen in Nordeuropa während Glazialstadien.- Teilbericht II, 03.07.1989, BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

DELISLE, G. (1988): Permafrost in Nordeuropa und Genese glazialer Rinnen während Glazialstadien.- Teilbericht I, 14.06.1988, BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

DUPHORN, K. (1984): Quartäre Schichtenfolgen im Deckgebirge des Salzstocks Gorleben.- In: Bundesministerium für Forschung und Technologie (1984, Hrsg.): Entsorgung, Band 3, Bericht von einer Informationsveranstaltung des Bundes vor dem Schachtabteufen – Salzstock Gorleben, 27./28. Mai 1983 Hitzacker, S. 29 – 59, Bonn, Juni 1984.

GÖK – Gruppe Ökologie e.V. (1998): Analyse der Entsorgungssituation in der Bundesrepublik Deutschland und die Ableitung von Handlungsoptionen unter der Prämisse des Ausstiegs aus der Atomenergie.- Studie im Auftrag der Heinrich Böll Stiftung, Hannover.

GRUNDFELT, B. et al. (2005): Sicherheitstechnische Einzelfragen – Bedeutung des Mehrbarrierenkonzepts für ein Endlager für radioaktive Abfälle beim Nachweis der Einhaltung von Schutzziele.- Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, 201 S., Kemakta AR 2005-28, Oktober 2005, Stockholm.

HERRMANN, A.G. & RÖTHEMEYER, H. (2007): Naturbeobachtungen am Geosystem Salzstock Gorleben. Das Unsichtbare sichtbar machen. Forschung, Erkenntnis, Besinnung.- atw, 52. Jg., H. 5, S. 333 – 341.

JARITZ, W. (1981): Vorkenntnisse über den Salzstock Gorleben und Gründe für die Annahme als Untersuchungsobjekt.- In: Bundesministerium für Forschung und Technologie (1981, Hrsg.): Zwischenergebnisse der Standorterkundung Gorleben – Dokumentation der Informationsveranstaltung im Rahmen des Energiedialogs am 15. und 16. Mai 1981 in Lüchow, Gildehaus, S. 12 – 19, Bonn, November 1981.

KELLER, S. (1990): Das Ablaugungsverhalten der Salzstöcke in NW-Deutschland.- Abschlußbericht des BMFT-Fördervorhabens KWA 5801 9 „Langzeitsicherheit der Barriere Salzstock“, Teilprojekt III.- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Juni 1990, Hannover.

KLINGE, H., BOEHME, J., GRISSEMANN, Ch. et al. (2007): Standortbeschreibung Gorleben, Teil 1: Die Hydrogeologie des Deckgebirges des Salzstocks Gorleben.- Geol. Jb., Reihe C, Heft 71, 147 S., 59 Abb., 4 Tab., 1 Anl., Hannover.

KLINGE, H., KÖTHE, A., LUDWIG, R.R. & ZWIRNER, R. (2002): Geologie und Hydrogeologie des Deckgebirges über dem Salzstock Gorleben.- Z. Angew. Geol., H. 2, S. 7 – 15.

KÖTHE, A., HOFFMANN, N., KRULL, P. et al. (2007): Standortbeschreibung Gorleben, Teil 2: Die Geologie des Deck- und Nebengebirges des Salzstocks Gorleben.- Geol. Jb., Reihe C, Heft 72, 201 S., 42 Abb., 19 Tab., Hannover.

KUSTER, H. & MEYER, K.-D. (1979): Glaziäre Rinnen im mittleren und nordöstlichen Niedersachsen.- Eiszeitalter und Gegenwart, 29, S. 135 – 156, Hannover.

PILKEY, O.H. & PILKEY-JARVIS, L. (2006): Useless arithmetic. Why Environmental Scientists Can't Predict the Future.- Columbia University Press, New York.

PTB - Physikalisch-Technische Bundesanstalt (1983): Zusammenfassender Zwischenbericht über bisherige Ergebnisse der Standortuntersuchung Gorleben.- Braunschweig.

RÜBEL, A.P. (2000): Stofftransport in undurchlässigen Gesteinsschichten – Isotopenuntersuchungen im Grund- und Porenwasser.- Dissertation, Der Andere Verlag, Osnabrück.

SCHNEIDER, U. (2011): Erdgas und Kondensatvorkommen in Salz, speziell im Salzstock Gorleben-Rambow.- Literaturstudie im Auftrag von Greenpeace Deutschland e.V., 36 S., Hamburg.

STRASSET, G. (1995): Das Abwägungsproblem bei multikriteriellen Entscheidungen.- Verlag Peter Lang, Frankfurt am Main u.a..

VIERHUFF, H. (1981): Vorkenntnisse über die oberflächennahen Schichten und Hydrogeologie.- In: Bundesministerium für Forschung und Technologie (1981, Hrsg.): Zwischenergebnisse der Standorterkundung Gorleben – Dokumentation der Informationsveranstaltung im Rahmen des Energiedialogs am 15. und 16. Mai 1981 in Lüchow, Gildehaus, S. 27 – 36, Bonn, November 1981.

WEBER, J.R., HAMMER, J., SCHULZE, O. (2011): Geowissenschaftliche Arbeiten der BGR zur vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben. Empfehlungen der BGR zur Berücksichtigung der Kohlenwasserstoff-Vorkommen im Hauptsalz des Salzstockes Gorleben im Rahmen einer vorläufigen Sicherheitsanalyse.- 28 S., Hannover, Februar 2011.