



Perspektiven der Untertage-Entsorgung in Deutschland

Inhaltsverzeichnis

Einführung	4
Abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen in Europa	6
UTV und UTD zur Entsorgung der Abgasreinigungsabfälle aus thermischen Anlagen	9
Abgasreinigungsverfahren thermischer Anlagen in Europa	10
Entsorgungswege der Abgasreinigungsabfälle	12
Oberirdische und untertägige Ablagerung von Abgasreinigungsabfällen in Deutschland	13
Gesamtbewertung von UTV und UTD im Vergleich zu anderen Entsorgungsverfahren	17
Fazit	20
Glossar	22

Einführung



▲ Big-Bags über Tage

Die Entwicklungen der Abfallwirtschaft in Deutschland und Europa seit den 1980er-Jahren sind rasant. Sie haben zuletzt mit der neuen EU-Abfallrahmenrichtlinie erfolgreich die bekannte Hierarchie der sinnvollen Nachnutzung von Abfällen etabliert. In diesem Zusammenhang spielen die Abfallverwertung und -beseitigung eine große Rolle, zu der auch der weniger bekannte Untertageversatz (UTV) als Verwertung und die Untertagedeponie (UTD) als Beseitigung zählen.

Die vorliegende Studie beabsichtigt, den Untertageversatz als Verwertung und die Untertagedeponie als Beseitigung in den europäischen Gesamtkontext einzubetten:

- ▶ für die existierenden und künftigen Abfallentsorgungswege für Siedlungsabfälle, Biomasse und für gefährliche Abfälle,
- ▶ bei einem Hauptaugenmerk auf die Verbesserung von Ressourcenschutz und Energieeffizienz,
- ▶ mit der Vermeidung klimaschädlicher Emissionen sowie
- ▶ die möglichen Alleinstellungsmerkmale der UTV und UTD hervorzuheben und
- ▶ die Vorteile und Perspektiven dieser Entsorgungswege gegenüber anderen Wegen strukturiert und überzeugend offenzulegen und zu bewerten.

Oftmals lassen relevante Studien und Gutachten zur Abwägung von Abfallentsorgungswegen die Möglichkeiten der UTV und UTD unerwähnt. Vielfach unterschätzen sie deren Beitrag für eine sichere Entsorgung schadstoffbelasteter und salzhaltiger Rückstände aus Abgasreinigungsanlagen thermischer Behandlungsanlagen wie

- ▶ Müllverbrennungsanlagen für Siedlungs- und Gewerbeabfälle (MVA),
- ▶ Ersatzbrennstoffkraftwerke (EBS-Kraftwerke),
- ▶ Verbrennungsanlagen für gefährliche Abfälle (vorwiegend Drehrohrofenanlagen – SAV),
- ▶ Biomasseheizkraftwerke (BM(H)KW)

im Rahmen der gesamten Abfallentsorgungskette. Zu Unrecht, denn diese Entsorgungswege haben sich inzwischen aufgrund ihrer überzeugenden Vorteile und klaren Rechtmäßigkeit fest etabliert und sollten für eine moderne Abfallwirtschaft in Europa weiter genutzt und ausgebaut werden.

Im Rahmen des Gutachtens wird im Auftrag der beiden Verbände

- ▶ VKS – Verband der Kali- und Salzindustrie e. V. sowie
- ▶ VBGU – Verband Bergbau, Geologie und Umwelt e. V.

eine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den skizzierten Themen durchgeführt. Hierauf aufbauend wird eine Bewertung der mittel- bis langfristigen Perspektiven von UTV und UTD in Deutschland für die Entsorgung von Abgasreinigungsabfällen aus den dargestellten thermischen Behandlungsanlagen vorgenommen.

Das Gutachten wurde von der Prognos AG (Basel, Berlin) gemeinsam mit RSP – Riemann, Sonnenschein & Partner GmbH (Herne) und Dipl.-Ing. Jochen Schulte (Ilsede) zwischen Mai 2011 und Februar 2012 erarbeitet.

Wir bedanken uns bei allen Betreibern der deutschen UTV-Bergwerke, der UTV-Kaverne und der UTD-Deponien, die den Gutachtern zur Erarbeitung des wissenschaftlichen Gutachtens für Fragen und Auskünfte zur Verfügung standen.

Bedanken möchten wir uns auch bei der umfassenden Begleitung des Gutachtens durch

- ▶ Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich sowie
- ▶ Herrn Markus Gleis

für ihr „Critical Review“. Diese begleitende Überprüfung und die hierbei gestellten kritischen Fragen haben gezeigt, dass das wissenschaftliche Ergebnis des Gutachtens belastbar und nachvollziehbar ist.

Olaf Alisch
Geschäftsführer

VBGU
Verband Bergbau,
Geologie und Umwelt e. V.

Hartmut Behnen
Geschäftsführer

VKS
Verband der Kali-
und Salzindustrie e. V.

Abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen in Europa



▲ Müllheizkraftwerk Würzburg

Im Zusammenspiel von Klima- und Ressourcenschutz richten Wirtschaft und Politik ihren Blick verstärkt auf die Abfallwirtschaft, die historisch betrachtet am Ende der Produktnutzungs- und Wertschöpfungskette steht und insbesondere durch die Deponierung von Abfällen und die damit verbundenen Methanemissionen immer noch einen bedeutenden Verursacher von klimaschädlichen Emissionen darstellt. Ein klares Hauptziel der bereits 1999 verabschiedeten EU-Deponierichtlinie ist daher die Reduzierung der Methanemissionen und sonstiger negativer Umweltauswirkungen, die durch die Deponierung von biologisch abbaubaren Abfällen entstehen. Die Richtlinie verlangt die gestaffelte, aber deutliche Reduzierung der Ablagerung von biologisch abbaubaren Abfällen auf einen maximal verbleibenden Anteil von 35% in allen EU-Mitgliedsstaaten (bei den meisten EU-Staaten bezogen auf das Basisjahr 1995) bis spätestens zum Jahr 2020.

Durch die Deponierung geht ein enormes Rohstoff- und Energiepotenzial ungenutzt verloren. Zunehmend setzt sich die Erkenntnis durch, dass wir es uns nicht mehr leisten können, Abfälle undifferenziert als „Reste“ des zivilisatorischen Verbrauchs zu sehen und entsprechend ineffizient zu entsorgen oder zu beseitigen. Abfallpolitik ist daher künftig durch Produkt-, Ressourcen- und Energieeffizienzpolitik zu ergänzen und schließlich zu ersetzen. Im Dezember 2008 ist hierzu die EU-Abfallrahmenrichtlinie veröffentlicht worden.

Sie stellt den Umwelt- und Ressourcenschutz innerhalb der Abfallwirtschaft der europäischen Union mit der fünfstufigen Abfallhierarchie von

- ▶ Vermeidung,
- ▶ Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- ▶ Recycling,
- ▶ sonstiger (zum Beispiel energetischer) Verwertung,
- ▶ Beseitigung

deutlich stärker in den Mittelpunkt. Der Untertageversatz in Salzbergwerken und Salzkavernen wird hierin als sonstige Verwertung eingestuft. Die untertägige Deponierung ist der Hierarchiestufe Beseitigung zugeordnet.

Erreicht werden soll letztendlich eine tatsächliche Umsetzung des seit vielen Jahren diskutierten Paradigmenwechsels von der Abfall- zur Ressourcenwirtschaft und ihre Integration in die Wirtschaftskreisläufe. Als Rohstoff- und Energielieferant kann die Abfallwirtschaft damit auch einen Platz am Beginn der Wirtschaftskette einnehmen. Dabei spielen neben den Recyclingverfahren die aufgeführten thermischen Behandlungsverfahren eine ebenso bedeutende Rolle in den europäischen Entsorgungskonzepten.

Lediglich acht der 27 EU-Mitgliedsstaaten (Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Luxemburg, Niederlande, Österreich und Schweden) sowie Norwegen und die Schweiz haben ihre Siedlungsabfallwirtschaft bereits vorrangig auf Recycling und die thermische Abfallbehandlung ausgerichtet. In den verbleibenden Mitgliedsstaaten beträgt der Anteil der deponierten Siedlungsabfälle noch immer mehr als 50%, teilweise noch bis zu mehr als 90%. Für diese EU-Staaten besteht ein deutliches Entwicklungspotenzial nicht nur für das Recycling in ganz Europa, sondern auch für die thermische Behandlung von Siedlungs- und Gewerbeabfällen sowie von gefährlichen Abfällen und von Biomasse (vor allem Altholz), um den Zielen eines optimalen Klimaschutzes genügen zu können.

Dies ist nicht nur durch die direkte thermische Behandlung gemischter Siedlungs- und Gewerbeabfälle in den Müllverbrennungsanlagen, sondern auch durch die energetische Nutzung der mittel- und hochkalorischen Fraktionen aus der mechanischen bzw. mechanisch-biologischen Vorbehandlung gemischter Siedlungsabfälle in den industriellen Ersatzbrennstoffkraftwerken möglich.

Es muss erwartet werden, dass sich bis zum Jahr 2020 die thermischen Behandlungskapazitäten in MVA und EBS-Kraftwerken (vgl. Abbildung 1) europaweit um mindestens 25% auf 107 Mio. Mg im „unteren Trendszenario“ bis 116 Mio. Mg im „oberen Trendszenario“ erhöhen werden.

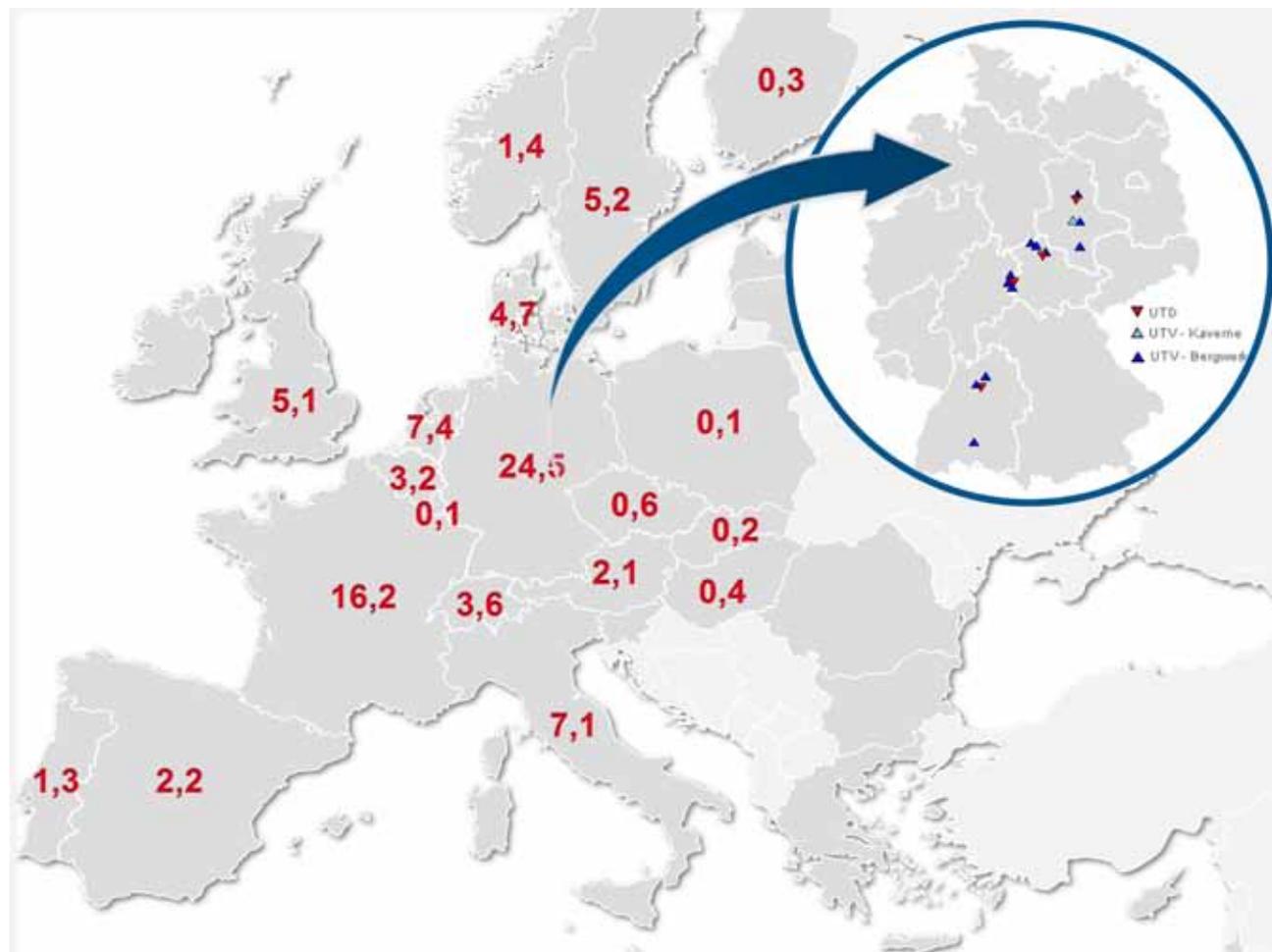
Mg: Megagramm
Aktuelle SI-Einheit für die Masse
(1 Mg = 1.000 kg = 1 Tonne)



▲ Einlagerung von Big-Bags im untertägigen Versatz

Abbildung 1:

Thermische Anlagen (MVA und EBS-Kraftwerke) in den EU-Mitgliedsstaaten (+ Schweiz und Norwegen) nach Kapazitäten (zusammen rd. 85 Mio. Mg in 2010) sowie Standorte von UTV-Bergwerken, UTV-Kavernen und UTD-Deponien in Deutschland



Quelle: Prognos AG

Als Folge des Ausbaus der energetischen Verwertung und der thermischen Behandlung von Siedlungs- und Gewerbeabfällen kommt der umweltgerechten und langzeitsicheren Entsorgung der bei der Emissionsminderung der thermischen Anlagen entstehenden schadstoff- und salzhaltigen Abgasreinigungsabfälle eine hohe Bedeutung zu. Ohne eine Schadstoffsenske für diese Rückstände lassen sich diese Entsorgungsoptionen nicht verantwortungsvoll für die jetzige und künftige Generationen umsetzen.

UTV und UTD zur Entsorgung der Abgasreinigungsabfälle aus thermischen Anlagen



▲ Transport von Versatzmaterial mit gekapselten Förderbändern von der Schachtfalleitung zur Lkw-Verladung

Die Entsorgung von Abgasreinigungsabfällen erfolgt in Deutschland in 12 UTV-Bergwerken und in einer UTV-Kavernenanlage zum Zwecke des Versatzes der Abfälle, der als sonstige Verwertung gilt, sowie in vier untertägigen Deponien. Die Entsorgungskapazitäten der UTV-Bergwerke/-Kavernen zur Verwertung von Abfällen und der Untertagedeponien zur Beseitigung von Abfällen betragen in Deutschland zusammen rund 2,5 Mio. Mg/a. Hiervon entfallen auf die vier Untertagedeponien rund 360.000 Mg/a, dies sind rund 14,5 %.

Insgesamt sind die in diesen UTV-Bergwerken und UTV-Kavernen verwerteten Abgasreinigungsabfälle aus dem Inland von 842.000 Mg in 2008 auf 1.051.000 Mg in 2010 und damit um 25 % gestiegen, da im gleichen Zeitraum auch die Anlagenkapazitäten der thermischen Behandlungsanlagen um knapp 20 % zugenommen haben. Die dominanten Anteile hierbei sind die festen Abfälle aus der Abgasbehandlung sowie die Filterstäube. Die verwerteten Abgasreinigungsabfälle aus dem Ausland sind von 245.000 Mg in 2008 auf 344.000 Mg in 2010 und damit um 40% sogar stärker als die verwerteten Abgasreinigungsabfälle aus dem Inland gestiegen. Die Anlieferungen stammen vor allem aus den Niederlanden, Belgien, Frankreich, Österreich und Italien. Dies zeigt den hohen Stellenwert der deutschen UTV-Bergwerke/UTV-Kavernen für eine sichere und umweltgerechte Verwertung der Abgasreinigungsabfälle der thermischen Abfallbehandlung sowohl aus dem Inland als auch im europäischen Kontext.

Die in Untertagedeponien beseitigten Abgasreinigungsabfälle aus dem Inland sind von 7.000 Mg in 2008 auf 25.000 Mg in 2010 und damit um rund 280 % gestiegen. Zusätzlich wurden von den Anlagenbetreibern Abgasreinigungsabfälle aus dem Ausland zur Entsorgung in den deutschen UTD importiert. Insgesamt sind die entsorgten Abgasreinigungsabfälle aus dem Ausland von 40.000 Mg in 2008 auf 33.000 Mg in 2010 rückläufig gewesen. Die Abgasreinigungsabfälle werden ausschließlich aus der Schweiz und aus Österreich angeliefert. Im Jahr 2010 kamen 84 % der Abfälle aus der Schweiz und 16 % aus Österreich.

Abgasreinigungsverfahren thermischer Anlagen in Europa



▲ Abgasreinigung einer Müllverbrennungsanlage in Deutschland

Die einzelnen thermischen Behandlungsanlagen in Europa unterscheiden sich in Bezug auf die jeweiligen technischen Komponenten der Abgasreinigung und deren Betriebsweise deutlich voneinander. Das hat Einfluss auf die jeweils anfallenden Mengen und Zusammensetzung der Abgasreinigungsabfälle. Für 2008 wurde ein Aufkommen an festen Rückständen aus der Abgasreinigung in einer Bandbreite von 3,5 bis 4,6 Mio. Mg in Europa (EU 27, Norwegen, Schweiz) ermittelt. Auf der Grundlage der vorab diskutierten Kapazitätsentwicklungen wird mit einem Anstieg an festen Rückständen aus der Abgasreinigung bis 2020 auf etwa 4,8 bis 6,2 Mio. Mg gerechnet.

Die je nach Verfahren in unterschiedlicher Menge und Qualität anfallenden Abfälle der Abgasreinigung (Filterstäube und/oder AGR-Reaktionsprodukte) werden in Deutschland und in einigen anderen Mitgliedsstaaten heute in der Regel unter Tage verwertet oder deponiert. Wiederkehrend werden jedoch Forderungen nach Minimierung sowie nach Aufbereitung der Abfälle aus der Abgasreinigung zu Produkten erhoben.

Zur Beurteilung dieser Forderungen erfolgt im Gutachten eine bewertende wirtschaftliche und technische Betrachtung der wesentlichen, in der EU eingesetzten Abgasreinigungsverfahren für thermische Abfallbehandlungsanlagen:

- ▶ trocken (mit Kalk),
- ▶ trocken (mit Natriumhydrogencarbonat),
- ▶ quasitrocken (Kalk),
- ▶ nass – ohne Produktgewinnung sowie
- ▶ nass – mit Produktgewinnung.

Anhand einer Modellanlage mit einem Durchsatz von 200.000 Mg/a (Input) werden die Auslegungsdaten für die untersuchten Abgasreinigungssysteme ermittelt, die sich als Mittelwert über die folgenden Anlagentypen bilden:

- ▶ Müllverbrennungsanlagen,
- ▶ Ersatzbrennstoffkraftwerke,
- ▶ Verbrennungsanlagen für gefährliche Abfälle sowie
- ▶ Biomasse(heiz)kraftwerke.

Auf Grundlage der technischen Auslegungen sowie Recherchen zu Preisen und Kosten erfolgen statische Betriebskostenrechnungen für die untersuchten Verfahren.

Die ermittelten Jahreskosten der einzelnen Abgasreinigungssysteme sind in Abbildung 2 gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt, dass die spezifischen Betriebskosten für die Abgasreinigung je nach Verfahren zwischen knapp 19 € und knapp 44 € pro Mg Brennstoffinput (Abfall, Ersatzbrennstoffe, gefährliche Abfälle, Biomasse) liegen.

Die derzeit bei der thermischen Abfallbehandlung mehrheitlich eingesetzten trockenen bzw. quasitrockenen Abgasreinigungssysteme (1–3) erzeugen im Vergleich mit den komplexeren Verfahren mit Nasswäsche bzw. mit Nasswäsche und Produktgewinnung (4–5a) durch höheren Betriebsmitteleinsatz die größten Mengen an Abgasreinigungsabfällen pro behandelter Abfallmenge. Die partiell höheren Betriebskosten für den Betriebsmitteleinsatz führen jedoch aufgrund der direkten Verwertungs- bzw. Entsorgungswege in den Untertageversatz zu keinem Nachteil, da in der Gesamtbilanz durch den einfachen und robusten Aufbau der Abgasreinigungssysteme eine optimale ökonomische und ökologische Gesamtlösung erzielt wird.

In der nassen Abgaswäsche ohne Produktgewinnung werden zwar bessere Abscheideraten und dadurch spezifisch geringere Abfallmengen erzielt, durch die komplexe Abfolge der Verfahrensstufen führen diese jedoch zu einem Anstieg der Kosten für die Investition, für Wartung und Unterhalt sowie für den erhöhten Strombedarf, die den Vorteil in der Summe verbrauchen und hierdurch (in der Summe) sogar das Betriebsergebnis verschlechtern.

Die beiden nassen AGR-Verfahren mit Produktgewinnung (5, 5a) schneiden wirtschaftlich deutlich schlechter ab als die trockenen Verfahren (1–3) und das nasse Verfahren (ohne Produktrückgewinnung, 4). Die sehr hohen Kapitalkosten sowie der zugehörige Betriebs- und Instandhaltungsaufwand können nicht durch einen Verkaufserlös der Produkte (HCl, NaCl oder Gips) kompensiert werden, da die mit hohem Aufwand hergestellten Produkte keine Akzeptanz am Markt besitzen. Dies führt dazu, dass diese etwa 2- bis 2,5-fach so kostenintensiv wie die einfachen Abgasreinigungsverfahren sind.

In einer ökologischen Betrachtung liefert die Energiebilanz, die den Eigenstrombedarf und auch den Dampfeigenbedarf als Äquivalent dazu berücksichtigt, ein stark differenziertes Ergebnis. Die aufwendigen nassen Verfahren mit Produktgewinnung haben einen 7-fachen und die nassen Verfahren ohne Produktgewinnung immerhin noch einen 2,5-fachen Energiebedarf gegenüber den einfachen trockenen und quasitrockenen Verfahren. Dies ist auf Basis der aktuellen Diskussion um nachhaltigen Klima- und Ressourcenschutz ökologisch nicht vertretbar, zumal die Verfahren mit Produktgewinnung heute eine in der Menge unbedeutende Substitution von anderen Ressourcen bei der Herstellung von Industriechemikalien ermöglichen. Langfristig kann allenfalls die Rückgewinnung von Technologiemetallen aus Abgasreinigungsabfällen interessant werden und an Marktbedeutung gewinnen. Dies war jedoch nicht Gegenstand dieses Gutachtens.

Als Fazit ist eine klare Präferenz für die einfachen Verfahren auf Basis trockener oder quasitrockener Abgasreinigungssysteme vorhanden, da die leicht erhöhten Mengen der Abfälle bei den verfügbaren Entsorgungswegen unter Tage keinen bedeutenden Nachteil bilden, diese jedoch durch den robusten und wenig komplexen Aufbau des AGR-Verfahrens eine optimale wirtschaftliche und ökologische Gesamtlösung darstellen.

Ersatzbrennstoffkraftwerk:
Ein Ersatzbrennstoffkraftwerk ist ein Dampfkraftwerk, bei dem aus Abfällen gewonnene Ersatzbrennstoffe (EBS) mit einem Heizwert größer 11.000 kJ/Mg als Brennstoff eingesetzt werden.

Biomasse(heiz)kraftwerk:
Ein Biomasse(heiz)kraftwerk erzeugt durch die Verbrennung fester Biomasse (vor allem Frisch- und Altholz) elektrische Energie und Wärme, die als Fern- oder Nahwärme oder als Prozesswärme genutzt werden kann.

Abbildung 2:
Spezifische Kosten der betrachteten Abgasreinigungsvarianten (€/Mg Brennstoff) im Vergleich



- 1 Konditionierte Trockensorption auf Kalkbasis
- 2 Trockensorption mit Natriumhydrogencarbonat
- 3 Quasitrocken-Verfahren auf Kalkbasis
- 4 AGR Nassverfahren ohne Produktgewinnung
- 5 AGR Nassverfahren mit Produktgewinnung HCl, Gips
- 5a AGR Nassverfahren mit Produktgewinnung NaCl, Gips

Quelle: Prognos/RSP/Schulte

Entsorgungswege der Abgasreinigungsabfälle



- ▲ Im Salzbergwerk wird das Versatzmaterial mit Straßen-Lkws unter Tage transportiert und in einen Umschlagbunker gekippt. Die Beladung der Bergbaufahrzeuge erfolgt mittels Elektro-Bagger.

Für die umweltgerechte und langzeitsichere Entsorgung dieser Rückstände existieren aufgrund der in ihnen enthaltenen Schadstoffe (Schwermetalle, organische Schadstoffe, u.a. Dioxine und Furane) und vor allem aufgrund der enthaltenen hohen Anteile an salzhaltigen, wasserlöslichen Bestandteilen nur sehr eingeschränkte Entsorgungsmöglichkeiten durch

- ▶ untertägigen Versatz oder untertägige Deponierung,
- ▶ sonstige Verfahren mit nachfolgender oberirdischer Ablagerung oder Verwertung,
- ▶ Schmelzverfahren zur Verglasung der Reststoffe aus der Abgasreinigung sowie
- ▶ Wiederaufarbeitungs-/Recyclingverfahren für spezielle Rückstände aus der Abgasreinigung.

Langzeitsicherheitsnachweis:
Im Wesentlichen der durch Ermittlung der gebirgsmechanischen Beanspruchung in der Betriebs- sowie in der Nachbetriebsphase zu erbringende Nachweis, dass eine Überbeanspruchung der Salzbarriere langfristig nicht gegeben ist.

Für gefährliche Abfälle, bei denen die Parametergrenzwerte der Deponieverordnung (DepV) der Deponieklasse DK III überschritten werden, ist in Deutschland die umweltverträgliche Untertageverwertung oder -beseitigung gesetzlich vorgeschrieben. In beiden Fällen darf dies nur in Bergwerken bzw. Kavernen erfolgen, für die durch einen **Langzeitsicherheitsnachweis** belegt ist, dass der vollständige Abschluss der Abfälle von der Biosphäre langfristig, über viele Generationen, gewährleistet ist.

Oberirdische und untertägige Ablagerung von Abgasreinigungsabfällen in Deutschland



▲ **Versatzfront: Die Big-Bags sind zur Verfüllung von Zwischenräumen und zur Anbindung an das Gebirge mit angefeuchtetem Feinsalz verschleudert**

Die Untertagedeponierung bzw. -verwertung hat in Hohlräumen im Salzgestein zu erfolgen. Diese Vorgabe basiert auf dem geologisch belegten Erkenntnis, dass Salzgestein nach menschlichen Maßstäben gemessen unbegrenzt dicht gegenüber Gasen und Flüssigkeiten ist. Bei richtiger Dimensionierung der Salzbarriere ist somit eine Einwirkung der Biosphäre auf die verbrachten Abfälle und umgekehrt der Abfälle auf die Biosphäre auszuschließen.

Anders als bei der Beseitigung von Abfällen auf oberirdischen Deponien, sind bei der untertägigen Beseitigung und Verwertung von Abfällen im Salzgestein keine Obergrenzen für die einzelnen Schadstoffparameter vorgegeben. Allerdings sind die in § 7 Abs. 2 der Deponieverordnung genannten Ausschlusskriterien zu berücksichtigen.

Für die Genehmigung einer Untertagedeponie oder eines Untertageversatzbergwerkes ist Voraussetzung, dass die in der Deponieverordnung bzw. der Versatzverordnung aufgeführten Anforderungen an den Standort und die geologische Barriere sowie zur standortbezogenen Sicherheitsbeurteilung für die Untertageanlage eingehalten werden. Als maßgeblicher Schritt im Rahmen der standortbezogenen Sicherheitsbeurteilung ist ein Langzeitsicherheitsnachweis zu führen, der im Wesentlichen auf dem geotechnischen Standsicherheitsnachweis und dem Sicherheitsnachweis für die Ablagerungs- und Stilllegungsphase basiert.

Insbesondere dem geotechnischen Standsicherheitsnachweis kommt zur Beurteilung der langfristigen Wirksamkeit und Integrität der Salzbarriere die entscheidende Bedeutung zu. Im geotechnischen Standsicherheitsnachweis werden die besonderen Eigenschaften von Salzgesteinen berücksichtigt, die darin bestehen, dass sich Salzgestein unter bestimmten Beanspruchungszuständen wie eine ganz zähe Flüssigkeit verhält, also Formänderungen ohne Bruchflächen und merklichen Dichtigkeitsverlust ablaufen, bei anderen Beanspruchungszu-

Dilatanz-Kriterium:
Grenzbedingung für die Beanspruchungszustände in der Salzbarriere, bei denen die Fließeigenschaften des Salzes in bruchhaftes Verhalten übergehen.

Minimalspannungskriterium:
Forderung des Nachweises, dass ein langfristig auf die Salzbarriere einwirkender Fluiddruck nicht zu einem Durchströmen der gesamten Barriere führt.

Konvergenz:
Durch die Last des umgebenden Gebirges verursachte Fließbewegung zu vorhandenen Hohlräumen im Salzgestein.



▲ Einstapeln von Big-Bags mittels Gabelstapler

ständen jedoch ein bruchhaftes Verhalten zeigt. Die Grenze zwischen dem fließenden und dem bruchhaften Verhalten ist abhängig von

- ▶ der Verformungsgeschwindigkeit,
- ▶ dem Spannungszustand an dem jeweils betrachteten Punkt der Salzgesteinsbarriere und
- ▶ der Beanspruchungsdauer (sogenanntes **Dilatanz-Kriterium**).

Von Bedeutung ist darüber hinaus, dass die Minimalspannung im Salzgestein größer als ein von außen wirkender Fluiddruck ist (**Minimalspannungskriterium**). Ergeben die Untersuchungen, dass beide Kriterien eingehalten werden, ist der Nachweis der Langzeitsicherheit erbracht.

Die naturgegebene Dichtheit der Salzgesteine, die Permeabilitäten von bis zu 10^{-23} m² (entspricht ca. einer Durchlässigkeit von $k \leq 10^{-16}$ m/s) aufweisen, gewährleistet den dauerhaften Einschluss der Abfälle von der Biosphäre. Neben den vorstehend genannten Nachweisen sind

- ▶ Betrachtungen zu hydrologischen/hydrogeologischen Vorgängen,
- ▶ die Darstellung von Ereignisabläufen im Gesamtsystem,
- ▶ Betrachtungen zu Störfallszenarien und
- ▶ die Beurteilung des Gesamtsystems

gefordert. Hierbei ist unter anderem zu überprüfen, ob an dem Standort der Untertagedeponie eventuell hydrogeologische Systeme vorhanden sind, die bei einer hypothetisch unterstellten Undichtigkeit der Salzbarriere austretende kontaminierte Lösungen entgegen der Schwerkraft in bewirtschaftete oberflächennahe Grundwasserleiter transportieren könnten.

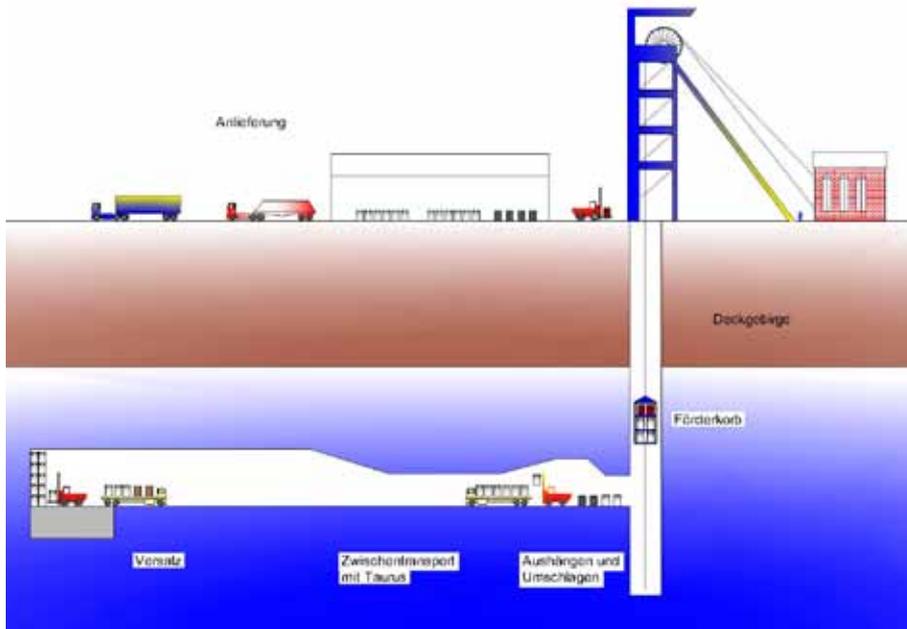
Durch das Hereinfließen des Salzgebirges in noch vorhandene Hohlräume, die sogenannte **Konvergenz**, werden die Abfälle vollständig vom Salzgestein eingeschlossen. Die Salzbarriere ist nur dem Gebirgsdruck der überlagernden Bodenschichten ausgesetzt, wenn von sehr langfristigen Einflüssen, wie Subrosion, abgesehen wird. Die Konvergenz läuft so lange ab, bis ein gebirgsmechanisches Gleichgewicht zwischen der Salzlagerstätte und dem Deponat eingetreten ist. Bei diesem Vorgang verringert sich gleichzeitig die Durchlässigkeit der in der Betriebsphase unvermeidlich an der Salzkontur zum Grubengebäude entstehenden Auflockerungszone, womit langfristig eine weitere Verbesserung der Salzbarriere einhergeht. Eine dauerhafte Überwachung der Untertagedeponien bzw. Verwertungsbergwerke ist nicht erforderlich.

Neben der üblichen Verbringung unter Tage werden in der politischen Diskussion der letzten Jahre in Deutschland sowie in der Praxis in anderen Staaten Europas verstärkt auch andere Behandlungsverfahren oder -wege aufgezeigt, die für die hier betrachteten Abgasreinigungsabfälle thermischer Abfallbehandlungsanlagen anstelle der Untertageverbringung geeignet sein könnten.

Insbesondere bezieht sich die Diskussion auf

- ▶ Behandlungsverfahren mittels Verfestigung, vollständiger Stabilisierung (als deutsche Besonderheit) oder Neutralisation zur anschließenden oberirdischen Ablagerung oder Verwertung,
- ▶ Schmelzverfahren zur Verglasung der Abfälle aus der Abgasreinigung sowie
- ▶ Wiederaufarbeitungs-/Recyclingverfahren für spezielle Abfälle aus der Abgasreinigung.

Ziel einer Verfestigung als (Vor-)Behandlung zur Ablagerung auf einer Deponie für gefährliche Abfälle ist eine physikalische und hydraulische Einkapselung der Abgasreinigungsabfälle, um die Auslaugbarkeit, insbesondere von Schwermetallen, nach der Ablagerung zu vermindern. Verfestigungsverfahren für Abgasreinigungsabfälle thermischer Abfallbehandlungsanlagen werden zumeist mithilfe von Zement und anderen Additiven europaweit großtechnisch betrieben. Da sich Abgasreinigungsabfälle in Abhängigkeit des thermisch behandelten Abfalls sowie des jeweils gewählten Abgasreinigungsverfahrens deutlich voneinander unterscheiden, ist ein Standard-Verfestigungsverfahren nicht vorstellbar. Wirtschaftlich gesehen liegen sie je nach Verfahren und insbesondere je nach den länderspezifischen Deponiepreisen in oder über der Größenordnung der Untertageverbringung.



Quelle: GSES GmbH

Die ökologische Bewertung der **Verfestigungsverfahren** für Abgasreinigungsabfälle, die als Hauptbindemittel Zement einsetzen, ergibt, dass die Schadstoffeinbindung im Wesentlichen durch das geschaffene alkalische Milieu und weniger durch die chemischen Wechselwirkungen zwischen den Schadstoffen und den Silikaten des Zementsteins eintritt. Dies hat zur Folge, dass zum Beispiel der Transport von Schadstoffen in gelöster Form nur wenig behindert wird. Eine Langzeitsicherheit verfestigter Abfälle ist aufgrund klimatischer Einflüsse, langfristig entstehender physikalischer Erosion und von Rissbildungen bzw. Abplatzungen sowie des Eintrags von Niederschlagswasser in den Verfestigungskörper, der daraus resultierenden chemischen Reaktionen im Verfestigungskörper sowie des Austrags gelöster Schadstoffe in die Umgebung nicht gegeben.

Die zuvor für die Verfestigung beschriebenen Schwachpunkte haben in Deutschland dazu geführt, dass verfestigte Abfälle nur dann auf einer oberirdischen Deponie abgelagert werden dürfen, wenn die jeweiligen Zuordnungskriterien von den Abfällen vor ihrer Verfestigung oder Stabilisierung eingehalten werden. Aus diesem Grund wurden in Deutschland Verfahren zur „**vollständigen Stabilisierung**“ von Abfällen entwickelt. Ziel einer solchen Behandlung zur Ablagerung oder Verwertung von Abgasreinigungsabfällen auf oberirdischen Deponien ist, sämtliche gefährlichen Inhaltsstoffe des Abfalls durch chemische Reaktionen in ungefährliche Inhaltsstoffe dauerhaft unumkehrbar zu überführen. Um das Ziel einer vollständigen Stabilisierung zu erreichen, erfolgt in einer zumeist stationären Anlage zur Behandlung von Abfällen eine Vermischung der Abfälle unter Einsatz von Bindemitteln, Zuschlagstoffen, Chemikalien und Wasser. Stabilisierungsverfahren für Abgasreinigungsabfälle werden in Deutschland großtechnisch betrieben und könnten rein wirtschaftlich eine Alternative zur heute üblichen Untertageverbringung darstellen. Abgasreinigungsabfälle unterscheiden sich in Abhängigkeit des thermisch behandelten Abfalls sowie des jeweils gewählten Abgasreinigungsverfahrens hinsichtlich ihrer Zusammensetzung sowie ihres Schadstoffgehaltes deutlich voneinander. Diese Heterogenität der Abfälle erfordert je nach Zusammensetzung und Schadstoffgehalt unterschiedliche Behandlungsweisen zur Stabilisierung. Ein „Einheitsverfahren“ ist daher nicht vorstellbar. Aus diesem Grund kann – wenn überhaupt – nur eine jeweils angepasste Kombination verschiedener Wirkmechanismen zielführend sein. Als Wirkmechanismen stehen dabei zur Verfügung:

- ▶ Fixierung durch Adsorption und Ionenaustausch,
- ▶ Verfestigung mittels Bindemitteln und Additiven,
- ▶ chemische Umwandlung,
- ▶ chemische Fällung sowie
- ▶ kristallchemische Einbindung.

Verfestigungsverfahren:
Vorbehandlung durch physikalische und hydraulische Einkapselung zur Ablagerung auf einer Deponie für gefährliche Abfälle.

Vollständige Stabilisierung:
Chemisch-physikalische Behandlung für gefährliche Abfälle zur Ablagerung auf Deponien für nicht gefährliche Abfälle bzw. zu einer Verwertung als Deponieersatzbaustoff (nur in Deutschland angewendet).

Die Betrachtung der einzelnen Wirkmechanismen ergibt, dass kein Wirkmechanismus zweifelsfrei zu einer vollständigen, sicheren, unumkehrbaren und dauerhaften Umwandlung und Einbindung von Schwermetallverbindungen und Salzfrachten führt, denn chemische Reaktionen sind in der Regel nicht unumkehrbar. Vielmehr muss bei diesen Verfahren davon ausgegangen werden, dass nur eine Teilstabilisierung stattfindet, sodass der behandelte Abfall weiterhin als gefährlich einzustufen ist.

**Neutralisationsverfahren:
Herstellung eines „neutralen“ schadstoffbeladenen Gipses zur Ablagerung in Kalksteinkratern unter Meereshöhe (nur in Norwegen angewendet, „NOAH-Verfahren“).**

In Norwegen betreibt das Unternehmen NOAH AS zur Behandlung von anorganischen gefährlichen Abfällen eine Anlage nach einem selbst entwickelten „**Neutralisationsverfahren**“. Bei diesem Verfahren wird den Abgasreinigungsabfällen eine Suspension aus Schwefelsäureabfällen und auf Langøya vorhandenem Kalkstein zugemischt. Im Anschluss wird gelöschter Kalk zur Einstellung eines gewünschten pH-Wertes von ca. 9,5 beigemischt. Es entsteht ein schadstoffbeladener Gips als „chemisch stabile Struktur“. Bei dem **NOAH-Verfahren** führt der erzeugte schadstoffbeladene Gips in erster Linie zu einer Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften der Abgasreinigungsabfälle. Jedoch liegt das Problem dieses Verfahrens darin, dass der Gips selbst wasserlöslich ist, sodass mittel- bis langfristig eine Auslaugung, und damit Freisetzung der Schadstoffe, sehr wahrscheinlich ist.

**Oxidierende Schmelzverfahren:
Einschmelzen der Abfälle zur Erzeugung eines glasähnlichen Granulates.**

Die Behandlung von Abgasreinigungsabfällen durch **oxidierende Schmelzverfahren** besteht darin, die Abfälle bei sehr hohen Temperaturen zum Schmelzen zu bringen. Bei der anschließenden Abkühlung führen die im Abfall vorhandenen Siliziumanteile zur Bildung eines glasähnlichen Produkts. Die flüchtigen Bestandteile der Abfälle werden bei den vorherrschenden hohen Temperaturen aus den Abfällen ausgetrieben und in einer nachgeschalteten Abgasreinigung als schwermetallreiches Konzentrat abgeschieden. Wirtschaftlich gesehen sind Schmelzverfahren mit einem Kostenfaktor von 3 bis 4 gegenüber derzeitiger Verwertung unter Tage deutlich teurer. Hinzu kommt aufgrund der benötigten hohen Schmelztemperatur ein sehr hoher Energieeinsatz, der dem geforderten Klima- und Ressourcenschutz fundamental entgegensteht. Schmelzverfahren erscheinen aufgrund der Einbindung der Schadstoffe in ein glasähnliches Schmelzprodukt sowie der Aufkonzentrierung der flüchtigen Schadstoffe in einem wieder aufarbeitbaren Konzentrat auf den ersten Blick zur Immobilisierung von Schadstoffen als geeignet. Bei genauerer Betrachtung können aber Zweifel sowohl hinsichtlich der (langfristigen) Stabilität des Schmelzproduktes als auch hinsichtlich der Aufarbeitung und Verwertung des Konzentrates nicht ausgeräumt werden. Denn durch die prinzipielle Wasserlöslichkeit besonders alkalireicher Gläser und durch die Anwesenheit bestimmter Oxide ist eine langfristige Stabilität infrage gestellt. Die hier nicht betrachteten reduzierenden Schmelzverfahren zur Behandlung von Abgasreinigungsabfällen weisen ebenfalls einen hohen Energiebedarf auf und wurden zudem noch nicht großtechnisch realisiert, könnten aber auf lange Sicht zur Rückgewinnung von Technologiemetallen infrage kommen.

**Saure Flugaschenwäsche:
Waschbehandlung zur Entfrachtung der Filterstäube von Salzen und Schwermetallen.**

Bei dem Verfahren zur integrierten Flugaschenbehandlung durch **saure Flugaschenwäsche** werden die Filterstäube über eine nachträgliche, separate Waschbehandlung von leicht löslichen Stoffen, insbesondere Salzen, befreit. Neben einer abgeschätzten Verdopplung des Behandlungs-/Entsorgungspreises gegenüber dem Durchschnittspreis für die untertägige Verbringung sind die Beschränkung dieses Verfahrens aus wirtschaftlichen Gründen auf nasse Abgasreinigungsverfahren sowie die Verlagerung der Schadstoffe in den aufzubereitenden Hydroxidschlamm als auch eine Aufsalzung des einzuleitenden Abwassers aus diesem Prozess aus ökologischer Sicht fragwürdig.

**Aufbereitung von natriumhaltigen Reaktionsprodukten:
Rückgewinnung einer Rohsole als Rohstoff für die Herstellung von Natriumcarbonat (Soda).**

Die **Aufbereitungsverfahren für natriumhaltige Reaktionsprodukte** werden in zwei großtechnischen Anlagen in Italien und Frankreich betrieben. Hierbei wird über verschiedene Verfahrensstufen eine gereinigte Rohsole zur Neuproduktion von Natriumcarbonat (Soda) unter Anfall eines Filterkuchens zurückgewonnen. Dies entspricht dem ökologischen Gedanken eines geschlossenen Stoffkreislaufs. Jedoch lässt die abgeschätzte Verdopplung des Behandlungs-/Entsorgungspreises gegenüber einer Verbringung von Abgasreinigungsabfällen unter Tage diese Verfahren bereits unter rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten unattraktiv erscheinen. Hinzu kommt, dass die vollständige Stabilisierung der entstehenden schadstoffhaltigen Filterkuchen sowie schadstoffbelasteten Abfälle aus der Rohsolereinigung infrage zu stellen ist. Aus den zuvor genannten Gründen können die betrachteten Aufbereitungsverfahren für natriumhaltige Reaktionsprodukte weder wirtschaftlich noch ökologisch überzeugen, zumal ihr Einsatz auf natriumhaltige Reaktionsprodukte beschränkt ist.

Gesamtbewertung von UTV und UTD im Vergleich zu anderen Entsorgungsverfahren



▲ Einlagerung von Fassware in der Untertagedeponie

Die Gesamtbewertung der Verbringung von Abgasreinigungsabfällen unter Tage im Vergleich zu den analysierten anderen Entsorgungswegen ist in Abbildung 3 auf der nächsten Seite dargestellt. Hierbei ist nach den im Folgenden genannten sechs Kriterien (BREF-Kriterien) bewertet worden, die sich an der Festlegung der besten verfügbaren Techniken, gemäß Anhang IV der IVU-Richtlinie, orientieren:

- ▶ vorhandene Referenzanlagen,
- ▶ spezifische Kosten der Entsorgungswege,
- ▶ Emissionsverhinderungspotenzial,
- ▶ Ressourcenschutz (Flächen- und Rohstoffeinsatz),
- ▶ Energieeinsatz und -effizienz sowie
- ▶ Langzeitsicherheit der Entsorgungswege.

Im Ergebnis erhält man hierdurch eine vergleichende Bewertung der Entsorgungsverfahren für Abgasreinigungsabfälle:

- ▶ untertägige Verbringung (UTV und UTD in Salzgestein),
- ▶ Verfestigung,
- ▶ Stabilisierung,
- ▶ Neutralisation,
- ▶ Schmelzverfahren,
- ▶ saure Flugaschenwäsche sowie
- ▶ Aufbereitung von natriumhaltigen Reaktionsprodukten.

Abbildung 3:
Bewertung der Verbringung unter Tage (UTV und UTD) im Vergleich zu anderen Entsorgungsverfahren

Verfahrensart/Entsorgungsweg	Referenzanlagen	Spezifische Kosten	Emissionsverhinderungspotenzial*	Ressourcenschutz (Flächen- und Rohstoffeinsatz)	Energieeinsatz und -effizienz	Langzeitsicherheit*	Gesamtbewertung im Hinblick auf BREF-Kriterien
Verbringung unter Tage**	++	0	++	+	+	++	++
Verfestigung	++	0 / -	0 / -	-	+	-	0 / -
Stabilisierung	-	+ / 0	0 / -	-	+	-	0 / -
Neutralisation	+	+	-	-	0	--	-
Schmelzverfahren	++	--	++	0	--	+	+ / 0
Saure Flugaschenwäsche	++	-	0 / -	0 / -	0 / -	0 / -	0 / -
Aufbereitung von natriumhaltigen Reaktionsprodukten aus d. Trockensorption	+	-	0 / -	0 / -	0	-	0 / -

* Einzelbewertung führt zur Gesamtabwertung bzw. -aufwertung

** Bewertung auf Grundlage des Gutachtens „Beste Verfügbare Techniken für den Versatz von Abfällen (Untertageverwertung) in Kali- und Salzbergwerken“

Legende/Erläuterungen:

++	mehr als drei Referenzanlagen	wesentlich günstiger als Verbringung unter Tage	sehr gute Verhinderung von Emissionen in Wasser, Boden, Luft	sehr gute Substitution von Rohstoffen sowie Schonung natürlicher Ressourcen	kein Einsatz von Fremdenergie notwendig	Langzeitsicherheit gegeben	besonders empfehlenswert
+	eine oder zwei Referenzanlagen	günstiger als Verbringung unter Tage	gute Verhinderung von Emissionen in Wasser, Boden, Luft	gute Substitution von Rohstoffen sowie Schonung natürlicher Ressourcen	effizienter Energieeinsatz gegeben	Langzeitsicherheit eingeschränkt	empfehlenswert
0		Verbringung unter Tage bzw. vergleichbar	Verhinderung von Emissionen in Wasser, Boden, Luft (ggf. Zusatzmaßnahmen notwendig)	Substitution von Rohstoffen sowie Schonung natürlicher Ressourcen möglich	neutral oder keine seriöse Bewertung möglich	Langzeitsicherheit hängt von nachträglicher Behandlung ab	neutral
-	keine bzw. keine gesicherte Referenzanlage	teurer als Verbringung unter Tage	Verhinderung von Emissionen in Wasser, Boden, Luft selbst durch Zusatzmaßnahmen schwierig	Rohstoffsubstitution/Schonung natürlicher Ressourcen nur mit Zusatzaufwand möglich	geringe Energieeffizienz/hoher Energieeinsatz notwendig	keine Gewähr für Langzeitsicherheit	eher nicht empfehlenswert
--		wesentlich teurer als Verbringung unter Tage	keine Verhinderung von Emissionen in Wasser, Boden, Luft	Substitution von Rohstoffen sowie Schonung natürlicher Ressourcen nicht möglich	sehr hoher Energieeinsatz notwendig	Langzeitsicherheit nicht gegeben	gar nicht empfehlenswert

Quelle: Prognos AG/RSP/Schulte

Die Bewertung der untertägigen Verbringung erfolgte in Anlehnung an das Gutachten von Versteyl, Langefeld „Beste Verfügbare Techniken für den Versatz von Abfällen (Untertageverwertung) in Kali- und Salzbergwerken“. Im Rahmen der Gesamtbewertung der sechs BREF-Kriterien kommt dem Emissionsverhinderungspotenzial sowie der Langzeitsicherheit eine hervorgehobene Präferenz zu, da die Entsorgungswege für Abgasreinigungsabfälle sich als geeignete Senke für die in den Rückständen enthaltenen Schadstoffe (Schwermetalle, organische Schadstoffe, u. a. Dioxine und Furane) und vor allem für die enthaltenen hohen Anteile an salzhaltigen, wasserlöslichen Bestandteilen darstellen müssen.

In der Gesamtbewertung schneidet die Verbringung der Abgasreinigungsabfälle unter Tage (UTV und UTD im Salzgestein) eindeutig am besten ab („++“ oder „besonders empfehlenswert“).

Die oxidierenden Schmelzverfahren kommen auf eine Gesamtbewertung im Bereich „empfehlenswert bis neutral“ („+/0“). Hier führen der sehr hohe benötigte Energieeinsatz sowie die sehr hohen Kosten zu einer deutlich schlechteren Bewertung im Vergleich zur Verbringung der Abgasreinigungsabfälle unter Tage. Die Langzeitsicherheit der mit oxidierenden Schmelzverfahren behandelten Abgasreinigungsabfälle ist bei oberirdischer Ablagerung mit „+“ ebenfalls leicht schlechter einzustufen als die Verbringung unter Tage.

Alle anderen Verfahren/Entsorgungswege kommen nicht über eine neutrale Bewertung („0“) bis „eher nicht empfehlenswert“ („-“) hinaus. Dies beruht auf einer deutlich schlechteren Bewertung der Langzeitsicherheit und auch des Emissionsverhinderungspotenzials im Vergleich zur Verbringung unter Tage und auch zu den oxidierenden Schmelzverfahren.

Somit ergibt sich als Gesamtfazit der Bewertung im Hinblick auf die sechs BREF-Kriterien, dass neben der Verbringung von Abgasreinigungsabfällen unter Tage in UTV-Bergwerken oder UTV-Kavernen sowie in UTD-Bergwerken kein anderes Verfahren bzw. kein anderer Entsorgungsweg als gleichwertig und damit genauso empfehlenswert anzusehen ist.

Die Bewertungen führen zu dem Ergebnis, dass keines der betrachteten Verfahren eine wirkliche Alternative zur derzeit üblichen Verbringung von Abgasreinigungsabfällen unter Tage darstellt.



▲ Abkippen von Versatzmaterial im Einbauhohlraum

Fazit



▲ **Untertägiger Transport von Big-Bags zum Einbauort**

Für Abgasreinigungsabfälle aus thermischen Anlagen (vor allem aus MVA, EBS-Kraftwerken, SAV und BM(H)KW – Altholz) ist als Fazit des Gutachtens zu empfehlen, diese ausschließlich einer Entsorgung unter Tage in UTV-Bergwerken oder UTV-Kavernen sowie in UTD-Bergwerken zuzuführen. Hierbei handelt es sich um die „Beste Verfügbare Technik“, um dem Gefahrenpotenzial dieser Abfälle hinreichend genug Rechnung tragen zu können. Eine Verbringung unter Tage bedeutet dabei keinen grundsätzlichen Ausschluss für Recycling, da sowohl vor der Einlagerung Aufbereitungsmöglichkeiten zur Wiederverwertung einzelner Stoffe (zum Beispiel Metalle) bestehen, als auch die eingelagerten Abfälle zum Zwecke einer Rückgewinnung von Inhaltsstoffen, je nach Einbauverfahren, prinzipiell rückholbar sind.

Auch die spezifischen Kosten für die Verfahren UTV und UTD sprechen im Vergleich zu den anderen Entsorgungswegen für die Abgasreinigungsabfälle und unter Berücksichtigung des hohen Nutzens (vor allem hohes Emissionsverhinderungspotenzial, Langzeitsicherheit gegeben) für die Verbringung dieser Abfälle unter Tage. Im Hinblick auf die langfristigen Veränderungen der technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sollte jedoch eine periodische Überprüfung der vorgelegten Einschätzungen vorgenommen werden.

Aufgrund dieser hervorzuhebenden Marktposition und der eindeutigen Festlegung auf die vorhandene „Beste Verfügbare Technik“ zur Entsorgung von Abgasreinigungsabfällen erscheint es auch nicht geboten, mittel- bis langfristig von einer Versatzpflicht als zwingende Voraussetzung zur Einbringung von Abgasreinigungsabfällen in UTV-Bergwerke und UTV-Kavernen auszugehen. Auch ohne eine Versatzpflicht als Voraussetzung für die Verwertung der Abgasreinigungsabfälle in UTV-Bergwerken und -Kavernen hat dieser Entsorgungsweg den eindeutig größten Nutzen, da er eine besonders langzeitsichere und mit dem höchsten Emissionsverhinderungspotenzial versehene Entsorgungsalternative für diese Abfälle darstellt.

Zudem bestehen im Vergleich zu den sonstigen Entsorgungswegen günstige Voraussetzungen der Verbringung von Abgasreinigungsabfällen unter Tage auch im Bereich des Ressourcen-/Flächen- und Energieeinsatzes, der Energieeffizienz und bei den, gemessen am hohen Nutzen der Verfahren, sehr akzeptablen Entsorgungskosten. Diese präferieren die Entsorgung von Abgasreinigungsabfällen in UTV-Bergwerken und UTV-Kavernen auch ohne dass eine Versatzpflicht für die entsprechenden Bergwerke oder Kavernen vorliegen müsste.

Hierdurch ließen sich zudem die nutzbaren Kapazitäten unter Tage zur Verbringung dieser Abfälle aus den thermischen Prozessen in UTV-Bergwerke und -Kavernen langfristig noch erhöhen. Europaweit sollten diese Hohlräume unter Tage für die künftige Ausgestaltung der Entsorgungskonzepte und Wertschöpfungsstrategien eingebunden werden. Die Entsorgungskonzepte sollten auf eine oberirdische Deponierung biologisch abbaubarer Abfälle und von wertvollen Rohstoffen verzichten, können daher aber nicht ohne thermische Prozesse, die salz- und schadstoffhaltige Abgasreinigungsabfälle erzeugen, auskommen.



▲ **Verschleudern von angefeuchtem Feinsalz zur Verfüllung von Resthohlräumen zwischen den Big-Bags mittels einer modifizierten Schneefräse**

Glossar

Rechtliche Rahmenbedingungen

EU-Abfallrahmenrichtlinie

Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, in Kraft getreten am 12. Dezember 2008

EU-Deponierichtlinie

Richtlinie 1999/31/EG vom 26.04.1999 über Abfalldemonien (EU-Deponierichtlinie), 1999

Deponieverordnung

Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I, Nr. 22, S. 900), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 17. Oktober 2011 (BGBl. I Nr. 52, S. 2066), in Kraft getreten am 1. Dezember 2011

IVU-Richtlinie

Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Januar 2008 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (enthält den Anhang IV mit sechs BREF-Kriterien)

Versatzverordnung

Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage – Versatzverordnung (VersatzV) vom 24.07.2002 mit letzter Änderung vom 15.07.2006

Bildnachweis

Titel: NDH Entsorgungsbetreibergesellschaft mbH

Titel und S. 17: GSES GmbH

Titel und S. 4: GSES GmbH

Titel und S. 20: K+S Entsorgung GmbH

Titel und S. 19: K+S Entsorgung GmbH

Titel und S. 9: K+S Entsorgung GmbH

Titel und S. 21: K+S Entsorgung GmbH

Titel und S. 13: K+S Entsorgung GmbH

Titel und S. 6: © BildPix.de – Fotolia.com

Titel: UEV Umwelt, Entsorgung und Verwertung GmbH

Titel und S. 14: K+S Entsorgung GmbH

S. 7: GSES GmbH

S. 10: www.abfallbild.de

S. 12: Wacker Chemie AG

IMPRESSUM

Herausgeber

Verband der Kali- und Salzindustrie e. V. (VKS)
Reinhardtstraße 18 A
10117 Berlin
Kontakt: info.berlin@vks-kalisalz.de
www.vks-kalisalz.de

Verband Bergbau, Geologie und Umwelt e. V. (VBGU)
Poststraße 30
10178 Berlin
Kontakt: info@vbgu.de
www.vbgu.de

Autoren

Prognos AG
Goethestraße 85
10623 Berlin
Holger Alwast
Dr. Bärbel Birnstengel
Kontakt: info@prognos.com
www.prognos.com

RSP Riemann, Sonnenschein & Partner GmbH
Dr. Klaus-Axel Riemann
Kontakt: info@rspgmbh.de
www.rspgmbh.de

Dipl.-Ing. Jochen Schulte
Kontakt: schulte@ibs-ilsede.de

© 2012

Alle Rechte vorbehalten

Layout, Satz und Gesamtherstellung: www.avitamin.de
1. Auflage