



# Endlagerung radio- und chemotoxischer Abfälle im Tiefuntergrund

Wissenschaftlich-technische, planerisch-organisatorische und strukturelle Schwachstellen – eine Beurteilung vier ausgewählter Fallbeispiele

**Autor:**  
Marcos Buser, INA GmbH Zürich, Juni 2016

## ➔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. Rund 580.000 Fördermitglieder in Deutschland spenden einen regelmäßigen Beitrag an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung: Ausgangslage, Auftrag, Arbeiten	5
2 Historischer Kontext: Eingrenzung und Überblick	7
3 Fallbeispiele	11
3.1 Schachanlage Asse	12
3.2 Décharge de matériaux stabilisés DMS St-Ursanne	22
3.3 Stocamine	29
3.4 Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)	39
4 Folgerungen und Empfehlungen	49

## Quellenverzeichnis

### Tabellen

Tabelle 1: Ausgewählte Fallbeispiele

Tabelle 2: Zeittafel wichtiger Ereignisse im Dossier Asse

Tabelle 3: Zeittafel wichtiger Ereignisse des Dossiers DMS St-Ursanne

Tabelle 4: Zeittafel wichtiger Ereignisse des Dossiers Stocamine

Tabelle 5: Zeittafel wichtiger Ereignisse im Dossier WIPP

Tabelle 6: Zusammenfassende Tabelle der Einschätzung der vier betrachteten Endlagerprojekte

# Bisherige Erfahrungen mit der Endlagerung radio- und chemo-toxischer Abfällen im Tiefuntergrund

## Wissenschaftlich-technische, planerisch-organisatorische und strukturelle Schwachstellen - eine Beurteilung von vier ausgewählten Fallbeispielen

### 1 Einleitung: Ausgangslage, Auftrag, Arbeiten

*Ausgangslage und Problemstellung:* Seit Jahrzehnten wiederholt sich ein ums andere Mal, dass eingeleitete oder umgesetzte Projekte für die Endlagerung radioaktiver Abfälle oder chemo-toxischer Abfälle im geologischen Tiefuntergrund aufgegeben werden oder scheitern beziehungsweise ein Standort saniert oder der Betrieb über Jahre eingestellt werden muss. Die Liste ist lang und umfasst viele Projekte: Endlager in Lyons (Kansas), Yucca Mountain (Utah) oder die Waste Isolation Pilot Plant (WIPP New Mexico) in den Vereinigten Staaten, SMA-Versuchsendlager Asse und SMA-Endlager Morsleben in der BRD, Endlagerprojekte "Kristallin" oder Wellenberg in der Schweiz und viele andere mehr. Bei chemo-toxischen Abfällen wurden Projekte wie DMS-St-Ursanne (Schweiz) und "Stocamine" (Wittelsheim, Elsass) aufgegeben oder sind als bereits gescheitert zu bezeichnen, während sich die Situation bei einer Anzahl von alten Bergwerken, die für die Untertage Lagerung oder den Versatz von Sonderabfällen genutzt werden, verschärft. Zudem häufen sich Probleme und Sanierungsfälle bei klassischen Oberflächendeponien für schwach- und kurzlebige mittelaktive Abfälle, eine Konzeption, die in vielen Ländern auch heute noch Stand der Technik sind, etwa in den USA, Frankreich, Spanien usw.

Angesichts dieser Entwicklungen erscheint die praktische Umsetzung des Konzepts der geologischen Tiefenlagerung mit Option auf Rückholbarkeit in der heute verfolgten Art und Weise zunehmend fragwürdig.

*Auftrag:* Im Spätherbst 2015 beauftragte Greenpeace e.V. Deutschland den Unterzeichneten, eine erste Zwischen-Bilanz der heutigen Situation der Endlagerung radio- und chemo-toxischer Abfälle zu ziehen unter Auswertung der Schwachstellen der realisierten Projekte und der Ursachen der Fehlschläge.

*Arbeiten:* Folgende Arbeiten werden ausgeführt:

- *Analyse einer Auswahl von 4 verschiedenen fehlgeschlagenen Projekten unter Einbezug des historischen Kontextes sowie unter technischen, wissenschaftlichen und organisatorischen Gesichtspunkten:* Der Schwerpunkt der Betrachtungen richtet sich zum einen auf die verfolgten Konzepte, die Wahl der Wirtgesteine, die Standorteignung (Geologie, Hydrogeologie, Geomechanik usw.), die Auslegung der Lager, die Art der Einlagerung sowie die Bergbarkeit einmal eingelagerter Abfälle; zum anderen stehen die strukturellen und organisatorischen Belange auf dem Prüfstand, insbesondere die Organisation der Projekte, das konkrete Management, die Abwicklung der Arbeiten, die Fehler- und Sicherheitskultur (gemäss den gängigen Vorschriften und Richtlinien) und die Aufsicht über die Projekte. Ein Schwerpunkt bildet die Problematik der Rückholung von Abfällen.

- *Analyse der Schwachstellen der verschiedenen Projekte:* Interpretation der Gründe für das Scheitern der Projekte
- *Synthese der Erkenntnisse:* Darlegung von Massnahmen zur Sicherstellung der Qualität von Projekten hinsichtlich Konzeption, Organisation, Ausführung und Aufsicht.

Bei allen ausgewählten Projekten handelt es sich um eigentliche Tiefenlager, also um geologische Situationen mit mächtigen Überdeckungen und, Lagertiefen also, die mit jenen der heute verfolgten Untertageprojekte, z.B. in der Schweiz oder der BRD, übereinstimmen. Auch wenn in mediterranen Ländern wie Frankreich eine Grenze zwischen Bergwerk („mine“) und Steinbruch unter Tage („carrière souterraine“) bei 300m<sup>1</sup> Tiefe gezogen wird, ist dies in erster Linie auf historische Entwicklungen in diesem Lande zurückzuführen.<sup>2</sup> Weder im deutschen noch im angelsächsischen Raum wird diese auf einen spezifischen Tiefenbereich bezogene sprachliche Unterscheidung gemacht.

Oberflächendeponien für radioaktive Abfälle werden nicht in die vorliegende Untersuchung aufgenommen, obschon sie auf ähnlichen konzeptionellen Grundlagen oder Umsetzungspraktiken beruhen und sinnvollerweise ebenfalls untersucht werden sollten. Eine vergleichende Analyse zum Wissensverlust bei konventionellen Deponien und Altlasten (NEA 2014) hat gezeigt, wie ergebnisreich solche Untersuchungen auch bei diesen generell etwas besser akzeptierten Abfallanlagen sind.

---

<sup>1</sup> Difference between Quarrying and Mining: „Anything extracted from above the surface of earth is known as quarrying whereas extraction of buried material below the surface is mining.“

<http://cescientist.com/difference-between-quarrying-and-mining/>

<sup>2</sup> So gelten die baden-württembergischen Gruben Heilbronn, Kochendorf oder Stetten (Haigerloch) als Bergwerke, obschon sie nach französischer Definition nicht dieser Kategorie zuzurechnen wären.

## 2 Historischer Kontext: Eingrenzung und Überblick

*Eingrenzung:* Mit der fortschreitenden Industrialisierung ab den 18ten Jahrhundert und dem Beginn der Massenproduktion von Waren entstand auch eine neue Qualität von Umweltproblemen. Abfallgase, Abwässer und feste Abfälle wurden in allen Industriestaaten der Welt (und später auf dem Planet als Ganzes) bedenkenlos in die Umwelt verteilt, mit den heute bekannten Folgen. Mit ersten Schutzvorkehrungen zur Eingrenzung von Umweltschäden zu Beginn des 20ten Jahrhunderts entwickelte sich schrittweise auch die „moderne“ Abfallwirtschaft insbesondere bei der Kommunal- und Bauabfällen, später bei den gefährlichen Industrie- und Gewerbeabfällen. Im Lauf der nächsten Jahrzehnte und besonders gegen Ende des 20sten Jahrhunderts war damit eine neue Abfallwirtschaft entstanden, die zunehmend auch durch nationale wie überstaatliche Gesetzgebungen reguliert wird (z.B. EU-Recht<sup>3</sup>). Die Grundsätze dieser neuen Abfallwirtschaft sind überzeugend – Abfälle sollten zunächst vermieden, dann verwertet, danach behandelt und erst ganz am Schluss, wenn alle diese Schritte bereits erfolgreich umgesetzt wurden, deponiert oder in ein Endlager verbracht werden. An diesen Grundsätzen orientierten sich z.B. charakteristische Konzepte der Zeit (BUS 1986, Stief 1986), die eine neue Qualität im Umgang mit Abfällen einforderten und den nachhaltigen Umgang mit Reststoffen in den Vordergrund stellten.

Allerdings wurden diese Vorstellungen über die Behandlung und Entsorgung von gefährlichen Abfällen bei weitem nicht in der gewünschten Art umgesetzt. Bei zwei Abfalltypen taten sich die dafür verantwortlichen Institutionen und ihre Expertengremien besonders schwer, obschon gerade hier die Notwendigkeit der nachhaltigen Bewirtschaftung dieser Abfälle betont wurden: radio-toxische Abfälle und die als „Sondermüll“ bezeichneten chemo-toxischen Abfälle. Bei beiden Abfalltypen haben sich die entwickelten und umgesetzten Strategien für die dauerhafte Isolierung der Abfälle als viel komplexer herausgestellt als ursprünglich erwartet. Insbesondere die Umsetzung des Multibarrieren-Konzepts, das zunächst für radio-toxische Abfälle (Hollocher 1975, Hollister 1977, KBS 1978) entwickelt und später auch bei den chemo-toxischen Abfällen (Stief 1986) Eingang fand, wurde immer wieder von Rückschlägen begleitet. Viele Jahrzehnte nach Entstehung von großen Mengen an radio- und chemo-toxischen Abfällen muss festgestellt werden, dass bisher keine befriedigenden Ergebnisse bei der Umsetzung nachhaltiger Strategien im Umgang mit diesen Abfällen erzielt werden konnten. Die folgenden Ausführungen zeichnen diesen Weg im Überblick kurz nach.

*Überblick zur Endlagerung radio-toxischer Abfälle:* Die Konzeption der Endlagerung radioaktiver Abfälle geht in die frühen 1950er Jahre zurück. Einzelne Forscher und Institutionen in den Vereinigten Staaten hatten erkannt, dass Lösungen für den Umgang mit radioaktiven Abfällen notwendig wären, sollte die Atomenergie dereinst auch kommerziell erfolgreich umgesetzt werden (Weinberg 1994). Denn über Jahre und Jahrzehnte angewendete Praktiken wie die Versenkung radioaktiver Abfälle im Meer (Evans 1952, Claus 1955, Renn 1955, Deese 1978), das Versickern lassen via Becken (Wolman et al. 1950, Warde et al. 1955, Mawson 1955) oder die Verpressung in den Untergrund (Pecsok 1954, Struxness et al. 1955, Spitsyn et al. 1977), die

---

<sup>3</sup> EU-Richtlinien über Abfälle 91/689/EWG über gefährliche Abfälle bzw. Abfallrahmenrichtlinie 2006/12/EG und 2008/98/EG

Verdünnung in der Umwelt (Beers 1949, Scott 1950, Dunster 1955, Revelle et al. 1957) oder das simple Vergraben von festen Abfallstoffen in Gruben (Goodman 1949, Nucleonics 1955, Brown et al. 1955) konnte in keinem Fall als wegweisende Entsorgungsmethode angesehen werden.

Die Diskussion um die nukleare Abfallbeseitigung bewegte sich in den 1950er Jahren und in den Jahren danach nur langsam in Richtung eines Wiedereinbringens der Abfallstoffe in den tiefen kontinentalen Untergrund. Anlässlich der ersten internationalen Konferenz zur friedlichen Nutzung der Atomenergie 1955 in Genf stellten einzelne Forscher und Institutionen zwar auch Konzepte zur tiefen geologischen Endlagerung in der kontinentalen Erdkruste vor. Dabei wurde auch eine erste Auslegung von Wirtgesteinen kurz diskutiert: Salzgesteine, Tonformationen aber auch kristalline Gesteine und selbst Tuffe (Theis 1955, Warde et al. 1955) wurden grundsätzlich als potentielle Wirtgesteine für solche Endlager ins Auge gefasst. Aber diese Forschungen waren eher das Produkt persönlicher Initiativen und waren nicht durch nationale Entsorgungsprogramme sanktioniert.

Die Atomindustrie selber war im großen und ganzen nicht an der sachgerechten Beseitigung radioaktiver Abfälle interessiert (Alley et al. 2013). Ihre Exponenten hielten, wie in den frühen Jahren des Atombombenbaus, die „Ent-Sorgung“ dieser Abfälle für ein sekundäres Problem, das zu einem späteren Zeitpunkt gelöst werden könnte (Weinberg 1994). Hauptsache war es für die damalige Industrie, die Kraftwerkskapazitäten möglichst rasch hochzufahren (Greg Butler, in Hagen 2013), die Abfallfrage würde dann schon gelöst werden.

Diese Zuversicht führte zu einem weiteren Zuwarten über ein weiteres Jahrzehnt. Erst die sich erstmals zuspitzende Situation bei der Lagerung flüssiger hochradioaktiver Abfälle in Stahltanks, bedeutende Leckagen und Verluste von radioaktiven Flüssigkeiten aus Lagertanks und die nicht mehr abzustreitende großflächige Verschmutzung von Fließ-, Grundwässern und Böden (z.B. Hanford, siehe Honstead et al. 1960, Pearce et al. 1960, Weinberg 1994, Alley et al. 2013) veränderte die Wahrnehmung der Gesellschaft in Bezug auf die Abfallfrage. Die gesellschaftliche Opposition wuchs. Die Einsicht setzte sich auch bei der Atomindustrie durch, dass etwas gemacht werden musste.

Wie bereits bei früheren Gelegenheiten, bei denen die allergünstigsten Beseitigungsmethoden umgesetzt worden waren (siehe oben), suchten die zuständigen Institutionen und ihre Verantwortlichen auch in dieser neuen Situation in erster Linie nach den billigsten Methode, sich ihrer Abfälle zu entledigen (Alley et al. 2013). Die Suche konzentrierte sich auf alte stillgelegte oder in Stilllegung begriffene Bergwerke. Bergwerke im Steinsalz schienen sich besonders gut für die Deponierung solcher Abfälle zu eignen. Mächtige Salzlager galten als wasserundurchlässig und die Wasserhaltung gegenüber Wassereinbrüchen hielt man für beherrschbar – trotz vielen negativen Erfahrungen mit abgesoffenen Bergwerken, allen voran Salzbergwerken (Buser et al. 1998, Berest et al. 2004)<sup>4</sup>. Auf diese Weise wählten einzelne nationale Programme zwischen den

---

<sup>4</sup> Berest et al. (2004): « L'invasion par l'eau ou la saumure est l'accident le plus caractéristique des mines de sel ou de potasse en activité. Cette invasion est pratiquement inévitable à terme plus ou moins long dans une mine abandonnée, avec des conséquences sévères à la surface du sol, notamment au dessus de la zone par laquelle l'eau est rentrée dans la mine. » (Der Zufluss von Wasser oder Sole ist der charakteristischste Unfall in Salz oder Kali-Bergwerke während des Betriebs. Dieses „Absaufen“ ist über kurz oder lang in einem aufgegebenen Bergwerk fast unvermeidlich, mit schweren Folgen auf die Bodenoberfläche, vor allem in dem Zuflussbereich des Wasser.)

1960er und 1980er Jahren eine Anzahl Bergwerke als Endlager für schwach- und mittelaktive Abfälle und beschickten diese mit ihren Rückständen.

*Entsorgung chemo-toxischer Abfälle:* Auch andere Industriezweige, allen voran die Bergwerke selber aber auch chemische Unternehmen, begannen in dieser Zeit ihre Abfälle zunehmend in alten ausgedienten Bergwerksstollen einzulagern (NEA 2014, Buser et al. 1998). Das scheinbar erfolgreiche Modell der Atomindustrie zur Abfallverbringung in Untertagebergwerke (UTD) wurde aber auch für chemischen Industrien oder Industrien, die andere hochtoxische Abfälle produzierten, zunehmend interessant. Zum einen war Transport, Einlagerung und Beseitigung in einer UTD oder in einem Versatzbergwerk mit relativ geringen Kosten verbunden, wenn man solche mit der chemischen (Neutralisierung, Entgiftung, z.T. Verfestigung usw.) oder zu einem späteren Zeitpunkt mit der thermischen Behandlung (Plasmaanlagen für Sondermüll<sup>5</sup>, andere thermische Verfahren [z.B. Seiler-Verfahren] <sup>6</sup>, usw.) vergleicht. Zum anderen konnte Zeit gewonnen und den Problemen mit Sondermülldeponien an der Oberfläche (Kies-, Sand- oder Tongruben usw.) ausgewichen werden. Denn auf dem politischen und gesellschaftlichen Parkett interessieren sich in der Regel nur lokale Oppositionsgruppen für die Auswirkungen von Untertagedeponien oder Versatzbergwerken. Die breite Öffentlichkeit reagierte weitgehend desinteressiert auf diese Herausforderung.

So begannen sich erste Industriezweige (chemische Industrie, Metall- und Verhüttungsbetriebe, Galvanikindustrie und Anwender, Kehrlichtverbrennungsanlagen, usw. später die Altlasten-Branche) für Untertage-„Lösungen“ für ihre Abfälle zu interessieren. 1972 nahm die erste industrielle Untertagedeponie (UTD) in Herfa-Neurode, Thüringen<sup>7</sup>, in einem stillgelegten Teil des Werra-Bergbau-Reviers den Betrieb auf. In den 1980er Jahren und besonders ab den frühen 1990er Jahren folgte eine Anzahl weiterer Minen in Salzgesteinen und seltener in alten Kohlebergwerken (z.B. Grube Walsum, Nordrhein Westfalen), die als Abfallkippen oder Versatzbergwerke in Betrieb genommen wurden. Auch die Schweiz folgte in den 1980er und 1990er Jahren dieser Strategie mit den beiden Projekten „DMS St-Ursanne“ (Kanton Jura) und „Felsenau“ bei Leibstadt (Kanton Aargau). Mit der Bewilligung dieser „Ent-Sorgungs“-Praxis durch die zuständigen Länderbehörden war auch für chemo-toxische Abfälle eine folgenschwere Entwicklung eingeleitet worden. Die Abfälle verschwanden von der Oberfläche, die Entsorgungspflicht der Betriebe galt als erfüllt und die Behörden bürgten mit den Vorgaben für einen Langzeitsicherheitsnachweis für die sichere und dauerhafte Endlagerung im Tiefuntergrund.

Kaum thematisiert wurde freilich die Interdependenz zwischen den beiden Entsorgungspraktiken. Die Atommüllentsorgung erfolgte auf ihrer Schiene, jene der chemo-toxischen Abfälle auf der anderen. Keine Seite schien besonders interessiert daran zu sein, die offensichtlichen

---

<sup>5</sup> „L’application de la torche à plasma pour la vitrification de déchets dangereux est une solution éprouvée. Cette technologie est toutefois peu compétitive par rapport au stockage, ce qui restreint son utilisation à des applications de niche (vitrification de l’amiante principalement).“ („Die Anwendung der Plasma-brenner zur Verglasung von gefährlichen Abfällen ist eine bewährte Lösung. Diese Technologie ist jedoch nicht wettbewerbsfähig gegenüber der Untertagelagerung, was ihre Anwendung auf Nischenprodukte (hauptsächlich Verglasung von Asbest) einschränkt.“)

<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avis-ademe-torche-plasma-traitement-dechets.pdf>

<sup>6</sup> <http://www.seiler.co.at/de/thermische-verfahrenstechnik>

<sup>7</sup> [http://www.ks-entsorgung.com/de/entsorgungswege/utd/standorte\\_utd.html](http://www.ks-entsorgung.com/de/entsorgungswege/utd/standorte_utd.html)

Risiken der Beseitigungsschienen „Nuklear“ und „Chemo-toxisch“ aufeinander abzustimmen. Natürlich gab und gibt es zwischen beiden Industrien Kontakte und man nahm auch von den Problemen der anderen Seite Kenntnis. Eine grundlegende Beeinflussung der Strategien, insbesondere auf der Seite der Beseitigung chemo-toxischer Abfälle, fand aber nicht statt. Die atomare Seite wies bereits frühzeitig auf die Toxizität chemischer Abfälle hin, welche ewig war, um die Gefährlichkeit ihrer eigenen Abfälle als nicht einzigartig darzustellen (VSE et al 1978, S. 19). Doch waren weder die eine noch die andere Seite besonders an der Frage interessiert, welche Kollateral- und Imageschäden sich aus dem Scheitern von Projekten ergeben würden.

*Bruchsituation:* Mit der 2008 öffentlich bekannt gewordenen Havarie im Bergwerk Asse bekam das Bild der sicheren Untertageverwahrung von Abfällen Risse. Aber erst die beiden Unfälle im Februar 2014 in dem bisher als mustergültigen, für die Entsorgung transuranhaltiger Abfälle speziell angelegten Endlager „Waste Isolation Pilot Plant WIPP“ (New Mexiko, USA) warf die Frage nach der Untertagelagerung gefährlicher industrieller Abfälle neu auf. Die Misserfolge bei den Untertageprojekten radio- und chemo-toxischer Abfälle bringt die Frage aufs Tapet, ob und inwieweit das Konzept der geologischen Tiefenlagerung als solches hinterfragt werden muss.

*Fragestellungen der Studie:* Diese Fragen sind auch Ausgangspunkt für die hier vorliegende Untersuchung. Sie soll Anhaltspunkte geben für die in verschiedenen Projekten aufgetauchten wissenschaftlich-technischen, planerisch-organisatorischen und strukturellen Probleme. Es gilt dabei zu prüfen, inwieweit die Strategien einer nachhaltigen Abfallentsorgung im Sinne des Mehrfachbarrieren-Konzeptes tatsächlich gelebt und umgesetzt wurden. Zudem soll nach Antworten gesucht werden, warum folgenschwere Fehlentwicklungen in diesen Projekten nicht frühzeitig erkannt und entschärft werden konnten.

### 3 Fallbeispiele

*Auswahl der Fallbeispiele:* Aus den bisher in westlichen Industriestaaten umgesetzten Endlager-Projekten wurden für diese Studie vier Fallbeispiele gewählt, die Auskunft über Probleme und Umsetzungsschwierigkeiten dieser Projekte versprochen. Die Mehrheit der im Tiefuntergrund realisierten Endlager wurde in Salzgesteinen angelegt. Entsprechend stark wird sich die Studie auf das Wirtgestein Salz konzentrieren. Zugleich sollten nicht nur Projekte für radioaktive Abfälle sondern auch solche für chemo-toxische Abfälle in unterschiedlichen Ländern untersucht werden. Zentrale Schlüsselfragen, die heute im Zentrum der Diskussion um die Entsorgung radioaktiver Abfälle stehen, sollen in einer Querschnittbetrachtung beleuchtet werden: dazu gehörten zum Beispiel Fragen nach dem Typ Endlager-Bauwerk (altes Bergwerk, neu errichtetes Bergwerk), nach der Umsetzung des Mehrfachbarrierenkonzeptes, nach der Einlagerungstechnik oder nach der Rückholbarkeit von Abfällen, die eine besondere Stellung in Sachen „Akzeptanz“ von Untertageendlagern einnehmen. Aus diesen Überlegungen wurden folgende Projekte für die Untersuchung ausgewählt (Tabelle 1):

Projekt	Land	Gestein	Typ Abfall	Betriebs-Zeitraum	Endlagertyp	Rückholung
Schachtanlage Asse II	D	Salz	SMA	1967- 78	altes Bergwerk	in Planung
DMS St-Ursanne	CH	Kalk	CTA	1994-96	altes Bergwerk	erfolgt
Stocamine	F	Salz	CTA	1999-2002	neu aufgefahrener Bergwerksteil	Teilrückholung in Gang
WIPP	USA	Salz	TRU	seit 1999	neu aufgefahrenes Bergwerk	im Grundsatz möglich

*Tabelle 1:* Ausgewählte Fallbeispiele CTA Chemo-toxische Abfälle (Sonderabfall)  
SMA schwach- und mittelaktive Abfälle TRU Transuranhaltige langlebige Abfälle

Jedes Fallbeispiel wird nach folgendem Muster kurz abgehandelt: 1. Kurze Zusammenfassung des Projektes; 2. Informationsgrundlagen und Eckdaten; 3. Rechtliche Grundlagen; 4. Standort und Projekt (Standorteigenschaften; Anlagebeschrieb, Merkmale; Abfallarten, Charakterisierung, Problemstoffe, Mengen; Konditionierung der eingelagerten Abfälle, Einbringungstechnik; Stoffflüsse; Verfüllung und Verschluss; Rückholbarkeit und Bergung). 5. Strukturelle Rahmenbedingungen (Kontext; Projektorganisation; Genehmigung und Aufsicht). 6. Schwachstellen und Probleme des Projektes sowie Lehren („lessons learned“).

Die Fallbeispiele werden chronologisch abgehandelt.

## 3.1 Schachtanlage Asse

### 3.1.1 Kurze Zusammenfassung des Projektes und seiner Entwicklung

Das Salzbergwerk Asse II beim niedersächsischen Ort Wolfsbüttel wurde zwischen 1909 bis 1964 betrieben. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 5 Mio. Kubikmeter Kali- und Steinsalz des Zechsteins aus dem Bergwerk gewonnen, das in dem pilzartig ausgebildeten Sattel (mushroom diapir, Jackson et al. 1989) auf Etagen aufgefahrenen worden war. Der Abbau erfolgte in einem guten Dutzend Stockwerken zwischen 300 und 750 m Tiefe, mehrheitlich entlang der Salzflanken. Im März 1965 erwarb der Bund die unrentabel gewordene Anlage zum Zweck der Erforschung von Einlagerungstechniken für radioaktive Abfälle (Tiggermann 2004). Die sogenannte Versuchseinlagerung schwach und mittel radioaktiver Abfälle begann 1967 auf der Basis bergrechtlicher und strahlenschutzrechtlicher Regelungen. Zur damaligen Zeit war deren Rückholung allerdings nicht vorgesehen. Ab 1971 wurden insgesamt ca. 125'800 Abfallgebilde - v.a. Fässer und sog. verlorene Betonabschirmungen - in ehemalige Abbaukammern eingelagert<sup>8</sup>, unter anderem auch um dem Entsorgungsnotstand in deutschen kerntechnischen Anlagen zu begegnen. Die Einlagerung wurde 1978 nach einer Änderung des Atomgesetzes im Jahr 1976 beendet. In den nachfolgenden Jahren wurden Forschungsarbeiten durchgeführt, die u.a. der Vorbereitung der Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle an anderen Standorten dienen sollten. Bereits zu Zeiten der Salzgewinnung und der Abfalleinlagerung wurden immer wieder Lösungszutritte aus den Kaliabbauen verzeichnet (SSK et al. 2008). Seit 1988/1989 treten als Spätfolge der früheren Bergbautätigkeit täglich etwa 12 m<sup>3</sup> gesättigte Salzlösung aus dem Deckgebirge in das Bergwerk ein. Auch umfangreiche Stabilisierungsmaßnahmen (Verfüllung der ehemaligen Abbaukammern) konnten die Zutrittsraten bisher nicht nachhaltig verringern. Die Zutrittslösungen werden heute aufgefangen und bei der Flutung stillgelegter Salzbergwerke eingesetzt. Ohne diese Maßnahmen stünde die Schachtanlage Asse II bereits im Flutungsprozess („Absaufen“). Warnungen vor einer solchen Entwicklung (Jürgens 1979) sind nicht beachtet worden (Möller 2007, Mania 2008). Immerhin erfolgten seit den Ereignissen um das Jahr 2008 und der Übernahme des Bergwerks durch das Bundesamt für Strahlenschutz grundsätzliche Verbesserungen in der Organisationsstruktur, die zu einem grundsätzlichen Umdenken und einer offenen Information zur Vergangenheit führten (siehe BfS 2013). Nach einem Vergleich verschiedener Stilllegungsoptionen wurde entschieden, die Abfälle aus den Einlagerungskammern zurückzuholen, was sich als äußerst heikel, aufwendig und teuer erweist.

### 3.1.2 Informationsgrundlagen, Eckdaten

*Quellen:* Das Fallbeispiel Asse wird in zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen, Berichten von Behörden wie Medienberichten abgehandelt. Die Grundlagen für eine robuste Beurteilung dieses Fallbeispiels sind also vorhanden. Die Geschichte der Schachtanlage Asse und die historischen Probleme sind weitgehend aufgearbeitet (z.B. Möller 2007, Niedersächsischer Landtag 2012) und im öffentlichen Bewusstsein gut verankert.

---

<sup>8</sup> Herrmann gibt die Zahl von 25'000 m<sup>3</sup> an, die neueren Schätzungen des BfS von 47'000 m<sup>3</sup> liegen deutlich darüber, cf. [http://www.bfs.de/DE/themen/ne/endlager/asse/asse\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ne/endlager/asse/asse_node.html), siehe auch Herrmann 1983, S. 53/54, BfS 2016

Datum	Handlungsträger	Ereignis
1909-1925	Bergbaugesellschaft	Abbau Kalisalz
1916-1964	Bergbaugesellschaft	Abbau Steinsalz
1939	<i>Ereignis</i>	Starker Salzlösungszutritt in 750 m Tiefe aus Anhydrit-mittelsalzen
1964	Bergbaugesellschaft	Asse II: Einstellung der Salzförderung
1965	Gesellschaft für Strahlenforschung	Kauf des Bergwerks
1965	Gesellschaft für Strahlenforschung	Gründung des Instituts für Tiefenlagerung
1967 und später	Bergamt Wolfenbüttel bzw. Bergamt Goslar	Erste Genehmigung für die Versuchseinlagerung schwach radioaktiver Abfälle, später Genehmigung für die dauernde Einlagerung schwach- und mittelaktiver Abfälle
1967	Institut für Tiefenlagerung	Beginn der Einlagerung schwachradioaktiver Abfälle (Versuchsendlager Asse)
1967	Institut für Tiefenlagerung	Beginn der Forschungsarbeiten für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle in Deutschland
1974 - 1976	Institut für Tiefenlagerung	Bau von Bohrschacht Asse 4 auf 925 m und Schacht 2 auf 950 m
1976	Parlament	Neuregelung des Atomgesetzes
1978	Institut für Tiefenlagerung	Ende der Genehmigung, damit Ende der Einlagerung der schwach- und mittelaktiven Abfälle
1979	Hans-Helge Jürgens	Gutachten, Thematisierung der Probleme Standsicherheit und Grundwassereintrich
1988	<i>Ereignis</i>	Grundwasserzuflüsse aus dem Deckgebirge
1990	Helmholtz Zentrum München	Umbenennung der Gesellschaft für Strahlenforschung in Helmholtz Zentrum München (HMGU)
1992	1992	Einstellung der Forschungsarbeiten (Experimente mit Strahlenquellen), Genehmigung zur Auffüllung der Asse mit Rückstandsatz
1994	<i>Ereignis</i>	Erstmaliges Überschreiten der Freigrenzen für Tritium im Grundwasserzufluss unter Tage
1995	Institut für Tiefenlagerung	Auflösung des Instituts; Beginn des Versatzes von Hohlräumen
2001	<i>Ereignis</i>	Erstmaliges Überschreiten der Freigrenzen für Caesium 137 im Grundwasserzufluss unter Tage
2002	HMGU	Liste des abgelagerten Inventars und Mengenzustände
Ab 2005	BMU/BfS	Einrichtung der Begleitgruppe Asse II, Schaffung von Transparenz, Aufarbeitung des Falls
2008	Medien	Berichterstattung über teils radioaktiv kontaminierte Wasserzuflüsse (Laugenteich 12/750)
2008	Bundesregierung	Asse wird unter Atomrecht gestellt
2009	BFS	Das Bundesamt für Strahlenschutz wird neuer Betreiber

**Tabelle 2:** Zeittafel wichtiger Ereignisse im Dossier Asse

### 3.1.3 Rechtliche Grundlagen

*Rechtserlasse:* „Nachdem das von der bundeseigenen Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München [GSF] betriebene ‚Forschungsbergwerk‘ Asse bis 1976 auf der Grundlage strahlenschutzrechtlicher Genehmigungen nach § 3 der 1. StrlSchV“ (Strahlenschutzverordnung, MB) „und bergrechtlicher Betriebspläne betrieben wurde, wurde mit der vierten Atomrechtsnovelle 1976 durch § 9a Abs. 3 AtG“ (Atomgesetz, MB) „für den Bund die Pflicht eingeführt Anlagen zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle einzurichten“ (Hohmuth 2014, S. 41-42). Hohmuth fasst die Situation in diesem einen Satz im Wesentlichen zusammen. Diese Feststellung dürfte mehrheitlich auch für andere Anlagen der Zeit gelten. In der Asse lag keine atomrechtliche Bewilligung für ein Endlager, sondern Bewilligungen über ein Amalgam von anderen Gesetzgebungen vor, die nach Einstellung des Einlagerungsbetriebs 1978 auch für den Weiterbetrieb der Asse als Forschungsanlage in Anspruch genommen wurden. Nach Auslaufen der strahlenschutzrechtlichen Genehmigung stellte der Bund eine weitere provisorische Lösung her über eine „aufsichtliche Anordnung zur Gefahrenabwehr“ (Hohmuth 2014, S. 42) nach § 19 Abs. 3 Atomgesetz. Der Weiterbetrieb der Anlage ohne Planstellungsverfahren war äußerst umstritten (König et al. 2009). Aber auch ein weiterer Faktor fällt mit Blick auf die Schwierigkeiten der Rückholung der Abfälle im nachhinein auf: die Vereinbarung zwischen Bund und Land Niedersachsen, wonach die Weitereinlagerung nach 1976 nur als „rückholbare Zwischenlagerung“ erfolgen und ein Planfeststellungsverfahren für den Betrieb als definitives Endlager erfordern würde (Hohmuth 2014, S. 42). In einer Vereinbarung am 4. September 2008 haben sich Bund und Land Niedersachsen darüber geeinigt, die Asse verfahrensrechtlich wie ein Endlager zu behandeln (König et al. 2009).

### 3.1.4 Standort und Projekt

*A Standorteigenschaften:* Endlagerprojekte radio- und chemo-toxischer Abfälle im Tiefuntergrund beruhen auf der Annahme, dass die geologischen Schichten um das Endlager und in erster Linie das Wirtgestein einen vollständigen oder zumindest hinreichenden Schutz gegenüber dem Zufluss von Wasser oder dem Austritt von Schadstoffen bieten können. Dieses Grundprinzip der Sicherheit verlangt daher ein großes Verständnis des Schichtaufbaus und seiner Geometrie. Salzsichten spiegeln die paläoökologischen Sedimentationsverhältnisse wider (Herrmann 1983, S. 128.ff.). Häufig sind Salzsichten sehr heterogen aufgebaut und die Schichtfolgen – Sulfatgesteine, schlechter lösliche Salz- bis gut lösliche Salzgesteine sowie andere Zwischenlagen – wechseln sich rasch ab. Kalisalze treten dabei in der Regel nur als einzelne, wenige Meter mächtige Horizonte in dieser Schichtabfolge auf. Bei Verformungen im Zuge der Aufwölbung von Salzstöcken (Diapiren) kommt diesen Schichtabfolgen eine hohe Bedeutung bei der Abdichtung eines Lagerstandorts zu.

Der aufgewölbte Sattel des Assediapirs mit Salzgesteinsabfolgen des Zechsteins entspricht dem pilzförmigen Bautyp (Jackson et al. 1989). Die Salzsichten selber werden durch den aufsteigenden Fließprozess gefaltet und teilweise ineinander „verknetet“. Die Kaliflöze im Diapir sind entsprechend dem Ablagerungs- und Aufwölbungsmuster der Salzsichten im Bergwerk randständig angeordnet, d.h. sie liegen nahe dem Deckgebirge, das durch das aufstoßende Salzkissen deformiert und teilweise steilgestellt wurde (Salztektonik). Diese Deformationen führten

teilweise zur Abscherung einzelner Deckschichtpakete (z.B. oberer Buntsandstein im Südsattel der Asse).

Das Bergwerk Asse II wurde vor allem in der Südflanke des Sattels aufgefahren (siehe weiter unten). Aufgrund von Stabilitätsproblemen konvergiert das Salz um die Kammern und reißt auf. Bei diesen Bewegungen können alte Störungen reaktiviert werden. 1939 kam es zu einem ersten Wasserzufluss, der aber im Wesentlichen aus dem Salinar selber kam. Dramatischer ist der Zufluss, der seit mindestens 1988 in einer Tiefe von rund 500 bis 600 m erfolgt (Zufluss von 0.16 m<sup>3</sup>/d Bündnis 90/ Die Grünen 2012, S. 17) und der eindeutig eine Verbindung zum Grundwasser außerhalb der Salzstocks hat (BfS 2013). Offenbar waren die hydraulischen Risiken der Asse – insbesondere Laugenzutritte von mehreren m<sup>3</sup>/Tag - in den 1960er Jahren bereits bekannt. Zudem wurden Laugeneinbrüche befürchtet (Möller 2007, S. 192) oder bereits „Absaufszszenarien“ diskutiert (Bündnis 90/ Die Grünen 2012, S. 21), was von der GSF (1973, S.33) bestritten wurde: „Da der in Betrieb befindliche Schacht Asse 2 durch einen neuen Ausbau vollkommen abgedichtet ist ..., außerdem laufend kontrolliert und gewartet wird, ist auszuschließen, dass er wie der Schacht Asse 3 voll Wasser laufen kann.“ Das Risiko eines durch einen gebirgsmechanischen Störfall ausgelösten Wassereinbruchs beurteilte die GSF (1973, S. 33/34) als „im höchsten Maß unwahrscheinlich.“ Die Aufarbeitung historischer Dokumente (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 39.ff., Möller 2007, 191.ff) zeigt aber die bereits in den 1960er Jahren geäußerten Bedenken und Zweifel von Experten zu den Fragen der Wasserzutritte und der Trockenheit der Grubenbaue, welche grundsätzliche Fragen zum Vorgehen der Wissenschaft bei Risikoprojekten und der Erarbeitung von Gefährdungsanalysen aufwirft. Die nachgewiesene Salzablaugung (Subrosion) in den Flankensteinen der Asse-Aufwölbung reichte in einzelnen Schichtgliedern (z.B. Steinsalzlager des mittleren Muschelkalks der Südflanke) bis in Tiefen von 420 m und lässt sich als dauerhaftes und gegenwärtig noch aktives Phänomen bis in die jüngste quartäre Geschichte zurückdatieren (Weinberg et al. 1990, S. 5, 57). Es gab also frühzeitig von verschiedenen Seiten Anhaltspunkte auf eine mögliche Gefährdung des Bergwerks durch Wasserzufluss an den Flanken.

*B Anlagebeschrieb und Merkmale der Anlage:* Das Bergwerk wurde etagenweise (Sohlen) im Firstkammerbau aufgefahren. Vom Schacht und seinem zentralen 20-m mächtigem Zentralpfeiler wurden Querschläge vorgetrieben, danach folgte das Auffahren der insgesamt 131 Kammern in der Südflanke, der 20 Kammern im Zentralteil und der 25 Kammern im nördlichen Abbaufeld, mit einem errechneten Gesamtausbruchvolumen von 4.8 Millionen m<sup>3</sup> Salz (BfS 2013). Zunächst konzentrierte sich der Salzabbau im Diapir auf die Kaliflöze und expandierte erst danach in das Steinsalz (siehe auch Tabelle 2). Die Kaliflöze lagen stratigraphisch gesehen oben, durch das aufstoßende Salz wurden sie steilgestellt und in die äußeren Zonen des Sattels gepresst. In der Grundkonstellation waren diese randlich aufgefahrenen Hohlräume in den Kali reichen Schichten des Bergwerks darum besonders exponiert.

Die Kammern waren als Gewölbe ausgeformt. Zwischen den Kammern wurden Pfeiler stehen gelassen, die das Grubengebäude stützten. Zwischen den einzelnen Sohlen wurden mindestens 6 m mächtige Schichten stehen gelassen (Schweben). Der Endausbau des Bergwerks wirkt wie ein filigranes Gebäude unter Tage, das von einem verzweigten Stützskelett gehalten wird. Dieses Stützskelett verformte sich im Laufe der Jahrzehnte unter dem Druck der darüber liegenden Gesteine und es kam zur Bildung von Rissen und Brüchen im Salz. Um diese Bewegungen

aufzuhalten, wurden zunächst die eigenen Rückstandssalze versetzt, danach wurden sie von nahegelegenen Halden (Ronneberg) zugeführt. Verfüllarbeiten sind weiterhin im Gang.

*C Abfallarten, Charakterisierung, Problemstoffe, Mengen:* Der Beginn der Einlagerung radioaktiver Abfälle in der Asse datiert von 1967 und endet im Jahr 1978. Generell werden heute folgende Zahlen zum Inventar angegeben (BfS 2013): 125'787 Gebinde mit schwach- und mittelaktiven Abfällen mit einem Gesamtvolumen von 46'930 m<sup>3</sup>. Die eingelagerte Aktivität wird mit rund 7.8 Petabequerel (7.8 x 10E15 Bq) angegeben (BfS 2013, Infographik 4). Das BfS hat zudem in dieser Infographik die Herkunft der Abfälle und die dabei gelieferten Mengen seitens der diversen Produzenten zusammengestellt. Rund 2/3 des Volumens und 86% des Inventars stammen aus dem Betrieb deutscher Atomkraftwerke, knapp 1/3 des Volumens und gegen 14% der Aktivität aus Forschungszentren, der verschwindend kleine Rest (2 Volumenprozent, 0,1% Aktivität) von wenigen Firmen. Das Inventar enthält Spaltprodukte wie <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr oder <sup>63</sup>Ni, mit relativ kurzen Halbwertszeiten, aber auch Plutonium <sup>241</sup>Pu, das über Americium <sup>241</sup>Am und Neptunium <sup>237</sup>Np und weiteren Isotopenzerfällen für eine längerfristige Zerfallskette sorgt. Die Einlagerungs-Bilanzen wurden in der Folge der Überprüfung des Abfallinventars nach oben korrigiert (siehe Bündnis 90/ Die Grünen 2012, S. 44.ff). Typische Abfälle, die eingelagert wurden, sind Ionenaustauschharze, Schlämme, Laborabfälle, aktivierte Metalle, Filter oder Textilien. Es gab einzelne Kriterien für die Annahme der Abfälle, wie Festigkeit, Reaktivität, Korrosion von Innen, Fäulnisanfälligkeit (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 36). Dennoch konnte später festgestellt werden, dass auch pulverförmige oder flüssige/wässrige oder flüssige/brennbare Abfälle in nicht geeigneter Konditionierung eingelagert worden waren (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 57-58). Nebst radioaktiven Abfällen wurden auch chemo-toxische Abfälle und Kadaver eingelagert (siehe Bündnis 90/ Die Grünen 2012, S. 48.ff), mehrheitlich in Gebinden mit den radioaktiven Stoffen, in kleineren Mengen aber separat.

*D Konditionierung der eingelagerten Abfälle, Einbringungstechnik:* Der mengenmäßig weitaus größte Teil der Abfälle wurde in Tiefen unter 725 m bis 750 m in die Kammern eingelagert und verschlossen. Verpackt waren die Abfälle in 200l- oder 400l-Stahlblechfässer (GSF 1973). Die Fässer wurden liegend und stehend gestapelt beziehungsweise mit der sogenannten Versturztechnik von oben in die Lagerkammern abgekippt (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 6). Mittelaktive Abfälle in 200l-Rollreifensäthern und weitere Gebinden (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 36) wurden von der 490 m-Sohle über eine Beschickungskammer und einen Schacht mit einer Abseilvorrichtung in eine Lagerkammer auf 511 m Tiefe abgelassen und abgesetzt (GSF 1973). Hinzu kommen die Fässer mit zusätzlichen Betonumhüllungen, den sogenannten „verlorenen Betonabschirmungen“ (Mania 2008, S. 8/9), die intensive Debatten ausgelöst haben über das effektiv eingelagerte Inventar (siehe auch Niedersächsischer Landtag 2012, S. 37). Ab 1971 kann ein „bewusster Wechsel von der Versuchseinlagerung zur dauerhaften Einlagerung“ festgestellt werden und die Lagerung wurde dementsprechend als „Entsorgungsauftrag“ verstanden (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 36). Die „Rückholung der Asse-Abfälle bei der Einlagerung“ sei dabei nicht erwogen worden (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 36).

*E Stoffflüsse, Fassungsbaowerke:* Der Wasserzufluss von gesamthaft 12m<sup>3</sup>/d im Bergwerk (Bündnis 90/Die Grünen, 2012, S. 17) wird an verschiedenen Stellen gefasst (10 m<sup>3</sup> in einer Kammer auf 658 m Tiefe, 1.4 m<sup>3</sup>/d auf der 725m-Sohle, 0.2 m<sup>3</sup>/d bei 750 m Tiefe, siehe BfS 2013, Infographik 2) und hochgepumpt. Salzlaugen sind hoch korrosiv. Im Kontakt mit dem

Wasserzufluss wurden radioaktive Elemente aus den eingelagerten Abfällen gelöst, was zeigt, dass ein Teil der Behältnisse leckgeschlagen oder korrodiert waren. Die Gasbildung durch Metallkorrosion und mikrobielle Zersetzung war Gegenstand von Abklärungen (z.B. Bracke et al. 2005). Entgegen allen frühen Prognosen von Experten, wonach die Asse sicher für alle Zeiten sei (Bündnis 90/ Die Grünen 2012, S. 17), traf nach nur wenigen Jahrzehnten das von dem Betreiber der Anlage nicht ernsthaft in Betracht gezogene Szenario des Wasserdurchbruchs ins Bergwerk ein. Gravierend ist im Moment nicht die effektive Gefährdung durch die herausgelösten radio-toxischen Stoffe, sondern die Tatsache, dass das Multibarrieren-Schutzkonzept innerhalb einer Zeitspanne von nur wenigen Jahrzehnten versagt hat. Zudem zeigen diese Betrachtungen, dass die Gefährdungsbilder und Risiken für Bergwerk und Endlager sehr wohl erkennbar waren (z.B. Jürgens 1979), aber von den zuständigen Betreibern unterdrückt bzw. verharmlost wurden (Bündnis 90/ Die Grünen 2012, siehe dazu Kapitel 3.1.5).

*F Weiterbetrieb, Verfüllung, Verschluss:* Nach der Einstellung der Einlagerung im Jahr 1978 wurde die Asse für Forschungsprojekte und Entwicklungs- und Demonstrationsarbeiten weiter benutzt. Das internationale Forschungsvorhaben zur Demonstrationseinlagerung hochradioaktiver Abfälle gegen Ende der 1980er Jahre (GSF 1988) und seine Fortführung als Einlagerungstest von Strahlungsquellen (GSF 1994, GSF 1995, European Commission 1995), die als Voraussetzung für die Genehmigung eines Endlagers in Gorleben als zwingend notwendig angesehen wurde (Bündnis 90/Die Grünen im Landtag Niedersachsen 2010, S. 12), erforderte die Offenhaltung des Bergwerks. Im Anschluss an die Einstellung dieser Forschungsarbeiten im Jahr 1992 wurde die Zukunft des Bergwerks und die Verfüllung der Anlage ins Auge gefasst und geplant. Diese Arbeiten wurden 1995 eingeleitet und bis 2003 fortgeführt. In diesem Zeitraum wurden ca. 2.2 Mio m<sup>3</sup> Salzabraum zugeführt und versetzt. In der Folge wurden auch verschiedene Verschlusskonzepte kontrovers diskutiert (Verschluss des Bergwerks mit oder ohne Schutzfluid, Rückholung der Abfälle, siehe Bündnis 90/Die Grünen 2010, S. 13.ff.).

*G Rückholbarkeit und Bergung:* Es ist nicht der Zweck dieser Ausführungen auf das konkrete Rückholkonzept und die weiteren Planungen dazu einzugehen.<sup>9</sup> Es soll hier nur darauf hingewiesen werden, dass die Bergung aus havarierten Bergwerken einiges aufwendiger, risikoreicher und teurer ist, als das in offiziellen Publikationen auch nur angedeutet (IAEA 1999, NEA 2011, siehe auch Literaturhinweise in NEA 2010). Die Rückholung von Abfällen ist also in erster Linie als Notoperation zu verstehen, die dann eintritt, wenn Planung und Umsetzung versagt haben. Die in der Asse begangenen Fehler bei der Planung und Umsetzung des Endlagerkonzepts zeigen auf, dass eine Fehlerkultur, die diesen Namen verdient, nicht umgesetzt war. Die aufwendigen Planungen des BfS zur Rückholung des in der Asse gelagerten Abfallinventars BfS (2013) bestätigen die Schwierigkeit bei der Bergung von Abfällen in der Praxis.

*H Beurteilung des Standorts und des Projektes:* Die Asse war das erste geplante Endlager für radioaktive Abfälle weltweit, das in einem Bergwerk eingerichtet wurde. Es entsprach den damaligen, von Betreiberseite geäußerten Vorstellungen von Sicherheit und damals allgemein anerkannter Paradigmen in der BRD, dass Salz trocken sei und ein Absaufen eines Bergwerks höchst unwahrscheinlich bzw. auszuschließen sei. Kritik oder Infragestellung dieses Credos wie

---

<sup>9</sup> siehe [http://www.asse.bund.de/Asse/DE/themen/was-wird/stilllegungsplanung/rueckholung/rueckholung\\_node.html](http://www.asse.bund.de/Asse/DE/themen/was-wird/stilllegungsplanung/rueckholung/rueckholung_node.html)

auch störende Beobachtungen, Ereignisse oder Berichte wurden von den Betreibern der Anlage und den dahinter stehenden Institutionen systematisch ignoriert. Dass Abfälle nicht in ausgediente, zu anderen Zwecken aufgefahrene Bergwerke gehören, scheint bis heute noch nicht im Bewusstsein aller mit der Endlagerung betrauter Institutionen angekommen zu sein. Dabei ist die Koppelung zweier völlig verschiedener Nutzungstypen risikomäßig nur schwerlich zu begründen.

Positiv am Fall der Asse ist - im Unterschied zu anderen Endlagerprojekten im Untergrund - die Tatsache zu werten, dass eine historische Aufarbeitung dieses Prozesses erfolgen und Fehleinschätzungen und -entscheide dokumentiert werden konnten (siehe z.B. BfS 2013, Möller 2007). Der Fall Asse zeigt in beispielhafter Art die Notwendigkeit auf, Sicherheitskulturen in Planungsprozessen zu installieren. Dazu gehören ein anderer Umgang in der Analyse von Problemen und dem Umgang mit anderen Ansichten und Kritik.

### **3.1.5 Strukturelle Rahmenbedingungen**

*α Kontext:* Das Endlagerprojekt Asse wurde in einem Zeitfenster umgesetzt, als die Nutzung der Atomenergie in Deutschland im Aufschwung war. Die Entsorgung der Abfälle wurde als gewichtige Kostenfrage bei der Entwicklung des deutschen Atomenergieprogramms für die zuständigen Institutionen immer dringender (siehe Möller 2007, z.B. S. 89, 123.ff., 199, 213.ff.). Die Realisierung des Versuchsendlagers Asse fiel noch in eine Zeit, in der die Akzeptanz der Öffentlichkeit für eine Endlagerung von Abfällen noch mehr oder weniger gesichert gelten konnte. Obschon die gesetzlichen Grundlagen für ein solches Projekt der Entsorgung radio-toxischer Abfälle fehlten, konstruierten die hierfür zuständigen Institutionen mit der Amalgamierung verschiedener Gesetzeserlasse eine Rechtsgrundlage, welche für die Genehmigung des „Versuchsendlagers“ herangezogen wurde (siehe Hohmuth 2014). Wenn schon die Gesetzesgrundlagen zusammen geschustert werden mussten, so war dies in der Konsequenz erst recht für die Organisationsstrukturen und insbesondere für die Kontroll- und Überwachungsbehörden der Fall. Hinzu kam, dass in den 1960er Jahren kaum eine Organisation geschweige denn eine Behörde Erfahrungen im Umgang mit der Endlagerung radioaktiver Abfälle vorweisen konnte. Umso bemerkenswerter sind darum die bereits Mitte der 1960er Jahre geäußerten Befürchtungen seitens des Oberbergamts Clausthal zu einem Laugeneinbruch in die Asse (Möller 2007, S. 192), welche auf die Erfahrung des Bergamts mit Salzbergwerken zurückzuführen ist. Die Voraussetzungen für eine effektive Beaufsichtigung eines Endlagerprojektes wie die Asse waren angesichts der Interessenkonstellationen der Zeit denkbar schlecht.

*β Projektorganisation:* Die großen historischen Etappen der Nutzung des Bergwerks gehen aus der Tabelle 2 hervor. Mit dem Kauf und Übernahme der Asse durch die Gesellschaft für Strahlenforschung (GSF) und dem Betrieb durch das ihr angegliederte Institut für Tiefenlager (IFT) verfügte der Bund über eine Anlage für die Entsorgung wie auch über eine Organisation, die in ihren Interesse agieren konnte. Die historische Aufarbeitung des Falls (Möller 2007, Bündnis 90/Die Grünen 2012, Niedersächsischer Landtag 2012) zeigt, dass der Betreiber der Anlage den Interessen der Nuklearforschung und -Industrie diene und die Distanz zu einer unabhängigen Beurteilung der Sachverhalte und Risiken im Endlagerbergwerk vermissen ließ. Als besonders

stoßend ist das Verschweigen wissenschaftlich relevanter Fakten (Zuflüsse ab 1988/1989) durch eine Wissenschaftsinstitution (IfT) sowie ihren wichtigsten Mitarbeitern, darunter auch den Leiter der Abteilung Endlagertechnologie, zu werten. Eine diesen Namen verdienende Fehlerkultur als Teil einer umfassenden Sicherheitskultur war über den gesamten Einlagerungs- und Forschungsprozess vom Betreiber der Anlage nicht installiert, wie dies auch der zuständige Forschungsminister der Jahre 1978-1980 eingestand (BfS 2013, S. 50. ff). Das Fehlen einer umfassenden Sicherheitskultur darf als wesentliche Ursache für die Probleme in der Asse bezeichnet werden.

*γ Genehmigung, Aufsicht:* Das Konstrukt, das für die Genehmigung des Versuchsbergwerks entworfen und umgesetzt wurde, erwies sich als ein besonders ungünstiges Modell, was die Konsequenzen für die Aufsichtsprozeduren anbelangte. Indem das Projekt in der Asse als Forschungsvorhaben deklariert wurde, schlossen die zuständigen Ministerien, dass keine atomrechtliche Genehmigung erforderlich sei (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 42). Hinzu kam die unglückliche Konstellation, dass die damalige Bundesanstalt für Bodenforschung BfB (heute: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR) und das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLfB) sich bereits gutachterlich für die Asse als Endlager ausgesprochen hatten, was „Grundlage für den Erwerb der Asse II“ wurde (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 41, 53). Wichtige Fachgremien hatten also bereits inhaltlich für das Endlager Stellung bezogen, so dass die Schwelle für Bedenken gegen das Unternehmen Versuchsendlager sank und Einwände gegen das Projekt damit einen schweren Stand hatten oder verunmöglicht wurden (siehe dazu auch Einschätzung in Minderheitsbericht SPD 2012 in Niedersächsischer Landtag 2012, S. 54).

Die Genehmigungen für die verschiedenen Einlagerungen (Versuchseinlagerungen, dauernde Einlagerungen für schwachaktive bzw. schwach- und mittelaktive Abfälle) erfolgten zunächst ab 1967 durch das Bergamt Wolfenbüttel, danach ab 1971 durch das Bergamt Goslar (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 35-36).

Das Niedersächsische Ministerium für Wirtschaft, Technologie und Verkehr (heute: NMW) wies dem Oberbergamt Clausthal-Zellerfeld bereits Mitte der 1960er Jahre die Aufsicht über die Schachanlage Asse zu, obschon diese bereits klargestellt hatte, dass es ihr an Fachleuten für diese Aufgabe fehlte (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 40). Deren Kritik an der Einlagerung von radioaktiven Abfällen blieb „unberücksichtigt“ (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 41, 42). Das Oberbergamt wies zudem darauf hin, dass das Niedersächsische Ministerium für Wirtschaft die Bergbehörde ermächtigen müsse, Genehmigungen für die versuchsweise Einlagerung nach Strahlenschutzverordnung zu erteilen (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 42). Das Bergamt hielt sich selber in Strahlenschutzfragen für nicht qualifiziert und musste sich die fehlenden Kompetenzen im Bereich des Strahlenschutzes über Kurse von Mitarbeitern aneignen (Minderheitsbericht SPD 2012, in Niedersächsischer Landtag 2012, S. 56). Eine solchermaßen von „höchster Stelle“ getragene (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 36) und in diesem Sinne diktierte Aufsicht konnte nicht funktionieren. Alle späteren Neuregelungen bei Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden konnten bis zum Knall im Jahre 2008 die Defizite der Genehmigungs- und Aufsichtsstruktur nicht auffangen. Die gesamte Organisation des Projektes war von Anfang an interessens- statt sicherheitsgeleitet, was die Defizite aber nur teilweise erklärt. Weitere

Defizite sind in der Organisation der Aufsicht (Wechsel und Teilung von Zuständigkeiten) zu vermuten.

*δ Beurteilung:* Die Defizite bei der Genehmigung und Aufsicht des Versuch- und Endlagerbergwerks Asse erstrecken sich systematisch über einen langen Zeitraum (vom Beginn der Versuchseinlagerung bis hin zur Übernahme des Bergwerks durch das Bundesamt für Strahlenschutz 2008). Die Liste der Unterlassungen, Verfehlungen und Verstöße über diese Jahrzehnte ist lang: fehlende Transparenz der Vorgänge und Abläufe (Niedersächsischer Landtag 2012, S. 38), fehlende kritische öffentliche Auseinandersetzung (ebda, S. 38), „Dethematisierung“ kritischer Sachverhalte (ebda. S. 38), schwere Defizite in der Sicherheitskultur (Gellermann 2014, S. 20.ff.; Minderheitsbericht SPD 2012 in Niedersächsischer Landtag 2012, S. 77), Kompetenzdefizite (ebda, S. 56), Organisationsdefizite (ebda. S. 56), Missachtung der Kontrollpflichten (ebda. S. 69), usw.usf. Eine systematische Aufarbeitung von Organisations- und Strukturdefiziten im Fall der Asse könnte sich an den Vorgaben zur Sicherheitskultur der IAEA und NEA (z.B. IAEA 1999, 2006, 2010, NEA 2011a) orientieren bzw. den Berichte des US-amerikanischen Energiedepartements zu den Unfällen 2014 im WIPP (DOE 2014a, 2014b, 2015).

### **3.1.6 Zentrale Probleme und Schwachstellen des Projektes und Lehren**

Wichtige Probleme und Schwachstellen des Projektes Asse werden kurz zusammengefasst:

- Bei der Realisierung des Versuchsendlagers und Endlagers Asse II standen grundsätzlich andere Interessen im Vordergrund. Das teure Anhäufen und Zwischenlagern von radioaktiven Abfällen war für die deutsche Atomwirtschaft nicht förderlich. Dass die verantwortlichen Ministerien und Institutionen darum nach Möglichkeiten suchten, das Problem der Entsorgung frühzeitig zu lösen, war an sich durchaus löblich. Allerdings wurde von Beginn an eine Anlage ausgewählt, die von der Sicherheit und insbesondere von Wassergefährdung bereits umstritten war. Wissenschaftliche Institute nahmen sich der konkreten Planung und Ausführung der Einlagerungen radioaktiver Abfälle an und verletzten ihre wissenschaftliche Sorgfaltspflicht schwer.
- Eine diesen Namen verdienende Sicherheitskultur während des Betriebs und Nachbetriebs der Anlage wurde nämlich nicht installiert, die Überwachung, die Überprüfung, die Qualitätssicherung, der Selbstkritische Umgang mit Fakten, die Nachvollziehbarkeit und Transparenz usw. waren nicht oder nicht erforderlichen Maß gewährleistet, was besonders schwer für einen Betrieb wiegt, an dessen Front die Wissenschaft der damaligen Zeit stand. Der Schaden für die Glaubwürdigkeit wissenschaftlicher Institutionen in diesem Bereich ist enorm.
- Auch die Organisation der Genehmigungs- und Aufsichtsstruktur weist ähnliche Defizite aus. Kritik von Fachleuten wie auch von Aufsichtsbehörden (Oberbergamt Clausthal-Zellerfeld) wurden abgeschmettert, eine Diskussion durch die Projektverantwortlichen verhindert. Diese Eingriffe in die behördliche Aufsicht oder in externe Überprüfungen sind schwer.
- Schwer wiegen auch die Intransparenz und das Verschweigen sicherheitsrelevanter Fakten wie das Einfließen von Laugen in das Bergwerk. Dies betrifft nicht nur das Bergwerk Asse

selber sondern belastet auch die Planungen von Tiefenlagern in der Zukunft. Das Vertrauen in die Fähigkeiten und den Willen von Betreibern und Behörden, Endlager korrekt planen und betreiben zu können, wurde arg strapaziert.

Lehren aus diesem Fall sind in erster Linie:

- Wissenschaft ist nicht à priori fähiger oder sorgfältiger als andere Institutionen. Sie gehört genauso durch unabhängige Instanzen kontrolliert und überwacht, wie alle anderen in solchen Projekten integrierten Institutionen und Organisationen.
- Die Notwendigkeit wissenschaftlicher Unabhängigkeit bei der Planung, Ausführung und Beurteilung kann nicht hoch genug betont werden.
- Organisationsstrukturen mit klarer Kompetenzaufteilung und einer starken, unabhängigen und mit Ressourcen gut ausgestatteten Aufsicht sind für die erfolgreiche Umsetzung von Abfallprojekten unerlässlich. Vor allem die Unabhängigkeit der Institutionen und der selbstkritische und kritische Umgang bei Planung und Ausführung eines Projektes sind unerlässliche Grundlagen für den Erfolg eines Projektes.
- Die Trockenhaltung von Salzbergwerken ist ein Mythos, der vor allem in Deutschland gerne gepflegt wird. Bergwerke sind wie alle anderen Anlagen vom Eindringen von Wässern grundsätzlich bedroht. Das Ausschließen solcher Risiken erhöht die Wahrscheinlichkeit von Fehlplanungen und Fehlentscheiden, ganz besonders bei der Endlagerung hochtoxischer Abfälle im Untergrund. Diese Feststellung wird in den Schlussfolgerungen aufgenommen.

## 3.2 Décharge de matériaux stabilisés DMS St-Ursanne

### 3.2.1 Kurze Zusammenfassung des Projektes und seiner Entwicklung

Das Bergwerk St-Ursanne in unmittelbarer Nachbarschaft der historischen Kleinstadt Saint-Ursanne, Kanton Jura, Schweiz, wurde ab 1900 in Zusammenhang mit dem Abbau und dem Brennen von Kalk angelegt. Bis 1993, dem Jahr der Stilllegung des kleinen Bergwerks, waren rund 1 Million m<sup>3</sup> auf zwei Sohlen abgebaut worden. Der Standort befindet sich in sogenannten Riffkalken des Rauracien (oberes Oxford). Die Zufahrt ins obere Hauptstockwerk erfolgt seitlich an der Felswand oberhalb des Bahnhofs St-Ursanne. Die Maximalüberdeckung des oberen Stockwerks beträgt rund 150 m. Das untere Stockwerk wurde durch das Innere des Bergwerks via Rampen erschlossen. Das Auffahren der Strecken (Kavernen) erfolgte durch Sprengung.

1993 erwarb ein angesehener Schweizer Abfallentsorger (Fairtec Holding AG) die alte Kalkbrennerei und entwickelte zusammen mit einer Ingenieurunternehmung und den kommunalen und kantonalen Behörden ein Projekt zur Verfestigung von gefährlichen Abfällen (insbesondere Galvanik-Schlämme, Rauchgasreinigungsrückstände, Strahlsandgut usw.) und deren Einlagerung in den Stollen des alten Bergwerks. Ab 1994 wurde mit der Zwischenlagerung der gefährlichen Abfälle sowie mit dem Bau der Verfestigungsanlage begonnen. 1995 folgte ein Pilotversuch für die Einlagerung der verfestigten Abfälle.

Die Eignung des Standorts in einer tektonisch überprägten, grundsätzlich wasserdurchlässigen Kalkformation war umstritten. Lokale Bürgerbewegungen, wie auch Greenpeace Schweiz, verlangten eine Überprüfung des Projektes durch unabhängige Experten. Nach der zweiten Besetzung des Geländes im Sommer 1995 durch Greenpeace beauftragte der Kanton Jura eine Expertengruppe mit der Überprüfung des Projektes. Ein daraufhin angeordneter Färbversuch in den Stollen zeigte eine hydraulische Verbindung mit der Trinkwasserfassung von St-Ursanne auf. Die jurassische Regierung entzog die provisorischen Betriebsbewilligungen. Das Projekt zur Einlagerung von Zement stabilisierten gefährlichen Abfälle wurde in der Folge abgebrochen.

Der bereits in finanziellen Schwierigkeiten steckende Abfallentsorger stand vor dem Aus. Auch Stützungsmaßnahmen konnten den Konkurs der Fabrique de Chaux DMS SA nicht verhindern. Der Kanton sass damit auf einer millionenschweren Altlast (über 10'000 t zwischengelagerter gefährlicher Abfälle), die auf seine Kosten entsorgt werden mussten. Diese Sanierungen und die beinahe vollständige Wiederverfüllung der Grube erfolgten in Etappen bis 2009. Die verfestigten und unverfestigten Abfälle wurden auf Geheiss des schweizerischen Bundesamts für Umwelt (BAFU) in die Untertagedeponie Herfa-Neurode (Hessen) verbracht. Offiziell wurde das Projekt im Jahr 2013 erfolgreich abgeschlossen.

### 3.2.2 Informationsgrundlagen, Eckdaten

*Quellen:* Die Geschichte dieses einzigartigen Sanierungsfalls sowie die erfolgten Sanierungs- und Verfüllungsarbeiten wurden in einer umfangreichen Synthese zusammengestellt (Buser 2014, Groupe de travail 2013b, 2013c, 2013d, 2013e). Diese Synthese (siehe Quellenverzeichnis) umfasst praktisch den gesamten Korpus der vorhandenen technischen, wissenschaftlichen wie auch historischen Quellen. Die Eckdaten sind aus der beiliegenden Tabelle 3 ersichtlich. Die Grundlagen für eine robuste Beurteilung dieses Fallbeispiels sind vorhanden.

Datum	Handlungsträger	Ereignis
1891	Gemeinde St-Ursanne	Erste Konzession zum Betrieb eines Steinbruchs
1907	Fabrique de Chaux SA	Übernahme der Steinbrüche durch die Kalkfabrik
1909	Fabrique de Chaux SA	Erstes geologisches Gutachten (Abbaureserven)
bis 1950	Fabrique de Chaux SA	Auffahren der ersten Galerien des Bergwerks
1950/1951	Fabrique de Chaux SA	Übernahme der Fabrique de Chaux SA, starke Erweiterung des Abbau-Betriebs
1976	Fabrique de Chaux SA	Inbetriebnahme der Schweröl-betriebenen Öfen
1986	Konsortium GMR	Ein Konsortium unter Beteiligung der Firmen der Basler Chemie prüft die Möglichkeit zur Zwischenlagerung von wiederverwertbaren Abfallstoffen
1990	Bund	Neue gesetzliche Grundlage (Techn. Verordnung über Abfälle), Abfallzwischenlager werden verboten
1993	Fabrique de Chaux SA	Betriebseinstellung (fehlende Rentabilität)
1993	DMS SA (Fairtec Holding AG)	Eine große Abfallentsorgungsgesellschaft der Schweiz übernimmt den Standort und plant eine Reststoff-Deponie für verfestigte Sonderabfällen
Frühjahr 1993	Kanton Jura	Provisorische Bewilligung für den Betrieb
bis Juni 1994	Fairtec Holding AG	Errichtung eines Zwischenlagers für Sonderabfälle im Bergwerk, nicht genehmigte Abfalllagerung
August 1994	Greenpeace	Erste Besetzung des Standorts, Forderung nach Re-evaluation des Projektes durch unabhängige Experten
bis Juni 1995	Fairtec Holding AG	Weitere nicht genehmigte Abfalllagerung, keine Re-Evaluation des Projektes durch externe Experten
Juni 1995	Greenpeace	Zweite Besetzung des Standorts (3 Wochen)
Juli 1995	Bund/Kanton Jura	Einsetzung einer Gruppe unabhängiger Experten zur Überprüfung des Projekts
Winter 1995	Expertengruppe	Mehrfach-Färbversuch im Bergwerk, Nachweis der hydraulischen Verbindung zwischen Bergwerk und Trinkwasserfassung (Fließzeit wenige Tage)
Februar 1996	Bund/Kanton Jura	Abschluss-Bericht der Expertengruppe, die Regierung des Kantons Jura entzieht die Bewilligung
1997	DMS SA	Konkurs, Zwischenlager und Pilotlager mit 10'000 t herrenloser Abfälle
ab 1998	Kanton Jura	Sanierung des Bergwerks, inklusiv Altlasten aus der Betriebszeit der Kalkfabrik, Vollverfüllung des Bergwerks mit Aushubmaterialien der Autobahn A16
Ende 2009	Kanton Jura	Abschluss der Sanierungs- und Auffüllungsarbeiten
Ende 2013	Kanton Jura	Projekt-Abschluss

**Tabelle 3:** Zeittafel wichtiger Ereignisse des Dossiers DMS St-Ursanne

### 3.2.3 Rechtliche Grundlagen

*Rechtserlasse:* Die Standortwahl erfolgte nach den Kriterien der schweizerischen technischen Verordnung über Abfälle (TVA). Unter anderem galt damals (1990) schon das Kriterium, das eine Deponie nicht im direkten Einflussbereich einer Grundwasserschutzzone liegen dürfe.

Die Rechtsgrundlagen für einen Ausschluss des Standorts waren also vorhanden, wurden aber nicht angewendet (siehe unten), trotz Warnungen des Bundesamts für Umwelt (Groupe de travail 2013b). Die hydrogeologischen Überprüfungen erfolgten erst aufgrund des politischen Widerstands in der Region (Groupe de travail 2013d, Buser 2014).

### 3.2.4 Standort und Projekt

*A Standorteigenschaften:* Eine detaillierte geologisch-hydrogeologische Aufnahme und Charakterisierung des Standorts erfolgte bereits zu Beginn des 20sten Jahrhunderts durch Geologen der Universität Basel (Buser 2014). Sie dokumentierten die grundsätzlichen Eigenschaften des Standortes: der Südschenkel einer Antiklinale mit einer Abfolge von Ton- und Kalkformationen, darin eingebettet die massigen, mehrere Dekameter mächtigen Riffkalke, die abgebaut wurden, und die von einer Wechselfolge von kalkigen, teils mergeligen und tonigen Schichten überlagert wurden. Am Standort selber liegen die Schichten subhorizontal. Das Gebiet wie auch der Gesteinsverbund sind tektonisch intensiv beansprucht (große rheinischen Störungen und Klüfte, Abscherungen durch Jura-Auffaltung). Die Kluft-Durchlässigkeit der Gesteine ist somit sehr hoch, insbesondere in den spröden Kalk-Formationen, die als typischer Karst ausgebildet sind. Fluss und Bäche im Talboden liegen auf geringmächtigen quartären Geröllen, die ihrerseits auf eine mächtigen Ton-Formation (Oxford-Mergel) geschüttet wurden. Die Karstwässer des umliegenden Berglands entwässern in die Flüsse. Färbversuche belegen die extrem rasche hydraulische Durchlässigkeit des Gesteins (Karst) und der Alluvionen im Talboden.

Trotz den bereits damals bekannten oder vermuteten Nachteilen stand der Standort des Bergwerks in den 1980er Jahren als Standort für ein Zwischenlager für Sonderabfälle aus der Basler Chemie zur Diskussion. Die kantonalen Behörden erteilten 1993 dem Nachfolgeprojekt des Endlagers für Zement stabilisierte Sonderabfälle eine provisorische Betriebsbewilligung.

*B Anlagebeschrieb und Merkmale der Anlage:* das Bergwerk wurde zwischen 1907 und 1993 im Pfeiler-/Kammerbau aufgefahren. Der Abbau erfolgte im Bohr- und Sprengbetrieb und folgte im wesentlichen den massigen Riffkalken, die gegen oben (Hangendschichten) von gut gebankten Plattenkalken begrenzt sind. Die Kammern (Galerien) sind mehrheitlich um 10 m hoch, 10 m breit und einige hundert m lang. Das ausgebrochene Volumen beträgt 1 Mio. m<sup>3</sup>, das Streckennetz im Untergrund ca. 12 km. In den späten 1980er Jahren erfolgte eine Erweiterung auf einem tiefer liegenden Stockwerk, das über zwei Rampen erschlossen ist. Das Ausbruchvolumen beträgt rund 40'000 m<sup>3</sup>. Der Betrieb des Bergwerks wurde 1993 eingestellt. Bei Betriebs-einstellung war das Bergwerk in einem relativ schlechten Zustand. Einzelne Stollen oder Abschnitte waren akut einsturzgefährdet. Es kam regelmäßig zu flächigen Gesteinsabbrüchen (Löser, Sargdeckel) von Decken (Firste) und Wänden (Paramente).

*C Abfallarten, Charakterisierung, Problemstoffe, Mengen:* Während des Betriebs entsorgte die Kalkbrennerei ihre Abfälle direkt in den Galerien. Insgesamt wurden zwischen 40'000 m<sup>3</sup> und 60'000 m<sup>3</sup> Abfälle wieder eingelagert, mehrheitlich für die Kalkherstellung nicht geeignete Kalke

oder Fehlchargen. Die Kalkfabrik deponierte aber auch alle ihre Betriebsabfälle (ausgediente Geräte wie Fahrzeuge, dann Pneus, Grubenwerkzeug, bis über hundert 200l-Fässer mit Schweröl-Resten und untergeordnet anderen flüssigen Kohlenwasserstoffen usw.) im Bergwerk. Ab 1994 errichtete die neue Betriebsgesellschaft (siehe Tabelle 3) Zwischenlager und lagerte dort gefährliche Abfälle ab (Galvanikschlämme, untergeordnet andere Schwermetall haltige Abfälle und Sandstrahlgut). 1995 erfolgte die Einlagerung von Zement und Cyanid haltigen verfestigten Schlämmen im Pilotversuch im Inneren des Bergwerks. Ab Sommer 1995 sollte die Verfestigungsanlage den Vollbetrieb aufnehmen. Die mit Zement versetzten Abfälle sollten dann als Versatz ins Bergwerk verbracht werden. Geplant waren ursprünglich 2 Einlagerungsetappen von total 300'000 m<sup>3</sup> (Groupe de travail 2013f, S. 9).

Nach dem Entzug der Betriebsbewilligung durch die jurassische Regierung sollten die teilweise illegal gefüllten Zwischenlager zurückgebaut werden. Eine Deponie im schweizerischen Mittelland erklärte sich bereit, die nach der gleichen Rezeptur verfestigten Abfälle aufzunehmen. Diese Einlagerung wurde gestoppt, nachdem sich herausgestellt hatte, dass die Sickerwässer dieser Abfälle die gesetzlich festgelegten Grenzwerte regelmäßig und z.T. stark überschritten.

*D Konditionierung der eingelagerten Abfälle, Einbringungstechnik:* Das Verfestigungsverfahren mit Zement und verschiedenen Additiven wurde im Labor der Betreiberfirma entwickelt und am Standort in einem Pilotversuch der Verfestigungsanlage ausgetestet. Die Behörden erhielten keine Detailsicht in dieses Verfahren, konnten also seine Wirksamkeit und damit den Erfolg der Verfestigungsmaßnahme nicht endgültig beurteilen. Immerhin wurde im Laufe der Zeit bekannt, daß Ferrocyanide für die Verfestigung der Galvanikschlämme eingesetzt wurden. Die Effizienz des Verfestigungsverfahrens war bis zum Abbruch des Projektes nicht geklärt. Dass die Sickerwässer der verfestigten Galvanikschlämme die gesetzlich festgelegten Grenzwerte überschritten (siehe oben), wird als Beleg dafür verstanden, dass das Verfestigungsverfahren nicht ausgereift war. Desgleichen wurden beim Rückbau der verfestigten Abfälle im Pilotlager im Inneren des Bergwerks Taschen aus Ammoniak-Gas (NH<sub>3</sub>) mit teilweise sehr hohen Konzentrationen festgestellt (bis 200ppm [Groupe de travail 2013e, S. 53]), was ebenfalls als Beleg dafür gewertet wird, dass das Stabilisierungsverfahren nicht ausgereift war. Als positiv gilt aber trotzdem herauszustreichen, dass der Betreiber der Deponie bestrebt war, die damals gültigen und von den Bundesbehörden als Übergangslösung konzipierten Verfahren zur Verfestigung von endlagerfähigen Reststoffen umzusetzen.

Im Pilotbetrieb wurden die pastösen Abfallgemische zunächst in Big-bags verfüllt und in das Pilot-Lager gebracht. Mehrheitlich wurden sie aber auf Dumper in die Pilot-Galerie gebracht und dort gekippt und in Lagen eingebracht. Diese Technik entsprach dem üblicherweise bei Reststoffkompartimenten angewendeten Verfahren.

*E Stoffflüsse, Fassungsbawerke, Entgasung:* Die Projektanten gingen davon aus, dass eine begrenzte Menge Sickerwässer durch natürliche Zuflüsse entstehen könnte. Ein Drainagesystem im Bergwerk sollte diese Sickerwässer fassen und geordnet zum Bergwerkseingang führen, von wo sie der Kanalisation übergehen werden sollten. Prognosen über das Auswaschungsverhalten der verfestigten Abfälle gingen von umweltverträglichen Stoffflüssen aus. Gase wurden nicht erwartet.

*F Verfüllung und Verschluss:* Das Bergwerk sollte zu zwei Drittel vollversetzt werden. Der westliche Teil des Bergwerks mit höherem Karstwasserdurchfluss sollte offen bleiben. Der definitive Verschluss der Anlage war zum Zeitpunkt des Konkurses der Firma noch nicht definiert.

*G Rückholbarkeit und Bergung:* Grundsätzlich war die provisorische Betriebsbewilligung unter der Voraussetzung der Rückholbarkeit der Abfälle erteilt worden. Der Betreiber war gehalten, einen Fonds einzurichten. Tatsächlich wurden die finanziellen Mittel dafür aber nicht bereitgestellt, zumindest nicht in dem für eine Auslagerung und spätere Entsorgung erforderlichen Maß. Nach dem Konkurs der Betreibergesellschaft 1997 musste die öffentliche Hand für die Bergung der Abfälle aufkommen. Die Bergung erfolgte ab 1998 etappenweise bis zur vollständigen Auslagerung aller im Kalkbergwerk eingelagerten oder zwischengelagerten Abfälle. Sie war aufgrund der bergmännischen Risiken (Stabilitätsprobleme insbesondere an Firsten und Paramenten) sowie aufgrund der Natur der Abfälle (Staubentwicklung, Gase) äußerst anspruchsvoll, wurde aber dank systematischer Planung und fachmännischer Ausführung ohne größere Zwischenfälle erfolgreich ausgeführt (Groupe de travail 2013e). Einzig der gewählte Entsorgungspfad für die meisten gefährlichen Abfälle – nämlich die Verbringung in die UTD Herfa-Neurode – ist als unbefriedigend zu taxieren. Es standen zu dieser Zeit in der Schweiz keine von den zuständigen Bundesbehörden akzeptierten Behandlungsmethoden für Sonderabfälle dieser Art zur Verfügung (Groupe de travail 2013e).

*H Beurteilung des Standorts und des Projektes:* Der Standort war von Beginn weg umstritten und erwies sich bei näherer Untersuchung als vollkommen ungeeignet für die Endlagerung chemo-toxischer Abfälle. Bereits in den 1980er Jahren waren ernste Zweifel an der hydrogeologischen Qualität des Standorts geäußert worden: sowohl der damalige Direktor der Kalkfabrik wie auch der Leiter des kantonalen Umweltamts hielten die Kalkformation für sehr durchlässig. Ein Geologe des Bundesamts für Umwelt bezeichnete den Standort als „Sieb“ (Buser 2014, S. 112). Dennoch wurde der Standort später von den Gutachtern des Abfallprojektes so umgedeutet, dass er geeignet und damit gesetzeskonform sei.

Das Projekt selber war nicht ausgereift, weder konzeptuell noch materiell. Weder Verfestigungstechnik der Abfälle noch Einlagerungstechnik waren erprobt. Sie wurden im Rahmen des Projektes selber entwickelt. Mit der teils nicht genehmigten und damit illegalen Zwischenlagerung großer Mengen an gefährlichen Abfällen wurden Sachzwänge geschaffen, ohne die dafür erforderlichen finanziellen Rückstellungen für eine eventuelle Auslagerung zu tätigen.

### **3.2.5 Strukturelle Rahmenbedingungen**

*α Kontext:* Das Projekt der Sondermülldeponie DMS St-Ursanne entwickelte sich in einer Übergangssituation, was den Umgang mit gefährlichen Abfällen in den frühen 1990er Jahre angeht. Drei Entwicklungen sind besonders hervorzuheben: der von den Schweizer Bundesbehörden verfügte Einlagerungsstopp von Sonderabfällen auf Reaktordeponien, die veränderten Bedingungen für den Export von Sonderabfällen in Untertagedeponien nach Deutschland und das schwieriger werdende Marktumfeld für gefährliche Abfälle. Die Preiskalkulationen bei der Entsorgung wurden unsicherer. Diese Entwicklungen wirkten sich auch auf die Qualität der

Planungen aus. Dieser übergeordnete Kontext darf nicht aus den Augen gelassen werden, wenn Erklärungen für das Scheitern des Projektes DMS gesucht werden.

*β Projektorganisation:* Die Organisation des Projektes war von Beginn weg (1986, Projekt GMR, siehe Tabelle 3) als Konsortium von Industrien, kantonalen Behörden und Standortgemeinde konzipiert. Zentrale Handlungsträger, die in den 1990er Jahren in diesem Projekt in Erscheinung treten sollten, waren in diesem Konsortium vereint (Industrie + Aufsicht + Gutachter + Standortgemeinde). Hinzu kam ursprünglich auch das geologische Büro, das die Expertisen für das Konsortium erstellte. Zwar wurden die Strukturen mit fortschreitender die Projektorganisation angepasst. Zu Beginn des Projektes der Sondermülldeponie DMS (1992) war der Gutachter immer noch Teil des Konsortiums, nicht aber mehr die kantonale Aufsicht bzw. die Standortgemeinde. Allen relevanten Handlungsträgern war aber an der Umsetzung des Projektes im Bergwerk gelegen, auch dem Kanton, der zu dieser Zeit eine Sondermüllsammelstelle betrieb und einen Teil der Abfälle in den Galerien zwischenlagerte. Die kritische Distanz zwischen Industrie, Aufsicht und Expertise war nicht mehr vorhanden.

*γ Genehmigung, Aufsicht:* Die Genehmigung des Projektes erfolgte durch die kantonalen Behörden. Drei Feststellungen sind hierbei von grossem Interesse: zum einen hatte sich das kantonale Umweltamt ursprünglich bereits für das Projekt ausgesprochen und betrieb in den gleichen Galerien ein Zwischenlager für die Abfälle der kantonalen Sammelstelle für Sonderabfälle. Zweitens hatte sich das Amt über seinen Amtsleiter bereits vorgängig für das Projekt ausgesprochen (Groupe de travail 2013a, 2013b). Drittens verfügte das Amt zwar über gut ausgebildete Fachleute, nicht aber über Fachleute im Bereich der Abfalllagerung und schon gar nicht im Bereich der Karsthydrogeologie. Externe Experten wurden in diesem Falle für eine Überprüfung und Beurteilung des Projektes und des Standorts nicht beigezogen. Die ersten Bewilligungen des Umweltamts für das Zwischenlager und die Verfestigungsanlage erfolgten bereits im April 1993, bevor der Standort überhaupt vollständig überprüft worden war (Färbversuche).

*δ Beurteilung:* Die strukturellen Probleme resultierten aus der zu großen Nähe zwischen Projektverantwortlichen und Aufsichtsbehörden sowie die zweifelhafte Rolle der Projektemperten. Übergeordnete Probleme bei der Suche nach Entsorgungsmöglichkeiten für gefährliche Abfälle in den frühen 1990er Jahren und eine partiell identische Interessenkonstellation führten dazu, dass sich die Aufsichtsbehörden mit dem Projekt zu identifizieren begannen. Die kritische Distanz, die eine Aufsichtsbehörde bei Risikoprojekten dieser Art haben sollte, ging dadurch verloren. Die Aufsicht, welche in Sichtweite des Bergwerks sitzt, versagte dadurch auch in drei essentiellen Bereichen (Kontrolle illegal aufgebauter Zwischenlager [Mengen deponierter Abfälle], Kontrolle finanzielle Rückstellungen, Beurteilung der Standorteigenschaften).

Die Projektanten und ihre Experten ihrerseits unterschätzten die Risiken des Projektes, sowohl was die Qualität des Standorts und die Reife des Projektes wie auch die Akzeptanz durch die Bevölkerung angeht. Das Nicht-Eintreten auf die begründete Kritik am Projekt sollte sich bitter rächen. Einen wesentlichen Anteil daran hatten auch die Projektemperten, welche die hydrogeologischen Risiken des Projektes ausblendeten.

### 3.2.6 Zentrale Probleme und Schwachstellen des Projektes und Lehren

Wichtige Probleme und Schwachstellen des Projektes St-Ursanne werden zusammengefasst:

- Es besteht ein evidenter Zusammenhang zwischen übergeordneten gesellschaftlichen und technischen Entwicklungen und den daraus sich ergebenden oder abgeleiteten Projektentwicklungen. Dadurch besteht ein beträchtliches Risiko, dass sich übergeordnete kontextuelle „nationale“ Sachzwänge auch auf ein Projekt wie der DMS St-Ursanne durchpausen;
- Das Projekt DMS St-Ursanne war die Folge einer gesetzlichen Übergangsregelung im Bereich der schweizerischen Abfallwirtschaft. Die Folgen der neu gestellten Weichenstellung wurde in erster Linie von den normgebenden Handlungsträgern (Bundesbehörden, vollziehende Kantonsbehörden) systemisch nicht oder zu wenig ausgeleuchtet; die Frage, ob die Abfallwirtschaft mit der neu geschaffenen Situation überhaupt fertig werden konnte, stand damals nicht im Zentrum der Überlegungen ;
- Die Betreiber der geplanten Reststoff-Deponie waren mit der Entwicklung des Verfestigungs- und Kavernenprojekts überfordert und in erster Linie an der finanziellen Sanierung ihres Unternehmens interessiert. Die beigezogenen Experten verfolgten (als ehemalige Teilhaber der DMS) ebenfalls partikuläre Interessen und blendeten Aspekte und Eigenschaften aus, die das Projekt negativ beeinflussen oder verhindern konnten. Dass ein Deponieprojekt unter derart ungünstigen Standortbedingungen (Bergwerk im Karst im Nahfeld von Fließgewässern und einer Trinkwasserfassung) von einer angesehenen Ingenieur-Firma umgesetzt wurde ist aus der heutigen Perspektive kaum nachvollziehbar;
- Das Projekt wurde von den Vollzugsbehörden genehmigt, obschon bereits ernste Zweifel an der Vertretbarkeit desselben laut geworden waren. Erst massive Interventionen von Außen (Besetzungen des Geländes von Greenpeace) und die resultierende mediale Aufmerksamkeit führten zu Korrekturmaßnahmen und der Einsetzung eines externen Prüfungsgremiums (Expertengremium) durch die politischen und administrativen Behörden.
- Prozeduren, welche eine interessenunabhängige Bearbeitung des Projektes erlaubt hätten, waren nicht installiert. Desgleichen fehlte eine Qualitätssicherung des Projektes, die diesen Namen verdient hätte. Erkenntnisse aus der Sicherheitskultur von Risikotechniken und – Projekten anderer Bereiche wurden von den Projektverantwortlichen nicht einbezogen und von den Vollzugs-Behörden nicht eingefordert.

Lehren aus diesem Fall sind in erster Linie:

- Es braucht weitsichtig aufgestellte rahmengebende Konzeptionen in der Abfallwirtschaft.
- Wirtschaftliche Faktoren sind bei Risikoprojekten der Abfallwirtschaft mit ihren Langzeitfolgen und den nachgelagerten Kostenfolgen sekundär.
- Organisationsstrukturen mit klarer Kompetenzaufteilung und einer starken, unabhängigen und mit Ressourcen gut ausgestatteten Aufsicht sind für die erfolgreiche Umsetzung von Abfallprojekten unerlässlich.
- Eine Qualitätssicherung eines Risikoprojektes mit Interessen unabhängiger Expertise ist bei Risikoprojekten wie der Endlagerung radio- oder chemo-toxischer Abfälle umzusetzen

### 3.3 Stocamine

#### 3.3.1 Kurze Zusammenfassung des Projektes und seiner Entwicklung

Stocamine ist Teil des 1904 entdeckten elsässischen Kali-Beckens, das nach der Annektierung des Elsass durch das deutsche Kaiserreich ab 1911 von verschiedenen deutschen Gesellschaften erschlossen und betrieben wurde (Giovanetti 2011, S. 7). Im Verlauf von rund 90 Betriebsjahren gewannen verschiedene Betriebsgesellschaften, in erster Linie die Mines de Potasse d'Alsace MDPA (Kalibergwerk Elsass), rund 600 Millionen Tonnen Salz und fuhren Strecken von tausenden und abertausenden von Kilometern auf. Gegen Ende des 20sten Jahrhundert wurden die Abbaufelder mit den über Jahrzehnte abgeteuften 24 Schächten (Stocamine 1996, S. 3) etappenweise stillgelegt. Wie im Fall anderer großer Bergbauprojekte suchten die Betreiber Folgenutzungen zu erwirken um den Aderlass an Arbeitsplätzen akzeptierbarer zu machen. Das Projekt Stocamine war Ausdruck für diese Bestrebungen, im Revier Joseph-Else ein Endlager für chemo-toxische Abfälle nach dem Modell der Untertagedeponie Herfa-Neurode aufzufahren. Ein erstes Projekt 1973/1974 wurde nochmals aufs Eis gelegt, 1989 aber wieder aufgenommen. Das revidierte Abfallgesetz von 1992 ergänzte das Gesetz vom 15 Juli 1975 in entscheidenden Punkten: zum einen definierte es den „déchét ultime“, den Nicht-Mehr-Verwertbaren-Letzten-Abfall, zum anderen legte es den Begriff der Reversibilität fest, der die Basis für die Auflagen in Sachen Rückholbarkeit des Projektes Stocamine werden sollte. Die Frage der Rückholbarkeit und Bergbarkeit der Abfälle wird im Fall Stocamine von ausschlaggebender Bedeutung werden.

Nach der Auflage des neuen Projektes der Untertage-Deponie Stocamine im Jahr 1996 erteilte der Präfekt des Departements Haut-Rhin als verlängerte Ausführungs-Instanz der zentralen französischen Regierung die Betriebsbewilligung für ein neu und nur für die Abfallendlagerung aufgefahrenes Endlager unter der Auflage, dass das Projekt nach Ablauf einer Betriebszeit von 30 Jahren neu genehmigt werden beziehungsweise die Abfälle zurückgeholt werden müssten. Die Umkehrbarkeit (Reversibilität) der Entscheide und die Garantie für die Bergbarkeit der Abfälle aus dem Tiefuntergrund waren entscheidende Faktoren für die Akzeptanz des Projektes.

1999 begann Stocamine erste Abfälle einzulagern. Im Laufe der nächsten zweieinhalb Jahre folgten weitere 42'000 t. Der Betrieb, der von Beginn weg mit wirtschaftlichen Schwierigkeiten zu kämpfen hatte, verzeichnete mindestens 5 gescheiterte Versuche, nicht autorisierte Abfälle im Untergrund einzulagern. Der sechste dokumentierte Fall führte löste den Brand in der Tiefe aus und führte zur definitiven Außerbetriebnahme des Endlagers. Seither versucht die Auffanggesellschaft mit teilweiser Unterstützung durch regionale Politiker Beschlüsse für ein definitive Einlagerung der Abfälle und die Schließung der Anlage zu erwirken.

#### 3.3.2 Informationsgrundlagen, Eckdaten

*Quellen:* Die Unterlagen zu Stocamine sind außerordentlich umfangreich. Als Experte des Schweizer Bundesamts für Umwelt (2000-2001) beziehungsweise des französischen Umweltministeriums (2010-2011) stand dem Unterzeichneten die gesamte Dokumentation technischer und geologischer Berichte zur Einsicht zur Verfügung. Die Eckdaten des Fallbeispiels Stocamine sind aus der beiliegenden Tabelle 4 ersichtlich. Die Grundlagen für eine robuste Beurteilung dieses Fallbeispiels sind vorhanden.

Datum	Handlungsträger	Ereignis
1972	Kali+Salz AG	Inbetriebnahme der Untertage-Deponie Herfa-Neurode
1973/1974	MDPA, direction générale	Erste Projekte für eine Untertage-Deponie für Sonderabfälle durch Mines de Potasse d'Alsace (MDPA)
1987	Andra	Heiz-Versuche im Salz (mit Thermoelementen) in der Mine Joseph-Else
Mai 1989	MDPA	Vorprojekt für eine Untertagedeponie für Sonderabfälle
1991	Präfekt des Departements Haut-Rhin	Erste öffentliche Auflage für das erste Projekt Stocamine, die in Erwartung des Abfallgesetzes von 1992 sistiert wird
1992	Franz. Parlament	Das Abfallgesetz von Juli 1992 erläutert die Begriffe des Nicht-Mehr-Verwertbaren-Abfalls (déchet ultime) und der Reversibilität sowie der Finanz-Rückstellungen.
1996	Präfekt Departements Haut-Rhin	Zweite öffentliche Auflage für das erste Projekt Stocamine
3. Februar 1997	Präfekt des Departements Haut-Rhin	Betriebsgenehmigung Nr. 970157 vom 03.02.1997 für Stocamine, Art. 2: „Die vorliegende Genehmigung wird für eine Betriebszeit von maximal 30 Jahre erteilt ... Nach Ablauf dieser Frist und bis auf eine neue Genehmigung müssen die Abfälle zurückgeholt werden.“
Februar 1999	Stocamine	Beginn der Sondermüll-Einlagerung (10.02.1999)
1999	Stocamine	Dreifache Anlieferung radioaktiver Abfälle (22. Juni, 18. August, 30. November), Verweigerung der Annahme
22. Juni 2000	Stocamine	Schlagwetter beim Auffahren einer neuen Lagergalerie
27. Juni 2001	Stocamine	Nicht genehmigte Einlagerung von 173 Big-Bags mit 50 t PCB-haltigen Abfällen. Auslagerung nach 7 Monaten.
30. August 2002	Bürgerinitiative	Anwohner nehmen starke Geruchsausbreitung bei Stocamine fest und benachrichtigen die Bürgerinitiative
10. Sept. 2002	Stocamine	Brand mit starker Rauchentwicklung. Einlagerungsstopp, eingelagerte Abfälle bis September 2002: 44'000 t
3. Februar 2004	Franz. Parlament	Gesetzesanpassung (Gesetz Nr. 2004-105), Artikel 20: „Nach einer genehmigten Betriebszeit von mindestens 25 Jahren oder wenn die Zufuhr von Abfällen seit mindestens 1 Jahr eingestellt wurde, kann die Genehmigung auf unbestimmte Lagerzeiten verlängert werden ...“
10. März 2006	Franz. Parlament	Dekret Nr. 2006-283.
2008	Franz. Umweltministerium	Auftrag zuhanden Experten (Marc Caffet, Ingénieur général des Mines, Marc Sauvalle) die verbleibenden Strategien für die Bergung beziehungsweise definitive Einlagerung der Abfälle zu untersuchen
7. April 2010	DREAL Alsace	Bericht der Aufsichtsbehörde
September 2010	Expertenbericht	Bericht Caffet/Sauvalle
2010-2011	Copil	Comité de pilotage, Überprüfung des Projektes und der Strategien durch Expertengremium, Bericht: Juli 2011

**Tabelle 4:** Zeittafel wichtiger Ereignisse des Dossiers Stocamine

### 3.3.3 Rechtliche Grundlagen

*Rechtserlasse:* Projekt und Standortwahl wurden nach dem Gesetz vom 15. Juli 1975 (Stocamine 1996) und dem revidierten Erlass vom Juli 1992 (Copil 2011) genehmigt. Die Bestimmungen bezüglich Sicherheit, Langzeitsicherheit und Rückholbarkeit standen also im Vordergrund, und waren Bestandteil der Genehmigung des Projekts und der Projektänderungen durch den zuständigen Präfekten (Préfet Haut-Rhin 1997, 2001, 2002a, 2002b).

Die Genehmigung des Projektes beruhte auf Rechtsgrundlagen die alle relevanten Aspekte zum Schutz von Mensch und Umwelt beinhalteten. Die Auflagen waren klar formuliert. Pierre-Franck Chevet, 1995-1999 Direktor der Bewilligungsbehörde Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) Elsass und seit 2012 Präsident der Autorité de sûreté nucléaire ASN (französische Atomsicherheitsbehörde) hat die Frage nach der Reversibilität beziehungsweise der Bergung und Auslagerung der in Stocamine gelagerten Abfälle in einer Fernsehdokumentation klar bejaht.<sup>10</sup> Gleiches gilt für andere Projektverantwortliche wie den ersten Generaldirektor (président directeur général) von Stocamine, Michel Streckdenfinger (siehe Ausführungen in der Fernsehdebatte auf France FR3 vom 7.11.1998 [„La loi impose la réversibilité »]). Der politische Konflikt und die späteren Debatten unter Experten werden sich immer wieder an dieser Problematik entzünden.

### 3.3.4 Standort und langfristige Projektrisiken

*A Standorteigenschaften:* Der über knapp 100 Jahre betriebene intensive Abbau im elsässischen Kalibecken nördlich von Mulhouse führte auch zu umfangreichen geologischen und hydrogeologischen Erkundungen sowie zu Abklärungen zur Gebirgsmechanik und -stabilität, der Seismizität und der Risiken. Der Kenntnisstand in erdwissenschaftlichen Fachgebieten ist dementsprechend hoch.

Der geologische Aufbau des Beckens wurde durch das Aufbrechen des Rheintalgrabens im Tertiär maßgebend beeinflusst. Das progressive Absenkung des Grabens führte zu marinen Transgressionen und zur Resedimentation älterer, teils saliner Ablagerungen (Ecole Nationale supérieure des Mines 1990). In der Folge kam es im elsässischen Kalibecken unter ariden klimatischen Bedingungen zur Ablagerung mächtiger Sedimentabfolgen mit Wechsellagerungen von Salzen beziehungsweise feinkörnigeren Mergel- und Toneinlagerungen mit einer Gesamtmächtigkeit von über 2'000 m. Die obere Salz-Zone ist rund 550 m mächtig. Darin befinden sich auch Kalihorizonte und mächtige Steinsalzbänke. Der Kali-Abbau erfolgte in dieser oberen Salzformation, die im Revier Joseph-Else etwas unter 500 m Tiefe lag.

Hydrogeologisch gilt die gesamte Salzformation als dicht, trotz einzelnen permeablen Schichtlagen (Stocamine 1996, Mica 2004). Hingegen hat der intensive Kaliabbau dazu geführt, dass

---

<sup>10</sup> «Stocamine est un stockage provisoire, nécessairement provisoire. La loi qui a été passée en juillet 1992 interdit d'autoriser de manière sans limites dans le temps un quelconque stockage géologique de produits dangereux. Stocamine étant un stockage de produits dangereux. Il nous est interdit, et l'arrêté le reprend, d'autoriser de manière illimitée. En pratique, Stocamine n'est autorisé que pour 30 ans. C'est la notion de réversibilité. Alors autoriser que pour 30 ans, ça veut dire : qu'est ce qui se passe au bout de trente ans ? Ça ne veut pas dire qu'on arrête simplement, on laisse les déchets au fond. Ça nous donne une obligation non seulement d'arrêter d'amener des déchets, mais ça donne l'obligation de les ressortir à la surface. », siehe [http://www.dailymotion.com/video/xlpirk\\_0-p-f-chevet-drire\\_news](http://www.dailymotion.com/video/xlpirk_0-p-f-chevet-drire_news)

Grundwasser via Schächte in die Tiefe einfließt. Diese Schächte wurden zwar verfüllt, sind aber vielfach undicht. Die Grubensohle ist bereits geflutet. Es ist unbestritten, dass die gesamte Grube im Laufe der Zeit (Jahrhunderte?) geflutet werden wird (Cesame 2006, Cesame 2008, Caffet et al. 2010, Copil 2011, Ineris 2012). Es gilt als gesichert, dass das Wasser das Endlager erreichen und in die Lagerkammern vordringen wird. Szenarienanalysen lassen erwarten, dass die gefluteten Grubenteile sukzessive ausgepresst werden könnten und das Grundwasser des Rheintals mit Sickerwässern aus dem Lagerbereich über verschmutzen könnten (Berest et al. 2004, Caffet et al. 2010, Copil 2011, Ineris 2012)

*B Anlagebeschrieb und Merkmale der Anlage:* Im Gegensatz zu dem 23 bis 25 m höher gelegenen Niveau der unteren Kali-Bauten, die im Strebbruchverfahren abgebaut und 1973 stillgelegt wurden, erfolgte das Auffahren des tieferliegende Endlagers nach der Methode der Kammern und Pfeiler. Ursprünglich sah das Projekt vor, 4 Lagerzonen mit jeweils 80 Lagerblocks auf einer Fläche von 1 km x 0.85 km zu errichten (Stocamine 1996), die eine Einlagerung von total 320'000 t Abfälle hätten erlauben sollen. Ein Block mit Länge von 224 m und Breite von 76.5 m bestand aus einem geometrischen Muster von Längs- und Quergalerien von 5.5 m Breite und 2.8 m Höhe, in welche die Abfälle auf Holzpaletten und in zwei Lagen deponiert wurden. Die Lagerzone war durch verschiedene Strecken mit dem Schacht Joseph-Else verbunden, damit auch mit den Kalibaukomplex der Mines de Potasse. Kritisch an dieser Auslegung war einerseits die 23m bis 25m über dem Endlager liegende Naht des ehemaligen unteren Kaliflözes sowie die felsmechanischen Schwachpunkte im Kreuzbereich der Galerien von Stocamine (Copil 2011). Zugleich hatte der Entscheid, die westlich liegenden Blöcke rund 2 tiefer in einem reineren Steinsalzvorkommen aufzufahren dazu geführt, dass ein wenig stabiles Schichtpaket am First (Decke) der Endlagerkammern (insb. Block 15) nicht entfernt worden war, was sich nach dem Brand in Block 15 als Hindernis für die Bergung der darin enthaltenen Abfälle erwies.

Die Sicherheit von Stocamine und namentlich die Langzeitsicherheit des Endlagers über 10'000 Jahre (Stocamine 1996) wurde von den Projektverantwortlichen in der Konvergenz der Salzsichten und dem dichten Verschluss der Galerien und Zufahrten gesehen (Stocamine 1996, Ecole Nationale supérieure des Mines 1990). Die Prognosen zur Konvergenz (Ecole Nationale Supérieure des Mines 1990) gingen von raschen Verschlüssen innerhalb von maximal 100 Jahren aus. Die raschen Konvergenzen wurden bei der Überprüfung des Projektes bestätigt (Copil 2011).

*C Abfallarten, Charakterisierung, Problemstoffe, Mengen:* Die Abfälle wurden in vier Gruppen unterteilt, die gemäss ihrer Anlieferung in die entsprechenden Lagergalerien gestellt wurden. Der Gruppe A waren diverse Härtesalze zugeteilt, der Gruppe B Arsen und Quecksilber haltige Abfälle, mit Schwermetallen verschmutzte Böden, Rauchgasreinigungsrückstände, Asbestabfälle oder nicht-organische Pflanzenschutzzeugnisse. Gruppe C enthielt Chrom haltige Abfälle und Galvanikabfälle oder Filterkuchen, während Gruppe D elektronische Abfälle, ausgediente Katalysatoren und Laborabfälle vereinte (Stocamine 1996). Wie bei allen Untertagedeponien gab es auch für Stocamine eine Negativliste (Ineris 1993a, 1993b), auf der brennbare und organische Abfälle, Explosivstoffe, reaktionsfähige, selbstentzündbare oder biologische Abfallgemische sowie radioaktive Abfälle aufgeführt waren. Insgesamt wurden bis zum Brandereignis vom 10. September 2002 rund 42'000 t gefährliche Abfälle in Stocamine eingelagert. Der Brand vom

September 2002 (siehe unten) hat Zweifel aufkommen lassen, was die korrekte Deklaration der Abfälle angeht (Copil 2011, siehe auch weiter unten)

*D Konditionierung der eingelagerten Abfälle, Einbringungstechnik, Annahme:* Mehrheitlich wurden die Abfälle lose in große Big-Bags verfüllt angeliefert beziehungsweise in Behältern oder 200l-Stahl-Fässern, welche nicht weiter verfestigt oder konditioniert waren (Stocamine 1996). Wenige Abfälle in kleineren Fassgebinden wurden in Überfässer gestellt. Eine eigentliche Konditionierung nach dem Mehrfachbarrierenkonzept war bewusst nicht vorgesehen. Die Abfälle wurden den 4 Gruppen zugeteilt und dann mit Hilfe von Hubstaplern palettiert in die Lagergalerien gestellt, mehrheitlich in zwei Lagen. Offenbar kam es bei der Einbringung der Abfälle aber auch bei der Auslagerung 2001-2002 zu Schädigung der Gebinde (ca. 10% der Big-Bags, Copil 2011).

Nachweisbare Probleme ergaben sich durch die Annahme von Abfällen der Negativliste. Einige Chargen mit radioaktiven Abfällen konnten noch im Eingangsbereich abgefangen werden. Im Juni 2001 wurden aber über 50 t PCB-haltige Abfälle verbotenerweise in den Galerien eingelagert (Tabelle 4). Nach dem Bekanntwerden der Fehleinlagerung via Aufsichtsbehörde (DRIRE – Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) wurden diese Abfälle wieder ausgelagert. Im Sommer 2002 lagerte Stocamine wiederum Abfälle ein, die nicht deponiert hätten werden dürfen: es handelte sich um Abfälle aus einem Brand eines Lagers mit Pflanzenschutzmitteln (déchets Solupack, Copil 2011). Die regionalen Umweltverbände informierten die Aufsichtsbehörden (DRIRE), die aber keine sofortige Wiederauslagerung erwirkte. Die eingelagerten Solupack-Abfälle werden für den kurz darauf ausgebrochenen Brand am 10. September 2002 in den Lagergalerien verantwortlich gemacht (Copil 2011). Am 7. April 2016 wurden weitere illegale Einlagerungen von Sonderabfällen bekannt.

Der mehrfach belegte und teilweise gelungene Versuch, nicht zugelassene Abfälle in die Galerien zu versenken (siehe auch Tabelle 4), wirft ein schlechtes Licht auf die Prozeduren der Eingangskontrolle. Die Kontrolldichte (Stichproben) war nicht angemessen für ein Endlager mit diesem Stoffinventar. Copil (2011) stellte fest, dass „ein allgemeiner Verdacht hinsichtlich des gesamten Annahmeverfahrens“ besteht, rügt aber auch die Zuverlässigkeit der Dokumentation.

*E Gase, Stoffflüsse, Risikoabklärungen:* Gase im Lagerbereich oder Sickerwässer können auf zwei Prozesse zurückgeführt werden. Zum einen besteht ein nicht zu unterschätzendes Risiko beim Auffahren des Salzes, dass natürliche Gaseinschlüsse aufgefahren werden. Ein solches Ereignis (Schlagwetter) mit Grubengas ereignete sich im Sommer 2000 beim Auffahren einer Lagergalerie (Tabelle 4). Andere Stoffflüsse sind über die eigentlichen länger andauernden Lagerprozesse zu erwarten, einerseits via Reaktionen der Abfälle beim Zutritt von Sole beziehungsweise durch Korrosion (Bildung von Wasserstoff, Laugenbildung mit Abfallinhaltsstoffen). Angesichts der Komplexität dieser Reaktionsprozesse wurde die Reaktivität solcher Stoffgemische im Lager selber wurde nie im Detail untersucht, obschon bereits frühzeitig Risikobetrachtungen erfolgten (Muller et al. o.J., 1990, Combes et al. 1990, Stocamine 1996). Ungeachtet dessen waren sich alle Experten und Expertenkollegien darin einig, dass es langfristig zur Flutung des Lagerbereichs, zur Bildung von Schmutzwasser und zum Auspressen dieser belasteten Wässer an die Umwelt kommen würde (Cesame 2006, Cesame 2008, Caffet et al. 2011, Copil 2011, Ineris 2012).

*F Verfüllung und Verschluss:* Angesichts der erwarteten schnellen Konvergenzen des Salzes im Endlagerbereich (Ecole Nationale supérieure des Mines 1990) wurden keine weiteren Maßnahmen zur Verfüllung des Lagers erwogen. Hingegen sind von Beginn weg Möglichkeiten für den Verschluss der Anlage untersucht worden. In einer Anfangszeit standen Verschlüsse mit Salz, Beton bzw. Salzbeton (Ercosplan 2008) zur Diskussion, gegenwärtig werden Projekte mit Bentonit-Propfen bei den Zugangsstrecken entwickelt. Copil (2011) wie auch Verantwortliche von Stocamine<sup>11</sup> gehen aber trotz Umsetzung dieser Maßnahmen langfristig von der Flutung des Endlagers aus.

*G Rückholbarkeit und Bergung:* Das ursprüngliche Projekt ließ keinen Zweifel an der Möglichkeit offen, die Abfälle bei Bedarf zurückzuholen. Interessant sind auch die Gründe, die damals aufgeführt wurden, die auch davon ausgingen, dass neue Abfallbehandlungsmethoden eine Bergung und Nachbehandlung erlauben könnten (Stocamine 1996).<sup>12</sup> Nach dem Unfall von 2002 wurde die Frage der Bergung der Abfälle von den Projektverantwortlichen tunlichst umgangen. 2004 nahm das französische Parlament auf Antrag eines elsässischen Abgeordneten eine Anpassung des Abfallgesetzes vor, die es erlaubt hätte, eine definitive Einlagerung der in Stocamine eingelagerten Abfälle zu beschließen (siehe auch Tabelle 4)<sup>13</sup>. Dafür brauchte es weitere Untersuchungen und Beurteilungen durch Behörden und Experten, die allerdings über Jahre auf sich warten ließen. 2010 wurde der Inhalt des Berichts der Aufsichtsbehörde DREAL (2010) bekannt, der bei Belassen der Abfälle im Untergrund eine Flutung des Endlagers bestätigte und eine Verschmutzung des Grundwassers durch Auspressung der verschmutzten Laugen nicht ausschloss.<sup>14</sup> Kurz danach erschien der im Auftrag der französischen Ministerien für Umwelt und für Finanzen erstellte Bericht der Mineningenieurinnen Caffet und Sauvalle (Caffet et al. 2010), der die beiden grundsätzlichen Möglichkeiten der Bergung beziehungsweise der Verlängerung der Genehmigung zur zeitlich unbefristeten Endlagerung der Abfälle untersuchte. Beruhend auf den Berechnungen von Stocamine und Expertisen (z.B. BMG 2004, 2006, Swissi 2004, Swissi 2006a, 2006b) wies der Bericht auf die Schwierigkeiten und die Dauer einer Bergung hin (Caffet et al 2010, S. 12, 13) und die Schwierigkeit, die eingelagerten Gebinde „unverletzt“ zu bergen und die Arbeitssicherheit zu gewährleisten. Ähnlich hatte auch der Bericht der Dreal argumentiert (Dreal 2010, S. 3). Diese Argumentation stützte auch die Mehrheit der Experten des „Comité de pilotage“ (Copil 2010, S. 11.ff., Annexe 4), obschon keiner der Experten, welche die Mehrheitsposition vertrat, praktische Erfahrung in der Bergung von gefährlichen Abfällen vorweisen

---

<sup>11</sup> Alain Rollet, PDG Stocamine (Generaldirektor), in der Arte-Sendung vom 19. September 2014 von Alexander Schlichter und Davina Weitowitz „Toxisch! Verkannte Gefahr Sondermüll“

<sup>12</sup> Stocamine 1996, S. 11/13: „142 Réversibilité / Une seconde caractéristique remarquable des stockages en mine est qu'ils permettent de gérer les déchets ultimes dans le temps. Ils ont trois objectifs:“ ..... „- se donner le temps de la réflexion. La recherche progresse: de nouvelles techniques de traitement des déchets peuvent apparaître. La possibilité de déstocker pendant la durée d'exploitation du stockage est donc prévue. Il s'agit de maintenir la possibilité technique de déstockage pendant une durée donnée et non pas de prendre une décision aujourd'hui. Cette décision pourra être soit de déstocker, soit de laisser les produits au fond. En aucun cas cette décision ne sera du ressort du stockeur, elle sera du ressort du législateur (cf. article 3-1 loi no. 76 663 du 19 juillet 1976).“

<sup>13</sup> Artikel 20 des Gesetzes Nr. 2004-105 vom 3. Februar 2004 bzw. Artikel L.515 der Umwelt-Richtlinie (Code de l'environnement), siehe auch Caffet et al. 2010, S. 7

<sup>14</sup> Dreal 2010, S. 6: „A long terme, l'eau pénétrera par les puits pour atteindre les galeries minières. Le sel sera dissout et la saumure comblera les vides miniers. C'est l'ennoyage. La fermeture progressive des galeries repoussera progressivement la saumure polluée par els déchets...“

konnte, wie sie etwa routinemäßig in deutschen Untertagedeponien eingesetzt werden (z.B. mit Teleskoparm ausgerüsteten Ballengreifern und entsprechenden Arbeitsschutzmassnahmen). Im Gegensatz dazu und in Anlehnung an die Erfahrungen von Untertagedeponien bei der Wiederauslagerung von Abfällen (insb. in der UTD Herfa-Neurode) empfahlen 2 Experten die möglichst vollständige Auslagerung der Abfälle (Copil 2010, S. 12.ff. , Annexe 5). Sie verwiesen auch auf den drohenden Vertrauensverlust in die Planung von geologischen Tiefenlagern für radio-toxische Abfälle mit Option auf Rückholbarkeit, sollten die relativ einfach bergbaren Abfälle in Stocamine nicht wieder ausgelagert werden.

Die Debatte um die beiden Strategien setzt sich fort. Stocamine lagerte in der Folge an den Bericht des Copil einen Teil der Quecksilber und Arsen haltigen Abfälle aus und verbringt diese in die UTD Sondershausen (Thüringen, cf. Stocamine 2014, siehe dazu auch Feuga 2010). Zugleich hat das Unternehmen bekanntgegeben, dass die Reprofilierung der Galerien mit Firstsicherung technisch machbar ist und die Auslagerungsoperationen dadurch vereinfacht werden (Stocamine 2015). Es wird aber allgemein erwartet, dass der Präfekt des Haut-Rhin im Jahr 2016 die definitive Schliessung der Anlage unter Belassung der Mehrheit der Abfälle verfügt.

*H Beurteilung des Standorts und des Projektes:* Das Projekt Stocamine wie auch der Standort waren von Beginn weg umstritten. Bürgerinitiativen befürchteten bereits in den 1990er Jahren eine langfristige Verschmutzung des Grundwassers im Rheintal. Dennoch darf das Projekt Stocamine aus der Sicht der Planer in den 1990er Jahren als weit entwickelt betrachtet werden. Zum einen wurde das Lager entgegen der Praxis anderer Untertagedeponien der Zeit speziell angelegt und aufgeföhren, also für die Untertagelagerung chemo-toxischer Abfälle präpariert. Zum anderen bestand zu Beginn tatsächlich die Absicht, Stocamine auch als Zwischenlager für die eingelagerten Stoffe zu betrachten und eine spätere Auslagerung und Wiederbehandlung umzusetzen. Richtungsweisend war der Entscheid des Gesetzgebers im Jahre 1992, die Untertagelagerung mit einer Reversibilitätsklausel zu versehen (siehe auch Bewilligungen durch den Präfekten des Haut Rhin 1997). Die Umsetzung des Projektes war allerdings weit weniger professionell und von Pannen und einem Brand begleitet, der zum vorzeitigen Ende des Lagerprojektes führten.

Dass die zentrale Projektauflage der Reversibilität von Projektverantwortlichen und Entscheidungsträgern im Laufe der Zeit aufgeweicht und voraussichtlich nicht eingehalten wird, schadet der Glaubwürdigkeit der Aufsichtsbehörden und des politischen Systems sowie der Sache im allgemeinen. Nach den Erfahrungen mit Stocamine dürften Absichtserklärungen von Nuklearbehörden, radio-toxische Abfälle rückholbar zu lagern, in den betroffenen Standortregionen grundsätzlich angezweifelt werden. Ob sich nach solchen Erfahrungen Endlagerprojekte durchsetzen lassen, darf bezweifelt werden. Dass ausgerechnet ein relativ einfach zu sanierendes Objekt aus übergeordneten Interessen die Auflagen der Genehmigung beziehungsweise die oft in aller Öffentlichkeit beteuerten Versprechen nicht einhält, wiegt, was Vertrauensbildungs- und Dialogprozesse in Standortregionen angeht, schwer.

### **3.3.5 Strukturelle Rahmenbedingungen**

*α Kontext:* Stocamine ist das Ergebnis einer in den 1990er Jahren in mehreren Ländern sich entwickelnden Strategie, sich der Problematik der gefährlichen Abfälle anzunehmen (Caffet et al.

2010). Eine der Strategien bestand darin, diese Abfälle, die vielfach aus Kostengründen nicht weiter behandelt wurden, in Bergwerke im Tiefuntergrund zu versenken. Immerhin war die Einsicht bei den französischen Planern da, dass es dafür ein speziell aufgefahrenes Bergwerk dazu brauchte und nicht wie in den meisten Fällen ausgediente Problembergwerke mit Abfällen befüllt werden sollten. In diesem Sinne sticht Stocamine als Projekt positiv hervor, umso mehr die Planer zu Beginn die Absicht äußerten, das Lager als Zwischenlager zu nutzen und die Abfälle zur Wiederbehandlung oder -verwertung auszulagern (Stocamine 1996). Die von Beginn weg äußerst angespannte Wirtschaftlichkeit des Projektes verhinderte allerdings, dass ein solches Ansinnen ernsthaft umgesetzt wurde. Mit dem Projekt Stocamine war auch die Zuversicht der zuständigen französischen Industrie und Behörden verknüpft, eine nationale Autarkie in Sachen Lagerung in tiefen geologischen Schichten zu erreichen.

*β Projektorganisation:* Ursprünglich sollte Stocamine von einem Konsortium betrieben werden, das aus der Entreprise Minière et Chimique (EMC) und seinen Filialen TREDI und Mines de Potasse d'Alsace (MDPA) gebildet war (Stocamine 1996). Die Schwierigkeiten auf dem Abfallmarkt sowie die Probleme von Stocamine selber führten dazu, dass die Gesellschaft 2005 in staatliche Hände (MDPA) überging (Dreal 2010)<sup>15</sup>. Die Anteile von EMC und TREDI wurden ebenfalls in die staatliche Gesellschaft integriert. Damit ging die Verantwortung für das Projekt wie auch für die daraus resultierenden Folgekosten an den französischen Staat über.

Die interne Projektaufsicht war über die Bauetappe wie den Betrieb ungenügend. Sicherheitsstandards wurden missachtet, wie die ordnungswidrige Einlagerung von Abfällen zeigt. Qualitätssicherungsprogramme des Prozesses und des Projektes wurden von den verantwortlichen Organen zumindest nicht im gewünschten Ausmass umgesetzt.

*γ Genehmigung, Aufsicht:* Die Aufsicht wurde ursprünglich von der Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) ausgeübt, die nach der im Jahre 2007 erfolgten Reorganisation der Verwaltungsorganisation in die Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) überführt wurde. DRIRE bzw. DREAL sind klassische Verwaltungen, mit beschränkten personellen und finanziellen Ressourcen, wenn es darum geht, komplexe Risikoprojekte wie das von Stocamine dauerhaft zu begleiten. Die Überprüfungen durch Experten und Expertengremien waren nur teilweise auf die technischen Probleme der Bergung der gefährlichen Abfälle aus dem Tiefuntergrund angelegt. Erst in den Vorbereitungsphasen für den definitiven Verschluss des Endlagers machte Stocamine von der Erfahrung deutscher Wissensträger Gebrauch (Beizug von K-UTEC Sondershausen).

*δ Beurteilung:* Wie in vielen anderen Projekten im Abfallbereich bestehen ausgesprochene Asymmetrien zwischen Projektorganisationen und Aufsicht, die dazu führen, dass Behörden wesentliche Entwicklungen des Projektes nicht im erforderlichen Umfang begleiten und nachvollziehen können. Die Verlagerung der Zielsetzungen des Projektes im Verlauf der Zeit durch Projektverantwortliche oder andere Entscheidungsgremien erfolgte konsequent und mehrheitlich unwidersprochen, was die Behörden und die beigezogenen Expertengremien angeht. Die Projektverantwortlichen verfügten über Entscheidungsfreiräume, die es ihr erlaubten, ihre Zielsetzungen praktisch unwidersprochen durchzusetzen und die entsprechenden Umsetzungsschritte nach eigenem Gutdünken zu steuern. Experten und Expertengremien agier-

---

<sup>15</sup> 2004 nach Web-Seite Stocamine, <http://www.stocamine.com/constitution.html>

ten defensiv und waren bei der Beurteilung übergeordneter Aspekte des Projektes oftmals überfordert.

### 3.3.6 Probleme und Schwachstellen des Projektes und Lehren

Probleme und Schwachstellen des Projektes Stocamine werden kurz zusammengefasst:

- Das Projekt Stocamine wurde zu einer Zeit lanciert als Frankreich nachhaltige Lösungen für seine gefährlichen Abfälle suchte und dabei die deutschen Lösungen der Untertagedeponierung von Sonderabfällen (Modell UTD Herfa-Neurode) übernahm: mit drei grundlegenden Abweichungen. Zum einen wurde ein spezielles Bergwerk für die Lagerung der Abfälle aufgefahren. Zum anderen ließ sich das Projekt die Option offen, die Abfälle später auszulagern im Hinblick auf umweltverträglichere Verwertungen oder Behandlungen. Drittens wurde der Grundsatz der Umkehrbarkeit der Entscheide (Reversibilité) aufgrund der damaligen Gesetzgebung verankert. Diese drei Programmziele wurden im Laufe der Projektabwicklung allerdings verletzt oder in Tranchen aufgegeben.
- Besonders schwer wiegen dabei der Verzicht auf die Rückholung der Abfälle und damit der damit einhergehende Verlust der Glaubwürdigkeit von Projektverantwortlichen und Behörden. Der Schaden betrifft nicht nur das Projekt Stocamine sondern ist auch als schwere Hypothek für künftige Projekte der Tiefenlagerung zu verstehen. Versprechen zur Reversibilität von technisch machbaren Prozessen verpflichten auch zu deren Umsetzung.
- Die Sicherheitskultur während des Baus und des Betriebs der Anlage war mangelhaft. Festgelegte Prozesse im Bauablauf oder im Betrieb wurden durch den Betreiber ohne nachweisbares Qualitätssicherungsprogramm abgeändert (Abänderung des Abbauplans, mehrfaches Versagen der Eingangskontrolle, Einlagerung mottender Brandabfälle usw.). Die Mängel der Sicherheitskultur waren ausschlaggebend für den Betriebsunfall und den Stopp des Projektes. Die oftmals von Bürgerinitiativen, später auch von Experten geäußerte Kritik am Projekt wurde von den Projektverantwortlichen wie auch von den zuständigen Behörden ignoriert, trotz gegenteiliger Beteuerungen.
- Die Aufsicht war überfordert und dementsprechend ungenügend. Nach Eintreten der Schwierigkeiten im Projekt ließen die verantwortlichen Instanzen der öffentlichen Hand die Projektänderungen (Aufgabe der Strategie der Rückholung der Abfälle) zu. Kritische Stimmen aus der Bevölkerung oder seitens von Experten wurden zwar angehört, aber deren Bedenken wurden nicht ernsthaft geprüft.
- Das privatwirtschaftlich organisierte Projekt wurde nach dessen Scheitern wieder dem Staat übertragen, der nun für die Finanzierung der Schäden haftet.

Lehren aus diesem Fall sind in erster Linie:

- Es braucht langfristig ausgerichtete Abfallplanungen mit der Möglichkeit, gefährliche Abfälle wiederzuverwerten oder nachzubehandeln.
- Auflagen und Versprechen (Reversibilität) sind von Projektanten und Behörden einzuhalten, soll das Vertrauen der Standortregionen dauerhaft gesichert werden.

- Organisationsstrukturen mit klarer Kompetenzaufteilung und einer starken, unabhängigen und mit Ressourcen gut ausgestatteten Aufsicht und Expertise sind für die erfolgreiche Umsetzung von Endlagerprojekten unerlässlich.

### 3.4 Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)

#### 3.4.1 Kurze Zusammenfassung des Projektes und seiner Entwicklung (Tabelle 5)

Die Geschichte des Endlagers für transuranhaltige Abfälle „Waste Isolation Pilot Plant“ ist einerseits eng mit dem Scheitern des Endlagerprojektes in der Carey Salt Mine in Lyons (Kansas) verbunden, das 1971 aufgegeben wurde, als feststand, dass alte Öl- und Gasprospektionsbohrungen im Umfeld des Bergwerks bis in die Aquifere unter dem vorgesehenen Lagerbereich reichten (Committee on Waste Isolation Plant 1996, Mora 1999). Andererseits spielt der etappenweise Niedergang der Kaliindustrie in New Mexico in den 1970er Jahren eine zentrale Rolle, weshalb die politisch Verantwortlichen in der Bezirkshauptstadt Carlsbad nach Folgenutzungen suchten (Mora 1999). In den frühen 1970er Jahren erfolgten verschiedene Prospektionen im Delaware-Becken mit seinen mächtigen permischen Salzschieben. Allerdings führte die erste, unter Regie der Atomic Energy Commission AEC durchgeführte Prospektion im Jahr 1974 bereits zu einer ersten Verschiebung des Standorts wegen ungünstigen Bedingungen an der Oberfläche (Committee on Waste Isolation Plant 1996). Weitere Untersuchungen, insbesondere die 1976 durch die Energy Research and Development Administration (ERDA) abgeteufte Bohrung ERDA-6, zeigten aber stark gestörte Schichten im Untergrund. Hinzu kam dass die Bohrung auf eine ausgedehnte Sole- und Gastasche traf. Der Standort wurde erneut Richtung Süden verschoben (Carter 1987). Mit der Übertragung der wissenschaftlichen Arbeiten an Sandia Laboratories in Albuquerque nahm die Prospektion des Standortes Fahrt auf. Trotz grundsätzlicher Unterstützung des Projektes durch die politisch Verantwortlichen von Carlsbad wuchs aber der öffentliche Widerstand in der Region (Alley et al. 2013). Nach längerem Seilziehen willigte das inzwischen federführende Departement of Energy (DOE) 1978 ein, eine unabhängige Wissenschaftskommission einzusetzen, die Projekt und Umsetzung begleiten sollte (Alley et al. 2013). Diese „Environmental Evaluation Group (EEG)“ genannte Kommission sollte sich im weiteren Verlauf des Projektes dank ihrer Eigenständigkeit und trotz heftigen Debatten für und wider das Endlager große Achtung verschaffen (Carter 1987, Butler 2014).

Im nächsten Jahrzehnt folgte das Auffahren der Anlage und der ersten Teststrecken bis hin zu den ersten Lagerkammern (Mora 1999), die immer wieder von intensiven wissenschaftlichen Debatten begleitet waren. Danach folgte ein weiteres Jahrzehnt, das in erster Linie von einem Seilziehen um die Genehmigung und die Voraussetzungen derselben geprägt, bis die definitive Betriebsaufnahme des Endlagers gesichert war. WIPP galt bis zu den Unfällen im Februar 2014 weltweit als Vorzeigeprojekt für die Realisierung eines Endlagers.

Die Unfälle vom Februar 2014 haben dieses Vertrauen in den sicheren Betrieb eines Endlagers erschüttert. Bis auf weiteres ist die Anlage geschlossen (DOE 2015).

#### 3.4.2 Informationsgrundlagen, Eckdaten

*Quellen:* Die publizierten Quellen zum WIPP füllen Regale und betreffen mehr oder weniger alle Bereiche, die bei der Planung eines Endlagers erforderlich sind.

Die Grundlagen für eine robuste Beurteilung dieses Fallbeispiels sind vorhanden.

Datum	Handlungsträger	Ereignis
1957	National Research Council / Nationale Academy of Sciences	Empfehlung des NRC, hochaktive Abfälle in geologische Formationen in 500 m – 1000 m Tiefe einzulagern (NRC 1957)
1971	ORNL/AEC	Scheitern des Projektes Salt Vault in der Carey Salt Mine, Lyons, Kansas
1973	ORNL/USGS	Die Beckensedimente mit mächtigen Salzschiechten des südöstlichen New Mexico werden als geeignet für die Prospektion bezeichnet
1974	ORNL/USGS	Erste Bohrkampagnen für ein Endlager für TRU-Abfälle in Salzablagerungen in New Mexiko, Verschiebung des Standorts aufgrund der Ergebnisse
1975	ERDA	Empfehlungen, den später realisierten Standort des WIPP zu untersuchen
1975-1977	ERDA/Sandia / DOE / Sandia	Weitere Standort-Untersuchungen und Verschiebungen des Standorts
1978	WIPP Environmental Evaluation Group	New Mexico setzt begleitende wissenschaftliche Kommission EEG ein
1979	US Congress	Genehmigung für den Bau einer Demonstrationsanlage zu Zwecken der Forschung und Entwicklung
1980er Jahre	WIPP	Etappenweise Genehmigung und Auffahren und Bau der Anlage
1981-1983	WIPP	Auffahren der ersten beiden Schächte und der Preliminary Design Validation (SPDV) Test-Strecken
1984-1986	WIPP	Erweiterung des Lagers, Debatten über hydraulische Risiken (artesisch gespannte Grundwässer)
1986-1988	WIPP / EEG	Enge Begleitung des Projektes durch die Environmental Evaluation Group
1988	WIPP	Testbeginn
1992	US Congress	6./8. Oktober: Genehmigung zur Eröffnung des WIPP
1992	US Congress	Weitere Debatten, Betriebsgenehmigung unter der Auflage der Überprüfung durch die US Environmental Protection Agency (EPA)
1994	US Congress	Anordnung, die Sandia Laboratories ermächtigt, ein Test-Programm auszuführen, der Standard der EPA wird nicht verlangt
Oktober 1998	EPA	Zertifizierung der Anlage
26. März 1999	WIPP	Erster Transport von Abfällen aus Los Alamos und Einlagerung im WIPP
2014	WIPP	Störfall mit Fahrzeug-Brand am 5. Februar 2014
2014	WIPP	Störfall mit Freisetzung von Radioaktivität am 14. Februar 2014, sofortige provisorische Schließung der Anlage
2014-2015	DOE	Untersuchungs-Berichte zu den beiden Störfällen

**Tabelle 5:** Zeittafel wichtiger Ereignisse im Dossier WIPP

### 3.4.3 Rechtliche Grundlagen

*Rechtserlasse:* Eine Vielzahl von Rechtserlassen regeln Transport und Umgang mit Abfällen, Arbeitsschutzmaßnahmen, Arbeiten unter Tage usw. Bezüglich der Schutzfunktionen des Endlagers über die betrachteten Lagerzeiträume sind vor allem die von der amerikanischen Umweltbehörde US Environmental Protection Agency erlassenen Standards wichtig, insbesondere die in Kapitel 40 und Ziffern 191 und 194 festgehaltenen Auflagen. Ziffer 194 hält die spezifisch für das WIPP formulierten Anforderungen aus Ziffer 191 fest. Als wichtiger Erlass für den Umgang mit Abfällen über die langen Lagerzeiten gilt auch der „Resource Conservation and Recovery Act RCRA“ von 1976, 40 CFR Part 268 (Committee on Waste Isolation Plant 1996).

*Beurteilung:* Mit den bestehenden Erlassen sind Errichtung, Betrieb, Verschluss und Langzeitsicherheit der Anlage über 10'000 im weitesten Sinne geregelt. Drei Paragraphen sind im Kontext dieses Berichtes besonders interessant: Zum ersten die Festlegung der Zeitmarke von 10'000 Jahre für ein Endlager für Transuran haltige Abfälle, deren Bestimmung als arbiträr bezeichnet wird, weil sie inkonsistent und nicht zu vereinbaren sei mit Anforderungen an den Gesundheitsschutz (Vandenbosch et al. 2007, S. 183). Sodann die Problematik der Nutzungskonflikte (40CFR194.45), die mit der naiven Vorstellung verbunden ist, dass vorteilhafte geologische Eigenschaften des Standortes und des Endlagersystems die Präsenz von natürlichen Rohstoffen und Energieträgern aufwiegen könnten. Die seither zu beobachtende Entwicklung mit der intensivierten Rohstoffsuche im weiteren Umfeld des WIPP (siehe Hagen 2013, Sequenz WIPP) lässt grundsätzlich einen Nutzungs-Konflikt des WIPP in der Zukunft erwarten. Schliesslich die Bestimmungen zu passiven institutionellen Kontrollen (40CFR194.43), welche mit Hilfe von Markierungssystemen eine spätere Intrusion in das Endlager verhindern sollten, und die mit Blick auf die potentielle technische Entwicklung ebenfalls als arbiträr angesehen werden (Committee on Waste Isolation Plant 1996, S. 17).

### 3.4.4 Standort und Projekt

*A Standorteigenschaften:* Salz beziehungsweise Salzgesteine waren bereits 1957 vom National Research Council (NRC) als besonders geeignetes Wirtgestein bezeichnet worden (Committee on Waste Isolation Plant 1996). Die mit der Endlagerung betrauten Institutionen<sup>16</sup> waren relativ rasch auf das südlichen Delaware-Becken aufmerksam geworden und hatten ab 1973 intensive Prospektionen und Untersuchungen eingeleitet (Mora 1999, Committee on Waste Isolation Plant 1996). Die Suche konzentrierte sich auf die praktisch horizontal liegenden Salzsichten der permischen Salado-Formation, die mit einer leichten Neigung von 1° nach Süden eintauchten und etwa 600 m mächtig sind. Die Salado-Formation enthält ein typische Abfolge von Salzgesteinen in unterschiedlich mächtigen Zyklen (Anhydrite, Steinsalze unterschiedlichen Reinheitsgrades, Kalisalze, Tone usw.). Einige dieser Schichten erstrecken sich über weite Strecken (Leithorizonte), und spielten beim Bau der Anlage eine wichtige Rolle (Committee on Waste Isolation Plant 1996). Als problematisch erwiesen sich insbesondere unter Druck stehenden Gas- und Lauge-Einschlüsse (12 MPa [MegaPascal]), die wegen Schlagwetterexplosionen beim

---

<sup>16</sup> Atomic Energy Commission AEC und Oak Ridge National Laboratory ORNL zu Beginn, ab Mitte der 1970er Jahre Energy Research and Development Administration ERDA, Sandia Laboratories Albuquerque und Department of Energy (ab 1977)

Auffahren (oder Anbohren) gefürchtet waren. Artesisch gespanntes Grundwasser unter dem Lagerhorizont und mögliche Subrosionsprozesse im Becken wurden als weitere Risiken im Standortgebiet identifiziert (Carter 1987, Alley et al. 2013). Hinzu kam die Präsenz von Rohstoffen (Kalisalze, Erdöl, Erdgas), die einen besonderen Schutz für das Endlager verlangten (Carter 1987). Die geologisch-hydrogeologischen Eigenschaften am Standort sollten Sicherheit für ein Endlager mit beschränktem radioaktiven Inventar über 10'000 Jahre gewährleisten. Die Debatten zu dieser Frage liefen in den 1980er Jahren an (Carter 1987, Mora 1999, Committee on Waste Isolation Plant 1996).

*B Anlagebeschrieb und Merkmale der Anlage:* Die Anlage wurde in 658 m Tiefe aufgefahren, ausschließlich zum Zweck der Endlagerung der transuranhaltigen Lagerbehälter (Committee on Waste Isolation Plant 1996). Sie wird durch 4 Vertikalschächte erschlossen, je zwei für den Transport der Gebinde beziehungsweise für die Extraktion des Salzes sowie für die Ventilation und für Infrastrukturen (siehe Mora 1999, S. 119). Um die Schächte ist die Experimental-Zone (Test-Bereich) angeordnet. Die Lagerzone ist in acht Felder (panels) unterteilt mit je 7 rechteckig angelegten Galerien (rooms) pro Feld. Die Galerien sind mit zwei Zugangs-Strecken verbunden. Die Lager-Galerien sind 10 m breit, 4 m hoch und 91 m lang. Es handelt sich also um eine konventionell aufgefahrene Bergbauanlage ohne spezielle Neuerungen. Die Dimensionen der Anlage also auf die zu lagernden Behältnisse und Gebinde abgestimmt.

Die Platzierung der Anlage auf der gewünschten Tiefe erfolgt aufgrund der Leithorizonte. Sie erlaubten es, den Anhydritlagen auszuweichen, die als potentielle Laugen führende Horizonte gelten (Committee on Waste Isolation Plant 1996, S. 41.ff.). Die Vorsicht, mit der die Anlage in das geologische Umfeld eingepasst wurde zeigt den Respekt der Planer vor unerwarteten Laugen- und Gaszutritten (siehe weiter unten). Es zeigt aber wie schon oben erwähnt auf, dass die Anlage auf herkömmlichen Überlegungen der Bergbauwelt konzipiert wurde und auch starkem Kostendruck ausgesetzt war (Committee on Waste Isolation Plant 1996, S. 47.ff.). Zu erwähnen bleiben schliesslich die Entlastungsbrüche um Schächte und Galerien (Excavation Damaged Zone EDZ), die als Schwachstellen im Gestein und potentielle Migrationspfade für Gase und für Salzlaugen wirken können.

*C Abfallarten, Charakterisierung, Problemstoffe, Mengen:*

Angesichts der Vielfalt der Zulieferer (alle großen Nuklear-Laboratorien der USA wie Hanford, Los Alamos, Idaho National Laboratory, Rocky Flats usw.) und der Vielzahl der industriellen Techniken und Prozeduren mit radioaktiven Stoffen, die in diesen Laboratorien angewendet wurden, ist eine Inventarisierung der Abfälle nur in groben Zügen möglich. Die Inventarpalette umfasst das ganze Abfall-Spektrum, sowohl was die radio-toxischen Elemente angeht wie chemische Substanzen oder andere Trägermaterialien. Es gibt Hochrechnungen über das erwartete Inventar an transuranhaltigen Abfällen (Isotopen des Uran, Neptuniums, Plutoniums, Americiums usw., siehe Committee on Waste Isolation Plant 1996, S. 9). Hinzu kommt die Auftrennung in transuranhaltige-Abfälle entsprechend der Handhabung der Abfälle, also ob fernbediente Transport- oder Einbringungstechniken (remote-handled TRU-waste) erforderlich sind oder normalbediente Techniken (contact-handled TRU-waste) genügen, was in den überwiegenden Fällen zutrifft. Die erwartete einzulagernde Aktivität liegt für alle Radioisotopen unter 10 Millionen Curie (relativ geringe Mengen im Vergleich zu den erwarteten Aktivitäten eines Endlagers für hochradioaktive Abfälle). Die Aufnahmekapazität des Endlagers wurde auf

175'000 m<sup>3</sup> ausgelegt (Committee on Waste Isolation Plant 1996, S. 9), und ist vergleichsweise ebenfalls als volumenmässig beschränkt zu betrachten.

Die Abfallströme unterliegen Annahme-Kriterien (DOE 2013) und werden den einzelnen Lagerkammern nach stofflichen, radiologischen und anderen chemisch-physikalischen Eigenschaften und Konfigurationen zugewiesen. Trotz diesen Kontroll- und Ordnungsschemen werden immer noch relativ breite Paletten von Stoffgemischen zusammengeführt, die im Falle von Fehlern oder Fehlzusweisungen zu ernsthaften Unfällen führen können, wie das Ereignis vom 14. Februar 2014 zeigt. Die Alterung der Abfälle und Abfallbinde und deren Reaktivitäten im umgebenden Milieu usw. während den Betriebszeiten mit offenen Kammern und Strecken sind als sicherheitsrelevante Faktoren zu betrachten.

Ein besonderes Problem ergab sich nach dem Ende des kalten Kriegs, als Waffenplutonium reklassifiziert und als Abfall umdeklariert wurde (Alvarez 2011). Diese Reklassifizierung führte dazu, dass Plutonium tonnenweise auf die Abfallschiene kam und seinen Weg ins WIPP fand (Alvarez 2014). Ein Beispiel, das verdeutlicht, wie übergeordnete strategische Veränderungen im nationalen Interesse zu weitreichenden Anpassungen oder Umdispositionen in Betrieb eines Endlagers führen (was eine Neubewertung der Sicherheit einer Anlage bei den veränderten Rahmenbedingungen erfordern müsste).

#### *D Konditionierung der eingelagerten Abfälle, Einbringungstechnik, Unfälle:*

Bei den Konditionierungstechniken wird eine vergleichbare Komplexität sichtbar. Die Lektüre des Berichts des Energiedepartements zum Unfall vom 14. Februar 2014 (Phase 2, siehe DOE 2015) gibt einen Eindruck über die Vielfalt an Problemen und Sicherheitsfragen, die es bei der Verfestigung von TRU-verschmutzten, nitrathaltigen Salzen zu lösen gilt. Das Multibarrierenkonzept kommt hier an seine Grenzen. Hinzu kommen die Vielzahl von Gebinden aus unterschiedlichsten Materialien (Stahl, Kunststoffe aller Art, Faserplatten, Pappkarton, Hüllen aller Art, darunter auch brennbare Materialien usw.), die Prognosen über die Entwicklung dieses Abfallsystems und seiner Emissionen (besonders Gas- und Radioaktivitätsfreisetzungen) praktisch verunmöglich.

Die Einbringungstechnik der Abfälle ist – wie oben erwähnt – simpel und wirft grundsätzliche Sicherheitsfragen auf, was die verfolgten Konzepte der Verbringung von Abfällen in ein Endlager unter Tage angeht. Zunächst war unklar, ob nicht der Fahrzeugbrand vom 5. Februar 2014 oder ein Löser vom First nicht das auslösende Ereignis für die Explosion unter Tage war (Alvarez 2014, Butler 2014). Dass das Lagergut so eingebracht wird, dass es grundsätzlich durch Deckeneinbrüche reaktiv werden könnte, ist als schwerwiegende konzeptionelle Schwachstelle des Endlagerdispositivs zu bezeichnen.

Die Unfälle im Jahr 2014 werfen ein schlechtes Licht auf die Sicherheitskultur im WIPP. Was besonders ins Auge sticht ist die über ein Jahrzehnt schrittweise Ausdünnung von Sicherheitsstandards in der Folge auf Kosteneinsparungs-Programme und der Teilprivatisierung der Aufsicht (Butler 2014). Die Berichte des Department of Energy (DOE 2014a, 2014b, 2015) lesen sich wie eine Gruselgeschichte, was die gelebte Sicherheitskultur und die Sicherheit eines Endlagers als solches angeht: nicht kompatible Konditionierung und Verletzung des Abfallfasses 68660; Versagen der zuständigen Konditionierungsanstalt, adäquate Prozesse für die Gefahrenidentifikation und -kontrolle sicherzustellen; mangelnde Qualitätssicherung bei sich verändernden

den Rahmenbedingungen bei der Konditionierung und Verpackung der Abfälle; Übertreten von Vorschriften in der Abwicklung des Einlagerungsprogramms; ungenügende oder nur teilweise funktionierende radiologische Überwachungssysteme; Defekte in technischen Systemen und ungenügendes Wartungsprogramm; schwere Defizite in der Umsetzung der Notfallplanungen (Notfallmanagementsystems DOE O 151.1C) usw. Und genereller, was die umgesetzte Sicherheitskultur angeht: fehlende hinterfragende Grundhaltung, Abwehrhaltungen Dokumente nachzuführen, Inkaufnahme nachlassender Sicherheit der Anlage, Nicht-Beachtung grundlegender Sicherheitsvorkehrungen, unakzeptables Arbeitsklima, unwirksames QS-System usw.

Pannen, etwa mit durchschlagenen Lagerkanistern (4. August 2008 oder 19. Juni 2012, siehe EPA<sup>17</sup>), waren vom DOE zwar gemeldet worden. Sicherheitsdispositive wurden umgekrempelt (siehe Kapitel 3.4.5). Mehrfach im Laufe der Jahre geäußerte Anmahnungen von außenstehenden Institutionen, wonach das QS-System ungenügend, der Fahrzeugpark regelmäßig zu warten oder Schwachstellen in der Notfallplanung zu korrigieren seien, wurden nur zögerlich oder gar nicht korrigiert (Alvarez 2014, Defense Nuclear Facilities Safety Board 2011). Diese Ereignisse zeigen prinzipielle Defizite bei den Organisationsstrukturen auf, die weiter unten beleuchtet werden (siehe Kapitel 3.4.5).

*E Stoffflüsse, insb. Entgasung:* Eine der zentralen Sicherheitsfragen betrifft die Emissionen aus dem Endlager beziehungsweise die erwarteten Immissionen in der Biosphäre im Laufe der Zeit. Die Gasbildung durch anoxische Korrosion aufgrund von Laugenzuflüssen oder durch bakterielle Aktivität (hohe organische Fracht im Endlager) wurden intensiv untersucht. Mehrheitlich ging das Projekt von einer beschränkten Sicherheitsrelevanz der Gasbildung für die Sicherheit und Langzeitsicherheit des Endlagers aus (Committee on Waste Isolation Plant 1996, S. 39. ff., 49). Dennoch erarbeitete eine Arbeitsgruppe für alle Fälle Alternativen zur Konditionierung der Abfälle in Richtung nicht oder wenig reaktiver Materialien (Committee on Waste Isolation Plant 1996, S. 49), was Unsicherheiten bei der Bewertung der langfristigen Stoffentwicklungen zeigt.

*F Verfüllung, Verschluss, besondere Schutzklauseln:* Die verschiedenen Abfallcontainer werden in den Lagerkammern auf die Sohlen gestellt, dann mit Salzgrus verfüllt (Mora 1999). Der vollständige Einschluss durch Konvergenz wird innerhalb von 100 Jahre erwartet (Committee on Waste Isolation Plant 1996, appendices C und D). Verschlussen werden sollten die Eingänge zu den Lagerkammern, und zwar mit druckresistenten Verschlüssen, die 2014 Abänderungen erfuhr (EPA 2014).

Die Markierungsprojekte, die in den frühen 1980er Jahre als Langzeitschutzprogramme gegen künftige menschliche Intrusion für das WIPP entwickelt wurden (HITF 1984, WIPP 2000, 2004), dürften unter dem Eindruck des katastrophalen Wassereintruchs in das Salzbergwerk der Diamond Crystal Salt Company unter dem Lake Peigneur (Louisiana) entstanden sein. Im November 1980 bohrte Texaco dieses Bergwerk irrtümlicherweise an und verursachte einen hydraulischen Kurzschluss, der den See innerhalb von wenigen Stunden verschluckte<sup>18</sup> und die Wucht eines solchen Ereignisses vor Augen führte.

*G Rückholbarkeit und Bergung:* Die Frage der Rückholbarkeit und Bergung von Abfällen aus dem WIPP wurde bereits in einem frühen Projektstadium Gegenstand von Untersuchungen (Irby et

---

<sup>17</sup> <http://www.epa.gov/radiation/wipp-news>

<sup>18</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=ddlrGkeOzsl>

al. 1980). Allerdings stand damals das endgültige zu lagernde Inventar (hoch-, mittel- und schwachradioaktive Abfälle, TRU-wastes) noch nicht fest. Die Genehmigung für langlebige TRU-Abfälle erfolgte später unter der Auflage der prinzipiellen Rückholbarkeit der Abfälle über mehrere hundert Jahre (EPA 1998, NEA 2011, siehe auch 40CFR191.14). Allerdings ist kaum anzunehmen, dass das eingelagerte Abfallinventar, das ja tatsächlich aus Abfällen und Abfallgemischen unterschiedlichster Provenienz und nicht aus potentiellen Wertstoffen besteht, je zurückgeholt werden wird.

*H Nutzungskonflikte:* Das Umfeld des WIPP ist reich an natürlichen Ressourcen, die auch intensiv abgebaut werden, darunter Öl- und Gasvorkommen wie auch hochwertige Kalisalze mit dem seltenen Kalium-Magnesium-Sulfat-Mineral Langbeinit (Carter 1987). Die Erfüllung der Auflage von 40CFR194.45 (Consideration of the presence of resources) zeigt die Überforderung beim Versuch auf, Nutzungskonflikte in der Zukunft mit Anordnungen oder Verboten zu regulieren. Die Einhaltung von Anordnungen und Verboten welcher Art auch immer konnten historisch gesehen nur über eine sehr beschränkte Zeitdauer gewährleistet werden (Grinsell 1975).

*I Beurteilung des Standorts und des Projektes:* Zur Erinnerung: Der Standort für die Lagerung von Transuran haltigen, mehrheitlich schwach- bis mittelaktiven Abfällen im WIPP sollte eine Sicherheit des Endlagers über 10'000 Jahre gewährleisten. Gemessen an die Standort-Anforderungen, welche für hochradiotoxische Abfälle gestellt werden, ist dieser Zeitraum „überblickbar“. Oder anders gesagt: die geologisch-hydrogeologischen Eigenschaften und die Ansprüche an die Standorteignung sind gegenüber den oben erwähnten Projekten mit Lagerzeiten von 1 Million Jahre um einen Faktor 100 heruntersetzt. Dies mag im Fall des WIPP erklären, weshalb ein Standort in einem Sedimentationsbecken bestimmt und letztendlich akzeptiert wurde, der eine Serie von evidenten Sicherheits-Nachteilen aufweist. Um nur einige davon zu nennen: heterogener Aufbau der Wirtgesteinsformation mit eingeschalteten Schichten von Salzlauge führenden Anhydriten; wasserleitende und -führende Formationen unterhalb (und oberhalb) in direktem Kontakt mit dem Wirtgestein; nachweisbare Subrosionseffekte; Gas- und Ölvorkommen sowie nutzbare Kalisalze im gesamten Umfeld der Anlage. Im Laufe des Erkundungsprogramms im Untergrund mussten verschiedene ins Auge gefasste Standorte verschoben werden, bis die Standortfestlegung für das WIPP feststand.

Das Projekt wurde über 25 Jahre mit großem Engagement, enormen personellen, technischen wie finanziellen Ressourcen und einigen wichtigen Transformationen bis zur erfolgreichen Umsetzung entwickelt. Trotz den enormen Anstrengungen bleiben aber relevante Sicherheitsfragen bei diesem „Leuchtturmprojekt“ mit weltweiter Ausstrahlung offen. Dies betrifft etwa das eingelagerte Inventar, das im Laufe der Jahre wesentliche Änderungen erfuhr (Mengen an eingelagertem Plutonium, organische Abfälle), wie auch die Konditionierungstechniken, die offenbar nicht über alle Zweifel erhaben sind. Sodann bereitet das Management des Programms in jüngerer Zeit Sorge, namentlich die im letzten Jahrzehnt gelebte Sicherheitskultur und die nachlässige Aufsicht, welche ohne Zweifel auch auf ökonomische Zwänge zurückgeführt werden können. Die Unfälle 2014 haben das Vertrauen in das Projekt empfindlich erschüttert.

### 3.4.5 Strukturelle Rahmenbedingungen

*α Kontext:* Das WIPP nimmt eine besondere Stellung im US amerikanischen Entsorgungsprogramm ein. Es ist der aktuell einzig verfügbare Abnehmerbetrieb für die Tiefenlagerung militärischer Abfälle der großen staatlichen Produzenten des Nuklearprogramms. Dies stellt die Anlage unter logistischen Druck, anderweitig konditionierte Abfälle anzunehmen oder ursprünglich nicht vorgesehene Abfälle (Plutonium aus der Abrüstung) anzunehmen beziehungsweise Direktiven „von oben“ (Programmleitung) zu folgen. Während der kritischen Jahre bei der Umsetzung der Anlage hatte sich der Staat New Mexico mit der Forderung nach einer eigenen wissenschaftlichen Überprüfungscommission durchgesetzt, die eine weitgehend unabhängige Beurteilung des Projektes gewährleistete. Mit der vollen Betriebsaufnahme 2004 wurden die Strukturen neu aufgemischt (Butler 2014). Das Department of Energy ordnete Betrieb und Aufsicht neu ein, was offenbar der Auslöser für die Missachtung von Sicherheitsvorschriften und das Nachlassen bei der Umsetzung der Sicherheitskultur und für spätere Pannen und die Unfälle von 2014 war.

*β Projektorganisation:* Die Organisation des Projektes war von Beginn weg in den Händen staatlicher Institutionen, die sich aber aufgrund institutionellen Reorganisationen im Laufe der Zeit abwechselten: Atomic Energy Commission (AEC), die nach 1974 (1975) zweigeteilt wurde, und zwar in die Nuclear Regulatory Commission (NRC) und die Energy Research and Development Administration (ERDA), welche die Rolle des Planers übernahm und die 1977 schließlich mit der Federal Energy Administration zum heutigen Department of Energy (DOE) fusioniert wurde. Zwei wissenschaftliche Institutionen prägten das Projekt substantiell: das Oak Ridge National Laboratory (ORNL) zu Beginn und ab 1974 die Sandia Laboratories Inc. Albuquerque (Mora 1999), die bereits maßgebend am Subseabed Disposal Project beteiligt waren, und welche den Projektleiter des WIPP und viele wissenschaftliche Mitarbeiter stellen sollte. Die wissenschaftliche Erfahrung und Qualifizierung trugen wesentlich zur Entscheidung bei, Sandia das Projektmanagement, die Standortevaluation sowie die konzeptionellen und technischen Arbeiten zu übertragen (Mora 1999, S. 27)<sup>19</sup>, welche das Labor bis zur Öffnung des kommerziellen Betriebs des WIPP übernahm. Danach wurde der Betrieb durch das DOE neu geordnet: das Carlsbad Field Office (CBFO) des DOE übertrug die Verantwortung für den Betrieb der Anlage einem privaten Kontraktor (Nuclear Waste Partnership LLC)<sup>20</sup>, der – wie auch die Bereichsdienststelle des DOE in Carlsbad – das Risiko-Management der Anlage herunter fuhr und im Anschluss an die beiden Unfälle 2014 scharf gerügt wurde (DOE 2014a, 2014b, Butler 2014).

*γ Genehmigung, Aufsicht:* Der Genehmigungsprozess in den 1990er Jahre war langwierig und kontrovers und wurde erst nach der Zertifizierung der Anlage und Prozesse durch die amerikanische Umweltbehörde abgeschlossen. In der Aufsicht setzte sich der Bundesstaat New Mexico durch, indem er sich für eine unabhängige Kommission – die Environmental Evaluation Group (EEG) – stark machte. Diese Kommission trug, dank ihrer Kompetenz und Unabhängigkeit

---

<sup>19</sup> Mora 1999, S. 27: Albuquerque Operations Office ALO „and Sandia management, recognizing the critical national need for this facility and Sandia’s unique qualifications to undertake the project, agreed to assume responsibility for site confirmation, conceptual design, supporting technical studies, and preparation of an Environmental Impact Statement.“

<sup>20</sup> Tochterfirma von URS Energy and Construction, Inc. (AECOM Company) und Babcock & Wilcox Technical Services Group, Inc. (B&W), Quelle: <http://www.nwp-wipp.com/partners.html>

wesentlich zur Verbesserung und der Akzeptanz des Projektes bei (Butler 2014, Blue Ribbon Commission 2012<sup>21</sup>). 2004 jedoch wurde die Kommission entpflichtet und ihre Aufgaben gingen an das US amerikanische Umweltamt (EPA) und das Umweltdepartement des Staats New Mexico über (Butler 2014). Die unabhängige Positionierung der Kommission wird im Rückblick für den Erfolg der Kommission verantwortlich gemacht. <sup>22</sup>

Natürlich waren auch andere Institutionen in die Vernehmlassung von Dokumenten des WIPP-Projektes eingebunden (z.B. Nuclear Regulatory Commission), doch war die Wirkung auf das Projekt nicht mit jeder der EEG zu vergleichen.

*δ Beurteilung:* Zwei Elemente sind bei der Strukturdiskussion zum Fallbeispiel WIPP hervorzuheben. Erstens: Unabhängigkeit und Kompetenz sind entscheidend für eine erfolgreiche Aussicht und die Akzeptanz von Endlager-Projekten. Zweitens: große Administrationen sind mit der Leitung und Kontrolle von komplexen Programmen in der Regel überfordert. Die Delegation von Aufgaben an private und Gewinn orientierte Organisationen löst aber weder die Probleme der Planung noch jene der Aufsicht.

### 3.4.6 Zentrale Probleme und Schwachstellen des Projektes und Lehren

Zu nennen sind:

- Das Projekt WIPP ist im breit angelegten US-amerikanischen Programm der nuklearen Entsorgung eingebettet, bei dem die für die nationale Sicherheit bestimmenden Interessen und jene der Laboratorien oder Forschungseinrichtungen, Interessen des direkt betroffenen Bundesstaates und seinen Bevölkerungen, sowie von Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft aufeinandertreffen.
- Das WIPP als Endlagerprojekt für Transuran (TRU) haltige Abfälle vereint eine Vielzahl unterschiedlichster Abfälle aus den Produktionslinien der verschiedenen militärischen Laboratorien, die am amerikanischen Atombombenprogramm beteiligt waren oder sind. Abfälle verschiedenster Herkunft und Qualität und Verpackung werden auf diese Weise zusammengeführt. Annahmekriterien und Einlagerungsordnungen sollten verhindern, dass es zumindest während der Betriebszeit mit offenen Kammern und Strecken und vor dem definitiven Verschluss der Anlage zu keinen schweren Stör- und Unfällen kommt. Allein der Unfall am 14. Februar 2014 zeigt, dass diese Sicherheitsauflagen bei einer derart großen Menge an deponierten Stoffen und Gebinden nur schwer zu erfüllen ist. Hinzu kommt ein

---

<sup>21</sup> Blue Ribbon Commission (2012), S. 57: „the establishment of the federally-funded, university-housed Environmental Evaluation Group was important for gaining the trust of state officials and the local community because it provided an independent and credible source for technical information and review of the WIPP project.“ und S. 144: “Elements that were essential to the success of the Environmental Evaluation Group have been summarized by the two scientists who served as director of the organization.” See R.H. Neill and M.K. Silva, EEGs Independent Technical Oversight on WIPP, a TRU Waste Geologic Repository, Conference Proceedings on the 9<sup>th</sup> High Level Waste Management Conference, Session T-1, Las Vegas NV, April 29-May 3, 2001

<sup>22</sup> Nuclear Waste Technical Review Board, 2014, S. 12/13: Der ehemalige Vorsitzende der EEG, Robert Neill, stellte rückblickend fest, wie wichtig die damalige Position der Entscheidungsträger war, eine wirklich unabhängige Expertise zu gewährleisten: „Secretary Schlesinger of DOE said: ‚Tell you what we’ll do. We’ll offer to fund an independent technical review by the State. Do it completely yourself. There will be no interference, no approval, or what have you’.“

Einlagerungskonzept (Aufstellen von Lagerbehältern in offenen Lagerkammern), das sicherheitstechnisch viele Fragen aufwirft.

- Änderung, Neuerungen oder Transformationen im Rahmen von Abfallprojekten (z.B. Erweiterung von Inventarlisten, Neuregelung von Sicherheitsbestimmungen, Änderung von Organisationsstrukturen) haben sicherheitsrelevante Bedeutung. Im Falle des WIPP führte etwa die Strukturreform und die damit zusammenhängende schrittweise Ausdünnung von Sicherheitsmaßnahmen zu unhaltbaren Zuständen, was den sicheren Betrieb der Anlage betrifft. Die in der Folge an den Unfall vom 14. Februar 2014 verfassten Untersuchungsberichte des Department of Energy (DOE) decken nicht nur die Schwachstellen der Sicherheitskultur im WIPP sondern auch bei den Zulieferungsbetrieben auf. Dass sich solche Vorfälle ausgerechnet beim „Leuchtturmprojekt“ des WIPP häuften, wirft ein schlechtes Licht auf die Stabilität von Sicherheitskulturen über die Zeit in einem komplexen Netz von großen Betrieben und Organisationen mit ihren spezifischen Eigenheiten. Es zeigt sich einmal mehr, dass Defizite in der Organisationsstruktur und Mängel in der Sicherheitskultur den Misserfolg von Projekten maßgebend programmieren. Die Gründe hierfür sind vielfältig (Kostendruck, politischer Druck, schwache und überforderte Aufsicht, Verzicht auf unabhängige Expertise usw.).
- Das Standortwahlverfahren hat gezeigt, wie schwierig es im betrachteten Gebiet war, eine „geeignete“ Wirtgesteinsituation zu finden, die für die Realisierung des Projektes geeignet erschien. Die geologisch-hydrogeologischen Überraschungen führten zu mehrmaligem Verschieben des Standorts für ein Lagerprojekt, das für 10'000 Jahre entworfen ist. Ein Endlager für hochradioaktive Abfälle wäre aufgrund der Anforderungen an die Langzeitsicherheit unter diesen Bedingungen kaum realisierungsfähig gewesen.

Lehren aus diesem Fall sind in erster Linie:

- Es braucht auch bei Endlagern weitsichtig aufgestellte rahmengebende Strategien und Kontinuität. Die Sicherheit des Endlagers hängt auch von der umgesetzten Sicherheitskultur in Zulieferungsbetrieben ab.
- Die Organisationsstrukturen und die Aufsicht sind für Projekte mit Langzeitcharakter ganz anders aufzustellen. Der Aufbau einer Sicherheitskultur und einer Projektaufsicht, die diesen Namen verdienen, sind hierfür unabdingbar. Kostenüberlegungen dürfen nicht zum Abbau dieser Strukturen führen, wie der Fall des „Leuchtturmprojektes“ WIPP zeigt.

## 4 Folgerungen und Empfehlungen

*Folgerungen:* Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden vier der vierzehn bisher in westlichen Industrieländern eingerichteten, in Betrieb genommenen oder in fortgeschrittener Planung stehenden Endlager und Untertagedeponien (UTD) für radio- oder chemo-toxische Stoffe beleuchtet. Neun weitere genehmigte Anlagen in Deutschland dienen dem Versatz von chemo-toxischen Abfällen. Bei den radioaktiven Abfällen sind drei weitere Anlagen für hochradioaktive Abfälle in fortgeschrittener Planung (Olkiluoto Finnland, Forsmark Schweden, Bure Frankreich). Eine Anzahl weiterer Endlagerprojekte (USA, Schweiz usw.) wurden in fortgeschrittener Planung wieder fallengelassen. In einem weiteren kleinen Endlager-Bergwerk in Spanien wurden die kleinen Mengen der eingelagerten schwach- und mittelaktiven Abfälle wieder zurückgeholt. Es bestehen also ausreichende Informationen und Erfahrungen über bisher umgesetzte oder geplante Endlagerprojekte, um die Qualität bisheriger Entsorgungspraktiken zu beurteilen.

Ohne Ausnahme zeichnen sich alle Endlagerprojekte dadurch aus, dass ein großer Erfolgsdruck auf ihnen lastet. Die Endlagersuche beginnt ja nicht bei der Entwicklung einer Technologie, sondern immer erst dann, wenn die Abfälle längst schon da sind und Zwischenlösungen für das Stapeln und Hüten der erzeugten Rückstände teuer werden oder sich – aus welchen Gründen auch immer - nicht mehr aufrechterhalten lassen. Der Sachzwang, eine Lösung für ein bestehendes Abfallproblem zu finden, nimmt dadurch am „back end“ der Entsorgungskette derart zu, dass solche Projekte kaum mehr zu stoppen sind. Alle vier untersuchten Projekte standen vor dieser Situation, die einen mehr, die anderen weniger. Die in der Folge häufig unter Zugzwang getroffenen Entscheide führten zu Denkfehlern und fehlerhaften oder –anfälligen Planungen, die sich durch die gesamten Projekte durchpausten. Die Probleme, die im Laufe der Zeit auftauchten, waren also bereits durch konzeptuelle Schwachstellen vorprogrammiert. Es kann nicht genug klar auf diesen Sachverhalt hingewiesen werden.

Tabelle 6 fasst wichtige Erkenntnisse aus den vier ausgewählten Fallbeispielen zusammen. Es werden fünf Bereiche für den Quervergleich der Projekte berücksichtigt und kurz kommentiert:

1. *Gesetzlicher Rahmen:* Der gesetzliche Rahmen war bei den drei zeitlich jüngeren Projekten (DMS, Stocamine, WIPP) soweit gegeben, dass wirklich alle wesentlichen sicherheitsrelevanten Fragestellungen rechtlich abgedeckt waren. Nur im Fall der Asse musste mangels fehlender Gesetze ein Konstrukt für die Genehmigung des Projekts geschaffen werden, das die geplanten Handlungen der Versuchseinlagerung legitimierten. Ungeachtet der Qualität der gesetzlichen Regelungen kam es aber immer wieder zu Komplikationen bei der konkreten Abwicklung der Projekte, die dazu führten, dass das umgesetzte Projekt die gesetzlichen Grundlagen in markanter Weise verletzte: bei DMS St-Ursanne etwa wurde ein Wirtgestein und eine hydrogeologische Situation gewählt, die gesetzeswidrig war. Im Falle von Stocamine ließen Betreiber und die verantwortlichen Behörden den im Gesetz von 1996 und in der Bewilligung des Projektes von 1997 festgelegten Grundsatz der „Reversibilität“ fallen. Die Gesetze wurden also im konkreten Vollzug verletzt. Berufungen, Einsprüche oder Einwendungen seitens von Bürgerinitiativen waren wirkungslos. Somit schützen Gesetze à priori nicht gegen Fehlleistungen und eigenmächtige Interpretationen und Abänderungen im Vollzug.

Bereiche	Anlagen	Asse	DMS	Stocamine	WIPP
<b>Gesetzlicher Rahmen</b>					
• Rechtliche Situation		Amalgam von Gesetzen, Grauzonen in der Anwendung	Gesetzliche Grundlagen vorhanden	Gesetzliche Grundlagen vorhanden	Gesetzliche Grundlagen vorhanden
• Konformität des Standorts		Ursprünglich ja, heute nicht mehr	Nicht rechtskonform	Ursprünglich ja, heute fragwürdig	Ja, mit Vorbehalten
• Konformität des Betriebs		Nicht rechtskonform	Nicht rechtskonform	Nicht rechtskonform	Nicht rechtskonform
• Reversibilität		Keine Auflage	Für Zwischenlager als Auflage in Betriebsgenehmigung Nichteingehalten	Als gesetzliche Auflage in Betriebsgenehmigung Nichteingehalten	À priori vorgesehen
<b>Standort, Geologie</b>					
• Standortwahl		Kein Standortwahlverfahren	Standortwahlverfahren übersieht Ausschlusskriterien	Kein Standortwahlverfahren	Standortwahlverfahren mit Verschiebungen
• Wirtgestein		Steinsalz, stellenweise wasserdurchlässig	Riffkalk, wasserdurchlässig (Karst)	Steinsalz, entlang der alten Grubenbaue teilweise offen	Steinsalz, Laugen- und Gaseinschlüsse
• Hydrogeologie		Zuflüsse seit Jahrzehnten, langsame Flutung in Gang	Zuflüsse fließen an der Sohle des Bergwerks wieder ab	Zuflüsse seit Jahrzehnten, Flutung in Gang	Wüstenklima, heute de facto keine Flutung zu erwarten
• Bauwerk: Stabilität d. Grube		Nein, starke Konvergenzen	Ja, aber viele Firstabbrüche	Nein, starke Konvergenzen	Nein, starke Konvergenzen
<b>Abfälle und Anlage</b>					
• Abfalltyp		Radioaktive Mischabfälle	Chemo-toxische Abfälle, Typ Reststoffdeponie	Chemo-toxische Abfälle, Typ UTD DK IV	TRU wastes (langlebige ATA)
• Konditionierung		Teilweise, z.B. Betonabschirmungen	Zementverfestigung	Mehrheitlich nicht (Abfälle lose in Fässer/Big-bags)	Teilweise, in verschiedenen Behältnissen
• Verfüllung (Einschluss)		Nein	Vorgesehen	Nein	Nein
• Bergung Abfälle		Erforderlich und vorgesehen	Erfolgt (vollständig)	Beschränkt, in Gang	Potentiell möglich
• Abschlüsse, Schachtverwahrung		Nach Rückbau: vorgesehen	Bergwerk mit Aushub verfüllt, kein Verschluss	Spezialverschlüsse vorgesehen, Wirkung unbekannt	Spezialverschlüsse vorgesehen, Wirkung unbekannt
<b>Wirtschaftlichkeit</b>					
• Kostenfaktor		Zentral für gewählten Entsorgungspfad und Betrieb	Zentral für gewählten Entsorgungspfad und Betrieb	Zentral für gewählten Entsorgungspfad und Betrieb	Wichtig für gewählten Entsorgungspfad, zentral f. Betrieb
<b>Strukturen und Kulturen</b>					
• Betriebsstrukturen		Nicht adäquat	Nicht adäquat	Nicht adäquat	Nicht (mehr) adäquat
• Aufsicht		Überfordert	Überfordert	Überfordert	Vorhanden (EEG), dann weg-rationalisiert und überfordert
• Sicherheitskultur		Keine oder nicht umgesetzt	Keine oder nicht umgesetzt	Keine oder nicht umgesetzt	Vorhanden, nicht systematisch umgesetzt

Tabelle 6: Zusammenfassende Tabelle der Einschätzung der vier betrachteten Endlagerprojekte

2. *Standort und Geologie:* Bei drei der vier Fallstudien wurde ein existierendes Bergwerk als Lager definiert und die Standortqualität im Nachgang konstruiert. Stocamine ist als Zwischenkonzeption zu betrachten, bei der die Infrastrukturen des alten Bergwerks für das neu aufgefahrenes chemo-toxische Endlager genutzt wurden. Einzig und allein im Fall des WIPP wurde ein Standortwahlverfahren durchgeführt, das diesen Namen verdient, mit allen Einwänden, die man gegen das konkrete Prozedere vorbringen kann und soll. Dass bei drei der vier Standorte akute hydraulische Gefährdungen vorliegen ist für das Konzept der Tiefenlagerung ein besonders Problem. Es zeigt, dass solche hydraulische Risikosituationen im Tiefuntergrund in der Praxis à priori nicht unter Kontrolle bzw. weiterhin unterschätzt werden, was auch die konkreten Planungen der Zukunft angeht. Die größte Schwachstelle im Endlagersystem ist weiterhin der Grubenbau selber, der die natürlichen Schutzfunktionen des Wirtgesteins durchbricht. Die auf diese Weise entstehenden hydraulischen Gefährdungen über die verschiedenen Betriebszeiten eines Endlagers mit bis weit über 100 Jahren offenen Hohlräumen ist als Herausforderung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, insbesondere hochaktiver Abfälle, zu betrachten, wie auch die untersuchten Fallbeispiele zeigen.
3. *Abfälle und Anlage:* Das Multibarrierenkonzept, das der Umsetzung aller vier Fallbeispiele zugrunde liegt, hat bereits zu einem frühen Zeitpunkt des Lagerprozesses versagt. Bei der Asse und DMS waren es neben den nachteiligen Standortgegebenheiten die unausgereifte Verpackung bzw. Konditionierung der Abfälle; bei der Asse und Stocamine die unausgereifte Verpackung und die Beschädigung der Gebinde im Rahmen der Einlagerung (oder der versuchten Wiederauslagerung) sowie das Versagen der geologischen Barriere (längerfristige hydraulische Situation); im Falle des WIPP sind ungeeignete Konditionierungstechniken nachgewiesen sowie ein Sammelsurium an Abfallgebinden und Verpackungen eingelagert worden, die potentiell brennbar (z.B. Kunststoffe, Zellulose) und gasbildend sind, die nicht als Grundlage für eine langzeit-sichere Praxis gelten können. Als grundlegende weitere Schwäche der Projekte darf die Konzeption der Deponierung von Gebinden auf der Kavernensohle in einem dynamisch sich bewegenden Milieu angesehen werden. Der völlige Umschluss der Abfälle durch das Wirtgestein soll durch Zuwarten erreicht werden, bis die Konvergenz des umgebenden Salzgesteins die Gebinde und ihre Abfälle verdrückt und verreisst. Eine auf diese Weise geplante und ausgeführte Einlagerung kann nicht als eine geordnete Abfallbeseitigungsmethode gelten: sie führt zu einem vollständigen Verlust der Lagerordnung und steht dem Prinzip der Reversibilität und der Bergung der eingelagerten Abfälle über eine vernünftig lange Zeitspanne (hunderte von Jahren) entgegen.
4. *Wirtschaftlichkeit:* In allen Fallbeispielen spielte die Wirtschaftlichkeit des Projektes eine herausragende Rolle, sei es im Entscheid zugunsten des Standorts (Asse, DMS, Stocamine, teilweise auch WIPP [Krise der lokalen Kaliindustrie]), sei es bei der konkreten Umsetzung des Projektes. WIPP ist ein besonders dramatisches Beispiel dafür, wie die Sicherheit einer Anlage den Interessen eines „Kosten optimierten“ Managements geopfert werden. Bei den anderen drei Fallbeispielen war der Kostendruck von allem Anfang an ein ausschlaggebender und begrenzender Faktor für den sicheren Betrieb der Anlagen. Im Falle von Stocamine führte die mangelnde Rentabilität der Anlage zur

mehrfachen Annahme von Abfällen, die in keinem Fall hätten eingelagert werden dürfen. Der Brand vom September 2002 und die Betriebseinstellung sind auf die Annahme und Einlagerung mottender Abfälle zurückzuführen.

5. *Strukturen und Kulturen*: In allen Fallbeispielen zeigen sich die Schwachstellen bei den Organisationsstrukturen. Wenn Projekte versagen, waren die Strukturen und das konkrete Management der Betreiber ungeeignet und die Aufsicht überfordert. Diese Feststellung trifft auf alle vier Projekte zu. Besonders auffällig ist diese Feststellung beim Projekt des WIPP, bei dem Grundlagen für eine unabhängige Aufsicht tatsächlich geschaffen, umgesetzt und nachträglich wieder abgeschafft wurden. Die in zahlreichen Berichten internationaler Agenturen (IAEA, NEA) dargestellte Sicherheitskultur – insbesondere auch eine zu einer Sicherheitskultur gehörende umfassende Fehlerkultur – ist zwar auf dem Papier existent, wird aber nicht gelebt. Wird eine solche in weiteren Projekten nicht wirklich umgesetzt, werden sich die Misserfolge wiederholen. Fehlerkultur heißt Kritik anhören und annehmen, ihr nachgehen und Fehler korrigieren, in einem definierten, nachvollziehbaren Prozess. Solche Fehlererkennungs- und Behandlungsprozesse sind im Bereich der nuklearen Entsorgung weder sauber definiert und schon gar nicht umgesetzt.

★*Empfehlungen*: Die Bilanz der Analyse einiger Endlagerprojekte radio- und chemo-toxischer Abfälle im Tiefuntergrund ist ernüchternd. Es zeigt sich, dass die bisher gewählten Ansätze bei der Realisierung von Endlagern den Anforderungen nach Langzeitsicherheit nicht genügen. Es besteht darum ein ausgewiesener Bedarf an einer grundsätzlichen Überprüfung des Konzepts der Tiefenlagerung gemäß der bisherigen Erfahrungen mit havarierten Projekten. Trotzdem sollte das Konzept der Tiefenlagerung für radioaktive Abfälle für die Zukunft (noch) nicht grundsätzlich in Frage gestellt werden. Denn es gibt zurzeit keine anderen brauchbaren oder sich abzeichnenden Alternativen zu diesem Konzept (siehe dazu Buser 2014).

Dennoch ist Handlungsbedarf angesagt: zum einen im Bereich der Organisationsstrukturen und der Sicherheitskultur, die endlich entwickelt und so umgesetzt werden müssen, so dass Risiken frühzeitig erkannt und Unfallsituationen möglichst vermieden werden können. Es braucht unabhängige Institutionen und frei denkende Expertengremien, die nicht von partikulären Interessen - welcher Partei auch immer - eingenommen werden können. Die Aufsicht ist grundsätzlich anders zu organisieren, in dem sie auch strategische Vorgaben entwickelt und eine Kontrolle und Überwachung aufzieht, die diesen Namen verdient. Die Mitsprache der betroffenen Bevölkerung ist zu gewährleisten – auch bei Sicherheitsfragen.

Zum anderen gilt es, die Hindernisse im Denken und Handeln möglichst zu überwinden und das umzusetzen, was Hannah Arendt als „Denken ohne Geländer“<sup>23</sup> genannt hat und was wissenschaftliche Arbeit eigentlich auszeichnen sollte: die soweit als möglich unvoreingenommene Bearbeitung und Prüfung von Stoffen und Projekten, nach den Grundsätzen etablierter Wissenschaftsmethoden und des vernunftgeleiteten Handelns.

Zürich, den 8. Juni 2016

Marcos Buser

<sup>23</sup> Arendt, Hannah (2006/2014): Denken ohne Geländer, Texte und Briefe, Piper München Zürich

## Quellenverzeichnis

### Zu den generellen Aspekten der Endlagerung

- Alley, W., Alley, R. (2013): To Hot Too Touch – The Problem of High-Level Nuclear Waste, Cambridge University Press
- Beers, N. R. (1949): Stack Meteorology and Atmospheric Disposal of Radioactive Waste, Nucleonics Vol. 4/4, 1949
- Berest P., Brouard B., Feuga B. (2004): Abandon des mines de sel: faut-il envoyer? Revue Française de Géotechnique, no. 106-107, 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> trimestres 2004
- Brown, R.E., Parker, H. M., Smith, J. M. (1955): Décharge terrestre des déchets liquides, Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques tenue à Genève du 8 au 20 août 1955, Vol. IX, P/565, 1956
- KBS (1978): Handling of spent nuclear fuel and final storage of vitrified high-level reprocessing waste, Kärnbränslesäkerhet, Stockholm
- Claus, Walter D. (1955) : Considérations fondamentales sur l'élimination d'importantes quantités de déchets radioactifs dans le sol et la mer, Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques tenue à Genève du 8 au 20 août 1955, Vol. IX, P/848, 1956
- Deese, David (1978): Nuclear Power and Radioactive Waste, A A-Sub-Seabed Disposal Option?, Lexington Books Massachusetts
- Dunster, H. J. (1955) : Décharge de déchets radioactifs dans la mer d'Irlande. Deuxième partie : Estimations préliminaires des marges de sécurité pour les quantités journalières d'effluents radioactifs déversés en mer, Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques tenue à Genève du 8 au 20 août 1955, Vol. IX, P/419, 1956
- Evans James E. (1952): Disposal of Active Wastes at Sea, du Pont de Nemours & Company, Atomic Energy Division, Wilmington, Delaware, DP-5, 10 avril 1952, US Atomic Energy Commission
- Goodman, Clark (1949): Future Developments in Nuclear Energy, Nucleonics, Vol. 4/2, February 1949
- Hagen, Edgar (2013): Journey to The Safest Place on Earth / Reise zum sichersten Ort der Erde, Kino-Dokumentarfilm. Buch, Regie. Schnitt mit Paul Sedlacek. 100 Minuten. Produktion: mira Film GmbH, Herli Bundi, Zürich
- Hollister, C.D. (1977): The Seabed Option, Oceanus 20
- Hollocher, Th. (1975): The nuclear fuel cycle, MIT Press, Cambridge Massachusetts / London England
- Honstead, J.F., Foster, R.F, Bierschenk, W.H. (1960): Movement of radioactive effluents in natural waters at Hanford, Proceedings of the Scientific Conference on the Disposal of Radioactive Wastes (Monaco-Conference), Disposal of radioactive wastes, Vol II, 16-21 November 1959, International Atomic Energy Agency
- Mawson, C. A. (1955): Décharge terrestre des déchets, Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques tenue à Genève du 8 au 20 août 1955, Vol. IX, P/12, 1956
- Nagra (2010): Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorischen Sicherheitsanalysen in SGT Etappe 2 - Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen, NTB 10-01, Oktober 2010
- Nucleonics (1955): How Hanford Discards „Hot“ Equipment, Nucleonics 13, May 1955 (p. 32-33)

- Pearce, D.W., Linderoth, C.E, Nelson, J.L., Ames, L.L. (1960): A review of radioactive waste disposal to the ground at Hanford, Proceedings of the Scientific Conference on the Disposal of Radioactive Wastes (Monaco-Conference), Disposal of radioactive wastes, Vol II, 16-21 November 1959, International Atomic Energy Agency
- Pecsok, D. A. (1954): Disposal of Nuclear Power Reactor Wastes by Injection into Deep Wells, July 1954, CF-54-10-64, Oak Ridge National Laboratory
- Renn, Ch. E. (1955): L'immersion des déchets radioactifs, Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques tenue à Genève du 8 au 20 août 1955, Vol. IX, P/569, 1956
- Revelle, R., Boroughs, H., Carritt, D., Chipman, W. (1957): Report of the Committee on the Effects of Atomic Radiation on Oceanography and Fisheries, National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Scott, K.G (1950): Radioactive Waste Disposal - How it Will Affect Mans Economy? Nucleonics, Vol. 6, Nr. 1, January 1950
- Spitsyn, V. I., et al. (1977): Principal Prerequisites and Practice for Using Deep Aquifers for Disposal of Liquid Radioactive Wastes, IAEA-CN-36/345, International Atomic Energy Agency, Vienna
- SSK, ESK (2008): Gemeinsame Stellungnahme der ESK und der SSK zur Schachtanlage Asse II – Empfehlungen für Untersuchungen, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission und der Entsorgungskommission, [http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2008/Asse\\_UntersuchungsEmpfehlungen.pdf? blob=publicationFile](http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2008/Asse_UntersuchungsEmpfehlungen.pdf? blob=publicationFile)
- Struxness, E. G., Morton, R. J., Straub, C. P. (1955): Enfouissement dans des puits de déchets liquides fortement radioactifs, Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques tenue à Genève du 8 au 20 août 1955, Vol. IX, P/554, 1956
- Theis, Charles V. (1955): Problèmes relatifs à l'enfouissement des déchets nucléaires, Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques tenue à Genève du 8 au 20 août 1955, Vol. IX, P/564, 1956
- Walker, Samuel (2009): The Road to Yucca Mountain, The Development of Radioactive Waste Policy in the United States, University of California Press, Berkeley - Los Angeles – London
- Warde John M., Richardson Raymond M. (1955): Waste Disposal Is Vital To Atomic Power Development, Journal of Metals, October 1955
- Weinberg, Alvin (1994): The first Nuclear Era – the Life and Times of a Technological Fixer, American Institute of Physics AIP Press, New York
- Wolman Abel, Gorman Arthur (1950): Waste Materials in the United States Atomic Energy Program, Oak Ridge, Tennessee, WASH-8, January 12, 1950, US Atomic Energy Commission

### **Quellen zum Versuchsbergwerk Asse**

- BfS (2013): Informationsschrift über die Schachtanlage Asse II, Bundesamt für Strahlenschutz, Oktober 2013
- Bracke, G., Müller, W. (2005): Realistische und maximale Gasbildung in der Schachtanlage Asse, Institut für Sicherheitstechnologie (iSTec) GmbH, A-979, Juli 2005, im Auftrag der GSF
- Bündnis 90/Die Grünen im Landtag Niedersachsen (2010): Das Umwelt-Desaster im Atommülllager Asse II, Eine Zwischenbilanz zum 21. Parlamentarischen Untersuchungsausschuss des Niedersächsischen Landtags, Stefan Wenzel, MdL, Gabriele Heinen-Kljajic, MdL, Ulrike Fink, Wigbert Mecke, Rudi Zimmeck, Michael Pelke, Hannover, April 2010

- Bündnis 90/Die Grünen (2012): Abschlussbericht Parlamentarischer Untersuchungsausschuss zum Atommülllager Asse II, Bündnis 90/Die Grünen im Landtag Niedersachsen, 15.10.2012
- Gellermann, Rainer (2014): Die Asse – Werte, Wahrheiten, Widersprüche, Versuch über kein Endlager, Verlag epubli Berlin 2014, [https://books.google.ch/books?id=JW6LAAAAQBAJ&pg=PA4&lpg=PA4&dq=asse+eingelagerte+abfälle&source=bl&ots=64\\_bMO6efO&sig=Vi\\_WvG99NIT2BdcsVRvdiCFLQ-Y&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwiY0vWM-o\\_KAhUFuhoKHUuGAPIQ6AEINzAE#v=onepage&q=asse%20eingelagerte%20abfälle&f=false](https://books.google.ch/books?id=JW6LAAAAQBAJ&pg=PA4&lpg=PA4&dq=asse+eingelagerte+abfälle&source=bl&ots=64_bMO6efO&sig=Vi_WvG99NIT2BdcsVRvdiCFLQ-Y&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwiY0vWM-o_KAhUFuhoKHUuGAPIQ6AEINzAE#v=onepage&q=asse%20eingelagerte%20abfälle&f=false)
- European Commission (1995): The HAW-Project: Test disposal of highly radioactive radiation sources in the Asse salt mine, Report, nuclear science and technology
- GSF (1973): Zur Sicherheit der Endlagerung radioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, München
- GSF (1988): Das HAW-Projekt, Demonstrationseinlagerung hochradioaktiver Abfälle im Salzbergwerk Asse, Zwischenbericht 1985-1987, GSF-Bericht 10/88, Institut für Tiefenlagerung, Abteilung Endlagersicherheit
- GSF (1994): Das HAW-Projekt, Versuchseinlagerung hochradioaktiver Strahlenquellen im Salzbergwerk Asse, GSF-Bericht 16/94, Institut für Tiefenlagerung, April 1988
- GSF (1995): The HAW-Project, Test Disposal of Highly Radioactive Radiation Sources in the Asse Salt Mine, Final Report, GSF-Bericht 6/95, Institut für Tiefenlagerung, Abteilung Endlagersicherheit
- Herrmann, A.G. (1983): Radioaktive Abfälle, Probleme und Verantwortung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York
- Hohmuth, Timo (2014): Die atomrechtspolitische Entwicklung in Deutschland seit 1980, Darstellung, Analyse, Materialien, BWV Berliner Wissenschaftsverlag
- IAEA (1999): Retrievability of high level waste and spent fuel, Proceedings of an international seminar organized by the Swedish National Council for Nuclear Waste in co-operation with the International Atomic Energy Agency, 24-27 October 1999, IAEA Tecdoc 1187
- LBL (1978): Geotechnical Assessment and Instrumentation Needs for Nuclear Waste Isolation in Crystalline and Argillaceous Rocks, Symposium Proceedings, July 16-18, 1978. LBL-7096. Lawrence Berkeley Lab., University of California, Berkeley
- Jackson, M.P.A., Talbot, C.J. (1989): Anatomy of mushroom-shaped diapirs, Journal of Structural Geology, Vol. 11, No. 1 / 2, pp. 211-230
- Jürgens, H-H. (1979): Atommülldeponie Asse II: Gefährdung der Biosphäre durch mangelnde Standsicherheit und Ersaufen des Grubengebäudes, 1979
- König, Wolfgang, Hoffmann, Michael (2009): Asse II: Der lange Weg vom „Forschungsbergwerk“ zum „Endlager für radioaktive Abfälle“, ZUR 2009, S. 353 – 358
- IAEA (1999): Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants INSAG-13, a Report by the International Safety Advisory Group, International Atomic Energy Agency (IAEA). Vienna, 1999
- IAEA (2006): Fundamental Safety Principles, Safety Fundamentals, No. SF-1, IAEA Safety Standards for Protecting People and the Environment, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna
- IAEA (2010): Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety, General Safety Requirements, No. GSR Part1, IAEA Safety Standard Series, International Atomic Energy Agency (IAEA). Vienna
- NEA (2010): Selected International Bibliography on Reversibility and Retrievability to Support the Current NEA Project, NEA/RWM (2010)11/PROV

- NEA (2011): Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-level Radioactive Waste and Spent Fuel, Radioactive Waste Management Committee, NEA/RWM/R(2011)4, 8. Dec. 2011
- NEA (2011a): Le rôle de l'autorité de sûreté nucléaire dans l'évaluation de la surveillance par l'exploitant des services sous-traités, NEA/AEN no. 6897, Agence pour l'énergie nucléaire (NEA). Paris
- Niedersächsischer Landtag (2012): Bericht des 21. Parlamentarischen Untersuchungsausschusses, Niedersächsischer Landtag – 16. Wahlperiode, Drucksache 16/5300, 18.12.2012
  - Minderheitsbericht der Ausschussmitglieder der Fraktion der SPD (18.10.2012)
  - Minderheitsbericht des Ausschussmitgliedes der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen (18.10.2012)
  - Minderheitsbericht des Ausschussmitgliedes der Fraktion DIE LINKE (18.10.2012)
- Mania, Jürg (2008): Die weißen Sümpfe von Wittmar – eine kurze Geschichte des Atommülllagers Asse
- Möller, Detlev (2007): Endlagerung radioaktiver Abfälle in der Bundesrepublik, Studien zur Technik-, Wirtschafts- und Sozialgeschichte, Vol. 15, Peter Lang, Internationaler Verlag der Wissenschaften
- SSK, ESK (2008): Gemeinsame Stellungnahme der ESK und der SSK zur Schachanlage Asse II – Plausibilitätsprüfungen der Angaben des Betreibers, Stellungnahme der Strahlenschutzkommission und der Entsorgungskommission, 17. September 2008 (ESK), 25./26. September 2008 (SSK)
- Tiggermann, Anselm (2004): Die „Achillesferse“ der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland: Zur Kernenergiekontroverse und Geschichte der nuklearen Entsorgung von den Anfängen bis Gorleben, 1955-1985, Europaforum-Verlag
- Walter, F., Waldmüller, R. (1994): Beiträge zur Mechanik des Deckgebirges der Asse-Südflanke, GSF-Bericht 2/94, Institut für Tiefenlagerung, Abteilung Endlagersicherheit
- Weinberg, H.-J., Klarr, K. (1990): Erdfälle in der Asse, GSF-Bericht 19/90, Institut für Tiefenlagerung, Abteilung Endlagersicherheit

### **Quellen zum Fallbeispiel DMS St-Ursanne**

- Buser, M. (2001): Sanierung und Verfüllung eines Bergwerks – das Pilotprojekt DMS von St-Ursanne, Bulletin für angewandte Geologie, Vol. 6, Bd. 2, S. 165 – 182
- Buser, M. (2014) : Synthèse succincte de l'historique, de l'assainissement et du remblayage (rapport final), Actes de la Société jurassienne d'émulation, 2014/107
- Groupe de travail (2013b): Rapport final sur l'assainissement et le remblayage des anciennes galeries des Fours à Chaux, 1<sup>ère</sup> partie: Historique, rapport 13-1, Département de l'environnement et de l'équipement, Gouvernement de la République et Canton du Jura
- Groupe de travail (2013c): Rapport final sur l'assainissement et le remblayage des anciennes galeries des Fours à Chaux, 2<sup>ème</sup> partie: Stratégies générales de l'assainissement et du remblayage des galeries, rapport 13-2, Département de l'environnement et de l'équipement, Gouvernement de la République et Canton du Jura
- Groupe de travail (2013d): Rapport final sur l'assainissement et le remblayage des anciennes galeries des Fours à Chaux, 3<sup>ème</sup> partie: Site, géologie et environnement, rapport 13-3, Département de l'environnement et de l'équipement, Gouvernement de la République et Canton du Jura
- Groupe de travail (2013e): Rapport final sur l'assainissement et le remblayage des anciennes galeries des Fours à Chaux, 4<sup>ème</sup> partie: Déchets et assainissements : inventaire, travaux et état final, rapport 13-4, Département de l'environnement et de l'équipement, Gouvernement de la République et Canton du Jura

- Groupe de travail (2013f): Rapport final sur l'assainissement et le remblayage des anciennes galeries des Fours à Chaux, 5<sup>ème</sup> partie: Remblayage, rapport 13-5, Département de l'environnement et de l'équipement, Gouvernement de la République et Canton du Jura
- Groupe de travail (2013h): Rapport final sur l'assainissement et le remblayage des anciennes galeries des Fours à Chaux, 7<sup>ème</sup> partie: Etat de situation des falaises extérieures et risques à l'intérieur des galeries, rapport 13-7, Département de l'environnement et de l'équipement, Gouvernement de la République et Canton du Jura
- Groupe de travail (2013k): Rapport final sur l'assainissement et le remblayage des anciennes galeries des Fours à Chaux, 10<sup>ème</sup> partie: Références, rapport 13-10, Département de l'environnement et de l'équipement, Gouvernement de la République et Canton du Jura

### Quellen zum Fallbeispiel Stocamine

- Berest P., Brouard B., Feuga B. (2004): Abandon des mines de sel: faut-il envoyer? Revue Française de Géotechnique, no. 106-107, 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> trimestres 2004
- BMG (2004): Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation des risques suite au confinement de déchets dans la mine. Risques dus aux substances chimiques, juillet 2004
- BMG (2006): Stockage souterrain de Wittelsheim : évaluation technique de la variante de la mise en œuvre de la réversibilité, BMG Engineering AG, juin 2006
- Bundesamt für Umweltschutz (1986): Leitbild für die schweizerische Abfallwirtschaft, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 51, BUS Bern
- Buser M., Roth H. (1998): Bergversatz von Sonderabfällen in deutschen Salzbergwerken: Evaluation der heutigen Beseitigungs- und Versatzpraxis in Zusammenhang mit den Exportanträgen für Abfälle aus der Schweiz, unpubliziertes Gutachten zuhanden Bundesamt für Umwelt, Entwurf August 1998
- Caffet, Marc, Sauvalle, Bruno(2010) : Fermeture du stockage de déchets ultimes de Stocamine (Haut-Rhin), Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer & Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi, juin 2010
- Cesame (2006): Synthèse sur l'ennoyage de la mine de potasse Secteur Ouest, CESAME, septembre 2006
- Cesame (2008): L'ennoyage des Mines de Potasse. Dossier commun : secteurs Est et Ouest, CESAME, avril 2008
- Combes, P. Ledoux, E. (o.J.): Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie. Approche des problèmes liés à l'hydrologie, Ecole des Mines de Paris, nicht datiertes Dokument (vor Februar 1997)
- Copil (2011) : Rapport d'expertise, juillet 2011, deutsche Version
- Dreal (2010) Rapport de la DREAL Alsace, Devenir du site Stocamine à Wittelsheim (Haut-Rhin) – Stockage de déchets dangereux, 7 avril 2010
- Ecole Nationale Supérieure de Chimie (1991): Etude de sécurité chimique, procédure d'acceptation et de suivi des déchets, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, 21 janvier 1991
- Ecole Nationale Supérieure des Mines (1990): Mines de potasse d'Alsace, Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie, approche des problèmes liés à l'hydrogéologie
- Ercosplan (2008): Backfilling of the Underground Waste Disposal StocaMine, Wittesheim/France, Feasibility Study, EGB 07-042, 2. September 2008

- Feuga B. (2010): Comparaison entre les conditions d'isolement des déchets dans le site de stockage de StocaMine et dans quelques sites allemands de stockage en mine de sel ou de potasse, à l'attention de Stocamine, 03/2010
- Giovanetti, R. (2011) : Staffelfelden et les mines de potasse, un siècle d'histoire commune, Editions « Journal des Ménagères »
- Ineris (1993a): Stockage en mine de déchets toxiques : déchets à exclure, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 14 septembre 1993
- Ineris (1993b): Stockage en mine de déchets toxiques : déchets à exclure, 21 septembre 1993
- Ineris (2012): Comparaison des scénarios relatifs au devenir du stockage de StocaMine, rapport d'étude à l'attention de Stocamine, 25.04.2012 (DRS-12-108130-00756B)
- Mica Environnement (2004): Etude géologique, hydrogéologique et géotechnique du centre de stockage de StocaMine, Wittelsheim (Haut-Rhin), avril 2004
- Muller, J., Kille, G. (1990): Etude de sécurité chimique, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, 30 novembre 1990
- Muller, J., Kille, G. (o.J.): Etude de sécurité chimique sur le projet MDPA de stockage profond des déchets industriels dans la mine Joseph-Else à Wittelsheim, comportement à long terme, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Mulhouse, document non daté
- Préfet Haut-Rhin (1997) : Arrêté préfectoral préfecture de Haut-Rhin, 03/02/1997
- Préfet Haut-Rhin (2001) : Arrêté préfectoral préfecture de Haut-Rhin, 10/07/2001
- Préfet Haut-Rhin (2002a) : Arrêté préfectoral préfecture de Haut-Rhin, 12/09/2002
- Préfet Haut-Rhin (2002a) : Arrêté préfectoral préfecture de Haut-Rhin, 17/12/2002
- Stief, Klaus (1986): Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien, Müll und Abfall, Heft I 1986
- StocaMine (2003) : rapport final d'expertise, Experts nommés par la Commission Locale d'Information et de Surveillance (CLIS), 24 juillet 2003
- Stocamine (2014): La lettre d'information sur les travaux de déstockage, No. 5, octobre 2014
- Stocamine (2015): La lettre d'information sur les travaux de déstockage, No. 13, novembre 2015
- Swissi (2004): Etude d'impact, rapport de synthèse, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juillet 2004
- Swissi (2006a): Etude de sécurité au travail et de protection de la santé dans le cadre de la mise en œuvre de la réversibilité, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juin 2006
- Swissi (2006b): Rapport de synthèse Etude approfondie de la variante de la mise en œuvre de la réversibilité, Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité, juin 2006

### **Quellen zum Fallbeispiel WIPP**

- Alley, W., Alley, R. (2013): To Hot Too Touch – The Problem of High-Level Nuclear Waste, Cambridge University Press
- Alvarez, Robert. (2011): Plutonium Wastes from the U.S. Nuclear Weapons Complex, Science and Global Security, 19, p. 15-27
- Alvarez, Robert. (2014): The WIPP-Problem, and what it means for defence nuclear waste disposal, Bulletin of the Atomic Scientists, 23 march 2014
- Blue Ribbon Commission (2012): Report to the Secretary of Energy, Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future, January 2012

- Butler, Declan (2014): Call for better oversight of nuclear-waste storage, Nature, Vol. 509, 15 May 2014
- Carter, Luther J. (1987): Nuclear Imperatives and Public Trust, Resources for the Future, Inc. – Washington, D.C.
- CFR (2012): Code of Federal Regulations, 40CFR191 – Environmental radiation protection standards for management and disposal of spent nuclear fuel, high-level and transuranic radioactive waste
- CFR (2014): Code of Federal Regulations, 40CFR194 – Criteria for the certification and recertification of the waste isolation pilot plants compliance with the 40CFR191 disposal regulations
- Committee on Waste Isolation Plant (1996): The Waste Isolation Pilot Plant: A Potential Solution for the Disposal of Transuranic Waste, National Academy Press Washington, D.C.
- Defence Nuclear Facilities Safety Board (2011): Staff Issue Report, Fire Protection Program, Waste Isolation Pilot Plant, May 2, 2011, and letter June 24 2011
- DOE (2013): Transuranic Waste Acceptance Criteria for the Waste Isolation Pilot Plant, Revision 7.4, April 22, 2013, Department of Energy (DOE), Carlsbad Field Office
- DOE (2014a): Accident Investigation Report, Underground Salt Haul Truck Fire at the Waste Isolation Pilot Plant on February 5, 2014, Department of Energy (DOE), Office of Environmental Management, March 2014
- DOE (2014b): Accident Investigation Report, Phase 1, Radiological Release Event at the Waste Isolation Pilot Plant on February 14, 2014, Department of Energy (DOE), Office of Environmental Management, April 2014
- DOE (2015): Accident Investigation Report, Phase 2, Radiological Release Event at the Waste Isolation Pilot Plant on February 14, 2014, Department of Energy (DOE), Office of Environmental Management, April 2015
- EPA (1998): Removal of Waste, Waste Isolation Pilot Plant Compliance Application Review Document no.46, Washington, May 1998, United States Environmental Protection Agency
- EPA (2014): Panel Closure Redesign Planned Change Request – Final Rule (September 2014), <http://www.epa.gov/radiation/wipp-news>
- Grinsell Leslie (1975): Barrow, Pyramid and Tomb. Ancient burial customs in Egypt, the Mediterranean and the British Isles, 1st Edition London, Thames + Hudson, 1975
- Hagen, Edgar (2013): Journey to The Safest Place on Earth / Reise zum sichersten Ort der Erde, Kino-Dokumentarfilm. Buch, Regie. Schnitt mit Paul Sedlacek. 100 Minuten. Produktion: Mira Film GmbH, Hercli BUNDI, Zürich
- HITF (1984): Reducing the Likelihood of Future Human Activities That Could Affect Geologic High-Level Waste Repositories, Technical Report, Human Interference Task Force, prepared for Office of Nuclear Waste Isolation (Battelle Memorial Institute), BMI/ONWI-537, May 1984
- Irby, H.H., Segura, M. (1980): Retrieval of waste at WIPP, Trans. Am. Nucl. Soc., Vol. 34 / American Nuclear Society Meeting, Las Vegas NV, 8 Jun 1980
- Mora, Carl J. (1999): Sandia and the Waste Isolation Pilot Plant 1974 – 1999, Sandia National Laboratories Albuquerque SAND99-1482
- NEA (2011): Reversibility and Retrieval (R&R) for the Deep Disposal of High-Level Radioactive Waste and Spent Fuel, Final Report of the NEA R&R Project (2007-2011), Nuclear Energy Agency NEA/RWM/R(2011)4, 08.-Dec-2011
- Nuclear Waste Technical Review Board (2014): Spring 2014 Board Meeting, Albuquerque, March 19, 2014

- Vandenbosch, Robert, Vandenbosch, Susanne (2007): Nuclear Waste Stalemate, Political and Scientific Controversies, The University of Utah Press, Salt Lake City
- WIPP (2000): Permanent Markers Testing Program Plan, US Department of Energy, Waste Isolation Pilot Plant, DOE/WIPP 00-3175, September 28
- WIPP (2004): Permanent Markers Implementation Plan, US Department of Energy, Waste Isolation Pilot Plant, DOE/WIPP 04-3302, August 19

### **Quellen zu den Folgerungen**

- Buser, Marcos (2014): „Hüten“ versus „Endlagern“: eine Standortbestimmung 2014, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat Brugg