

Vergleichende Ökobilanz drei verschiedener Auftausalze: Steinsalz, Siedesalz und Meersalz

**Im Auftrag der
Südsalz GmbH, Heilbronn**

Freiburg, den 28. September 2009

Autorinnen:

Britta Stratmann
Dr. Dietlinde Quack

Bearbeitung bei der Südsalz GmbH:

Dr. Franz Götzfried

Kritische Prüfung:

Dipl. Geogr. Florian Knappe (ifeu Heidelberg),
Dr. Gero Morlock (Leiter Referat 45, Regierungs-
präsidium Freiburg),
Dipl. Masch. Ing. Eörs Kondorosy (Managing Director,
Evatherm AG, Mägenwil/Schweiz)

Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 50 02 40
79028 Freiburg. Deutschland

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg. Deutschland
Tel. +49 (0) 761 – 4 52 95-0
Fax +49 (0) 761 – 4 52 95-88

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt. Deutschland
Tel. +49 (0) 6151 – 81 91-0
Fax +49 (0) 6151 – 81 91-33

Büro Berlin

Novalisstraße 10
10115 Berlin. Deutschland
Tel. +49 (0) 30 – 28 04 86-80
Fax +49 (0) 30 – 28 04 86-88

Zur Entlastung der Umwelt ist dieses Dokument für den
beidseitigen Druck ausgelegt.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Hintergrund der Studie und Aufbau des Berichts	2
3	Methodik und verwendete Software	4
3.1	Ziele und Anwendungen der Studie	6
3.2	Festlegung des Untersuchungsrahmens	7
3.2.1	Beschreibung der untersuchten Produktalternativen	7
3.2.1.1	Auftausalz aus Steinsalz	7
3.2.1.2	Auftausalz aus Siedesalz	8
3.2.1.3	Auftausalz aus Meersalz	10
3.2.2	Funktion und funktionelle Einheit	11
3.2.3	Festlegung der Systemgrenzen	13
3.2.4	Datenerhebung und Anforderungen an die Datenqualität	14
3.2.5	Angewandte Allokationsregeln	15
3.2.6	Berücksichtigte Wirkungskategorien	16
3.2.7	Kritische Prüfung	18
3.2.8	Nicht intendierte Anwendungen	18
4	Datengrundlage und Systembeschreibung	19
4.1	Datengrundlage	19
4.1.1	Allgemeine Daten	19
4.2	Modellierung der Produktsysteme	20
4.2.1	Alternative 1: Auftausalz aus Steinsalz	20
4.2.2	Alternative 2: Auftausalz aus Siedesalz	23
4.2.2.1	2a: Mehrfacheffektverfahren	23
4.2.2.2	2b: Thermokompressionsverfahren	25
4.2.3	Alternative 3: Auftausalz aus Meersalz	28
5	Wirkungsabschätzung und Ergebnisdarstellung	32
5.1	Gesamtergebnisse	32
5.2	Beitragsanalysen	34
5.3	Sensitivitätsanalysen	42
5.3.1	Steinsalz: Szenario „Teufe Borth“	42
5.3.2	Meersalz: Szenarien „Bitterns-Verdünnung“	43
5.3.3	Siedesalz: Szenarien „Solution-Mining“	44
5.3.4	Szenarien „Strommix Europa“	45

5.3.5	Transporte	46
5.3.5.1	Transporte: Szenario „Transport über 500 km“	49
5.3.5.2	Transporte: Szenario „Transport nach Bozen“	53
5.3.5.3	Transporte: Szenario „Transport nach Rotterdam“	55
5.3.5.4	Transporte: Szenario „Transport Niederlande“	56
6	Auswertung und Diskussion	57
7	Literatur	59
8	Externes kritisches Gutachten	61
8.1	Herangezogene Normen und Prüfkriterien	61
8.2	Ablauf des kritischen Gutachtens	61
8.3	Ergebnis der kritischen Prüfung	62
8.3.1	Allgemeiner Eindruck	62
8.3.2	Übereinstimmung mit der Norm	62
8.3.3	Wissenschaftliche Begründung der Methodik und Stand der Ökobilanztechnik	63
8.3.4	Validität und Zweckmäßigkeit der Daten	64
8.3.5	Berücksichtigung des Ziels der Studie und der Einschränkungen bei der Auswertung	65
8.3.6	Transparenz und Stimmigkeit des Berichts	65
8.4	Fazit	66
9	Anhang	67
9.1	Primäre Rohdaten <i>Steinsalz</i>	67
9.2	Primäre Rohdaten <i>Siedesalz – Mehrfacheffekt</i>	67
9.3	Primäre Rohdaten <i>Siedesalz – Thermokompression</i>	68
9.4	Primäre Rohdaten <i>Meersalz</i>	70

1 Zusammenfassung

Die hier vorliegende Studie wurde im Auftrag der Südsalz GmbH durchgeführt. In der Studie wurden auf der methodischen Grundlage einer Ökobilanz relevante Auftausalze für den Winterdienst und deren verschiedene Herstellungsverfahren gegenübergestellt:

- Auftausalz aus Steinsalz (bergmännische Gewinnung),
- Auftausalz aus Siedesalz (Mehrfacheffekt- und Thermokompressionsverfahren) und
- Auftausalz aus Meersalz (solare Gewinnung).

Als funktionelle Einheit (Bezugsgröße der Bilanzierung und des Vergleichs) wurde jeweils die Bereitstellung von 1 Tonne Auftausalz beim Hersteller zugrunde gelegt. Der in der vorliegenden Studie berücksichtigte Teil des Lebenswegs des Auftausalzes verläuft von der Rohstoffgewinnung bis zur Lagerung beim Hersteller (Cradle-to-Gate). Die Anlieferung zum Kunden wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse berücksichtigt, der Winterdienst selbst wurde ausgeschlossen. Ebenfalls explizit ausgenommen wurden Antibackmittel (Natriumferrocyanid), technische Hilfsstoffe für die Siedesalz-Herstellung (Flockmittel, Entschäumer, Krustenverhinderer) sowie Magnesiumchlorid und Calciumchlorid als Staubbinder für Steinsalz.

Die durchgeführten Bilanzierungen basieren sowohl auf allgemeinen Daten (etwa für die Energiebereitstellung und Transportprozesse sowie Herstellung wichtiger Vorprodukte wie beispielsweise Ammoniumnitrat für die Sprengstoffherstellung) als auch auf spezifischen Daten. Zur Durchführung dieser Studie konnten differenzierte und für das Jahr 2007 / 2008 repräsentative spezifische Daten seitens der Südsalz GmbH zur Verfügung gestellt werden. Die Qualität der zugrunde gelegten Daten wurde insgesamt als angemessen im Hinblick auf die Fragestellung und Zielsetzungen der Studie angesehen.

Die in dieser Studie durchgeführten Bilanzierungen haben gezeigt, dass Meersalz – im Vergleich der verschiedenen Herstellungs-Alternativen in Bezug auf die Alternative Steinsalz – die geringsten Umweltauswirkungen hat. Sie liegen im Vergleich zu Steinsalz bei 35% für den Primärenergieverbrauch und 7% für das Eutrophierungspotential. Die beiden Alternativen der Siedesalz-Herstellung liegen in ihren Ergebnissen bei allen Wirkungskategorien deutlich über dem Steinsalz. Besonders bei den Wirkungskategorien Primärenergieverbrauch, Treibhauspotential und Ozonbildungspotential.

Wie die durchgeführten Beitragsanalysen zeigen, sind die Umweltauswirkungen durch ihren hohen Energieverbrauch während des Eindampfungsprozesses dominiert und unterscheiden sich lediglich in der Art ihres Energieverbrauchs: bei der Thermokompression dominiert innerhalb der Wirkungskategorie Primärenergieverbrauch der Anteil elektrischer Energie, beim Mehrfacheffektverfahren ist es der thermische Energieverbrauch, der mit 90,6% das Gesamtergebnis dominiert. Der elektrische Energieverbrauch innerhalb des Thermo-

kompressionsverfahrens liegt bei fast 90% des Gesamtergebnisses. Die Ergebnisse für die Beitragsanalyse des Treibhauspotentials sind im Verhältnis identisch.

Im Rahmen einer Sensitivitätsrechnung wurde unter anderem der Einfluss der Transporte zum Kunden untersucht. Hierzu wurden verschiedene Transportarten und Distanzen im Hinblick auf die betrachteten Auftausalz-Alternativen analysiert. Die Wahl des Transportmittels schlägt sich vor allem bei den Alternativen Steinsalz und Meersalz nieder, da durch ihre niedrigen Umweltauswirkungen während der Herstellung der Anteil, der durch den Transport verursacht wird, relativ hoch ist. Die Ergebnisse zeigen auch, dass Auftausalz aus Steinsalz bei bestimmten Transportbeispielen die wenigsten Emissionen verursacht.

2 Hintergrund der Studie und Aufbau des Berichts

Die Südsalz GmbH ist der größte deutsche Salzhersteller. Das Produktportfolio von Südsalz deckt sämtliche Anwendungsbereiche für Salz durch ein Sortiment an Stein- und Siedesalzen ab. Den Rohstoff für diese von Südsalz produzierten Salze bilden vor allem die natürlichen Solevorkommen aus dem Bad Reichenhaller Becken, Sole aus dem Salzbergwerk Berchtesgaden und Steinsalz aus dem Bergwerk Heilbronn.

Je nach Verwendungszweck wird Salz unterschieden in Speisesalz, Gewerbesalz, Auftausalz und Industriesalz. Eine weitere Unterscheidung erfolgt über die Herkunft bzw. Herstellung des Rohstoffes Salz in Steinsalz, Siedesalz und Meersalz. So wird Steinsalz unter Tage bergmännisch abgebaut, Siedesalz wird durch Verdampfen einer meist untertage hergestellten oder aus einer natürlichen Quelle stammenden Sole gewonnen. Die Meersalzherstellung erfolgt über mehrere Stufen in Meerwasserverdampfungsbecken durch Sonneneinstrahlung und die daraus resultierende Kristallisation des Salzes. Diese drei verschiedenen Salz-Typen werden je nach Verwendungszweck eingesetzt. Speisesalz z.B. wird aus allen drei Typen hergestellt. Die Chemische Industrie verwendet als Ausgangsmaterial in der Chloralkali-Elektrolyse alle drei Festsalzvarianten (Siedesalz, Steinsalz, Meersalz) und Sole. Für die synthetische Sodaherstellung dient ausschließlich Sole als Ausgangsmaterial (vgl. hierzu auch Tabelle 1).

Tabelle 1 Übersicht über die verschiedenen Anwendungsbereiche von Salz und deren Verbrauch in Deutschland im Jahre 2002. Der Anteil des Speisesalzverbrauchs liegt bei 3% im Jahr 2002 und entspricht rund $0,4 \cdot 10^6$ t. Der Gesamtverbrauch des Auftausalz lag demnach bei ca. 1,86 106 t (Winnacker & Küchler 2005).

Anwendungsbereich	Verwendungszweck	Rohstoff	Anteil am Gesamtverbrauch in Deutschland (im Jahr 2002)
Speisesalz	Menschliche Ernährung	Steinsalz, Siedesalz, Meersalz	3%
Gewerbesalz	Verschiedene Anwendungen wie z.B. Wasserenthärtung, Färberei, Lederverarbeitung, Tierernährung, Fischkonservierung, usw.	hier hohe Reinheit wichtig: daher vorwiegend Siedesalz; für Tierernährung und Fischkonservierung auch Steinsalz und Meersalz	4%
Auftausalz	Winterdienst	Hauptmenge: Steinsalz	14%
Industriesalz	Für industrielle Stoffumwandlungen (z.B. Sodaproduktion, Chlor-Alkali-Elektrolyse)	Bohrlochsole (Sodaproduktion); Steinsalz, Siedesalz, Sole (Chlor-Alkali-Elektrolyse)	79%

Der Focus dieser Studie liegt auf den für den Winterdienst relevanten Auftausalzen und deren verschiedene Herstellungsverfahren. Auftausalze werden im Winterdienst eingesetzt und gewährleisten dort durch ihre auftauende Wirkung die Verkehrssicherheit der Strassen. Sie können sowohl aus Steinsalz als auch Siede- und Meersalz bestehen. Entsprechend der unterschiedlichen Herstellungsverfahren für die drei Salztypen sind mit ihnen unterschiedlich hohe Umweltauswirkungen verbunden. Beispielsweise wird für die Herstellung von Siedesalz ein etwa um das 10fach höherer Energieeinsatz benötigt als für Steinsalz. Hinzukommen unterschiedliche Transportwege und ggf. unterschiedliche Transportmittel zum Einsatzort.

Auftausalze bilden mit ca. 40% im langjährigen Jahresdurchschnitt den zweitgrößten Produktanteil von Südsalz. Sowohl in der Kommunikation der Anbieter von Auftausalzen als auch in der Nachfrage der Kunden, vor allem der öffentlichen Hand, spielen Umweltaspekte der Herstellungs- und Transportprozesse eine zunehmende Rolle. Dies äußert sich beispielsweise in der Forderung, mit der Angebotsabgabe Angaben zu den mit Produktion und Antransport verbundenen CO₂-Emissionen zu machen. Ein systematisches Herangehen an diese Fragen, beispielsweise in Form einer vergleichenden Ökobilanz, fehlte aber bislang. Dies führt in der Konsequenz zu bruchstückhaften Informationen, die einen ganzheitlichen Blick auf die Umweltauswirkungen des Lebensweges von Auftausalz „Cradle to Gate“ vermissen lassen.

Im Rahmen der vorliegenden Ökobilanz sollte daher untersucht werden, welche potentiellen Umweltauswirkungen mit den drei Varianten für Auftausalze: Steinsalz, Siedesalz und Meersalz entlang ihres Lebensweges verbunden sind und wo die Optimierungspotenziale

liegen. Dabei wurden abgesehen vom Treibhauspotential auch weitere Umweltindikatoren wie Primärenergiebedarf, Versauerungspotenzial etc. einbezogen.

Die Untersuchung erfolgte auf Basis der Ökobilanz-Methodik (gemäß DIN EN ISO 14040 / 14044). Da eine Veröffentlichung der Ergebnisse von Anfang an angestrebt war, wurde die Studie durch ein externes kritisches Gutachten eines Teams von drei Experten begleitet. Es handelte sich dabei um Dipl. Geogr. Florian Knappe (ifeu Heidelberg), Dr. Gero Morlock (Leiter des Referats 45 „Straßenbetrieb und Verkehrstechnik“ im Regierungspräsidium Freiburg) und Eörs Kondorosy (Managing Director der Firma Evatherm AG, Mägenwil, Schweiz).

Der Bericht setzt sich folgendermaßen zusammen:

In Kapitel 3 werden die Zielsetzung und der Untersuchungsrahmen der Studie erläutert. Hierzu wird die Herstellung der drei Typen von Auftausalzen beschrieben, die funktionelle Einheit festgelegt sowie u.a. Angaben zu Datenerhebung und Datenqualität gemacht. In Kapitel 4 wird detailliert auf die konkreten der Studie zugrunde liegenden Annahmen und die Datengrundlage eingegangen. Die Ergebnisse der Studie sind in Kapitel 5 dargestellt. Neben einer Darstellung der Gesamtergebnisse erfolgen hier auch Sensitivitätsanalysen, insbesondere zum Effekt des Transportes zum Kunden.

Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen finden sich in Kapitel 6. Kapitel 7 beinhaltet das Literaturverzeichnis. Es folgt das externe kritische Gutachten in Kapitel 8. Weitere Details der Sachbilanz und zur Modellierung sind im Anhang aufgeführt

3 Methodik und verwendete Software

Die Studie wurde gemäß der Ökobilanz-Methodik durchgeführt, die durch die DIN EN ISO 14040:2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen sowie DIN EN ISO 14044:2006-10 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen standardisiert ist. In einer Ökobilanz werden möglichst umfassend der gesamte Produktlebensweg und die zugehörigen ökologischen Auswirkungen erfasst und die während des Lebenswegs auftretenden Stoff- und Energieumsätze und die daraus resultierenden potentiellen Umweltbelastungen quantifiziert. Bei der Ökobilanz handelt es sich um eine systematische, lebenswegübergreifende Methode, mit der die umweltseitigen Auswirkungen von Produkten und Prozessen in vier Teilschritten erfasst und analysiert werden (siehe auch Abbildung 1):

1. Zieldefinition

Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens

2. Sachbilanz

Zusammenstellung umweltrelevanter Inputs und Outputs

3. Wirkungsabschätzung

Abschätzung der potentiellen Umweltauswirkungen und Gewichtung der verschiedenen Wirkungskriterien gegeneinander (nur in besonderen Fällen).

4. Auswertung

Zusammenfassung der Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend der Zieldefinition.

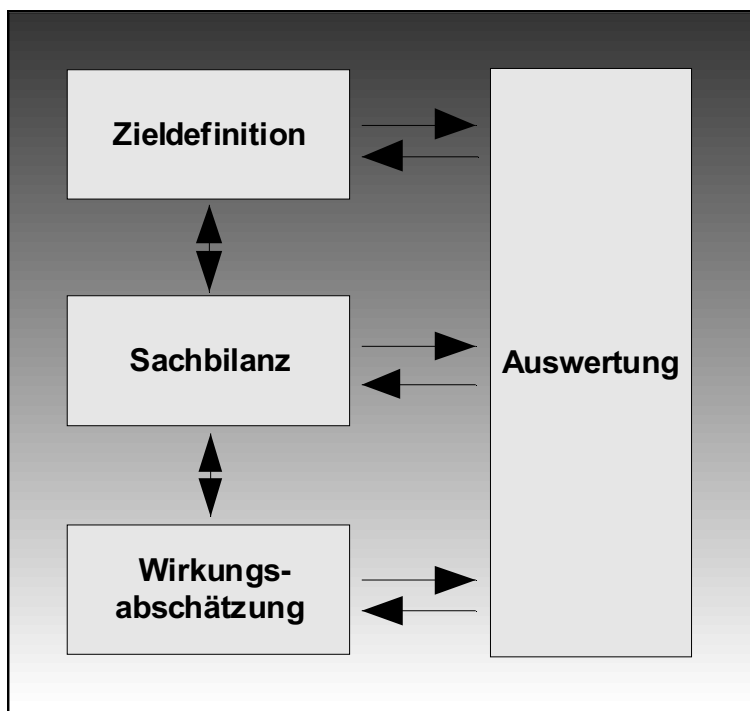


Abbildung 1 Die vier Teilschritte einer Ökobilanz. Doppelpfeile stehen für ein iteratives Vorgehen

Dabei werden die Umweltauswirkungen der zu untersuchenden Produkte von der Rohstoffgewinnung über Transport, Herstellung und Nutzung bis hin zur Entsorgung erfasst und ausgewertet.

Zur Erstellung der Ökobilanz wurde das Softwaretool Umberto 5.5 verwendet, einer auf dem Konzept der Stoffstromnetze basierenden Software. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein beispielhaftes Stoffstromnetz in Umberto:

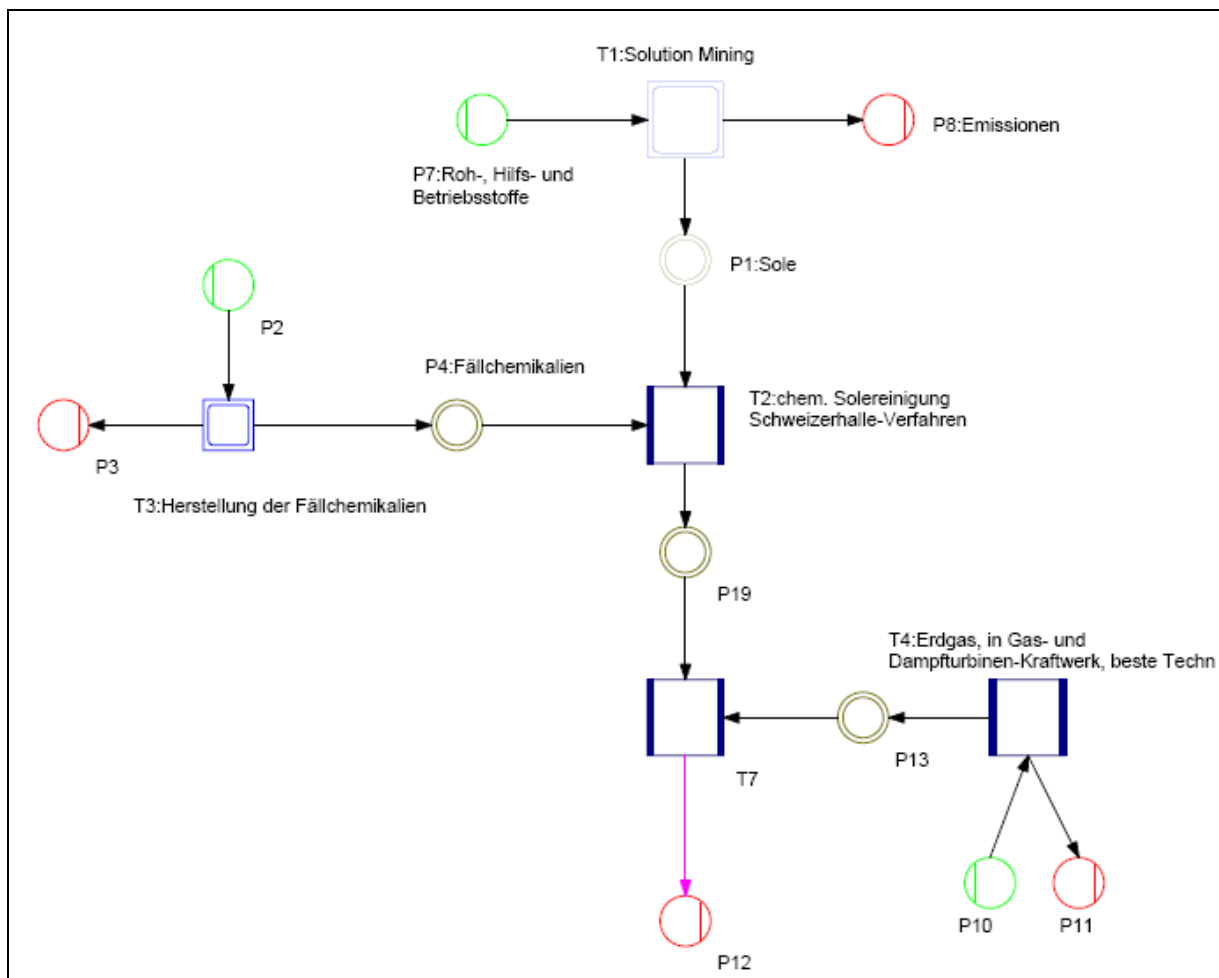


Abbildung 2 Beispielhaftes Stoffstromnetz aus Umberto 5.5

Alle innerhalb des Untersuchungsrahmens und der Systemgrenzen befindlichen Input- und Outputströme wurden in Umberto modelliert. Auf dieser Basis wurden dann eine Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung erstellt.

3.1 Ziele und Anwendungen der Studie

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurden folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Das zentrale Untersuchungsziel der hier angebotenen Studie bestand darin, die potenziellen Umweltauswirkungen der drei Varianten für Auftausalze Steinsalz, Siedesalz und Meersalz zu ermitteln, auf der methodischen Grundlage einer normkonformen Ökobilanz.

- Die Ökobilanz sollte so durchgeführt werden, dass Unterschiede zwischen den untersuchten Auftausalz-Typen differenziert dargestellt und entsprechende Optimierungspotenziale ausgewiesen werden können.
- Anhand der ermittelten Daten sollten außerdem drei anschauliche Beispiele für typische Beschaffungssituationen von Auftausalzen ausgearbeitet werden (vgl. Kapitel 5.3).

Entsprechend der genannten Ziele gibt es zwei Hauptanwendungen der angebotenen Ökobilanz: Zum einen liegt sie intern in der strategischen Ausrichtung und der Optimierung von Produktions- und Logistikprozessen und Produkt. Zum anderen liegt sie aber auch in der externen Kommunikation der Ergebnisse an Kunden und den Wettbewerb.

3.2 Festlegung des Untersuchungsrahmens

3.2.1 Beschreibung der untersuchten Produktalternativen

In der vorliegenden Studie werden die drei nach ihrem Herstellungsverfahren unterschiedlichen Typen von Auftausalzen für den Einsatz im Winterdienst untersucht:

- Auftausalz aus Steinsalz,
- Auftausalz aus Siedesalz (Mehrfacheffekt- und Thermokompressionsverfahren) und
- Auftausalz aus Meersalz.

Die drei Auftausalztypen lassen sich folgendermaßen beschreiben:

3.2.1.1 Auftausalz aus Steinsalz

Die Gewinnung von Auftausalz aus Steinsalz erfolgt unter Tage durch bergmännischen Abbau, indem das Steinsalz entweder mit Maschinen geschnitten (schneidende Gewinnung) oder mit Sprengstoff aus dem Gestein herausgetrennt wird (sprengende Gewinnung). Anschließend werden die Salzbrocken per LKW und Förderbänder zu Brech- und Siebanlagen transportiert, in denen sie in mehreren Schritten zerkleinert und gesiebt werden (Klassierung). Danach erfolgt die sogenannte Konditionierung, die Zugabe von Antibackmitteln. Antibackmittel gewährleisten die Rieselfähigkeit des Salzes (vgl. Tabelle 4). Nach einer Zwischenlagerung unter Tage wird das Steinsalz dann bei Bedarf per Transportband weiter zum Schacht transportiert, durch den es anschließend per Skipanlage über Tage gebracht wird. Über Tage wird das Salz je nach Bedarf ein weiteres Mal gesiebt – unter anderem zur Kontrolle, um Überkorn zu entfernen oder aber auch um spezielle Körnungen zu erhalten. Anschließend wird das Auftausalz als lose Ware in Silos und Hallen gelagert, bis es zum Kunden transportiert wird. Abbildung 3 gibt einen schematischen Überblick über die Produktionskette der Auftausalzherstellung aus Steinsalz.

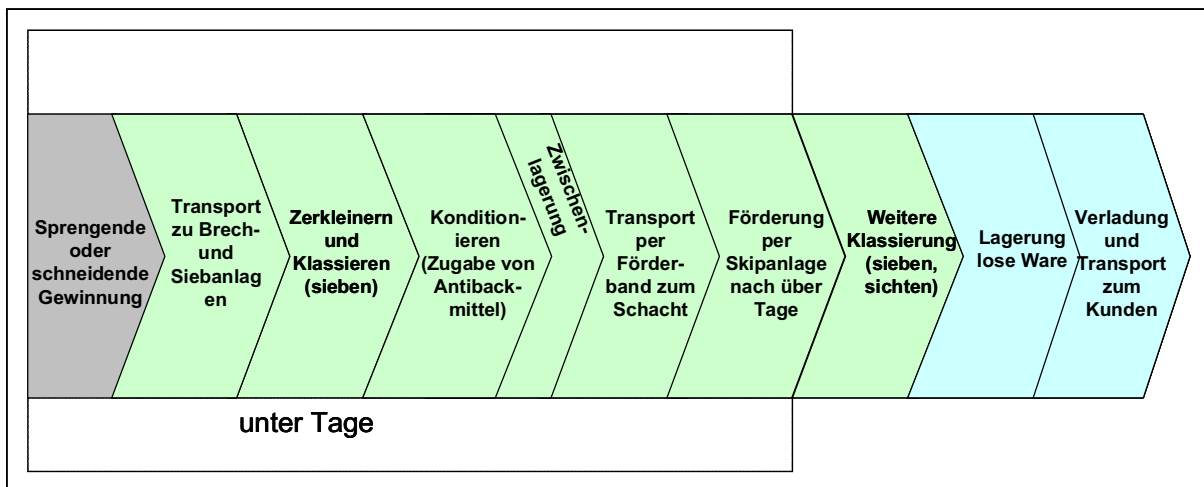


Abbildung 3 Produktionskette für die Herstellung von Auftausalz aus Steinsalz

3.2.1.2 Auftausalz aus Siedesalz

Zur Gewinnung von Auftausalz aus Siedesalz gibt es zwei gängige Verfahren: die **Mehrfacheffekt-Verdampfung** und das **Thermokompressions-Verfahren**. Abbildung 4 und Abbildung 5 geben jeweils einen Überblick über die Produktionskette dieser beiden Verfahren.

Mehrfacheffekt-Verfahren

Beiden Verfahren geht die Solegewinnung voraus. Die innerhalb des Untersuchungsrahmens dieser Studie betrachteten Herstellungsverfahren für Siedesalz umfassen für das Mehrfacheffektverfahren Solegewinnung mittels Solution Mining. Hierzu werden die Salzschichten unter Tage in sogenannten Bohrfeldern angebohrt und das in der Salzlagerstätte enthaltene Salz durch Zufuhr von Wasser gelöst. Hierdurch entstehen unter Tage Kavemen, mit einem maximalen Durchmesser von 80 m und einer Höhe von 40 m, in denen sich mit der Zeit Roh-Sole bildet, die anschließend über Tage gepumpt wird. Die Roh-Sole der Bohrfelder wird in Tanks gesammelt, bevor sie in die Reaktortanks der Soleenthärtungsanlage gepumpt wird. Hier wird die Sole mit Hilfe des sogenannten zweistufigen Schweizerhalle-Verfahrens chemisch gereinigt, da in der gesättigten Rohsole neben reinem Kochsalz auch Kalzium- und Magnesiumsalze gelöst sind. Diese Nebensalze werden in zwei Phasen ausgefällt, d.h. die Rohsole dadurch enthärtet.

1. Phase: Unter Zugabe von Calciumhydroxid Ca(OH)_2 (Löschkalk) werden Magnesiumhydroxid Mg(OH)_2 und Kalziumsulfat CaSO_4 gefällt.

2. Phase: Mittels Zugabe von Natriumcarbonat Na_2CO_3 (Soda) und CO_2 wird Calciumcarbonat CaCO_3 gefällt.

Der hierbei hauptsächlich als Gips anfallende Rückstand (Mineralschlamm) wird in stillgelegte Kavernen gepumpt.

Im anschließenden Kristallisationsprozess wird Wasser aus der gereinigten Sole in mehreren hintereinander geschalteten Vakuumkristallisatoren verdampft. Durch den Wasserentzug kristallisiert Salz aus, welches als Salzbrei aus den einzelnen Kristallisatoren entnommen wird. Darauf folgend wird der Salzbrei mittels Schubzentrifugen mechanisch entwässert. Das Ergebnis ist Auftausalz mit einer Restfeuchte von 2-3%, das noch mit Antibackmittel konditioniert wird. Das fertige Auftausalz wird nun in Lagerhallen gelagert, bis es bei Bedarf zum Kunden transportiert wird.

Thermokompressions-Verfahren

Die Solegewinnung für das Thermokompressions-Verfahren kann entweder auch über Solution Mining, auch Bohrlochsondenverfahren (Österreich) genannt, erfolgen oder über Bohrspülwerke¹ (Berchtesgaden) oder durch Förderung von Natursole (Bad Reichenhall). Im Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie wurden nur die Bohrspülwerke und die Förderung von Natursole als Solegewinnungsverfahren für Thermokompression untersucht, da nur diese beiden Verfahren innerhalb des betrachteten geographischen Rahmens von Bedeutung sind. Die Roh-Sole wird anschließend ebenfalls mit Hilfe des sogenannten zweistufigen Schweizerhalle-Verfahrens chemisch gereinigt. Danach erfolgt die Eindampfung der Sole mittels Thermokompression, die sich im Unterschied zum Mehrfacheffekt-Verfahren einerseits durch einen geringeren Dampfverbrauch pro Tonne Salz und andererseits durch einen höheren Stromverbrauch, auszeichnet. Dieser wird zum Antrieb des sogenannten Brüdenverdichters benötigt, in dem der aus der siedenden Sole entweichende Brüden Dampf auf ein höheres Druckniveau komprimiert wird und dem System als Heizdampf wieder zugeführt wird. Hierdurch entsteht wiederum -ähnlich wie beim Mehrfacheffekt-Verfahren - Salzbrei, der ebenfalls durch Schubzentrifugen mechanisch entwässert wird. Anschließend wird das Salz für die Verwendung als Auftausalz im Durchschnitt zu 50% thermisch getrocknet, mit Antibackmittel konditioniert und gelagert, bis es zum Kunden transportiert wird.

¹ Die Gewinnung in Bohrspülwerken ist aufwendiger als bei einem Bohrlochsondenfeld, das von über Tage aus angelegt wird (z.B. Niederlande und teilweise in Österreich). Die Bohrspülwerke setzen ein Bergwerk mit Schächten und Stollen voraus. Die Bohrspülwerke werden in den Stollen durch Aussolung von Kavernen ("Bohrspülwerken") nach unten erstellt. Die Bohrspülwerke werden befahren, z.B. zur Vermessung. Bohrlochsonden können auch innerhalb von Bergwerken angelegt werden (teilweise in Österreich). Der Stromaufwand für die Solegewinnung wird zusätzlich beeinflusst durch die Pumparbeit zur Überwindung der Entfernung vom Ort der Solegewinnung zur Solereinigung in der Saline.

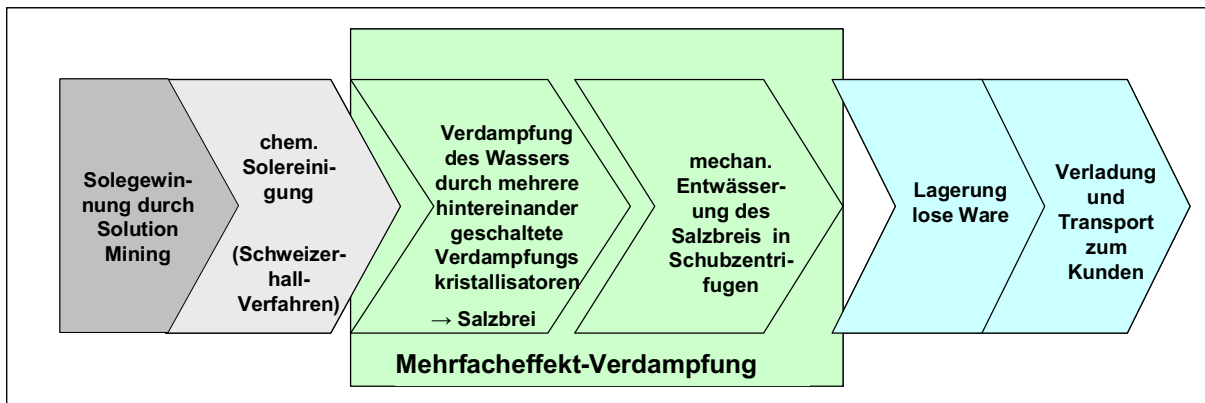


Abbildung 4 Produktionskette für die Herstellung von Auftausalz aus Siedesalz mittels Mehrfacheffekt-Verdampfung

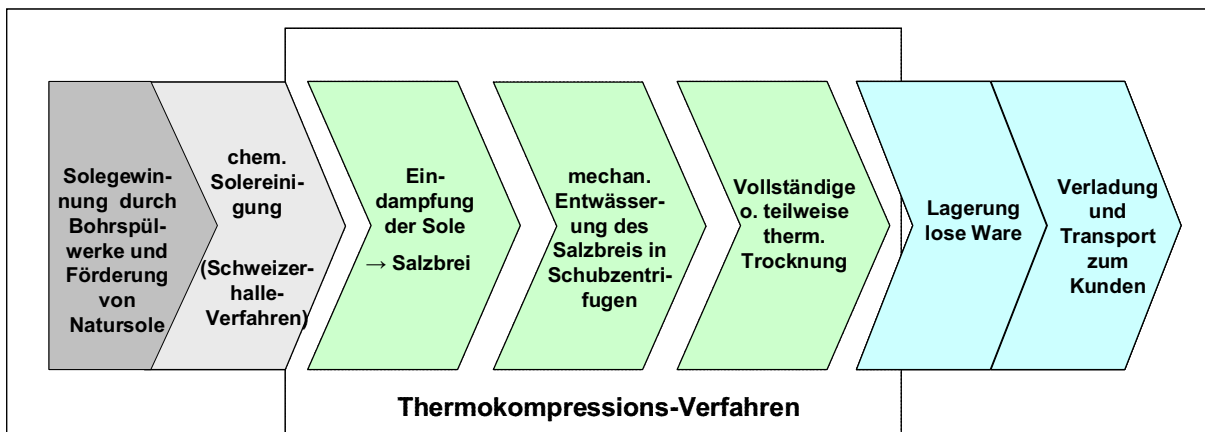


Abbildung 5 Produktionskette für die Herstellung von Auftausalz aus Siedesalz mittels Thermokompression

3.2.1.3 Auftausalz aus Meersalz

Die Salzgewinnung aus Meerwasser erfolgt in drei Prozessschritten bzw. Konzentrationsstufen mit jeweils mehreren Verdampfungsstufen. Die für die Verdampfung erforderliche Energie wird über die Sonne bereitgestellt. Die von Stufe zu Stufe höher konzentrierte Sole wird hierzu in verschiedene Becken gepumpt. Zuerst wird das Meerwasser zur Vorkonzentration in Verdampfungsbecken gepumpt, anschließend wird das Calciumsulfat in weiteren Becken ausgefällt (2. Konzentrationsstufe). In der dritten Konzentrationsstufe wird die Salzlösung dann gesättigt, um anschließend in Kristallisierbecken auszukristallisieren und mit spezifischen Erntemaschinen geerntet zu werden. Auf Grund der prozessbedingten Verunreinigungen folgen ein Waschvorgang und eine abschließende Trocknung des Salzes. Für die Verwendung von Meersalz als Auftausalz wird jedoch normalerweise kein gewaschenes Meersalz verwendet. Dieser Vorgang ist nur für Salz relevant, das für höherwertige Zwecke

(z.B. als Speisesalz) verwendet wird. Die letzten beiden Produktionsschritte wurden in der zugrundeliegenden Studie daher nicht berücksichtigt. Das Salz wird anschließend unter freiem Himmel gelagert, wo es weiter entwässert und trocknet, bevor es zum Kunden transportiert wird.

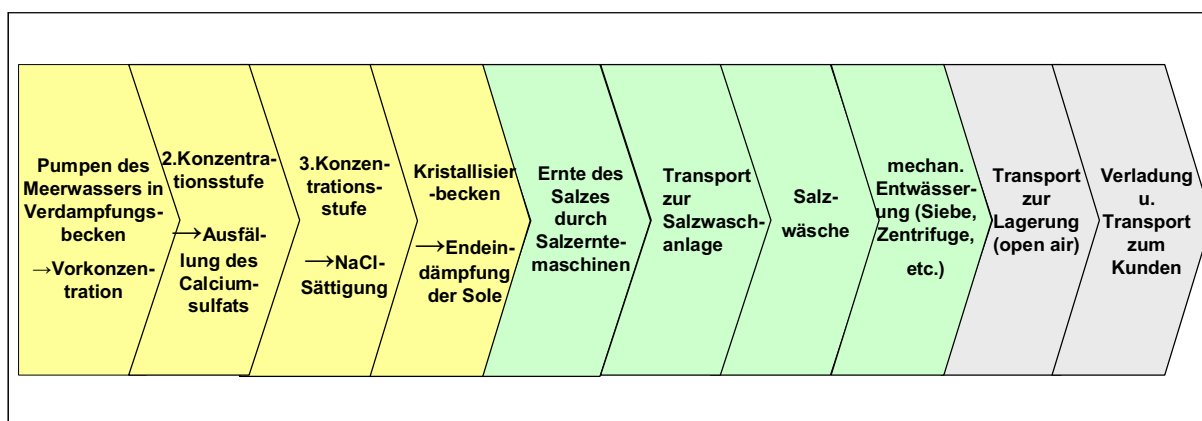


Abbildung 6 Produktionskette für die Herstellung von Auftausalz aus Meersalz. Die Salzwäsche und anschließende Entwässerung per Zentrifuge werden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt, da 90% des Auftausalzes aus Meersalz nicht gewaschen werden.

3.2.2 Funktion und funktionelle Einheit

Die in den drei unterschiedlichen Herstellungsverfahren gewonnenen Auftausalze üben grundsätzlich die gleiche Funktion aus. Sie werden im Winterdienst eingesetzt und gewährleisten durch ihre auftauende Wirkung bei Reif-, Eis- und/oder Schneeglätte die Verkehrssicherheit und Befahrbarkeit der Strassen.

Für die Funktionalität von Auftausalzen sind verschiedene Faktoren bedeutend. Unter anderem sind die Korngrößenverteilung und die Streutechnik² von großem Einfluss. Feinkörnige Anteile (bis ca. 1 mm) gehen wesentlich schneller in Lösung, was z.B. besonders beim vorbeugenden Streueinsatz von Vorteil ist.

Die für die Beschaffung von Auftausalz wichtigen Faktoren werden durch die sogenannte TL-Streu (Technische Lieferbedingungen für Streustoffe des Straßenwinterdienstes. Ausgabe 2003) geregelt. Die TL-Streu stellt eine mögliche Vertragsunterlage für die Beschaffung von Streustoffen dar, die Anforderungen an den Anteil der tauwirksamen Substanz (berechnet als NaCl), die Feuchte, die Körnung, den Gehalt an Antibackmitteln (max. 200 mg/kg) etc.

² i.d.R. wird im Winterdienst auf den Strassen die sogenannte „Feuchtsalztechnik“ eingesetzt. Durch diese Technik kann der Salzeinsatz auf 20-10 g/qm minimiert werden und die Auftausalze weisen eine schnellere Tauwirkung auf. Die zugehörigen Feuchtsalzstreugeräte sind Fahrzeuge, die mit einem Behälter für Auftausalz und einem Tank für eine zum Anfeuchten des Trockensalzes erforderliche Salzlösung, die über eine Pumpe dosiert dem Auftausalz zugeführt wird, ausgestattet sind.

vorgibt. Nach der TL Streu darf Natriumchlorid z.B. nicht mehr als 5% Feinanteile unter 0,16 mm und keine Anteile über 5 mm enthalten. Auftausalz aus Steinsalz wird im Körnungsbereich 0-5 mm geliefert. Siedesalz hat eine Körnung von 0-0,8 mm und Meersalz max. 5 mm.

Ein weiterer bedeutender Faktor ist das Schüttgewicht des Salzes. Der Streustoffdurchsatz je Zeiteinheit im Streuer eines Ausbringungsfahrzeugs ist stark vom Schüttgewicht des Salzes abhängig. Die Streuer müssen daher je nach Auftausalztyp unterschiedlich justiert werden. Vereinfachend wird im Winterdienst mit einem durchschnittlichen Schüttgewicht von 1,2 kg/ Liter gerechnet, real weisen die unterschiedlichen Auftausalze jedoch unterschiedlich hohe Schüttgewichte auf, was sich theoretisch in einer unterschiedlich langen Streustrecke auswirken kann (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 3).

Tabelle 2 Übersicht über die einzelnen Faktoren der Auftausalztypen, die ihre Anwendung beeinflussen können. * = eigene Messung der Südsalz GmbH. (Quelle: Hüttl 2006)

Auftausalz	Körnung	Feuchte (%)	Schüttgewicht (kg/Liter)
Siedesalz	0-0,8 mm	0,5	1,05
	0-0,8 mm	2,3	0,95*
Steinsalz	0-2 mm	0,2	1,17
	0-5 mm	0,2	1,14
Meersalz	0-5 mm	4,0	1,2-1,3

Siedesalz als Auftausalz wird in den Niederlanden zentrifugenfeucht (mit 2-3% Feuchte) verkauft. In Österreich, der Schweiz und in Bayern wird Siedesalz teilgetrocknet verkauft, Restfeuchte: 0,5 bis 1,5%.

Tabelle 3 Übersicht über die möglichen Unterschiede in der Ausbringung der verschiedenen Auftausalztypen. Annahmen: Ausbringung von 20 g pro m² (Quelle: Winterdienst 2003), Beladung eines typischen Streufahrzeugs von 6 m³, max. Breite der Streufläche 12 m

Auftausalz	Schüttgewicht (kg/Liter)	Beladung bei 6 m ³ in kg	Max. zu streuende Fläche in km ²	Max. zu streuende Strecke in km (Streubreite 12 m)
Siedesalz	1,05	6300	0,32	26
Steinsalz	1,17	7020	0,35	29
	1,14	6840	0,34	28,5
Meersalz	1,2	7200	0,36	30

Tabelle 3 zeigt die aus den unterschiedlichen Schüttgewichten der verschiedenen Auftausalz-Typen theoretisch resultierenden unterschiedlich großen Streuflächen bzw. -strecken. In der Anwendung ist dies allerdings nicht sehr relevant, da die Streufahrzeuge

nicht immer voll beladen losfahren. In der Übergangszeit Herbst – Winter, bevor der Winter richtig einsetzt oder gegen Ende der Saison, wird i.d.R. nicht voll beladen losgefahren, da hier z.B. nur zwei oder drei Brücken (vorbeugend) abgestreut werden müssen. Der oben gezeigte Effekt reduziert sich hierdurch.

Insgesamt kann deshalb für alle betrachteten Alternativen von der gleichen Funktionalität ausgegangen werden.

Die funktionelle Einheit (Bezugsgröße der Bilanzierung und des Vergleichs) wurde daher festgelegt als die

„Bereitstellung von 1 Tonne Auftausalz beim Hersteller“ (cradle to gate).

Der Referenzfluss umfasst damit 1 Tonne Auftausalz.

3.2.3 Festlegung der Systemgrenzen

Der in der vorliegenden Studie berücksichtigte Teil des Lebenswegs des Auftausalzes verläuft von der Rohstoffgewinnung bis zur Lagerung beim Hersteller (Cradle-to-Gate). Die Anlieferung zum Kunden wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse berücksichtigt, der Winterdienst selbst wurde ausgeschlossen.

Innerhalb der Systemgrenzen liegen daher:

- Die Vorkette der Energiebereitstellung
- Die Vorketten der Rohstoffe, Vorprodukte, Hilfs- und Betriebsstoffe (z.B. Solegewinnung, Kalk und Soda zur Fällung, Sprengstoffherstellung)
- Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse (z.B. Verbrauch elektrischer und thermischer Energie).

Mit der Festlegung der Systemgrenzen wird bestimmt, welche Module in die ökobilanzielle Betrachtung aufgenommen werden sollen. Module wiederum stellen diejenigen Teile der untersuchten Systeme dar, für die zur Erstellung der Ökobilanz Daten gesammelt werden. Im Rahmen der Studie wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Das sogenannte "Capital Equipment" (hier z.B. die Herstellung oder Entsorgung von Anlagen zur Rohstoffgewinnung) wird generell nicht erfasst; dies entspricht der gängigen Praxis in vielen bislang durchgeführten Ökobilanzen.
- Bestandteile der Systeme, die bezogen auf den oben angegebenen Referenzfluss mengenmäßig 5% Anteil unterschreiten, werden im Hinblick auf die stofflichen und energetischen Vorketten nicht weiter bilanziell verfolgt. Hierdurch wurden explizit ausgenommen:

- Antibackmittel (Natriumferrocyanid) (vgl. Tabelle 4)
- Technische Hilfsstoffe für die Siedesalz-Herstellung (Thermokompression) (vgl. Tabelle 5)
- Magnesiumchlorid und Calciumchlorid, als Staubbinder für Steinsalz. Ihr Anteil am Auftausalz beträgt 0,00535% und 0,0097%.

Tabelle 4 Dosierung von Natriumferrocyanid (C₆FeN₆Na₄; CAS-Nummer: 13601-19-9) bei den verschiedenen Auftausalz-Typen und unterschiedlichen Herstellern.

Auftausalz-Typ	Feuchte in %	ppm (mg/kg)	in %
Steinsalz Heilbronn	0,2	100	0,01
Steinsalz Wacker Chemie Bergwerk Stetten	0,3	100	0,01
Siedesalz Bad Reichenhall	1,5	15-20	0,0015-0,002
Siedesalz Schweizer Rheinsaline Riburg	1,5	30	0,003
Siedesalz Schweizer Rheinsaline Riburg	0,1	15	0,0015
Siedesalz Akzo Nobel Saline Hengelo	3	60-130	0,006-0,013
Meersalz Marine Salt Trading Tunesien	4	100	0,01

Tabelle 5 Technische Hilfsstoffe für die Siedesalz-Herstellung (Thermokompression), Salzerzeugung 2007: 300.606 Tonnen.

Hilfsstoff	in kg (2007)	% Anteil / t
Flockmittel	6325	0,0021
Härtestabilisator	8580	0,0029
Entschäumer	950	0,0003

3.2.4 Datenerhebung und Anforderungen an die Datenqualität

Zu Beginn der Untersuchung stand ein Screening, welche Daten für die Bilanzierung der zu untersuchenden Systeme erforderlich sind. Entsprechend der Zielsetzung der Studie lag der Fokus auf einer Datengrundlage, die möglichst robuste Aussagen hinsichtlich der Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Auftausalztypen ermöglicht. Dies führte dazu, dass für die Herstellungsverfahren der drei Salztypen fast ausschließlich spezifische Daten verschiedener Hersteller oder Anlagenbauer verwendet wurden.

Generell wurden sowohl spezifische als auch allgemeine aus der Literatur und allgemein verfügbaren Datenbanken Daten verwendet:

Spezifische Daten wurden für die verschiedenen Herstellungsverfahren verwendet, generische Daten für die Vorketten und die Transporte.

Mit den Anforderungen an Daten und Datenqualität werden in allgemeiner Form die Merkmale der Daten festgelegt, die für die Durchführung der Ökobilanz benötigt werden. Nachstehend werden die in dieser Studie zugrunde gelegten Anforderungen zusammenfassend dargestellt:

Zeitbezogener Erfassungsbereich. Die einbezogenen Daten zu Vor- und Nachketten bilden den aktuellen Stand der Technik sowie die derzeitigen energie- und abfallwirtschaftlichen Rahmenbedingungen abbilden. Bezugsjahr der spezifischen Daten waren 2007 bis 2008. Allgemeine Daten z.B. zur Strombereitstellung stammen aus dem Bezugsjahr 2004. Spezifischere Daten z.B. zur Sodaherstellung haben zum Teil ältere Bezugsjahre, bis 1999.

Geographischer Erfassungsbereich. Für die Energiebereitstellung sowie Herstellungs-, Entsorgungs- und Verwertungsprozesse wurden deutsche und mitteleuropäische Daten zugrunde gelegt. Die spezifischen Daten für Steinsalz und zum Teil Siedesalz (Rohsolegewinnung und Thermokompression) beziehen sich auf deutsche Produktionsstandorte, die spezifischen Daten zum Solution Mining und Mehrfacheffektverfahren beziehen sich auf niederländische Produktionsstandorte und die spezifischen Daten zur Meersalzgewinnung spiegeln die Rahmenbedingungen in Frankreich wider.

Technologischer Erfassungsbereich. Es wurden repräsentative Daten aktuellen Datums verwendet, die den vorhandenen technologischen Stand für die Herstellung der drei Auftausalztypen darstellen.

Datenkategorien. Grundsätzlich wurden in dieser Studie ausschließlich stoffliche Flussgrößen sowie energetische Inputgrößen quantitativ erfasst und bilanziert, d.h. berücksichtigt wurden

- der Verbrauch an energetischen Ressourcen und
- der Verbrauch an nicht-energetischen Ressourcen und Wasser,
- atmosphärische Emissionen,
- Abwasseremissionen und
- Abfälle und Reststoffe.

Diese Vorgehensweise entspricht dem derzeitigen Praxisstand bei der Durchführung von Ökobilanzen.

Insgesamt liegen der Studie Daten mit einer der Fragestellung und Zielsetzung angemessenen Qualität zugrunde.

3.2.5 Angewandte Allokationsregeln

Unter Allokation werden bei der Durchführung von Ökobilanzen Zuordnungsverfahren verstanden, die dann erforderlich sind, wenn bei den betrachteten Systemen mehrere verwertbare Produkte erzeugt werden bzw. wenn in betrachtete Teilprozesse Stoff- und Energie-

ströme von anderen, nicht betrachteten Systemen einfließen. In der vorliegenden Studie wurde wie folgt vorgegangen:

- **Literaturdaten.** Bei einigen der aus anderen Studien übernommenen Datensätze sind bereits Allokationen vorgenommen worden. Diese werden hier nicht explizit aufgeführt, sondern können den betreffenden Quellen entnommen werden (z.B. Umberto 4.2).
- **Gutschrift für Stromerzeugung beim Mehrfacheffektverfahren (Siedesalz) durch Wärme-Kraft-Kopplung.** Beim Mehrfacheffektverfahren wird mittels Wärme-Kraft-Kopplung gleichzeitig elektrische und thermische Energie in Form von Dampf bereitgestellt. Innerhalb des Prozess wird vorwiegend Dampf benötigt. Die entstehende überschüssige elektrische Energie wird dem System daher als Strom-Mix Niederlande Mittelspannung gutgeschrieben.

3.2.6 Berücksichtige Wirkungskategorien

In der Wirkungsabschätzung sollen die potenziellen Umweltwirkungen auf der Basis der Ergebnisse der Sachbilanz ermittelt werden. Im Allgemeinen werden dabei die Sachbilanzdaten mit spezifischen Wirkungskategorien und Wirkungsindikatoren verknüpft, wobei versucht wird, die hieraus resultierenden potenziellen Wirkungen zu erkennen.

In Übereinstimmung mit dem Ziel und Untersuchungsrahmen wurden im Rahmen der Wirkungsabschätzung dieser Studie folgende Wirkungskategorien betrachtet:

Primärenergieverbrauch (kumulierter Energieaufwand, KEA) in MJ-Äquivalente

Der KEA stellt den gesamten Verbrauch an energetischen Ressourcen dar, der alle nicht-erneuerbaren und erneuerbaren Energieverbräuche als Primärenergiewerte ausweist.

Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) in kg CO₂-Äquivalente

Unter dem Treibhauseffekt wird die klimarelevante Veränderung der Atmosphäre durch den anthropogenen Beitrag von Treibhausgasemissionen verstanden, die zu einer Erwärmung der Erde führt. Zur Erfassung des Treibhauspotentials werden die in der Sachbilanz erfassten Treibhausgase mit sogenannten Charakterisierungsfaktoren³ multipliziert, die ihre Klimarelevanz in Relation zu CO₂ mit dem Charakterisierungsfaktor 1 abbilden und die einzelnen Beiträge addiert. Auf diese Weise wird das Treibhauspotential in Form von CO₂-Äquivalenten errechnet. Die Charakterisierungsfaktoren (GWP-100) stammen aus der Veröffentlichung des Assessment Reports von IPCC im Jahr 2007 (IPCC 2007).

³ Faktor, der aus einem Charakterisierungsmodell abgeleitet wurde, das für die Umwandlung der zugeordneten Sachbilanzergebnisse in die gemeinsame Einheit des Wirkungsindikators angewendet wird [DIN EN ISO 14044].

Photooxidantienbildung (Sommersmogpotential) in kg C₂H₄-Äquivalenten

Die photochemische Bildung von Ozon in bodennahen Luftschichten ist das Resultat der Reaktion von Stickoxiden (NO_x) mit flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen (VOC) unter dem Einfluß von UV-Licht. Dieser Vorgang wird auch als Sommersmog bezeichnet. Dabei wirkt NO_x als Katalysator. Die Ozonbildung ist nicht linear mit der NO_x-Konzentration korreliert. Zur quantitativen Erfassung des Sommersmogs wird das photochemische Ozonbildungspotential (POCP) definiert. Als Leitindikator wird Ethen verwendet. Die Charakterisierungsfaktoren sind der Datenbank CML-IA des Institute of Environmental Sciences der Universität Leiden entnommen (CML 2008).

Eutrophierungspotential in kg PO₄-Äquivalenten

Die übermäßige Anreicherung von Böden und Gewässern mit Nährstoffen meist in Form von Stickstoff- und Phosphorverbindungen wird als Eutrophierung oder Überdüngung bezeichnet. Die relevanten Luft- und Wasseremissionen werden in Form von Phosphat-Äquivalenten quantifiziert. Die Charakterisierungsfaktoren sind der Datenbank CML-IA des Institute of Environmental Sciences der Universität Leiden entnommen (CML 2008).

Versauerungspotential in kg SO₂-Äquivalenten

Die wichtigsten Substanzen, die zu einer Erniedrigung des PH-Wertes von Niederschlagswasser führen und damit ein Versauerungspotential besitzen, sind Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Ammoniak (NH₃). Schwefeldioxid dient als Leitindikator für die Quantifizierung des Versauerungspotential. Der Gesamtbeitrag wird als Summe der einzelnen Emissionen und ihrem jeweiligen Versauerungspotenzial ermittelt. Die Charakterisierungsfaktoren sind der Datenbank CML-IA des Institute of Environmental Sciences der Universität Leiden entnommen (CML 2008).

Flächennutzung der Herstellungsbetriebe in m²

Da die Herstellung von Auftausalz aus Meersalz mit einer großen Flächennutzung einhergeht und damit in Konkurrenz zu anderen Nutzungen treten kann (z.B. landwirtschaftliche Nutzung, Naturschutz⁴), wird die von den Herstellungsbetrieben genutzte Fläche (z.B. Bergwerksfläche Unter- und Übertage, Fläche der Meersalzanlage) als Zusatzinformation in die Untersuchung einbezogen (vgl. Tabelle 17).

Aufgrund fehlender Daten ist es nicht möglich, die Flächennutzung als Wirkungskategorie über den gesamten Lebensweg abzubilden.

⁴ Durch Überbauung können auch Lebensräume verloren gehen, die gerade am Küstensaum relevant sein können.

Salzhaltige Abwässer

Bei der Produktion von Meersalz fallen Abwässer mit hohen Konzentrationen an Magnesiumchlorid, Calciumsulfat und Calciumcarbonat, die sogenannten „Bitterns“ an. Diese Bitterns werden üblicherweise verdünnt und wieder ins Meer geleitet. Potentiell damit verbundene Umweltauswirkungen sind lokal sehr unterschiedlich zu bewerten und lassen sich im Rahmen dieser Studie nicht abbilden. Vor diesem Hintergrund wurde von den Gutachtern vorgeschlagen, die für die Verdünnung erforderliche Pumpleistung anzurechnen, d.h. man schließt eine schädliche Wirkung im Zielmedium Meer aus, in dem die Bittern rechnerisch soweit verdünnt werden. Der Belastungspfad „Einleitung ins Meer“ lässt sich anschließend als Pumpleistung und den damit verbundenen Energieverbrauch beschreiben. Dieses Verfahren wurde übernommen und ist in Kapitel 4.2.3 genauer beschrieben.

3.2.7 Kritische Prüfung

Im Rahmen der Studie wurde für die vergleichende Ökobilanz eine begleitende externe kritische Prüfung nach ISO 14040 durchgeführt. Der Prüfungsausschuss bestand aus drei Gutachtern: Es handelte sich dabei um Dipl. Geogr. Florian Knappe (ifeu Heidelberg), Dr. Gero Morlock (Leiter des Referats 45 „Straßenbetrieb und Verkehrstechnik“ im Regierungspräsidium Freiburg) und Dipl. Masch. Ing. Eörs Kondorosy (Managing Director der Firma Evatherm).

Der abschließende Bericht der Gutachter befindet sich in Kapitel 8.

3.2.8 Nicht intendierte Anwendungen

Für die vorliegende Studie wurden spezifische Annahmen getroffen und Rahmenbedingungen zugrunde gelegt, die der im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Zielfestlegung entsprechen. Eine Übertragung der Studienergebnisse auf andere Anwendungsbereiche ist daher nicht ohne eingehende Prüfungen möglich. Ein Beispiel für solche anderen Anwendungsbereiche ist die Übertragung der Ergebnisse auf andere geographische Bezugsräume als jene die dieser Studie zugrunde lagen. Da in anderen Ländern die Produktionsbedingungen sowie insbesondere die Vorketten der Energiebereitstellung abweichen, gelten die Studienergebnisse in erster Linie nur für Verhältnisse in den genannten Ländern. Die Datenlage erlaubt ferner keinen belastbaren Vergleich der verschiedenen Siedesalzverfahren.

4 Datengrundlage und Systembeschreibung

In den nachfolgenden Abschnitten wird zunächst die allgemeine Datengrundlage beschrieben, anschließend die Prozessmodellierung für die drei untersuchten Auftausalz-Typen sowie die spezifische Datengrundlage.

4.1 Datengrundlage

Grundsätzlich kann bei den Datengrundlagen einer Ökobilanz zwischen allgemeinen und spezifisch ermittelten Daten unterschieden werden: Unter allgemeinen Daten werden Mittelwerte zum Energie- und Rohstoffverbrauch und zu Emissionen verstanden, das heißt Zahlenwerte, die den mittleren Stand der Technik eines bestimmten Produktionsprozesses repräsentieren. Spezifisch ermittelte Daten beschreiben hingegen die Verhältnisse an einem bestimmten Produktionsstandort. Je nach dem realisierten Stand der Technik (Effizienz von Schadstoffabscheidung oder ähnliches) können spezifisch ermittelte Daten erheblich (nach oben und unten) von allgemeinen Daten abweichen.

Bei der hier durchzuführenden vergleichenden Analyse wurden sowohl allgemeine als auch spezifisch ermittelte Daten zugrunde gelegt. Das konkrete Vorgehen wird in den folgenden Abschnitten näher beschrieben.

4.1.1 Allgemeine Daten

Für die Bereitstellung von Rohstoffen (ausgenommen der Salze zur Auftausalzherstellung) und die Herstellung von Grundstoffen, für die Bilanzierung der Energiebereitstellung sowie für die Abfallbehandlung wurden allgemeine Daten aus Literaturangaben oder Datenbanken herangezogen. Hier wäre eine Erhebung spezifischer Daten, abgesehen vom damit verbundenen Aufwand, kaum sinnvoll, da diese Prozesse aufgrund der komplexen und verzweigten Produktionsstruktur nicht einzelnen Unternehmen zugeordnet werden können und die Abnehmer-/Lieferantenbeziehungen auf diesen Stufen häufig wechseln.

Die verwendeten Datenquellen sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 6 Überblick über die in der Studie für allgemeine Daten verwendeten Datenquellen.

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Energiebereitstellung	Strom, Mittelspannung, ab Netz [FR]	Ecolinvent v2.0	Durchschnittsdaten zur Strombereitstellung in Frankreich (Mittelspannung)
	Strom, Mittelspannung, ab Netz [DE]	Ecolinvent v2.0	Durchschnittsdaten zur Strombereitstellung in Deutschland (Mittelspannung)
	Strom, Mittelspannung, ab Netz [NL]	Ecolinvent v2.0	Durchschnittsdaten zur Strombereitstellung in Niederlanden (Mittelspannung)
Kraftstoffbereitstellung	Diesel, ab Regionallager [RER]	Ecolinvent v2.0	Durchschnittsdaten zur Dieselpreispromittierung in Europa
Hydrauliköl	Schmieröl, ab Werk [RER]	Ecolinvent v2.0	Durchschnittsdaten Herstellung von Schmieröl in Europa

Neben den dargestellten allgemeinen Daten wurde auch eine Reihe von spezifischen Daten herangezogen, die unter anderem von der Südsalz GmbH, der Firma Deep, der Firma Evatherm und Salt Partners zusammen gestellt wurden. Diese sind jeweils in den folgenden Abschnitten für die drei Alternativen einzeln aufgeführt.

4.2 Modellierung der Produktsysteme

4.2.1 Alternative 1: Auftausalz aus Steinsalz

Um eine möglichst hohe Repräsentativität der Ergebnisse zu erzielen, wurde innerhalb der Studie versucht, möglichst viele spezifische Primärdaten zu verwenden. Daher wurden die spezifischen Primärdaten zur Herstellung von Auftausalz aus Steinsalz aus dem Bergwerk Heilbronn der Südsalz GmbH verwendet. Dieses Bergwerk hat eine Abbautiefe von ca. 200 m. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die für den deutschen Markt relevanten Bergwerke in Europa für den Bereich Auftausalze. Ein Vergleich zeigt hier, dass Heilbronn bei der Teufe⁵ eine eher günstigere Variante darstellt. Dies wirkt sich vor allem auf den Stromverbrauch aus. Bei Teufen, die mehr als 500 m aufweisen, verwendet man statt einer Seiltrommel für die Skipförderung eine sogenannte Schlupfmaschine. Bei tieferen Teufen wird schneller gefahren, bis zu 14 m/sec. In Heilbronn fährt das Skip-Gefäß mit 6 m/sec. Das hat zur Folge, dass die Zeitdauer für die Skipförderung etwa gleich bleibt. Eine tiefere Teufe erfordert aber dennoch mehr Energie, vor allem beim Anfahren. In Heilbronn sind an der Fördermaschine 1,8 MW installiert. Bei tiefen Teufen erreicht dieser Wert bis zu 4 MW. Der

⁵ Die Teufe ist der senkrechte Abstand von einem definierten Referenzpunkt auf der Oberfläche zu einem Punkt unter Tage. Die Teufe sagt aus, wie tief ein Punkt unter der Oberfläche liegt, ist also synonym für Tiefe.

Einfluss unterschiedlicher Teufen auf das Gesamtergebnis wurde mittels einer Sensitivitätsprüfung kontrolliert (vgl. Kapitel 5.3.1).

Tabelle 7 Übersicht über die Teufe, Förderung, Gewinnung, Salzqualität und Jahreskapazität relevanter Bergwerke für die Produktion von Auftausalzen für den deutschen Markt in Europa.

	Teufe	Vertikal- schacht mit Skipförderung	Gewinnung		Salzqualität		Mio. t/a
			Sprengend	Schneidend	Vorkommen	Verkauf	
Heilbronn	224/236 m	+	2007: 75% 2008: 70%	2007: 25% 2008: 30%	94%	98-98,5%	1-2
Esco, Borth	740-900 m	+	+	+	98-99%	98-99%	1-3
Esco, Bernburg	330-580 m	+	+	früher	98-99%	98-99%	
Esco, Grasleben	ca. 600 m	+	+	früher	98-99%	98-99%	
Wackerchemie, Stetten	120 m	Schrägschacht mit Band- förderung	+		94%	96-98,5%	0,25-0,5
Salins, Varangeville (FR)	160 m	+	+		94%	94%	
Artyomsol, Soledar (Ukraine)	200 m	+		+	98%	98%	

Ebenfalls Auswirkungen auf unterschiedliche Stromverbräuche der Bergwerke können sich durch die Frischlüfter ergeben. Der Stromverbrauch hängt hier von den freien Querschnitten und der erforderlichen Luftmenge ab. Die erforderliche Luftmenge wird bemessen nach der Anzahl der untertage im Einsatz befindlichen Maschinen. Hier wird mit 4 m³/h pro Maschinen-KW (nur Diesel-Fahrzeuge) gerechnet. Die Querschnitte Heilbronn, Borth und Stetten sind etwa gleich. Die Anzahl der Maschinen hängt von der Jahresproduktion ab. Diese ist in Heilbronn und Borth vergleichbar, Stetten hingegen hat eine niedrigere Jahresproduktion, nur ca. 1/5.

Die Gewinnung des Rohsalzes erfolgt in den Bergwerken auf unterschiedliche Weise: sprengend und/oder schneidend. Heilbronn hat im Jahr 2008 zu ca. 70% gesprengt und zu 30% geschnitten. Im Vergleich mit den anderen relevanten Bergwerken und ihren Jahresproduktionen bilden die Daten aus Heilbronn die durchschnittliche Situation daher recht gut ab. Bei der Salzqualität stellt Heilbronn auf Grund eines höheren Anteils an taubem Gestein eine ungünstigere Variante dar.

Auf Grund der oben aufgeführten Vergleiche der in Tabelle 7 dargestellten relevanten Steinsalz-Bergwerke können die spezifischen Primärdaten aus dem Bergwerk Heilbronn der Südsalz GmbH als repräsentativ angesehen werden. Sie bilden auch untern anderem bei der

Salzqualität eine eher ungünstigere Variante ab. Eine Benachteiligung anderer Hersteller für Auftausalz aus Steinsalz ist daher ausgeschlossen.

Daten zu Steinsalz

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Datenquellen, die in der Untersuchung für den Auftausalztyp *Steinsalz* verwendet wurden.

Tabelle 8 Übersicht über allgemeinen Daten zu *Steinsalz*

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Prozesswasser	Trinkwasser, ab Hausanschluss [RER]	EcoInvent v2.0	Durchschnittsdaten zur Trinkwasserbereitstellung (Infrastruktur Schweiz, Strombereitstellung Deutschland)
LKW Transport unter Tage	Betrieb, Lkw 3,5-7,5 t, EURO5 [RER]	EcoInvent v2.0	Durchschnittsdaten für einen EURO4 LKW

Für die Herstellung von 1 Tonne Auftausalz werden hier je drei Liter Prozesswasser benötigt. Das Wasser dient zum Auflösen der Zusatzstoffe (Ferrocyanid, Calciumchlorid, Magnesiumchlorid), die in wässriger Lösung auf das Salz gesprüht werden. Außerdem dient es zur Einstellung einer bestimmten Restfeuchte.

Um den Transport unter Tage möglichst genau abbilden zu können, wurde ein Durchschnittswert für LKWs mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 3,5 bis 7,5 Tonnen und Euronorm 5 gewählt. Unter Tage fahren auch PKWs, die die Arbeiter zu ihrem Arbeitsplatz bringen. Auf Grund der fehlenden spezifischen tkm wurde daher die Annahme eines Fuhrparks von Fahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 3,5-7,5 Tonnen getroffen. Für die Verbrennung des Diesels gilt folgendes Verhältnis: $0,1375 \text{ kg} = 1 \text{ vkm}^6$.

Beim verwendeten Sprengstoff für die sprengende Gewinnung handelt es sich in der Regel um einen ANFO-Sprengstoff (Ammonium Nitrate Fuel Oil), der unter anderem mit dem Handelsnamen Andex verkauft wird. Er besteht zu 94,5% aus geprülltem Ammoniumnitrat und zu 5,5% aus Heizöl EL.

Tabelle 9 Verwendete Datenmodule zur Modellierung des ANFO-Sprengstoffs

Datenmodul	Bezeichnung der Datensätze	Bezugs-jahr	Geografischer Bezug	Datenquelle
ANFO-Sprengstoff	Ammoniumnitrat, als N, ab Regionallager [RER]	1999	RER (Europe)	EcoInvent v2.0
	Heizöl EL, ab Regionallager [RER]	2000	RER (Europe)	EcoInvent v2.0

⁶ vkm: vehicle kilometre (Fahrzeugkilometer).

Die Entsorgung des Hydrauliköls als Altöl und dessen anschließende Raffination (Recycling) wird hier nicht berücksichtigt, da keine Daten zu den spezifischen Prozessen und den daraus resultierenden Produkten vorliegen. Eine Gutschrift für das Recycling ist daher nicht zu berechnen.

Die primären Rohdaten sind im Anhang 9.1 dargestellt.

4.2.2 Alternative 2: Auftausalz aus Siedesalz

4.2.2.1 2a: Mehrfacheffektverfahren

Die spezifischen Daten zur Herstellung von Siedesalz nach dem Mehrfacheffektverfahren stammen von dem Anlagenbauer EVATHERM. Sie stellen Richtwerte (Durchschnittswerte) für Verbrauchszahlen einer typischen Saline nach dem Mehrfacheffektverfahren dar. Betrachtet wurde eine fünfstufige Saline mit einer Jahreskapazität von 500.000 t NaCl/Jahr. Dies entspricht der durchschnittlichen Salinengröße in Mitteleuropa.

Die Gewinnung der Rohsole für das Mehrfacheffektverfahren erfolgt über das sogenannte *Solution Mining* (vgl. Kapitel 3.2.1). Tabelle 10 zeigt hierzu drei verschiedene Fälle, die sich in der Tiefe der Salzvorkommen unterscheiden. Die Daten stammen von der Firma Deep, einer international tätigen Firma auf dem Gebiet des Solution Minings. Die Zahlen orientieren sich an der Situation in den Niederlanden, sind aber auf jede ähnliche Situation übertragbar. In allen drei Fällen wird Sole für große Salinen gewonnen, die mit dem Mehrfacheffekt-Verfahren arbeiten (Jahreskapazität: 1,2 bis 2,4 Mio. Tonnen).

Innerhalb dieser Studie wurden Fall 1 und Fall 2 berücksichtigt, da Esco in Harlingen (NL) kein Siedesalz für den Winterdienst herstellt.

Tabelle 10 Daten der Firma DEEP zu Solution Mining. Die angegebenen Stromverbräuche beinhalten den Pump-Transport des Wassers zum Solfeld, das Aussolen selbst und den Pump-Transport der Sole vom Solfeld zur Saline. Es wurde in allen drei Fällen die gleiche Entfernung Solfeld-Saline angenommen.

	kWh / Tonne Salz	Typ	Tiefe
Fall 1	5,7	Akzo Nobel Hengelo	450-500 m
Fall 2	8,1	Akzo Nobel Delfzijl	700-1450 m
Fall 3	17,1	Esco Harlingen	2500 m

In Europa gibt es drei Firmen, die Auftausalz aus Siedesalz in relevanten Mengen produzieren⁷. Zwei davon praktizieren ausschließlich Solution Mining: Akzo Nobel⁸ in Hengelo

⁷ Die dritte ist Salinen Austria mit einer Saline in Ebensee. Die Solegewinnung erfolgt hier über das Bohrloch-sondenverfahren (Solution Mining).

(Tiefe 450-500 m) und in Delfzijl (Tiefe 700-1450 m) – mittels Mehrfacheffektverfahren, sowie die Vereinigten Schweizerischen Rheinsalinen in Riburg und Schweizerhalle (Tiefe 100-300 m), die die Sole mittels Thermokompression zu Salz verarbeiten. Die Schweizerischen Rheinsalinen stellen jedoch auf Grund ihres Salzmonopols für die Schweiz und der Tatsache, dass die dortige Unternehmensstrategie keine Auftausalzexporte vorsieht, einen Sonderfall da und werden daher in dieser Studie nicht weiter berücksichtigt. Die hier verwendeten Daten von Fall 1 und 2 spiegeln daher die Situation in Europa wider. In der vorliegenden Bilanzierung wurde zunächst mit einer Tiefe von 700-1450 m gerechnet. Fall 1 wurde innerhalb einer Sensitivitätsrechnung berücksichtigt (vgl. Kapitel 5.3.3).

Nach der Solegewinnung erfolgt im nächsten Schritt die Soleenthärtung. Dabei wird die Sole mit Hilfe des sogenannten zweistufigen *Schweizerhalle-Verfahrens* von unerwünschten Kalzium- und Magnesiumsalzen chemisch gereinigt. Diese Nebensalze werden in zwei Phasen mittels Zugabe von Kalk (CaO) und Soda (Na_2CO_3) ausgefällt (vgl. auch 3.2.1). Der hierbei hauptsächlich als Gips anfallende Rückstand (Mineralschlamm) wird verpresst und in stillgelegte Kavernen gepumpt. Eine Entsorgung wurde innerhalb dieser Studie daher nicht berücksichtigt.

Im anschließenden Mehrfacheffektverfahren wird die gereinigte Sole über eine fünfstufige Vakuumeindampfanlage eingedampft. Hierbei fällt das Salz (NaCl) mit einer Reinheit von ca. 99,96% und einer Restfeuchte von ca. 3% an. Die zum Betrieb der Anlage notwendige Energie (Frischdampf) stammt aus einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage bestehend aus einem Dampferzeuger, Gegendruckturbine und Generator. Das Kraftwerk wird gemäß dem anfallenden Dampfverbrauch geregelt, d.h. hieraus ergibt sich eine automatische Stromproduktion. Der erzeugte Strom wird hauptsächlich für den anlageneigenen Verbrauch genutzt. Der Überschuss wird jedoch ins öffentliche Netz eingespeist. Dieser Überschuss diente daher als Grundlage für eine Gutschrift.

Daten zu Siedesalz-Mehrfacheffekt

Tabelle 11 gibt einen Überblick über die Datenquellen, die in der Untersuchung für die Alternative *Siedesalz-Mehrfacheffekt* verwendet wurden. Die spezifischen Daten zum Mehrfacheffektverfahren stammen von dem Anlagenbauer EVATHERM. Die Daten zum Solution Mining von der Firma Deep.

⁸ Akzo Nobel produziert auch Siedesalz als Auftausalz mittels Solution Mining und Mehrfacheffekt-Verfahren in der Saline Mariager in Dänemark. Allerdings ist diese für den deutschen Markt nicht relevant und wird daher nicht berücksichtigt.

Tabelle 11 Übersicht über die Herkunft der spezifischen Daten zu Siedesalz-Mehrfacheffekt.

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Wärme-Kraft-Kopplung	Erdgas, in Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk, beste Technologie [RER]	EcoInvent v2.0	Bezieht sich auf ein GuD-Kraftwerk modernster Technologie der Klasse 400MWe. Gasturbine: 265MWe, Dampfturbine: 140MWe.

Für die Herstellung der oben genannten Fällchemikalien wurden folgende Module verwendet:

Tabelle 12 Verwendete Module für die Herstellung der Fällchemikalien zur Soleenthärtung.

Datenmodul	Bezeichnung der Datensätze	Bezugsjahr	Geografischer Bezug	Datenquelle
Weißfeinkalk = gebrannter, ungelöschter Luftkalk	Kalk, gebrannt, gemahlen, verpackt, ab Werk [CH]	2002	CH (Schweiz)	EcoInvent v2.0
Soda, schwer	Natriumcarbonat, Pulver, ab Werk [RER]	1999	RER (Europe)	EcoInvent v2.0

Die primären Rohdaten sind in Anhang 9.2 dargestellt.

4.2.2.2 2b: Thermokompressionsverfahren

Die spezifischen Verbrauchsdaten zur Herstellung von Auftausalz mittels Thermokompression basieren auf effektiven Werten der Saline Bad Reichenhall der Südsalz GmbH. Sie entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Die Verbrauchsdaten gelten weltweit für moderne Anlagen. Sie variieren nur im Bereich der Solereinigung, deren Chemikalienverbrauch von der Zusammensetzung der Rohsole abhängt und im Bereich der Salztrocknung. Für die Salztrocknung wurde hier die Situation der Südsalz GmbH dargestellt, die durch eine Teiltrocknung einen eher ungünstigeren Energieverbrauch (Dampf und Strom) abbildet. Trocken es Salz (0,05%) wird hier zu 50% mit feuchtem Salz (3%, ab Zentrifuge) gemischt, um die gewünschte Feuchte zu erreichen. Dieses Verfahren bildet sowohl die Situation der Siedesalzherstellung per Thermokompression in Österreich, als auch in Deutschland ab. In der Bilanzierung wurde der spezifische elektrische und thermische Energieverbrauch für den Trockner daher zu 50% berücksichtigt. (vgl. Tabelle 15).

Die Solegewinnung für das Thermokompressions-Verfahren kann entweder ebenfalls über Solution Mining erfolgen oder aber mittels Bohrspülwerk oder Förderung von Natursole. Im Untersuchungsrahmen der vorliegenden Studie wurden nur die Bohrspülwerke und die Förderung von Natursole als Solegewinnungsverfahren für Thermokompression berück-

sichtigt, da nur diese beiden Verfahren innerhalb des betrachteten geographischen Rahmens dieser Studie von Bedeutung sind (vgl. Tabelle 14)⁹.

Die Roh-Sole wird anschließend ebenfalls mit Hilfe des sogenannten zweistufigen *Schweizerhalle-Verfahrens* chemisch gereinigt. Die Herstellung der Fällchemikalien wurde wie in Tabelle 12 bereits für die Siedesalzherstellung – Mehrfacheffekt aufgeführt, modelliert.

Beim Thermokompressionsverfahren wird die gereinigte Sole mittels Brüdenverdichter eingedampft. Die Brüdenverdichter sind elektrisch betriebene Dampfkompressoren, welche die ausgedampften Brüden soweit hochkomprimieren, damit sie wieder als Heizdampf verwendet werden können. Normalerweise werden die Brüden von 110°C auf 140°C Sattedampf-temperatur verdichtet. Das Salz kristallisiert laufend aus und sammelt sich als nasser Brei am unteren Ende des Verdampfers an. Von den Verdampfern wird der nasse Salzbrei anschließend in Zentrifugen geleitet, in denen das Salz auf eine Restfeuchte von 2-2,5% herunter zentrifugiert wird.

Daten zu Siedesalz-Thermokompression

Für die Auftausalzvariante *Siedesalz-Thermokompression* wurden folgende Datenquellen verwendet.

Tabelle 13 Übersicht über die Herkunft der Daten zum Auftausalztyp Siedesalz-Thermokompression. RER: geographischer Bezug Europa

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Solegewinnung	Betrieb, Lkw 3.5-7.5t, EURO5 [RER]	EcolInvent v2.0	Durchschnittsdaten EURO5 LKW, 3.5-7.5t
	Nutzwärme, Heizöl EL, ab Industrieheizung 1MW [RER]	EcolInvent v2.0	
Thermokompression	Erdgas, in Industrieheizung Low-NOx>100kW [RER]	EcolInvent v2.0	
	Heizöl EL, in Industrieheizung 1MW, nicht-modulierend [RER]	EcolInvent v2.0	

⁹ Die Gewinnung der Sole für die Thermokompressionsanlage in Bad Reichenhall erfolgt durch Förderung von Natursole in Bad Reichenhall selbst, sowie durch Solegewinnung im Bergwerk Berchtesgaden. Die Berchtesgadener Sole wird in sog. **Bohrspülwerken** gewonnen und über eine Fernleitung nach Bad Reichenhall gepumpt. Die Gewinnung in Bohrspülwerken ist aufwendiger als bei einem Bohrlochsondenfeld wie es etwa in den Niederlanden betrieben werden kann. Die Bohrspülwerke setzen ein Bergwerk mit Schächten und Stollen voraus. Die Bohrspülwerke werden in den Stollen durch Aussolung von Kavernen ("Bohrspülwerken") nach unten erstellt. Die Bohrspülwerke werden befahren, z.B. zur Vermessung. Der Stromaufwand für die Solegewinnung wird noch beeinflusst durch die Pumparbeit zur Überwindung der Entfernung vom Ort der Solegewinnung zur Solereinigung in der Saline.

Für die Sole-Gewinnung wurden folgende Daten sowohl für die Natursole-Gewinnung, als auch für die Gewinnung über Bohrspülwerke herangezogen.

Tabelle 14 Spezifische Daten zur Roh-Solegewinnung¹⁰ für Siedesalz-Thermokompression. BGD = Berchtesgaden-Bohrspülwerk, REI = Reichenhall-Natursole. (Quelle: Umweltbilanz Südsalz GmbH 2007)

<u>Sole-Gewinnung</u>	m³	Strom (kWh)	Heizöl (l)	Diesel (l)
Rohsoleproduktion BGD	851.722	4.777.251	127.667	12.350
Rohsoleproduktion REI	246.822	124.000		
Summe	1.098.544	4.901.251		

Der Stromverbrauch von 124.000 kWh für die Förderung der Natursole in Bad Reichenhall ergibt sich aus der installierten Leistung der Pumpen und deren Laufzeit. Das Heizöl wird zu Heizzwecken genutzt.

Für die thermische Trocknung des Auftausalzes wurde eine Teiltrocknung angenommen, da in der Regel 50% trockenes Auftausalz mit 50% feuchtem Auftausalz gemischt wird.

Tabelle 15 Übersicht über den spezifischen thermischen und elektrischen Energiebezug bzw. -verbrauch des Trockners, um eine Teiltrocknung von 50% abzubilden.

<u>Energieverbrauch Trockner</u>				
thermisch	11.840.360	kWh	42.625.296.000	KJ
Teiltrocknung 50%			21.312.648.000	KJ
Anteil Heizöl EL (1%)	158.243	kWh	569.674.254	KJ
Anteil Erdgas (99%)	11.682.117	kWh	42.055.621.746	KJ
elektrisch	1.336.030	kWh	4.809.708.000	KJ
Teiltrocknung 50%	668.015	kWh		
<u>Energiebezug (thermisch, für Trockner)</u>			Teiltrocknung 50%	
Gesamt	46.275.981.728	KJ	23.137.990.864	KJ
Heizöl EL	618.464.570	KJ	309.232.285	KJ
Erdgas	45.657.517.158	KJ	22.828.758.579	KJ

Die primären Rohdaten sind im Anhang 9.3 dargestellt.

¹⁰ Im Verbrauchswert der „Rohsoleproduktion BGD“ ist auch der jährliche Stromverbrauch für den Tourismusbetrieb in Berchtesgaden enthalten. Er bewegt sich im Bereich 300.000 bis 350.000 kWh.

4.2.3 Alternative 3: Auftausalz aus Meersalz

Abbildung 7 zeigt eine schematische Darstellung des Bilanzraumes für die Herstellung der Alternative 3 Auftausalz aus Meersalz. Hier spielen neben den Stromverbräuchen für die unterschiedlichen Pumpen, die das Meerwasser von Becken zu Becken pumpen, und die Transportbänder noch die Erntemaschinen mit dem zugehörigen Dieselverbrauch eine Rolle. Ansonsten erfolgt die Produktion von Meersalz über Sonnenenergie.

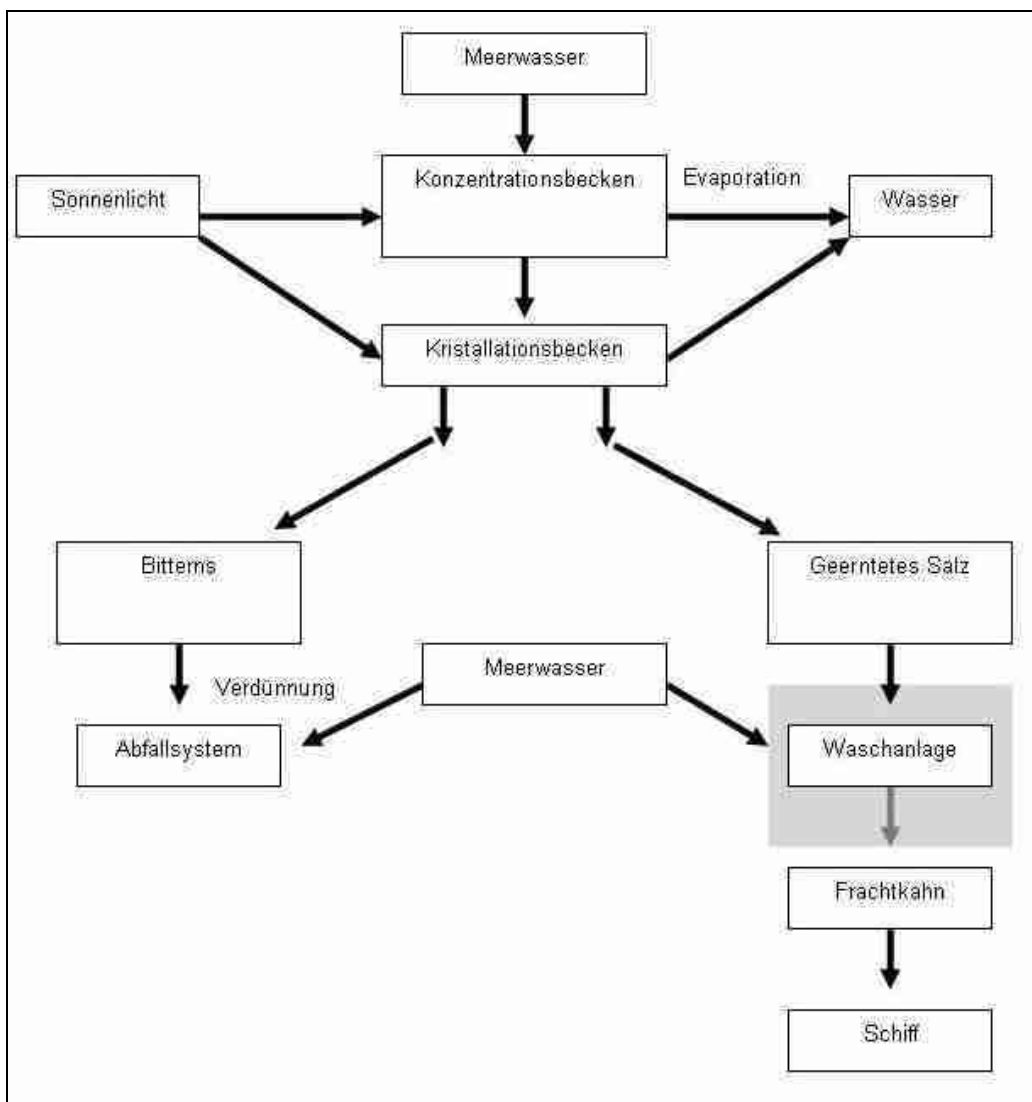


Abbildung 7 Überblick über die bei der Bilanzierung berücksichtigten Teilprozesse bei der Alternative Auftausalz aus Meersalz. Der grau hinterlegte Teilprozess liegt außerhalb der Systemgrenzen. (Quelle: Straits Resources 2004).

Ein weiterer zu berücksichtigender Faktor bei der Meersalzherstellung ist allerdings der anfallende Abfall in Form der sogenannten flüssigen Bitterns. Hierbei handelt es sich um den

Überstand, der nach der Kristallisation des NaCl_s übrig bleibt. Bitterns besteht aus Calciumsulfat, Calciumcarbonat und Magnesiumsalzen. Ihr Anteil beträgt ca. 2-5%¹¹ des Meerwassers, das zur Herstellung des Salzes in das System gepumpt wird. Die Bitterns wird zur Entsorgung mit Meerwasser verdünnt und anschließend ins Meer zurückgegeben. Um diese Abwasser-Problematik innerhalb dieser Studie abbilden zu können, wurden basierend auf verfügbaren Daten einer australischen Meersalzgewinnungsanlage folgende Annahmen getroffen:

- 0,035 g Salz in 1 Liter Meerwasser¹²;
- 5% Anteil Bitterns am Gesamt-Input des benötigten Meerwassers zur Salzherstellung;
- Verdünnung der Bitterns mit Meerwasser. Hierzu wurde eine spezifische Pumpenergie angenommen, um den zusätzlichen Stromverbrauch für die Entsorgung abbilden zu können. Für das Basisszenario wurde eine Verdünnung der Bitterns von 1:5 angenommen. Um die Spannbreite verschiedener lokaler Umweltschutzauflagen abdecken zu können, wurde innerhalb einer Sensitivitätsanalyse ein weiteres Verdünnungsszenario mit einem Verhältnis von 1:24 berechnet (vgl. Kapitel 5.3.2).

Mit dem angenommenen Salzgehalt und einer jährlichen Salzproduktion von 3.000.000 Tonnen ergibt sich eine Menge von 85.714.286 m³ Meerwasser, die in das System hineingepumpt werden. Daraus ergibt sich eine Bitterns-Menge von 4.285.714 m³.

Tabelle 16 Berechnung der angenommenen Menge an Abfall in Form von Bitterns und der daraus resultierenden zusätzlichen Pumpenergie in kWh.

Bezeichnung	Menge	Einheit
3,5% Salzgehalt in 1 l Meerwasser	35,0	g/l
Salzproduktion	3.000.000	t/a
Input Meerwasser	85.714.286	m ³ /a
Anteil Bitterns (5%)	4.285.714	m ³ /a

Verdünnung von 1:5

Für eine 1:5 Verdünnung müssen daher zu den 4.285.714 m³ Bitterns 17.142.857 m³ Meerwasser gepumpt werden, was sich in einem zusätzlichen Stromverbrauch von 262.000 kWh niederschlägt.

¹¹ Quelle: EPA Australia, 2008 und J.S. Davis 1999.

¹² Den Hauptanteil der Salze bilden die Chloride, vor allem Kochsalz (Natriumchlorid). Einen geringen Anteil bilden Magnesiumchlorid, Magnesiumsulfat, Kalziumsulfat, Kaliumchlorid und Kalziumkarbonat. In Spuren sind noch weitere Salze im Meerwasser enthalten. Der Salzgehalt der Weltmeere, der Nordsee und Ostsee ist teilweise sehr unterschiedlich, wobei von einem durchschnittlichen Salzgehalt der Meere von 3,5% ausgegangen wird (www.wasser-wissen.de).

Tabelle 17 Übersicht über die angenommenen zusätzlichen Pumpenergien für die Verdünnungsszenarien der Bitterns

Bezeichnung	Menge	Einheit
Stromverbrauch für 1 l Meerwasser	0,00001566	kWh/l
Benötigte Meerwassermenge für 1:5 Verdünnung	17.142.857	m ³
Stromverbrauch für 1:5 Verdünnung (Pumpenergie)	262.000	kWh
Benötigte Meerwassermenge für 1:24 Verdünnung	98.571.429	m ³
Stromverbrauch für 1:24 Verdünnung (Pumpenergie)	1.506.500	kWh

Ein weiteres Problem bei der Herstellung von Meersalz ist die Versickerung. Bei der Auswahl der Standorte von Meersalzanlagen wird im Allgemeinen darauf geachtet, dass der Untergrund möglichst dicht ist. Im Laufe der Zeit dichten sich die Becken zusätzlich selbst mit ausgeschiedenen Calciumsalzen und organischem Sediment ab. Die Permeabilität des Beckengrunds und der Dämme für Meerwasser und konzentrierte Sole sollte so konzipiert sein, dass die Sole nicht mehr als 3-7 Zentimeter einsickern kann.

Die Herstellung von Auftausalz aus Meersalz ist mit einer großen Flächennutzung verbunden. Dieser Flächenverbrauch steht in Konkurrenz zu anderen Nutzungen (z.B. landwirtschaftliche Nutzung, Naturschutz). Die von den Herstellungsbetrieben genutzte Fläche (z.B. Bergwerksfläche Unter- und Übertage, Fläche der Meersalzanlage) wird daher als Zusatzinformation in die Untersuchung einbezogen. Tabelle 18 gibt einen Überblick über den unterschiedlichen Umfang der Flächennutzung, sowohl Über- als auch Untertage, für die jeweiligen Herstellungsverfahren.

Tabelle 18 Übersicht über den durchschnittlichen Flächenverbrauch für die Herstellung der verschiedenen Auftausalz-Typen. Im Flächenverbrauch des Salzbergwerks Berchtesgaden sind Übertage noch Waldflächen, die im Besitz des Bergwerks sind, eingeschlossen. Der Flächenverbrauch Untertage beinhaltet hier ein offenes Grubengebäude mit Strecken und Bohrspülwerken. Die Daten zu Meersalz stammen von der Firma Salins in Aigues Mortes (Frankreich). Diese Situation entspricht einer großen Anlage (1,2 Mio Tonnen Salz pro Jahr) und den klimatischen Bedingungen im Mittelmeerraum.

Auftausalz-Typ	Übertage in m ²	Untertage in m ²	Übertage m ² /t	Untertage m ² /t	Durchschnittl. Salzproduktion in t/Jahr
Steinsalz (Bergwerk Heilbronn)	230.260	28.000.000	0,09	11	2.504.307
Siedesalz (Natursole, Saline Bad Reichenhall)	57.696	–	0,85	–	67.540
Siedesalz (Bohrspülwerke Salzbergwerk Berchtesgaden)	1.120.000 ¹³	4.500.000	4,81	19	233.066
Solution Mining (Bsp. Hengelo, NL)	* (s. Anm.)	1.100.000		0,5	2.400.000
Meersalz (durchschnittlich)	108.000.000	–	90	–	1.200.000

* Anmerkung zum Flächenverbrauch Übertage beim Solution.Mining, da hier keine konkreten Daten vorliegen: Übertage sind die einzelnen Bohrlöcher mit einem Bohrlochkopf abgeschlossen. An diesem Bohrlochkopf befinden sich die angeschlossene Wasserleitung, die Soleleitung und die Blanketleitung. Das Wasser zur Aussolung wird mit Hochdruckpumpen in die Kavernen gedrückt. Die dazugehörigen Pumpen sind in einem Pumpengebäude untergebracht. Zusätzlich dazu gibt es noch eine Blanketstation, in der ein Dieseltank mit Pumpen untergebracht ist. Die Rohrleitungen sind in der Regel unterirdisch verlegt. Der Flächenverbrauch ist demnach sehr gering

Daten zu Meersalz

Die spezifischen Primärdaten zum Stromverbrauch der verschiedenen Pumpen, der Förderbänder, Stapler und Entnahmegeräte sowie zum Dieselverbrauch der Erntemaschinen stammen von Salt Partners, einem Consultant im Bereich Meersalzanlagen, und beziehen sich auf eine Anlage in West-Australien mit einer Jahreskapazität von 3.000.000 t NaCl/Jahr. Diese Daten lassen sich nach Aussagen von Experten auf große Meersalzanlagen im Mittelmeerraum, wie z.B. Süd-Frankreich oder Tunesien übertragen.

Tabelle 19 Übersicht über die Herkunft der Daten zum Auftausalztyp Meersalz

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Transport/Ernte	Betrieb, Lkw 7.5-16t, EURO3 [RER]	EcoInvent v2.0	

¹³ Inkl. Waldbesitz.

Für den Transport und die Ernte und den dadurch resultierenden Dieserverbrauch wurde aufgrund fehlender spezifischer Daten ein Modul gewählt, dass die Durchschnittswerte eines 7,5-16 t LKWs mit der Euronorm 3 abbildet.

Die primären Rohdaten sind im Anhang 9.4 dargestellt.

5 Wirkungsabschätzung und Ergebnisdarstellung

Nachfolgend werden die Wirkungsbilanz-Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs dargestellt. Zunächst werden dabei die Gesamtergebnisse gezeigt, danach werden die Ergebnisse der Beitragsanalysen dargestellt.

5.1 Gesamtergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle sind die Gesamtergebnisse der verglichenen Alternativen Auftausalz aus Steinsalz, Auftausalz aus Siedesalz (Mehrfacheffekt und Thermokompression) und Auftausalz aus Meersalz für den kumulierten Primärenergieverbrauch (KEA), sowie die Wirkungskategorien Treibhauspotential (GWP), Versauerungspotential (AP), Eutrophierungspotential (EP) und Ozonbildungspotential (POCP) dargestellt.

Tabelle 20 Übersicht über die Gesamtergebnisse je funktionelle Einheit Tonne Salz für die drei Auftausalztypen.

	KEA in MJ/t	GWP in kg CO ₂ -eq./t	AP in kg SO ₂ -eq./t	EP in kg PO ₄ eq./t	POCP in kg Eth eq./t
Steinsalz	195,18	12,93	0,0253	0,0032	0,0010
Siedesalz-Mehrfacheffekt					
Brutto	2.552,63	157,81	0,1495	0,0164	0,0164
Gutschrift	305,51	19,20	0,0280	0,0035	0,0011
Netto	2.247,12	138,61	0,1215	0,0129	0,0153
Siedesalz-Thermokompression	2.485,61	155,25	0,2265	0,0203	0,0121
Meersalz	67,55	0,99	0,0061	0,00024	0,00015

Für die Alternative Siedesalz-Mehrfacheffekt wurde eine Gutschrift für die überschüssige Stromherstellung angerechnet, die im Gesamtergebnis Siedesalz-Mehrfacheffekt (hier ‚netto‘) bereits enthalten ist.

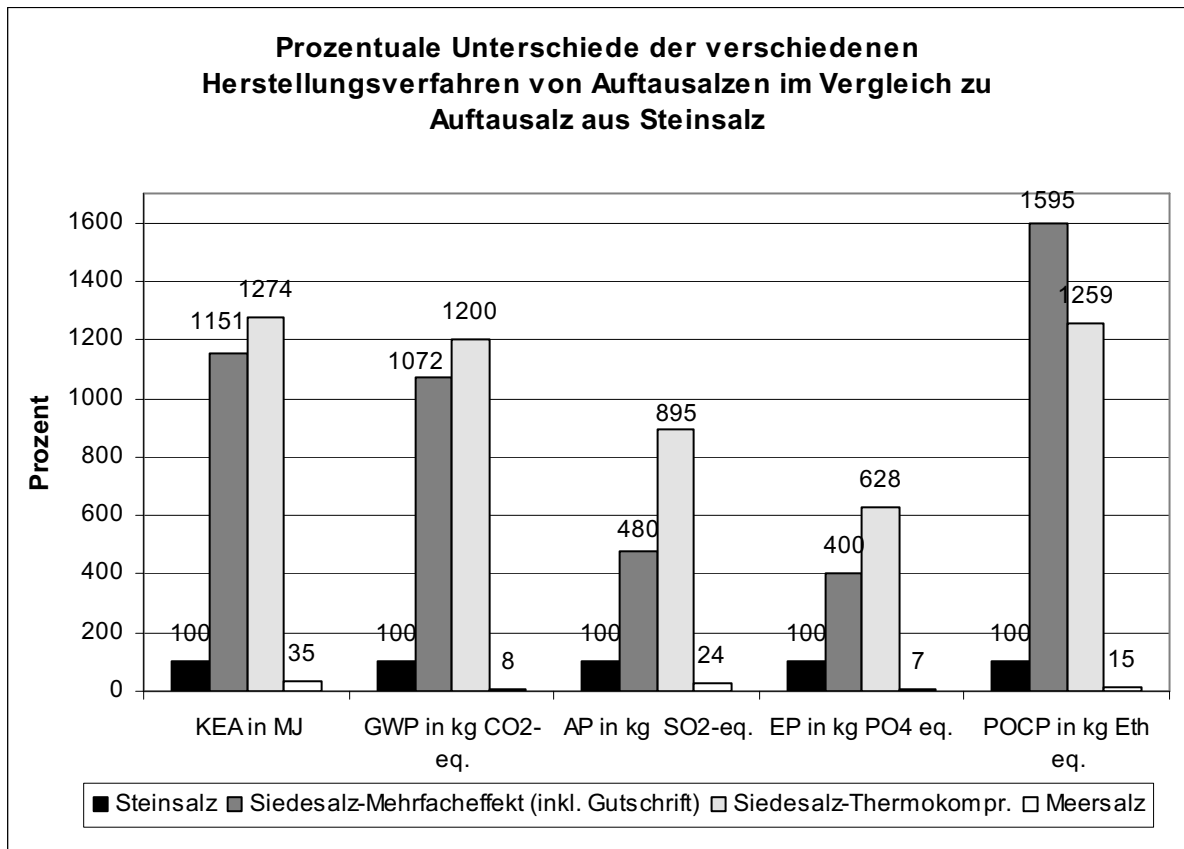


Abbildung 8 Schematischer Überblick über die prozentualen Unterschiede der verschiedenen Herstellungsverfahren von Auftausalzen in Bezug auf die Alternative Steinsalz.

Abbildung 8 gibt einen Überblick über die prozentualen Unterschiede der verschiedenen Herstellungs-Alternativen in Bezug auf die Alternative Steinsalz. Hier wird deutlich, dass Meersalz innerhalb der betrachteten Wirkungskategorien die geringsten Auswirkungen hat. Sie liegen zwischen 35% für den Primärenergieverbrauch und 7% für das Eutrophierungspotential im Vergleich zu Steinsalz. Die beiden Alternativen der Siedesalz-Herstellung liegen in ihren Ergebnissen bei allen Wirkungskategorien deutlich über dem des Steinsalzes. Besonders bei den Wirkungskategorien Primärenergieverbrauch, Treibhauspotential und Ozonbildungspotential. Bei ersteren liegt die Siedesalzherstellung mittels Mehrfacheffektverfahren etwas unter den Werten für das Thermokompressionsverfahren, beim Ozonbildungspotential liegt es mit 1595 Prozentpunkten jedoch deutlich über den 1259 Prozentpunkten des Mehrfacheffektverfahrens. Bei den Wirkungskategorien Versauerungs- und Eutrophierungspotential wiederum liegt das Mehrfacheffektverfahren mit 480 bis 400 Prozent deutlich unter den Ergebnissen für die Thermokompression mit 895 und 628 Prozent.

Eine weitere relevante Wirkungskategorie, die in den oben dargestellten Ergebnissen nicht abgebildet wurde, ist der Flächenverbrauch (vgl. hierzu auch Kapitel 3.2.6 und 4.2.3). Vor allem die Herstellung von Auftausalz aus Meersalz geht mit einer großen Flächennutzung

einher, die in Konkurrenz zu anderen Nutzungen treten kann, wie z.B. landwirtschaftliche Nutzung oder Naturschutz. Aufgrund fehlender Daten konnte die Flächennutzung als Wirkungskategorie über den gesamten Lebensweg jedoch nicht abgebildet werden.

5.2 Beitragsanalysen

Um die ergebnisrelevanten Prozesse zu identifizieren, werden nachfolgend ausgewählte Beitragsanalysen dargestellt, die zeigen sollen, welchen Anteil beispielsweise der elektrische oder thermische Energiebezug oder auch die Kraftstoffe inklusive ihrer Verbrennung haben.

In den nachfolgend dargestellten Ergebnissen für Siedesalz-Mehrfacheffekt ist die Gutschrift jeweils berücksichtigt worden. Die Ergebnisse der weiteren berücksichtigten Wirkungskategorien Versauerungspotential, Eutrophierungspotential und Photochemisches Oxidantienpotential werden hier nicht näher dargestellt, da sich die Ergebnisse sowohl des Primärenergieverbrauchs, als auch des Treibhauspotentials insgesamt die gleiche Tendenz aufweisen.

Abbildung 9 zeigt die absoluten Ergebnisse der Beitragsanalyse für den Primärenergieverbrauch in MJ. Sie zeigt deutlich, dass die beiden Alternativen des Siedesalzes durch ihren hohen Energieverbrauch dominiert sind. Sie unterscheiden sich lediglich in der Art ihres Energieverbrauchs. Bei der Thermokompression dominiert der Anteil elektrischer Energie, beim Mehrfacheffektverfahren ist es der thermische Energieverbrauch, der mit 90,6% das Gesamtergebnis dominiert. Der elektrische Energieverbrauch innerhalb des Thermokompressionsverfahrens trägt zu fast 90% des Gesamtergebnisses bei (vgl. Abbildung 10).

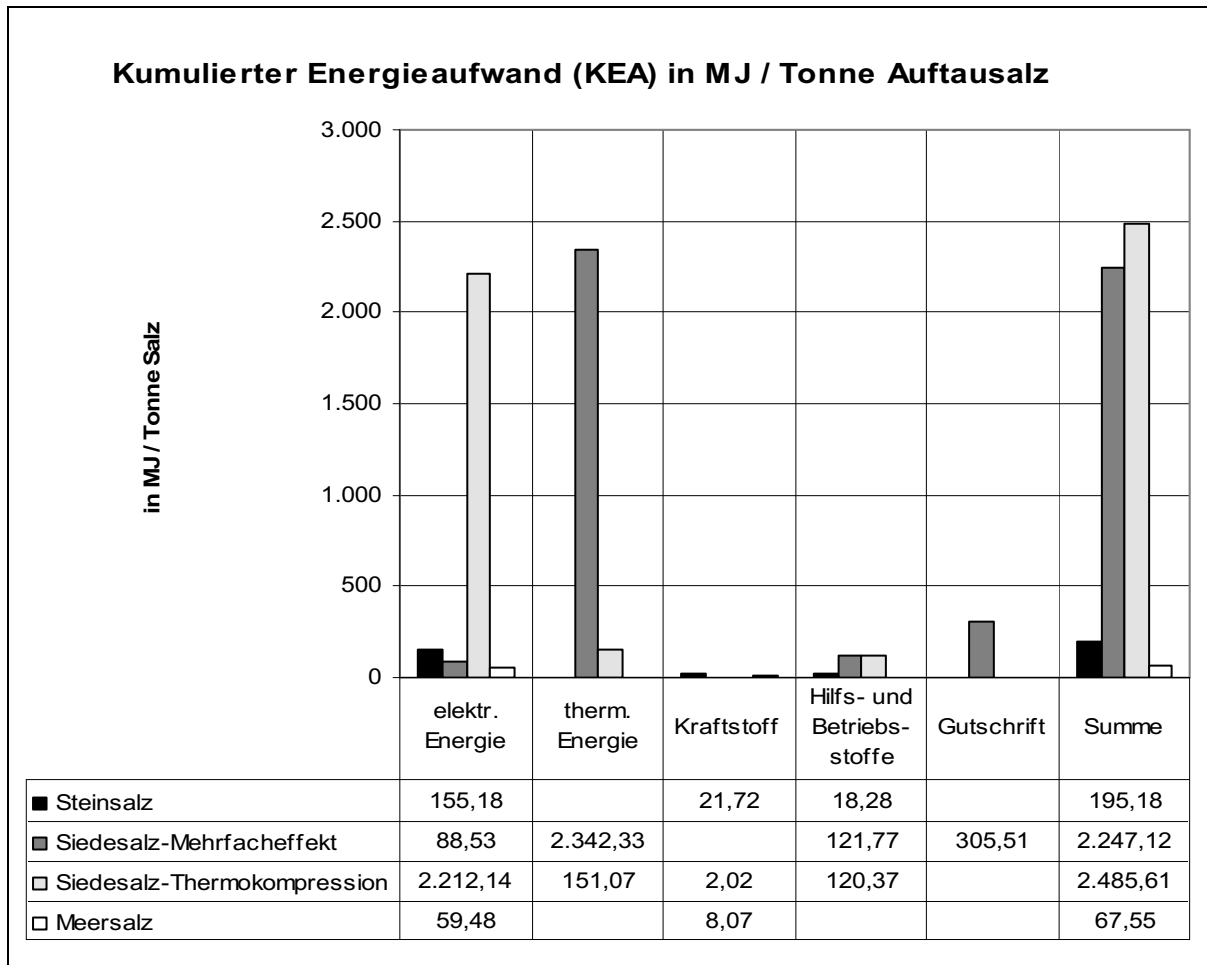


Abbildung 9 Kumulierter Energieaufwand (KEA) pro Tonne Salz: Ergebnis des ökobilanziellen Vergleichs der drei Auftausalz-Alternativen. Unter Hilfs- und Betriebsstoffe fällt beim Siedesalz die Herstellung der Fällchemikalien, bei Steinsalz z.B. die Trinkwasserbereitstellung und das Hydrauliköl. Kraftstoff impliziert sowohl die Kraftstoffbereitstellung, als auch seine Verbrennung.

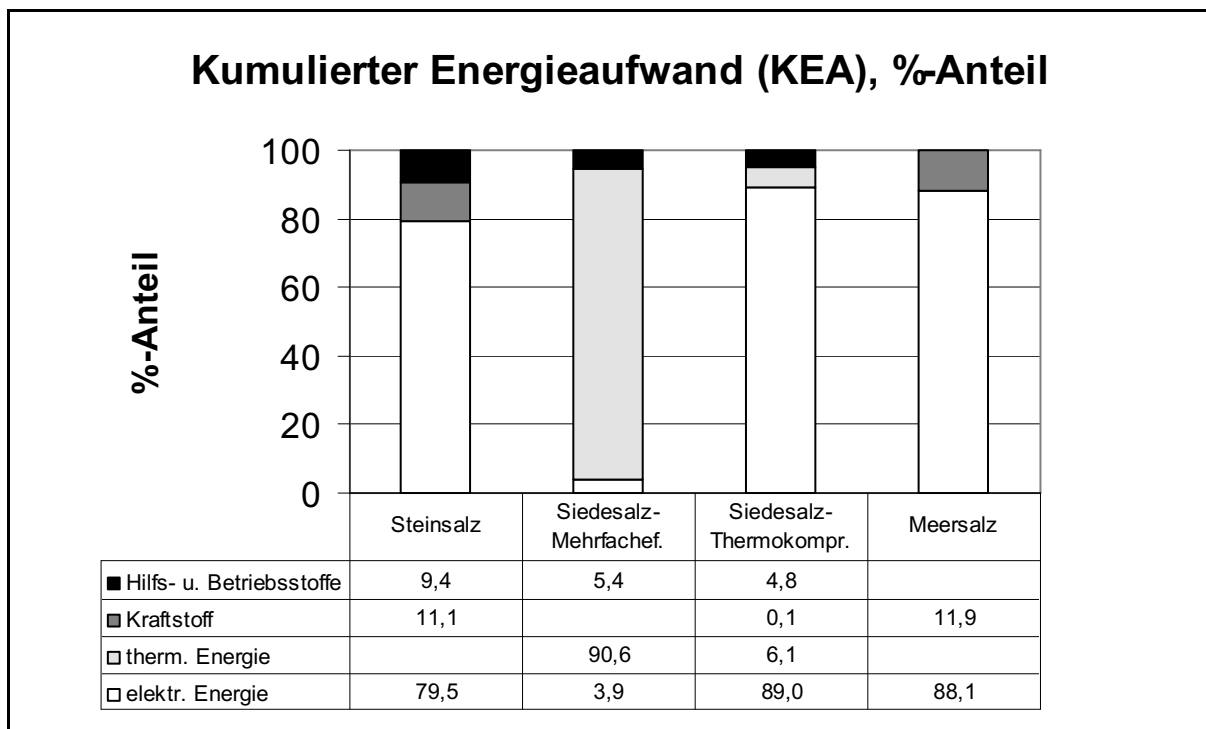


Abbildung 10 Prozentualer Anteil des Primärenergiebedarfs (KEA) pro Tonne Salz bezogen auf die relevanten Faktoren (z.B. Energieverbrauch) und das Gesamtergebnis.

Betrachtet man die weiteren Alternativen, so wird deutlich, dass auch beim Stein- und Meersalz der Verbrauch elektrischer Energie mit 80% beim Steinsalz und 89% beim Meersalz das Gesamtergebnis des Primärenergieverbrauchs dominiert.

Die absoluten Ergebnisse für die Beitragsanalyse des Treibhauspotentials, dargestellt in Abbildung 11, sind im Verhältnis praktisch identisch zu den Ergebnissen des Primärenergieverbrauchs. Auch hier dominieren die beiden Siedesalz-Alternativen durch ihren Energieverbrauch. Ihre prozentualen Anteile am Gesamtergebnis sind hier aber mit 83% geringer (vgl. Abbildung 12). Der Anteil des Energieverbrauchs bei der Steinsalzherstellung beträgt für das Treibhauspotential knapp 69%, während die Hilfs- und Betriebsstoffe hier einen Anteil von 19,7% einnehmen. Die Ergebnisse bei der Meersalzherstellung werden zu 56% durch die Ernte und den Transport bestimmt. Der Stromverbrauch hat einen Anteil von 44%.

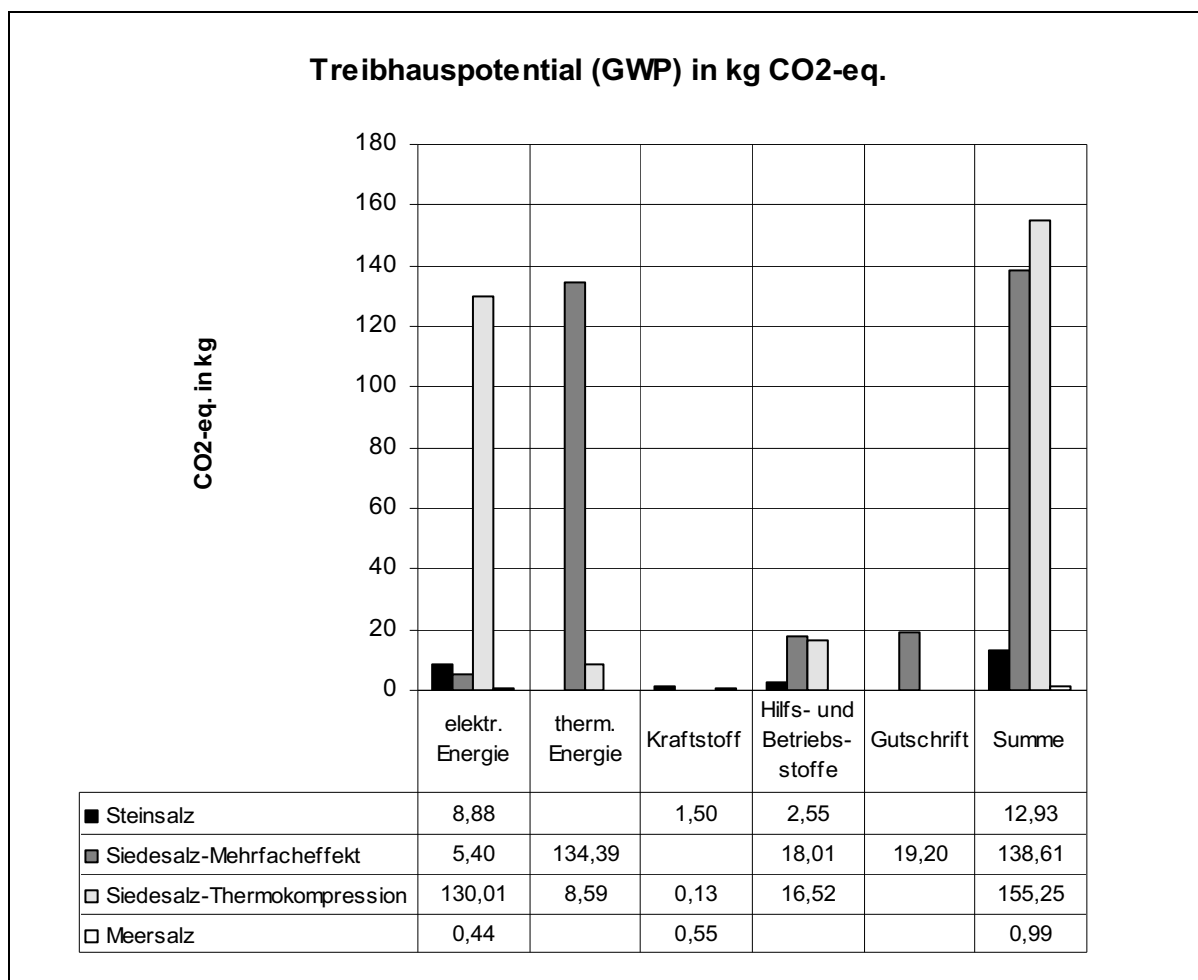


Abbildung 11 Treibhausgaspotential (GWP) pro Tonne Salz: Ergebnis des ökobilanziellen Vergleichs der drei Auftausalz-Alternativen. Unter Hilfs- und Betriebsstoffe fällt hier beim Siedesalz die Herstellung der Fällchemikalien, bei Steinsalz z.B. die Trinkwasserbereitstellung und Hydrauliköl. Kraftstoff impliziert sowohl die Kraftstoffbereitstellung, als auch seine Verbrennung.

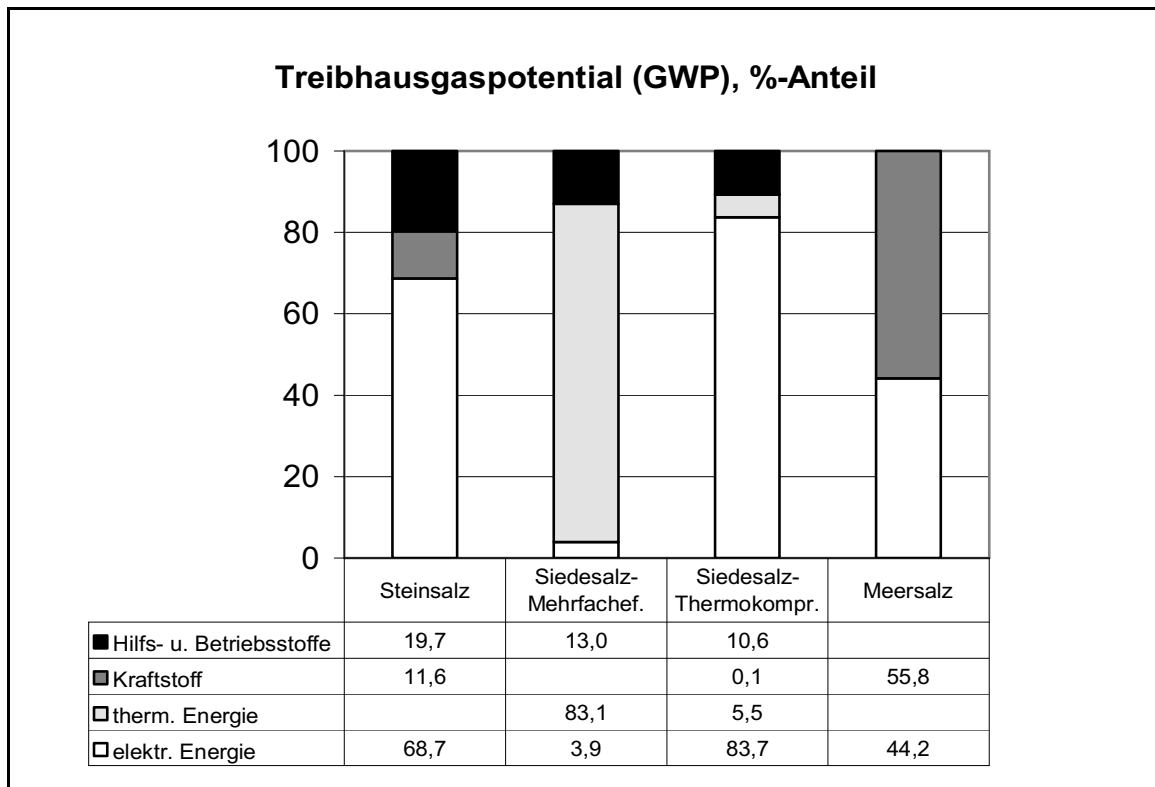


Abbildung 12 Prozentualer Anteil des Treibhauspotentials pro Tonne Salz bezogen auf die relevanten Faktoren (z.B. Energieverbrauch) und das Gesamtergebnis.

Auf Grund der ergebnisdominierenden Anteile der beiden Siedesalz Alternativen wurde im folgenden eine zusätzliche Beitragsanalyse für die beiden relevantesten Wirkungskategorien Primärenergiebedarf und Treibhauspotential durchgeführt, die den Einfluss der verschiedenen Produktionsschritte auf die Gesamtergebnisse näher betrachtet.

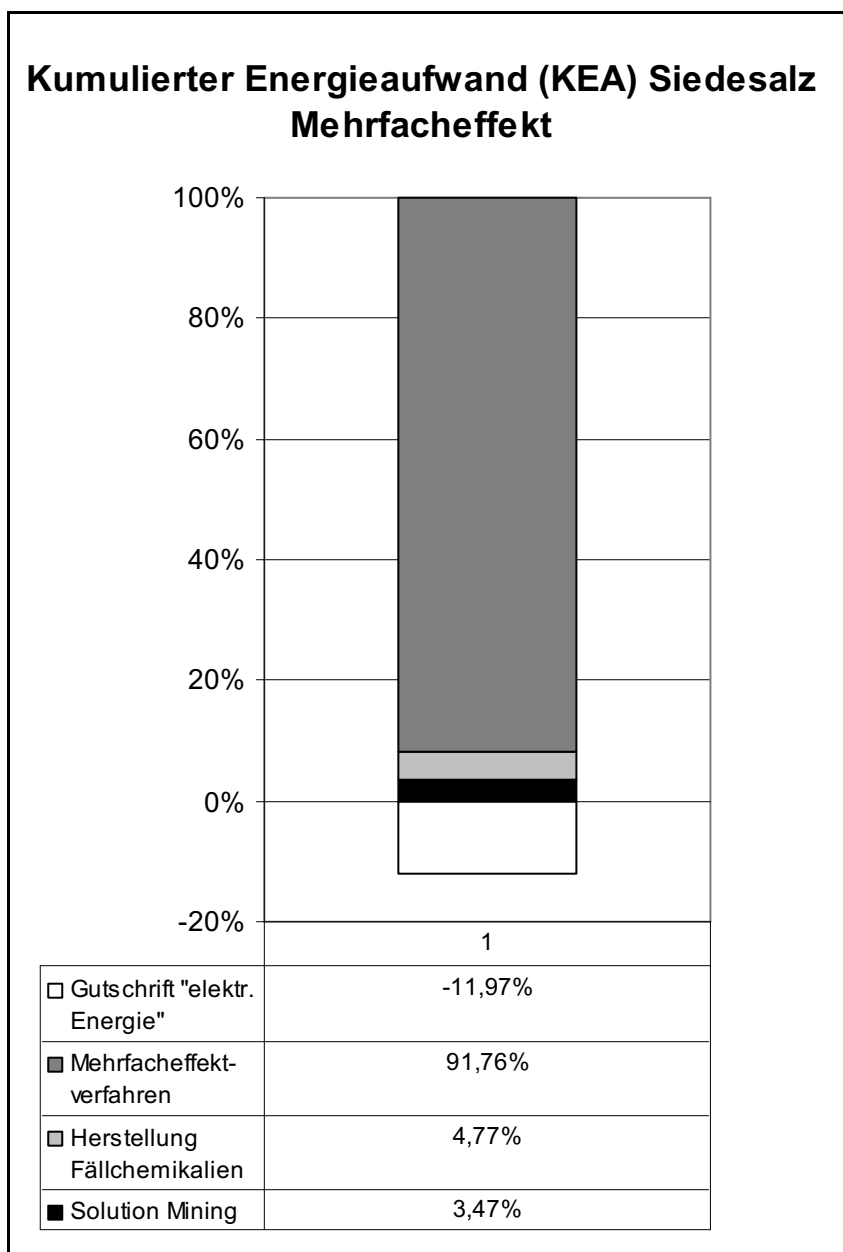


Abbildung 13 Siedesalz-Mehrfacheffekt: Prozentualer Anteil des Primärenergiebedarfs an den Produktionsschritten Soleherstellung, Herstellung der Fällchemikalien, Mehrfacheffektverfahren, inklusive des Anteils der Gutschrift am Gesamtergebnis.

Vergleicht man die Beiträge der beiden Herstellungsalternativen für den Primärenergiebedarf an den verschiedenen Produktionsschritten, so wird deutlich, dass die Eindampfungsprozesse der Sole zur Salzgewinnung den größten Beitrag leisten: beim Mehrfacheffektverfahren mit 92% und bei der Thermokompression mit 79%. Die Herstellung der Fällchemikalien zur Soleenthärtung machen bei beiden Alternativen nur ca. 5% aus. Anders ist es bei den unterschiedlichen Solegewinnungen: das Solution Mining, das hier vor dem Mehrfacheffektverfahren steht, hat nur einen Anteil von 3,47%, während die Solegewinnung mittels

Bohrspülwerk und Natursole einen Anteil von 8,59% hat. Die Trocknung des Siedesalzes nach der Thermokompression hat hier noch einen zusätzlichen Anteil von 5,48%.

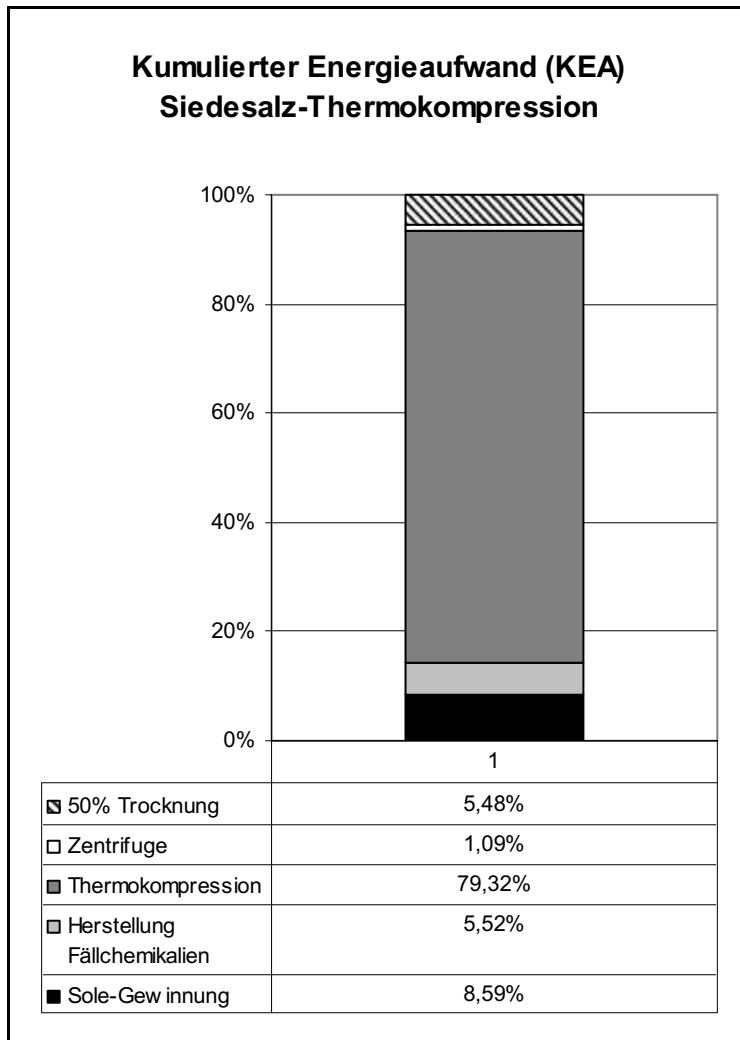


Abbildung 14 Siedesalz-Thermokompression: Prozentualer Anteil des Primärenergiebedarfs an den Produktionsschritten Soleherstellung, Herstellung der Fällchemikalien, Thermokompressionsverfahren.

Die Ergebnisse für die Treibhauspotentiale zeigen ebenfalls, dass Eindampfungsprozesse der Sole zur Salzgewinnung den größten Beitrag leisten: beim Mehrfacheffektverfahren mit 85% und bei der Thermokompression mit 74,3% (vgl. Abbildung 15 und Abbildung 16). Der Beitrag der Fällchemikalien ist bei beiden Alternativen mit rund 12% deutlich höher, als beim Primärenergiebedarf. Beim Thermokompressionsverfahren hat die Trocknung noch einen Anteil von knapp 5% und die Solegewinnung trägt mit 7,8% zum Gesamtergebnis bei. Beim Mehrfacheffektverfahren liegt dieser Anteil bei nur 3,42%.

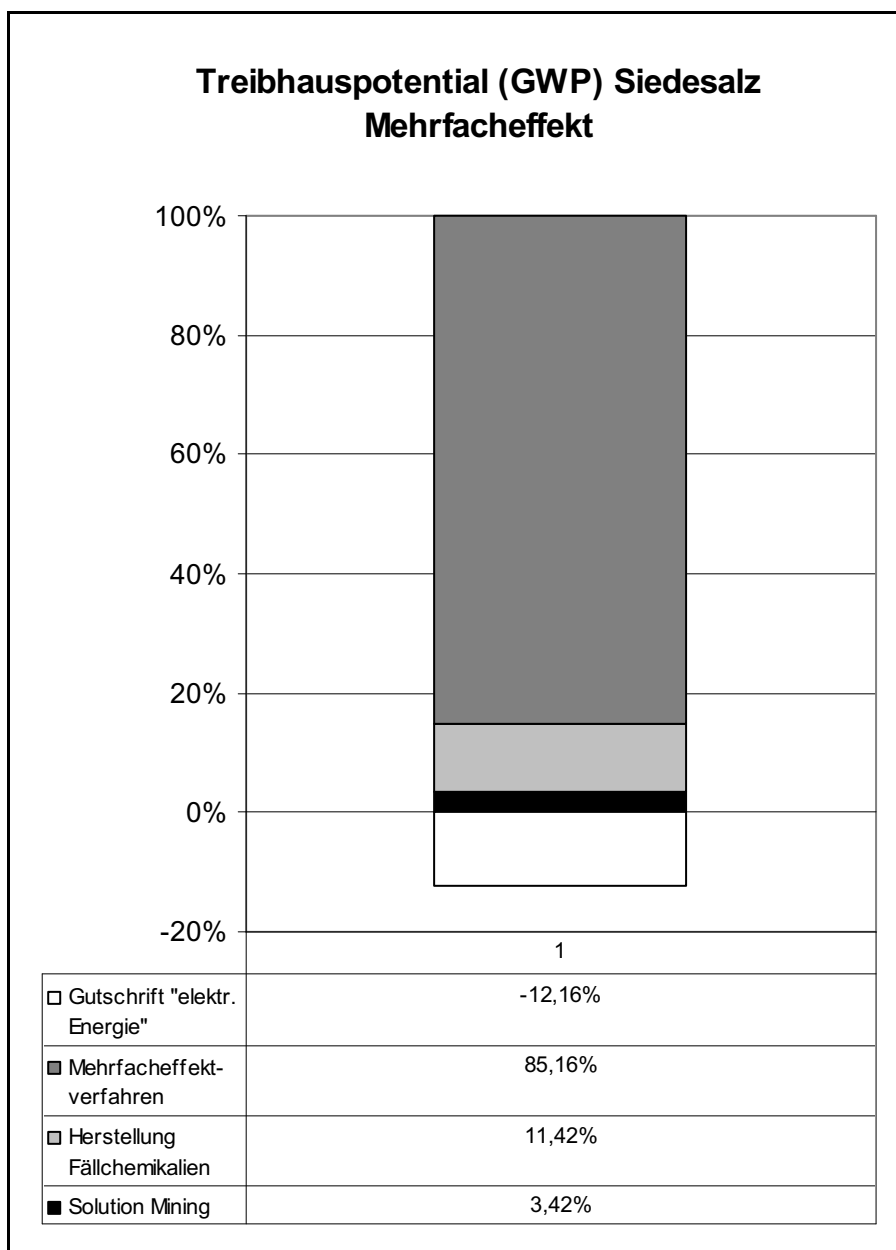


Abbildung 15 Siedesalz-Mehrfacheffekt: Prozentualer Anteil des Treibhauspotentials an den Produktionsschritten Soleherstellung, Herstellung der Fällchemikalien, Mehrfacheffektverfahren.

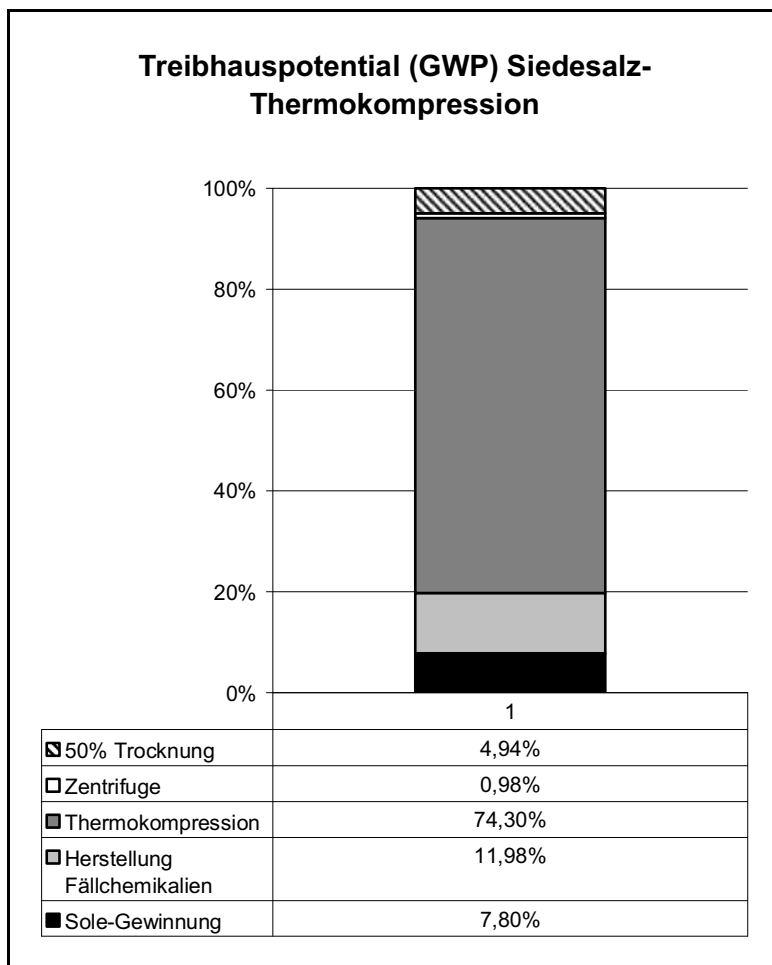


Abbildung 16 Siedesalz-Thermokompression: Prozentualer Anteil des Treibhauspotentials an den Produktionsschritten Soleherstellung, Herstellung der Fällchemikalien, Thermokompressionsverfahren.

5.3 Sensitivitätsanalysen

Sensitivitätsanalysen dienen dazu, für ergebnisrelevante Module der Bilanz, für die eine Unsicherheit bezüglich der verwendeten Daten besteht, zu prüfen, welchen Einfluss andere Annahmen auf das Ergebnis haben. Nachfolgend sind ausgewählte und für die vorliegende Studie relevante Sensitivitätsanalysen dargestellt.

5.3.1 Steinsalz: Szenario „Teufe Borth“

Um den Einfluss der unterschiedlichen Teufen der verschiedenen Bergwerke für die Steinsalzproduktion (vgl. Tabelle 7) auf das Gesamtergebnis zu kontrollieren, wurde eine Sensitivitätsanalyse mit einem erhöhten Stromverbrauch gerechnet. Dieser beschreibt das „Worst-Case-Szenario“ des Bergwerks Borth mit einer Teufe von 740-900 m.

Hierzu wurde angenommen, dass der Stromverbrauch für den Förderschacht in Borth um 50% höher liegt als der Verbrauch für die Förderschächte in Heilbronn (Teufe 224/236 m), da er nicht linear zur Teufe ist, sondern von der Geschwindigkeit und der Anfahrenergie abhängt. Hieraus ergibt sich ein Mehrverbrauch an elektrischer Energie von 3.811.947 kWh und ein Gesamtenergieverbrauch von 41.931.419 kWh, da der Anteil des Stromverbrauchs, der in Heilbronn der Schachtförderung zugerechnet wird bei 14,5% des Gesamtverbrauchs liegt, also bei 5.527.323 kWh. Um mögliche Ungenauigkeiten zu berücksichtigen, wurden 10% statt der rechnerisch ermittelten 7,5% des Gesamtverbrauch zugerechnet wurden.

Tabelle 21 Berechnung für den Stromverbrauch für das Szenario „Teufe Borth“

Stromverbrauch für „Teufe Borth“	kWh/Jahr
Gesamtstromverbrauch Bergwerk Heilbronn	38.119.472
Anteiliger Stromverbrauch für die Schachtförderung (14,5%)	5.527.323
Erhöhter Stromverbrauch für die Schachtförderung Borth (10%)	3.811.947
Stromverbrauch für Szenario „Teufe Borth“	41.931.419

Tabelle 22 Übersicht über die Ergebnisse des Basisszenarios Steinsalz im Vergleich zum Szenario „Teufe Borth“ bezogen auf die relevanten Wirkungskategorien.

	KEA in MJ/t	GWP in kg CO₂-eq./t	AP in kg SO₂-eq./t
Steinsalz Basisszenario	195,18	12,93	0,025
Steinsalz Szenario "Teufe Borth"	210,69	13,82	0,027
Differenz in %	7,4	6,4	4,6

Die Ergebnisse des Szenarios „Teufe Borth“ zeigen am Beispiel des Primärenergiebedarfs, dass sich eine tiefere Teufe in einem bis zu 7% höheren Gesamtergebnis niederschlagen kann. Für das Treibhauspotential liegt das Gesamtergebnis um 6% höher, beim Versauerungspotential sind es noch 4,6%.

5.3.2 Meersalz: Szenarien „Bitterns-Verdünnung“

Wie in Kapitel 4.2.3 bereits aufgeführt, entsteht bei der Meersalzherstellung ein spezifischer Abfall in Form der sogenannten flüssigen Bitterns. Hierbei handelt es sich um den Überstand, der nach der Kristallisation des NaCl_s übrig bleibt. Bitterns besteht aus Calciumsulfat, Calciumcarbonat und Magnesium. Ihr Anteil beträgt ca. 2-5%¹⁴ des Meerwassers, das zur Herstellung des Salzes in das System gepumpt wird. Die Bitterns wird zur Entsorgung mit Meerwasser verdünnt und anschließend ins Meer zurückgegeben.

¹⁴ Quellen: EPA Australia und J.S. Davis 1999

Um diese Abwasser-Problematik innerhalb dieser Studie abbilden zu können, wurde für die Herstellung von Meersalz und die Berechnung der daraus resultierenden Umweltauswirkungen in Kapitel 4.2.3 die Annahme getroffen, dass die Bitterns 1:5 verdünnt wird und es hierdurch zu keinen negativen Umweltauswirkungen im Zielgewässer kommt, Diese Annahme wird über die Pumpleistung als Energieverbrauch quantifiziert und kann dadurch über die klassischen Umweltauswirkungen im Rahmen dieser Ökobilanz beschrieben werden.

Um die Spannbreite verschiedener lokaler Umweltschutzaufgaben abdecken zu können, wurde ein zweites Verdünnungsszenario mit einer Verdünnung von 1:24 als Sensitivität berücksichtigt (Quelle: EPA Australien 2008, J.S. Davis 1999).

- 0,035 g Salz in 1 Liter Meerwasser
- 5% Anteil Bitterns am Gesamt-Input des benötigten Meerwassers zur Salzherstellung
- Verdünnung der Bitterns mit Meerwasser 1:24

Szenario Verdünnung von 1:24

Für eine 1:24 Verdünnung müssen zu den 4.285.714 m³ Bitterns 98.571.429 m³ Meerwasser gepumpt werden. Hieraus ergibt sich ein zusätzlicher Stromverbrauch von 1.506.500 kWh (vgl. hierzu Kapitel 4.2.3 und Tabelle 17).

Tabelle 23 Übersicht über die Gesamtergebnisse des Basisszenarios Meersalz 1:5 im Vergleich zum Szenario „1:24“ bezogen auf die relevanten Wirkungskategorien.

	KEA in MJ/t	Differenz in %	GWP in kg CO ₂ -eq./t	Differenz in %
Meersalz Basisszenario „1:5“	67,55		0,99	
Meersalz Szenario „1:24“	72,60	6,96	1,03	3,62

Die Ergebnisse der beiden Verdünnungsszenarien für die relevanten Wirkungskategorien Primärenergiebedarf und Treibhauspotential zeigen, dass eine Verdünnung der Bitterns in einem Verhältnis von 1:24 das Gesamtergebnis für den Primärenergiebedarf um 7% und für das Treibhauspotential um 3,6% erhöhen würde.

5.3.3 Siedesalz: Szenarien „Solution-Mining“

Für die unterschiedlichen Stromverbräuche des Solution Minings zur Siedesalzherstellung, die sich aus den verschiedenen Tiefen der Salzvorkommen ergeben, wurde zusätzlich zum Basisszenario „Fall 2“ (8.1 kWh / Tonne Salz) das Szenario „Fall 1“ gerechnet, mit einem Stromverbrauch von 5,7 kWh/Tonne Salz, der einem Salzvorkommen in 450-500 m Tiefe entspricht (vgl. Tabelle 10).

Das Szenario „Fall 1“ ergab im Vergleich zum Basisszenario „Fall 2“ weder für den Prozess der Strombereitstellung noch für das Gesamtergebnis einen signifikanten Unterschied.

5.3.4 Szenarien „Strommix Europa“

Um den Einfluss des länderspezifischen Strommixes auf die Gesamtergebnisse zu analysieren, wurde für jede der vier Alternativen ein Szenario „Strommix Europa“ berechnet, in dem ein Strommix aus den UCTE-Ländern¹⁵ zu Grunde gelegt wurde.

Tabelle 24 Übersicht über die Herkunft der Daten zum Szenario „Strommix Europa“

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Strombereitstellung	Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz [UCTE]	EcolInvent v2.0	Geographischer Bezug: UCTE (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity) = Union für die Koordinierung der Erzeugung und des Transports elektrischer Energie.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse sind in Tabelle 26 für die relevanten Wirkungskategorien einzeln aufgeführt.

Tabelle 25 Übersicht über die Gesamtergebnisse des jeweiligen Basisszenarios und des Szenarios „Strommix Europa“ (= EU-Mix) bezogen auf die relevanten Wirkungskategorien. Die Differenz zum Basisszenario ist für jedes Ergebnis in Prozent aufgeführt..

	KEA in MJ/t			GWP in kg CO ₂ -eq./t			AP in kg SO ₂ -eq./t		
	Basis	EU-Mix	%-Diff.	Basis	EU-Mix	%-Diff.	Basis	EU-Mix	%-Diff.
Steinsalz	195,18	193,99	-0,61	12,93	11,21	-13,35	0,03	0,04	76,46
Siedesalz-Mehrfach-effekt (inkl. Gutschrift)	2.247,12	2.240,79	-0,28	138,61	142,03	2,47	0,12	0,10	-21,32
Gutschrift Mehrfacheffekt	305,51	313,53	2,62	19,20	14,57	-24,11	0,03	0,06	130,11
Siedesalz-Thermokompr.	2.485,61	2.468,64	-0,68	155,25	127,24	-18,04	0,23	0,50	121,74
Meersalz	66,48	62,13	-6,55	0,98	3,07	211,34	0,01	0,01	144,41

Tabelle 25 zeigt die Gesamtergebnisse der Basisszenarien mit ihren jeweiligen länderspezifischen Strommixen bezogen auf die relevanten Wirkungskategorien im Vergleich zu

¹⁵ UCTE = Union für die Koordinierung der Erzeugung und des Transports elektrischer Energie, sie umfasst folgende Länder: Belgien, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Italien, Kroatien, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Portugal, Polen, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechien, Ungarn, Bundesrepublik Jugoslawien, Bosnien-Herzegowina, Mazedonien.

den Ergebnissen mit einem durchschnittlichen Strommix aus den UCTE-Ländern. Für die Wirkungskategorie des kumulierten Energieaufwands ist der Einfluss des Strommixes relativ gering: bei den Auftausalz-Alternativen aus Stein- und Siedesalz, die mit dem deutschen Strommix berechnet wurden, liegt der prozentuale Unterschied zwischen -0,61 und -0,68 Prozent. Beim Siedesalz-Mehrfacheffekt-Verfahren, dem der niederländische Strommix zugrunde gelegt wurde, beträgt der Unterschied nur -0,28%. Bei Meersalz ist der Unterschied zum französischen Strommix mit -6,55% am höchsten.

Bei der Wirkungskategorie Treibhauspotential ist der Einfluss allgemein höher, die Verteilung ist jedoch ähnlich. Hier liegt der Unterschied bei den Auftausalz-Alternativen aus Stein- und Siedesalz, die mit einem deutschen Strommix berechnet wurden, zwischen -13,35 und -18,04 Prozent. Beim Siedesalz-Mehrfacheffekt-Verfahren, dem der niederländische Strommix zugrunde gelegt wurde, beträgt der Unterschied nur 2,47%. Bei Meersalz ist hier ein sehr großer Einfluss zu vermerken. Das Gesamtergebnis erhöht sich hier durch einen durchschnittlichen europäischen Strommix um 211 Prozent. Dies wird durch den hohen Anteil Kernkraft im französischen Strommix begründet.

Bedingt durch die länderspezifischen Strommixe verhalten sich auch die Ergebnisse der Wirkungskategorie AP in einem entsprechenden Verhältnis .

5.3.5 Transporte

Um den Einfluss der Transporte zum Kunden näher untersuchen zu können, wurden im Rahmen dieser Studie Szenarien zu den verschiedenen Transportarten und Distanzen im Hinblick auf die betrachteten Auftausalz-Alternativen analysiert. Auftausalze können per LKW, per Güterzug oder aber auch per Frachter transportiert werden. Tabelle 13 gibt eine Übersicht über die verwendeten Daten der jeweiligen Transportmittel. Abbildung 17 und Abbildung 18 geben einen Überblick über die jeweiligen Ergebnisse der verschiedenen Transportmittel, bezogen auf ihren Primärenergieverbrauch und das durch sie verursachte Treibhauspotential.

Verwendete Datenquellen:

Tabelle 26 Überblick über die in der Studie für Transporte verwendeten Datenquellen.

Transportart	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkungen
Frachter, Binnen-gewässer (1200 t)	Transport, Frachter, Binnengewässer [RER]	EcoInvent v2.0	Durchschnittsdaten zum Binnenschifftransport eines Frachters (1200 t) in Europa.
Frachter, Übersee (50.000 t)	Transport, Frachter Übersee [OCE]	EcoInvent v2.0	Durchschnittsdaten zum Überseetransport eines Frachters (50.000 t) auf dem Ozean.
Frachter Mittelmeertransport	General cargo (5,000-9,999 dwt)	Buhaug et al. 2008	Durchschnittsdaten zum Transport eines Frachters (5,000-9,999 dwt)
Lkw > 32 t, EURO3	Transport, Lkw > 32 t, EURO3 [RER]	EcoInvent v2.0	Durchschnittsdaten zum LKW-Transport (>32t), Euro 3, in Europa
Lkw > 32 t, EURO5	Transport, Lkw > 32 t, EURO5 [RER]	EcoInvent v2.0	Durchschnittsdaten zum LKW-Transport (>32t), Euro 5, in Europa
Güterzug (gemittelt)	Zug-Güter-DE-2000 (gemittelt)	GEMIS 4.5	Durchschnittsdaten zum Güterzugtransport (Annahme: 37,5% Diesel und 62,5% elektrisch) in Deutschland

Für den LKW-Transport wurde ein Mittelwert aus Euro 3 und Euro 5 LKWs angenommen, da dieser das Verhältnis der LKW-Flotten von Speditionen in Deutschland gut abbildet.

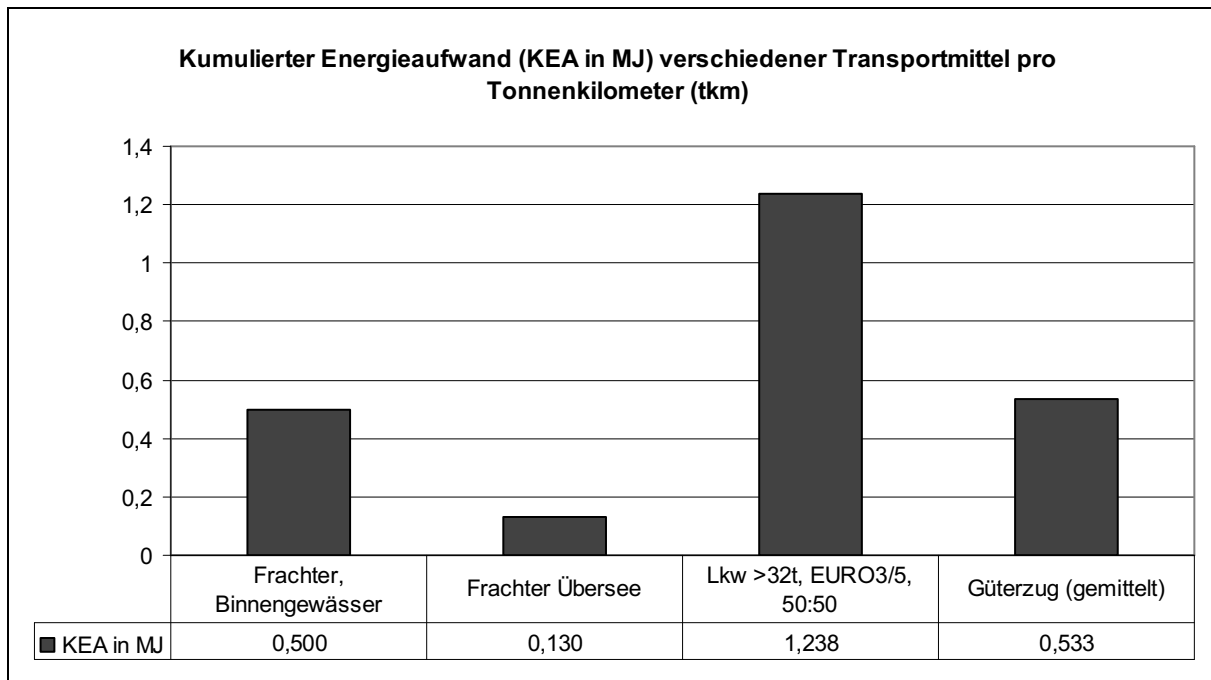


Abbildung 17 Primärenergieverbrauch für die verschiedenen Transportmittel pro Tonnenkilometer. „Güterzug gemittelt“ bedeutet, dass 37,5% Diesel-Betrieb und 62,5% elektrischer Betrieb angenommen wurde.

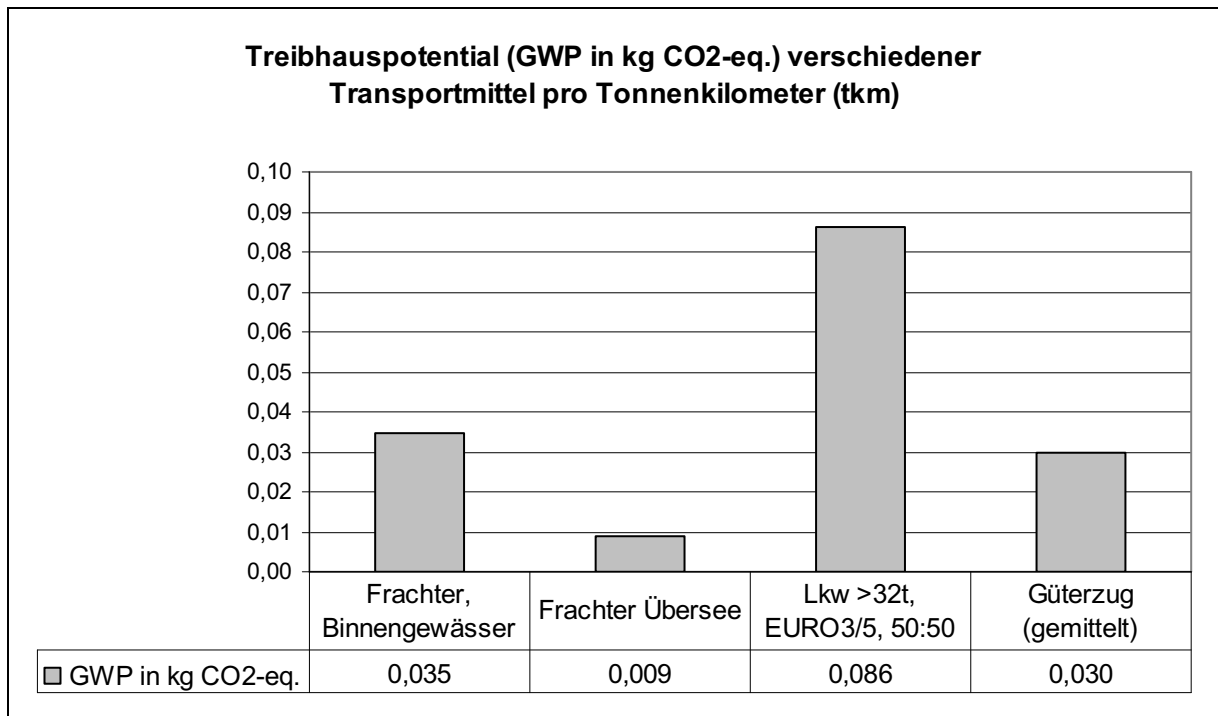


Abbildung 18 Treibhauspotential für die verschiedenen Transportmittel pro Tonnenkilometer. „Güterzug gemittelt“ bedeutet, dass die Annahme 37,5% Diesel-Betrieb und 62,5% elektrischer Betrieb getroffen wurde.

Betrachtet man lediglich die Tonnenkilometer, so schneidet sowohl beim Primärenergiebedarf, als auch beim Treibhauspotential der LKW-Transport deutlich schlechter ab, als der Frachter Binnengewässer, der hier den dritten Platz einnimmt und der Güterzug auf dem zweiten Platz. Den niedrigsten Primärenergieverbrauch und die wenigsten Treibhausemissionen verursacht der Frachter-Transport Übersee.

5.3.5.1 Transporte: Szenario „Transport über 500 km“

Um das Verhältnis zwischen den Einflüssen der verschiedenen Herstellungsverfahren für die Auftausalz-Alternativen und dem Einfluss der Transportmittel näher zu analysieren, wurde der Transport einer Tonne Auftausalz über 500 km berechnet:

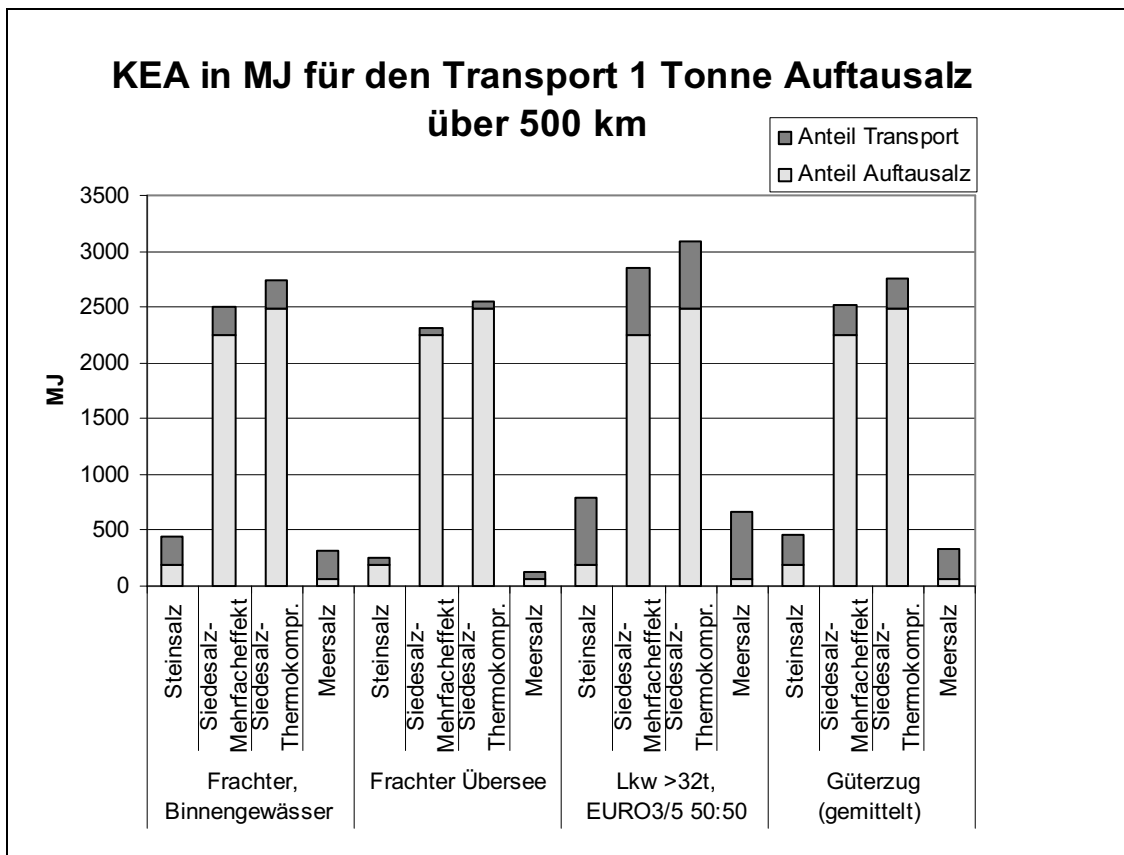


Abbildung 19 Primärenergiebedarf in MJ für den Transport einer Tonne Auftausalz über 500 km, unterteilt in den Anteil des Herstellungsverfahrens des Auftausalzes und des spezifischen Transports.

Durch diese Analyse wird deutlich, dass sich die Wahl des Transportmittels vor allem bei den Alternativen Steinsalz und Meersalz niederschlägt. Durch ihren während ihrer Herstellung niedrigen Primärenergieverbrauch, ist der Anteil, der durch den Transport verursacht wird relativ hoch. Beim Frachter Binnengewässer macht er einen Anteil von 56% beim Steinsalz und 79% beim Meersalz aus. Sein Anteil bei den beiden Siedesalz-Alternativen beträgt hier lediglich 9-10%. Noch deutlicher wird dies beim Transport per LKW, hier beträgt der Anteil des Transports für Steinsalz 75% und für Meersalz 90%. Für die beiden Siedesalz-Alternativen liegt er zwischen 19 und 21% (vgl. Abbildung 20).

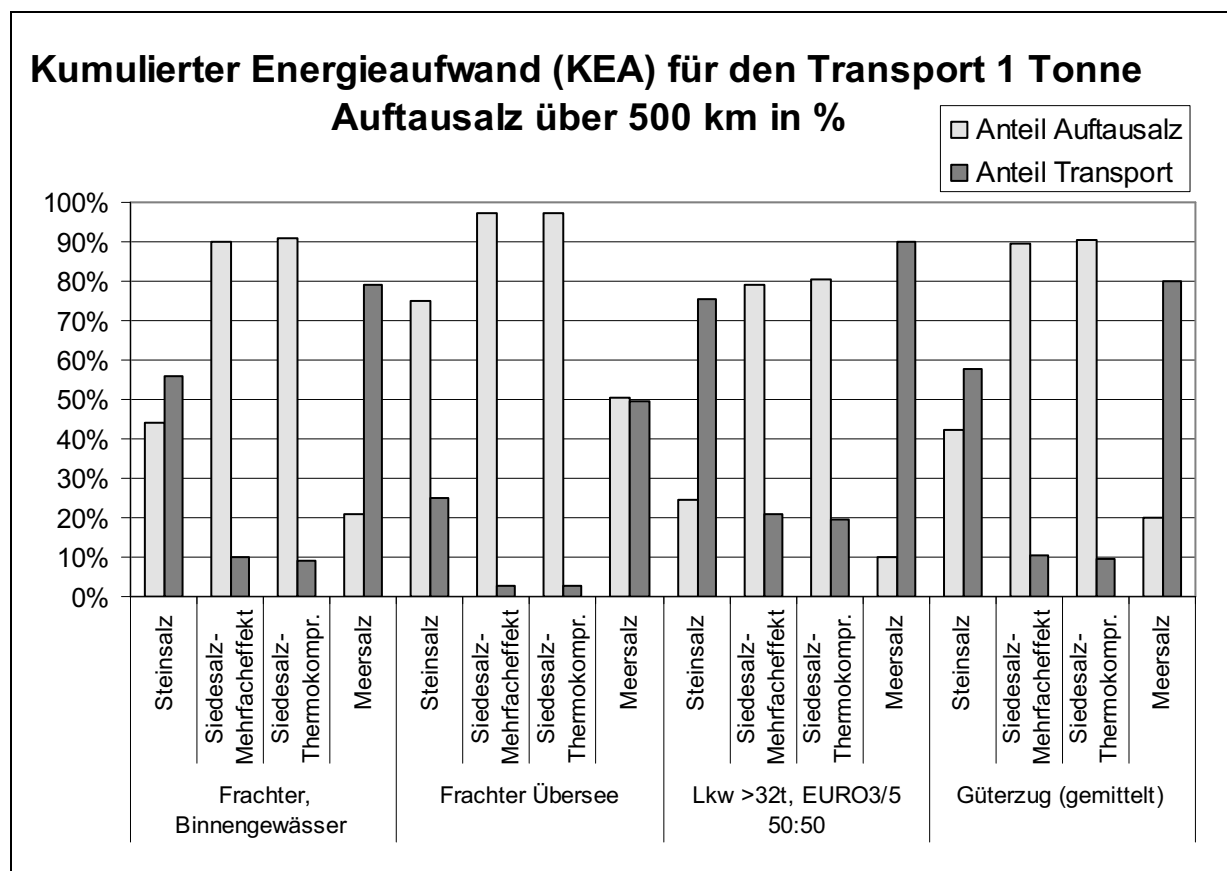


Abbildung 20 Primärenergiebedarf für den Transport einer Tonne Auftausalz über 500 km, unterteilt in den prozentualen Anteil des Herstellungsverfahrens des Auftausalzes und des spezifischen Transports.

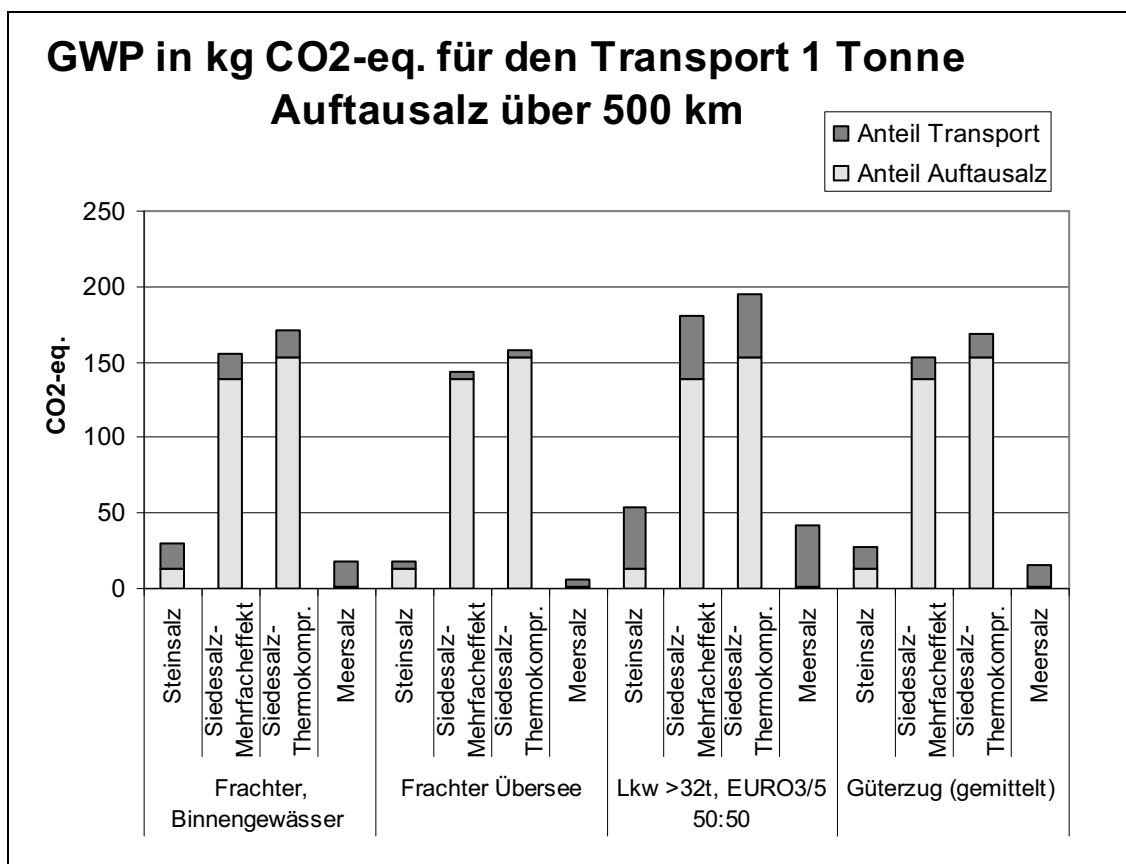


Abbildung 21 Treibhauspotential für den Transport einer Tonne Auftausalz über 500 km, unterteilt in den Anteil des Herstellungsverfahrens des Auftausalzes und des spezifischen Transports.

Innerhalb der Wirkungskategorie Treibhauspotential liegt der Anteil der verursachten Emissionen durch den Transport für die Alternative Auftausalz aus Meersalz bei allen Transportmitteln, außer beim Transport per Frachter Übersee, bei über 94%. Der Transportanteil für die beiden Siedesalz-Alternativen ist hier ebenfalls sehr gering. Er liegt beim Güterzug- und Binnengewässer-Transport zwischen 9 und 11%, beim Überseetransport nimmt er lediglich 3% ein. Sein Anteil bei der Alternative Steinsalz liegt zwischen 54 und 57% für den Güterzug- und Binnengewässer-Transport. Beim LKW-Transport liegt er hingegen bei 76%. Den niedrigsten Anteil nimmt er beim Übersee-Transport mit lediglich 25% ein.

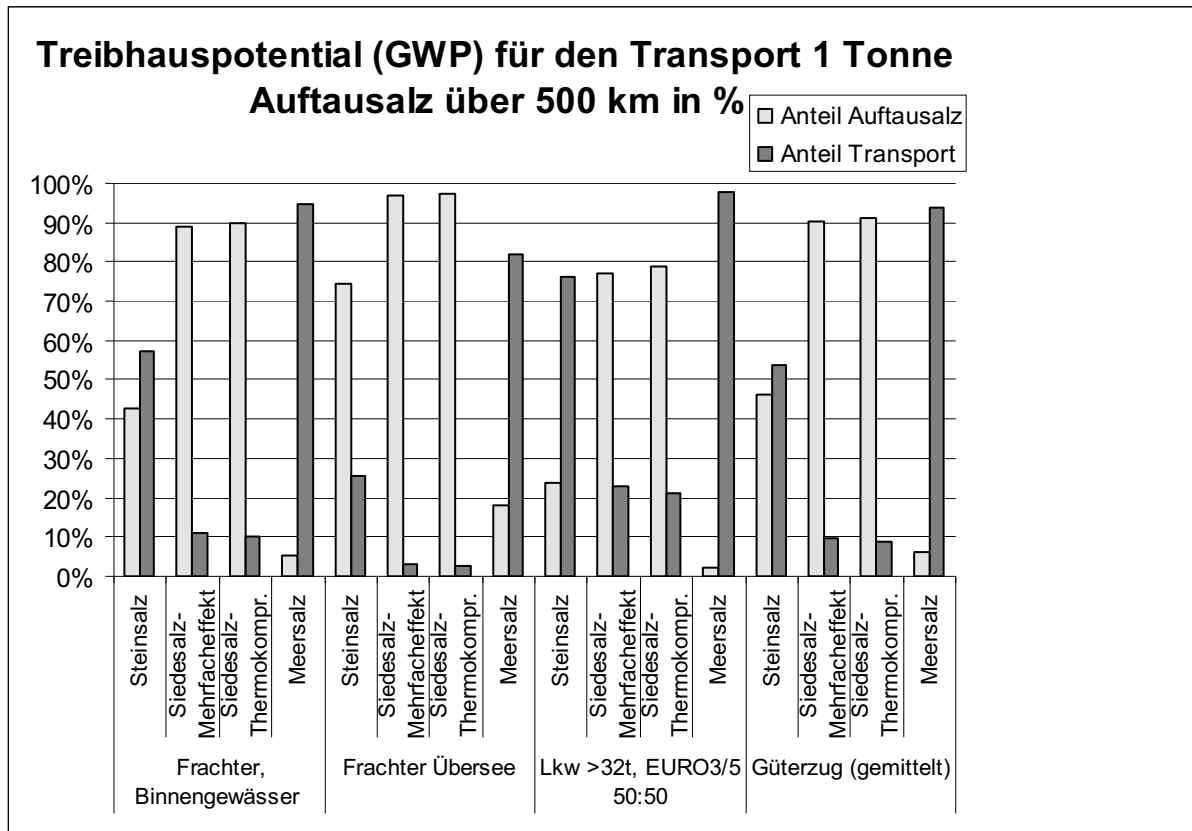


Abbildung 22 Treibhauspotential für den Transport einer Tonne Auftausalz über 500 km, unterteilt in den prozentualen Anteil des Herstellungsverfahrens des Auftausalzes und des spezifischen Transports.

5.3.5.2 Transporte: Szenario „Transport nach Bozen“

Die Ergebnisse des Szenarios „Transport über 500 km“ stellen nur eine rein theoretische Annahme über einen Transport von 500 km dar. Um eine möglichst konkrete und realistische Situation für den Transport von Auftausalzen abzubilden, wurden zwei weitere Szenarien analysiert. Hierbei wurde zum einen als Ziel Bozen (Italien) und zum anderen Rotterdam (Niederlande) angenommen (vgl. Kapitel 5.3.5.3). Als zu transportierende Auftausalz-Alternativen wurden Steinsalz, Siedesalz-Thermokompression und Meersalz angenommen. Dadurch ergaben sich folgende Szenarien für das Ziel Bozen (vgl. Tabelle 27):

- Steinsalz von Heilbronn per Bahn
- Siedesalz-Thermokompression von Ebensee (Österreich) per Bahn
- Meersalz von Alexandria (Ägypten) per Schiff (Frachter Mittelmeertransport) nach Triest und von dort per Bahn

Tabelle 27 Übersicht über die Distanzen und ausgewählten Auftausalz-Typen für die Transport-Beispiele mit Ziel Bozen (Italien). (Quelle Bahnkilometer: www.ecotransit.org).

Szenario	Salz	Transport		
		Route	Transportmittel	Distanz (km)
1	Steinsalz	Heilbronn (D) – Bozen (I)	Bahn	565
2	Siedesalz (Thermokompression)	Ebensee (A) – Bozen (I)	Bahn	419
3	Meersalz	Alexandria (Ägypten) – Triest (I)	Schiff (Mittelmeerfrachter)	2211
		+ Triest (I) – Bozen (I)	Bahn	400

Tabelle 28 Treibhauspotentiale in kg CO₂-eq. für die drei ausgewählten Transport-Szenarien mit Ziel Bozen (Italien). Für die Herstellung des Siedesalz (Thermokompression) aus Ebensee wurde der österreichische Strom-Mix berücksichtigt: Strom, Mittelspannung, Produktion AT, ab Netz [AT]; EcoInvent v2.0.

Szenario	GWP für 1 Tonne Salz (kg CO ₂ -eq./t)		
	Salzproduktion	Transport	Gesamt
1	12,93	16,93 (Bahn)	29,87
2	85,75	12,56 (Bahn)	98,31
3	0,99	34,94 (Schiff)	47,92
		11,99 (Bahn)	

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsrechnung sind in Tabelle 28 für die Wirkungskategorie Treibhauspotential dargestellt. Sie zeigen deutlich, dass Auftausalz aus Steinsalz inklusive seines Transports die wenigsten Emissionen verursacht, während Siedesalz aus Österreich mit knapp 98 kg CO₂-eq. doppelt so viele Treibhausgase emittiert, wie das Meersalz aus Ägypten und dreimal so viele, wie Steinsalz aus Heilbronn. Betrachtet man hingegen nur die Treibhausgasemissionen, die durch den Transport verursacht werden, so verursacht der Transport des Meersalzes per Schiff mit 34,94 kg CO₂-eq./t die meisten Emissionen.

5.3.5.3 Transporte: Szenario „Transport nach Rotterdam“

Um weitere möglichst konkrete und realistische Situationen für den Transport von Auftausalzen abzubilden, wurde einmal als Ziel Rotterdam (Niederlande) und einmal ein weiteres konkretes Beispiel innerhalb der Niederlande analysiert (vgl. Kapitel 5.3.5.4).

Dadurch ergaben sich folgende Szenarien (vgl. Tabelle 29):

- a) Steinsalz von Heilbronn per Binnenschiff nach Rotterdam
- b) Siedesalz-Mehrfacheffekt von Hengelo (NL) per Binnenschiff nach Rotterdam

Tabelle 29 Übersicht über die Distanzen und ausgewählten Auftausalz-Typen für die Transport-Beispiele mit Ziel Rotterdam (NL). (Quelle Schiffs kilometer: www.ecotransit.org).

Szenario	Salz	Transport		
		Route	Transportmittel	Distanz (km)
1	Steinsalz	Heilbronn (D) – Rotterdam (NL)	Binnenschiff	646
2	Siedesalz (Mehrfacheffekt)	Hengelo (NL) – Rotterdam (NL)	Binnenschiff	202

Tabelle 30 Treibhauspotentiale in kg CO₂-eq. für die ausgewählten Transport-Szenarien mit Ziel Rotterdam (NL).

Szenario	GWP für 1 Tonne Salz (kg CO ₂ -eq./t)		
	Salzproduktion	Transport	Gesamt
1	12,93	22,42	35,35
2	138,61	7,01	145,62

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsrechnung sind in Tabelle 30 für die Wirkungskategorie Treibhauspotential dargestellt. Sie zeigen deutlich, dass Auftausalz aus Steinsalz die wenigsten Emissionen verursacht, während Siedesalz-Mehrfacheffekt mit 145,62 kg CO₂-eq./t ca. viermal so viele Treibhausgase emittiert, obwohl die zurückzulegende Transportdistanz weniger als ein Drittel beträgt. Vergleicht man den Anteil der Treibhausgasemissionen am Transport der beiden Auftausalz-Typen, so nimmt dieser für Steinsalz 63% und für Siedesalz-Mehrfacheffekt lediglich 4,8% ein.

5.3.5.4 Transporte: Szenario „Transport Niederlande“

Als ein weiteres konkretes Beispiel innerhalb der Niederlande ergaben sich folgende Szenarien (vgl. Tabelle 31):

- a) Steinsalz von Heilbronn per Binnenschiff nach Moordijk (NL) und anschließend per LKW zum Kunden
- b) Siedesalz-Mehrfacheffekt von Hengelo (NL) per Binnenschiff nach Oss (NL) und anschließend per LKW zum Kunden

Tabelle 31 Übersicht über die Distanzen und ausgewählten Auftausalz-Typen für die Transport-Beispiele Niederlande. (Quelle Schiffskilometer: www.ecotransit.org).

Szenario	Salz	Transport		
		Route	Transportmittel	Distanz (km)
1	Steinsalz	Heilbronn (D) – Moordijk (Umschlagslager, NL)	Binnenschiff	632
		+ Transport von Moordijk zum Kunden	LKW	50
2	Siedesalz (Mehrfacheffekt)	Hengelo (NL) – Oss (Umschlagslager, NL)	Binnenschiff	155
		+ Transport von Oss zum Kunden	LKW	100

Tabelle 32 Treibhauspotentiale in kg CO₂-eq. für die ausgewählten Transport-Szenarien in den Niederlanden.

Szenario	GWP für 1 Tonne Salz (kg CO ₂ -eq./t)		
	Salzproduktion	Transport	Gesamt
1	12,93	21,93 (Binnenschiff) 4,31 (LKW)	39,17
2	138,61	5,38 (Binnenschiff) 8,61 (LKW)	152,61

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsrechnung sind in Tabelle 32 für die Wirkungskategorie Treibhauspotential dargestellt. Sie zeigen, wie in Kapitel 5.3.5.3, dass Auftausalz aus Steinsalz die wenigsten Emissionen verursacht, während Siedesalz-Mehrfacheffekt mit 152,6 kg CO₂-eq. fast viermal so viele Treibhausgase emittiert, obwohl die zurückzulegende Transportdistanz per Binnenschiff viel geringer ist. Vergleicht man den Anteil der Treibhausgasemissionen am Transport der beiden Auftausalz-Typen, so nimmt dieser für Steinsalz 67% und für Siedesalz-Mehrfacheffekt lediglich 9,2% ein.

6 Auswertung und Diskussion

Betrachtet man die Gesamtergebnisse (vgl. Kapitel 5.1), so schneidet Auftausalz mittels solarer Meersalzgewinnung innerhalb der untersuchten Wirkungskategorien mit Abstand am besten ab, gefolgt von Steinsalz. Schlusslichter bilden die beiden Siedesalz-Varianten Thermokompression und Mehrfacheffekt – auch unabhängig vom spezifischen Strommix der verschiedenen Länder (vgl. Tabelle 25). Der enorme Flächenverbrauch, der jedoch mit dieser sehr energieeffizienten Meersalzgewinnung einhergeht und in Konkurrenz zu anderen Nutzungen (z.B. landwirtschaftliche Nutzung, Naturschutz) steht, konnte hierbei aufgrund fehlender Daten als Wirkungskategorie über den gesamten Lebensweg nicht bewertet werden. Der Anfall des flüssigen Abfallsprodukts (Bitterns), das bei der Kristallisation des NaCl_s aus Meerwasser entsteht, wurde hingegen über Verdünnungsszenarien berücksichtigt, beeinflusst das Ergebnis jedoch nur gering (vgl. Tabelle 23).

Die relativ arbeitsaufwendige bergmännische Gewinnung von Steinsalz ist im Gegensatz zur Herstellung von Siedesalz aus Sole ebenfalls mit sehr viel geringeren Umweltauswirkungen verbunden, da Letztere durch den hohen elektrischen (Thermokompression) und thermischen Energieverbrauch (Mehrfacheffektverfahren¹⁶) bei der Soleeindampfung dominiert wird (vgl. Abbildung 13 bis Abbildung 16). Das Mehrfacheffektverfahren ist das einzige der vier Alternativen, das durch den Verbrauch thermischer Energie dominiert wird, bei den anderen Alternativen ist es jeweils der Verbrauch elektrischer Energie, bei der Meersalzherstellung der Kraftstoffverbrauch (vgl. Kapitel 5.2).

Die Ergebnisse für die Steinsalzgewinnung wurden mittels Sensitivitätsanalysen validiert, in dem unter anderem ein „Worst-Case-Szenario“ für die Teufe angenommen wurde (vgl. 5.3.1). Dieses zeigt, dass ein tieferer Abbau – als für das Referenz-Bergwerk Heilbronn angenommen – nur eine geringe Auswirkung auf das Gesamtergebnis hat. Ebenso verhält es sich bei Annahme eines anderen Strommixes: eine Sensitivitätsanalyse mit einem durchschnittlichen Strommix aus den UCTE-Ländern¹⁷ zeigte, dass sich für den Primärenergiebedarf nahezu keine Änderungen ergeben. Innerhalb der Wirkungskategorie Treibhauspotential verringert sich das Ergebnis aufgrund des gegenüber Deutschland geringeren Anteils an Kohlekraftwerken allerdings um 13,35%, für die Wirkungskategorie Versauerungspotential sogar um 76,46%. Legt man einen österreichischen Strommix zugrunde, so verringert sich das Ergebnis für das Treibhauspotential im Vergleich zum deutschen Strommix sogar um 44,77% (von 155,25 auf 85,75 kg CO₂-eq., vgl. hierzu Tabelle 28).

¹⁶ Auf Grund der primären Datenlage kann das Ergebnis des Mehrfacheffektverfahrens in der Realität auch höher ausfallen, da hier – anders als beim Thermokompressionsverfahren – keine Nebenanlagen einbezogen wurden.

¹⁷ UCTE = Union für die Koordinierung der Erzeugung und des Transports elektrischer Energie, sie umfasst folgende Länder: Belgien, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Italien, Kroatien, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Portugal, Polen, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechien, Ungarn, Bundesrepublik Jugoslawien, Bosnien-Herzegowina, Mazedonien.

Würde man hier den Bezug von Ökostrom berücksichtigen wollen, so müsste dieser nachweislich mit einem ökologischen Zusatznutzen in Form des Bezugs von Strom aus neuen zusätzlichen Anlagen verbunden sein. Aktuelle Methodenvorschläge empfehlen hier eine Altersbeschränkung von sechs Jahren („Neuanlage“) bzw. 12 Jahren („Neuere Bestandsanlage“). Dabei ist es wichtig zu berücksichtigen, dass es auf dem jetzigen Wissensstand kein „richtiges“ Bewertungssystem gibt, da die Umweltwirkung von Ökostrom auf Grund der vielfältigen Wechselwirkungen mit dem konventionellen Kraftwerkspark, den Verbrauchern, den energiepolitischen Instrumenten etc. nicht modelliert oder nachgewiesen werden kann. Hinzu kommt, dass es bislang durch die getrennte Erfassung von „zertifiziertem neuem Ökostrom mit zusätzlichem Umweltvorteil“ zu einer Doppelzählung kommt, weil dieser Strom auch im nationalen Strom-Mix erfasst wird.¹⁸

Ergänzt man die Ergebnissen der vier Auftausalz-Alternativen um die Umweltauswirkungen durch den Transport zum Kunden, so wird deutlich, dass Auftausalz aus Meersalz – abweichend von seiner geringen Umweltauswirkungen während der Herstellung – nicht immer die umweltfreundlichste Beschaffungsalternative darstellt. Vergleicht man z.B. die Beschaffung von Steinsalz aus dem Bergwerk Heilbronn per Güterzug und Meersalz aus Ägypten per Frachter nach Bozen in Italien, so schneidet Steinsalz mit nur 29,87 kg pro Tonne deutlich besser ab, als das Meersalz mit 47,92 kg CO₂-eq. pro Tonne (vgl. Tabelle 28). Der Transport und vor allem die Wahl des Transportmittels sind bei einer umweltfreundlichen Beschaffung von Auftausalz ein wichtiger zu berücksichtigender Faktor.

¹⁸ Umweltnutzen von Ökostrom: Vorschlag zur Berücksichtigung in Klimaschutzkonzepten – Diskussionspapier von M. Pehnt; D. Seebach; W. Irrek; D. Seifried. 2009

7 Literatur

- Winnacker & Küchler 2005 Chemische Technik: Prozesse und Produkte. Herausgegeben von Dittmeyer, R., Keim, W., Kreysa G., Oberholz A.; Band 3: Anorganische Grundstoffe, Zwischenprodukte. Wiley-VCH Verlag gmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005.
- Hüttl 2006 Hüttl, H.; Kommunal Winterdienst und Städtereinigung. Franz Brack Verlag, 1. Auflage 2006.
- Winterdienst 2003 Verein Deutsche Salzindustrie e.V.; Winterdienst – Verkehrssicherheit und Umweltschutz. 2. überarbeitete Auflage 2003.
- EPA Australien 1008 Environmental Protection Authority; Report 1295: Yannarie Solar Salt, East Coast of Exmouth Gulf. Perth, Western Australia, 2008.
- Buhaug et al. 2008 Buhaug, Ø; Corbett, J.J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D.S.; Lee, D.; Lindstad, H.; Mjelde, A.; Pålsson, C.; Wanqing, W.; Winebrake, J.J.; Yoshida, K., 2008: Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships. Phase 1 Report. International Maritime Organisation (IMO), London, 1st September 2008.
- J.S. Davis 1999 J.S. Davis; Solar saltworks – an environmentally friendly industry. Post Conference Symposium Proceedings, Pythagorion, Samos, Greece, 2 September 1999.

8 Externes kritisches Gutachten

Die zu prüfende Ökobilanz „Vergleichende Ökobilanz drei verschiedener Auftausalze: Steinsalz, Siedesalz und Meersalz“ wurde vom Öko-Institut Freiburg („Ersteller“) im Auftrag der Südsalz GmbH („Auftraggeber“) erarbeitet. Weil die vorliegende Ökobilanz

- den Anspruch erhebt, mit den internationalen Normen ISO EN 14040 und 14044 überein zu stimmen,
- vergleichende Aussagen zum Umweltverhalten der untersuchten Systeme enthält und
- der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden soll,

ist eine „kritische Prüfung“ erforderlich. Die kritische Prüfung wurde parallel zum Verlauf der Ökobilanz durchgeführt und startete mit deren Scoping-Phase.

8.1 Herangezogene Normen und Prüfkriterien

Der Prüfung werden die internationalen Normen ISO EN DIN 14040 (2006) und ISO EN DIN 14044 (2006) zu Grunde gelegt.

Geprüft wird nach den in der LCA-Rahmennorm 14040 vorgegebenen Kriterien, ob

- die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden mit dieser internationalen Norm übereinstimmen;
- die bei der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet sind und dem Stand der Ökobilanz-Technik entsprechen;
- die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig sind;
- die Auswertungen und die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Ökobilanz berücksichtigen;
- der Bericht transparent und in sich stimmig ist.

8.2 Ablauf des kritischen Gutachtens

Die Auftaktbesprechung zum Projekt erfolgte am 13. Februar zu einem Zeitpunkt, zu dem seitens der Ersteller Daten gesichtet waren, mit der eigentlichen Ökobilanz aber noch nicht begonnen worden war. Es wurden gemeinsam die zu bilanzierenden Systeme besprochen und Systemgrenzen festgelegt. Außerdem wurden die Datenlage zu den drei Systemen analysiert und Festlegungen zu den zu verwendenden Datensätzen getroffen.

Die Diskussion und Analyse der drei Systeme zur Herstellung von Auftausalzen diente auch der Identifikation der Hauptumweltbeiträge und daraus abgeleitet der zu verwendenden Umweltwirkungskategorien.

Auf Basis der ersten Bilanzierungsergebnisse erfolgte am 08. Mai eine weitere Besprechung in Freiburg. Der Termin diente zur Klärung offener Fragen zu einzelnen Datensätzen und zu treffender Annahmen sowie der methodischen Festlegung der Bewertung von Flächeneingriff und Abwassereinleitungen.

Am 26. Juni wurde den Gutachtern ein erster Entwurf der Ökobilanz mit den Datensätzen zu den einzelnen Verfahren mit der Bitte um kritische Prüfung übergeben. Die wesentlichen inhaltlichen Rückmeldungen bezogen sich auf die Klärung bzw. Prüfung der: angesetzten Energieverbräuche für einzelnen Verfahren.

Danach erfolgte Anfang September 2009 die Übergabe des Endberichts im Entwurf zur abschließenden Begutachtung, ergänzt um einige Transport-Szenarien. Dies stellte die Grundlage für das kritische Gutachten dar.

Der Ersteller der Ökobilanz zeigte sich über den ganzen geschilderten Prozess jederzeit offen für die Möglichkeit, gegebenenfalls die Anmerkungen und Kritikpunkte aus der kritischen Begutachtung in der Bearbeitung des Berichts zu berücksichtigen.

8.3 Ergebnis der kritischen Prüfung

8.3.1 Allgemeiner Eindruck

Die Studie macht einen guten allgemeinen Eindruck. Der zentrale Gegenstand der Studie ist nachvollziehbar herausgearbeitet und allgemein verständlich dargestellt.

Der Bericht macht auch den auf fachlich hohem Niveau befindlichen Umgang des Erstellers sowohl mit der Methode der Ökobilanzierung als auch mit dem Thema der Untersuchung deutlich.

8.3.2 Übereinstimmung mit der Norm

Die Studie erhebt den Anspruch, dass die Erstellung nach den internationalen Normen ISO REN 14040 und 14044 erfolgte. Dieser Anspruch wurde unserer Einschätzung nach erfüllt.

Den in den genannten Normen festgelegten hohen Anforderungen für vergleichende Ökobilanzen, deren Ergebnisse der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, wurde – soweit für die Gutachter anhand des Berichts und der zusätzlich bereit gestellten vertraulichen Informationen erkennbar – Rechnung getragen.

8.3.3 Wissenschaftliche Begründung der Methodik und Stand der Ökobilanztechnik

Die Untersuchung konzentriert sich auf die eigentlichen Herstellungsprozesse der verschiedenen Auftausalze, die Bereitstellung der Rohstoffe sowie die Distribution der Produkte. Die Studie beantwortet nicht die Frage, inwieweit Alternativen zum Einsatz von Auftausalz geeigneter oder weniger geeignet sind. Verglichen werden die Umweltauswirkungen, die mit der Herstellung und Distribution einer Tonne Auftausalz verbunden sind.

Dies stellt die funktionelle Einheit dar. Die Auftausalze haben je nach Art unterschiedliche Dichten. Erfolgt die Einstellung der Dosiergeräte an den Fahrzeugen nach einer optimalen Masse pro bestreute Fläche, haben die Produkte mit einer höheren spezifischen Dichte theoretisch einen spezifischen Vorteil, pro Füllung ließe sich eine größere Fläche bestreuen. Der Vorteil läge bei 10%. Dass dies jedoch in der Praxis keine Rolle spielt, wird von den Gutachtern als plausibel eingeschätzt. Es kann von einer gleichen Funktionalität der Produkte ausgegangen werden. Der spezifische Vorteil läge zudem bei dem Produkt aus Meersalz. Die Tendenz in der vergleichenden Bewertung bzw. das Bewertungsergebnis würde deshalb hiervon nicht tangiert.

In eine Umweltbilanzierung einbezogen werden müssen auch die Vorketten, d.h. die Umweltlasten, die mit der Herstellung und Bereitstellung von Rohstoffen und Energieträgern verbunden sind. Bei sehr kleinen Massenströmen und aus Umweltsicht unkritischen Prozessen kann die Einbeziehung von Vorketten aus Praktikabilitätsgründen unterbleiben. In keinem Fall erreicht die Summe der aus der Bilanzierung ausgenommenen Bagatellmassenströme, für die die stofflichen und energetischen Vorketten nicht bilanziell weiterverfolgt werden, 0,02% bezogen auf den Referenzfluss Auftausalz. Es handelt sich um Antirutschmittel, technische Hilfsstoffe und Staubbinder. Angesichts der kleinen Massenströme und der vergleichsweise ähnlichen Einsatzmengen für die einzelnen Produkte, ist diese Ausgrenzung plausibel.

In der Wirkungsabschätzung werden von der Norm nur allgemeine Vorschriften zum methodischen Vorgehen gemacht, nicht jedoch bestimmte Wirkungskategorien und Indikatoren vorgegeben.

Die für die Ökobilanz vom Ersteller ausgewählten Wirkungskategorien entsprechen durchaus der auch in der internationalen Ökobilanzpraxis gängigen Vorgehensweise und der Charak-

teristik der bilanzierten Produkte. Zu erwähnen sind die darüber hinaus verwendeten Kriterien spezifischer Flächenbedarf und damit Eingriff in Natur- und Landschaft sowie Schadstoffeintrag in Oberflächengewässer über den Abwasserpfad, die damit typische Schwachstellen einzelner Produktionsverfahren berücksichtigen. Die Wirkungskategorie Eutrophierung wurde nicht nach Belastungswegen in Eutrophierung aquatisch und terrestrisch aufgeteilt. Dies ist jedoch grundsätzlich sinnvoll, da unterschiedliche Umweltmedien betroffen sind und sich auch die Emissionsquellen in den Produktionsprozessen unterscheiden. Für das Bilanzierungsergebnis spielt das hier aber keine Rolle, das aufgezeigte Ergebnis Eutrophierung gesamt dürfte vor allem aus dem Anteil terrestrisch d.h. über den Emissionspfad Luft resultieren.

Zusammenfassend kann bestätigt werden, dass die im Rahmen dieser Studie angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet und technisch zutreffend sind.

8.3.4 Validität und Zweckmäßigkeit der Daten

Wie in jeder Ökobilanz mussten auch in dieser Arbeit Annahmen getroffen werden und Daten aus verschiedenen Quellen, z.B. aus eigenen Datenerhebungen oder Literatur, verwendet werden.

Bei allen Produkten dominieren die eigentlichen Herstellungsprozesse das Bilanzierungsergebnis. Relevant ist bei allen Produktionsalternativen vor allem der Energieeinsatz. Die Daten, die für die Siedesalzverfahren zugrunde gelegt wurden, stellen die mittleren Verhältnisse dar. Die Siedesalzherstellung ist grundsätzlich mit einem deutlich höheren Energieeinsatz als die Salzalternativen verbunden. Für das Steinsalz wurde mit Heilbronn eine Referenzsituation gewählt, die im Vergleich zu den auch im Bericht genannten Alternativstandorten eher etwas ungünstigere Verhältnisse aufweist. Bei der Gewinnung von Meersalz schlagen vor allem die Energiebedarfe der Pumpen und Förderbänder zu Buche. Dies ist systemimmanent und dürfte sich über die verschiedenen Gewinnungsorte nicht wesentlich unterscheiden. Die als Referenz genommene Anlage in Australien dürfte bspw. auch auf europäische Anlagen übertragbar sein.

Mussten Annahmen an ergebnisrelevanten Stellen getroffen werden, wurde die Sensitivität dieser Annahmen über entsprechende Sensitivitätsbetrachtungen überprüft. Die Datenlage erlaubt keinen belastbaren Vergleich der verschiedenen Siedesalzverfahren. darauf wird in dem Bericht auch unter nicht intendierten Anwendungen entsprechend verwiesen.

Die Daten zur Modellierung der wesentlichen technischen Prozesse werden im Bericht nur sehr allgemein beschrieben und die Angaben zu den Datensätzen beschränken sich im

Wesentlichen auf die Angabe der Datenquellen. Die meisten dieser Quellen sind dem Gutachter bekannt und öffentlich zugänglich. Es kann davon ausgegangen werden, dass die vom Ersteller verwendeten Datensätze eine angemessene Auswahl für die Umsetzung der betrachteten Produktlebenswege darstellt.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass „die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig sind.“

8.3.5 Berücksichtigung des Ziels der Studie und der Einschränkungen bei der Auswertung

Es gelang sehr gut, die grundlegenden Einflussfaktoren für die ökobilanziellen Festlegungen sowie die Ergebnisse in verständlicher Form darzustellen und damit den Anforderungen der Norm nachzukommen. Es kann gesagt werden, dass der Bogen von der Zielsetzung über die Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung bis hin zur Auswertung gut und konsistent gespannt wurde.

8.3.6 Transparenz und Stimmigkeit des Berichts

Der Endbericht ist gut lesbar und in sich stimmig. Das Öko-Institut hat die gewählte Modellierung transparent erklärt und begründet und geht auch auf Einschränkungen und Grenzen ein. Die Datengrundlage, deren Qualität sowie die getroffenen Annahmen sind ausreichend dokumentiert und die Berechnungen nachvollziehbar.

Die Transparenz in Bezug auf die Originaldaten ist gegeben. Die relevanten Daten werden benannt. Zudem sind für weitere Datensätze die Quellenangaben umfassend dargestellt.

Die tabellarische Darstellung der Ergebnisse erlaubt eine Zuordnung der berechneten Umweltwirkungen zu den Lebenswegstufen, aus denen die Effekte vorwiegend zu erwarten sind. Damit wird gleichzeitig auch eine empfohlene Dominanzanalyse durchgeführt.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in verständlicher Form und bereitet bei der Begutachtung keine Schwierigkeiten. Insgesamt kann die Transparenz und Stimmigkeit der Studie positiv beurteilt werden.

8.4 Fazit

Die Studie wird von dem Gutachter in allen Teilen als normgerecht beurteilt. Das System Meersalz weist vor allem gegenüber der Verwendung von Siedesalz aber auch gegenüber der von Steinsalz Vorteile auf. Letzteres gilt aber nur ohne Berücksichtigung der Distribution des Produktes. Wird Auftausalz in Mittel- oder Nordeuropa benötigt, kann der deutlich höhere Transportaufwand für Meersalz relevant sein und zu Vorteilen für Steinsalz führen. Der Energieeinsatz zur Herstellung von Siedesalz ist so hoch, dass sich Transportaufwendungen nicht sensitiv auf das Ergebnis auswirken können.

In diesem Zusammenhang gilt es zu beachten, dass Siedesalz – wie auch in der Studie dargestellt – vor allem für industrielle Prozesse (und die Speisesalzherstellung) verwendet wird. Diese Produktionsziele waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

Wie die Studie zeigte, sind die Unterschiede in den ökologischen Auswirkungen in Produktion und Distribution von Auftausalzen relevant. Die Praxis zeigt jedoch, dass bei der Wahl der Bezugsquelle und der Art des Produktes tendenziell nur ökonomische Kriterien herangezogen werden. Diese Situation wird sich nur durch die vorliegenden Ergebnisse möglicherweise nicht ändern.

Denn der Praktiker wird sich schwer tun mit dem Mix der diversen, hoch differenzierten Gewinnungs- und Transportarten und er wird die notwendigen Schlüsse nur sehr schwer ziehen können. Die einfache Frage: "Was wird denn nun empfohlen?" bzw. "Welche Beschaffungsvariante ist für meine spezifischen Randbedingungen und Gegebenheiten in x-Stadt oder y-Land am umweltfreundlichsten (und gleichzeitig auch noch am kostengünstigsten)?" lässt sich im konkreten Einzelfall bislang wahrscheinlich nur sehr schwer beantworten. Die Vision des Praktikers wird es vermutlich sein, über ein möglichst einfach zu handhabendes Instrument zu verfügen, in das alle relevanten Daten und Rahmenbedingungen (wie insbesondere Transportentfernungen und -ketten) eingegeben werden kann, so dass die Ergebnisse zur Ökologie den Bezugskosten gegenübergestellt werden können. Es wäre wünschenswert, auf Basis der vorliegenden Untersuchung ein derartiges Instrument zu erarbeiten.

9 Anhang

9.1 Primäre Rohdaten Steinsalz

Tabelle 33 Die spezifischen Primärdaten zur Herstellung von Auftausalz aus Steinsalz stammen aus dem Bergwerk Heilbronn der Südsalz GmbH.

Daten Steinsalz (Bezug Heilbronn)		
	2008	Einheit
Hergestellte verkaufsfähige Steinsalzmenge	2.791.888	t
Stromverbrauch Wirkarbeit	38.119.472	kWh
Stromverbrauch Blindarbeit	7.827.512	kWh
Dieserverbrauch (l)	1.372.580	l
Dieserverbrauch (kg)	1.142.673	kg
Hydraulikölverbrauch (Nuto 32 von Esso) (l)	53.830	l
Hydraulikölverbrauch (Nuto 32 von Esso) (kg)	46.940	kg
Sprengstoffverbrauch (Dekamon 1)	915.400	kg
Natriumferrocyanid (Antibackmittel im Auftausalz)	138.738	kg
Magnesiumchlorid (Staubbinder im Auftausalz)	251.000	kg
Calciumchlorid, 25%ige Lösung (Staubbinder im Auftausalz)	15.740	kg
Basacidrot (wird z.T zur Kennzeichnung des Auftausalzes verwendet)	41,2	kg
Prozesswasser	8.375.664	kg

9.2 Primäre Rohdaten Siedesalz – Mehrfacheffekt

Tabelle 34 Die spezifischen Daten zum Mehrfacheffektverfahren stammen von dem Anlagenbauer EVATHERM. Betrachtet wurde eine Saline mit einer Jahreskapazität von 500.000 t NaCl/Jahr (entspricht einer durchschnittlichen Salinengröße in Mitteleuropa). Bezugsgröße: 1 Tonne NaCl zentrifugenfeucht

Spezifische Verbrauchswerte pro produzierter Tonne NaCl zentrifugenfeucht		
	Menge	Einheit
Solereinigung		
Stromverbrauch	8	kWh
CaO	16,4	kg
Na ₂ CO ₃	4,6	kg
Schlammproduktion	176	kg (20% Feststoffanteil)
Vakuumeindampfung		
Stromverbrauch	21	kWh
Kühlwasserverbrauch	28	m ³

Frischwasserverbrauch	0,6	m ³
Kühl- und Frischwasserversorgung (KW Pumpe und Kühlturm)	3,2	kWh
Wärme-Kraft-Kopplung		
Spezifischer Primärenergiebedarf	2	GJ
Totale spez. Stromproduktion	60	kWh
Netto Stromproduktion ans Netz *	27,8	kWh

9.3 Primäre Rohdaten Siedesalz – Thermokompression

Tabelle 35 Daten zur Thermokompression aus dem Produktionsbericht der Südsalz GmbH, Dezember 2007. Die Daten beziehen sich auf die Saline Bad Reichenhall und die Jahresproduktion 2007. Die Datenqualität entspricht dem heutigen Stand der Technik der Thermokompression. Die Verbrauchsdaten gelten weltweit für moderne Anlagen. Sie variieren nur im Bereich der Sole-reinigung und deren Chemikalien.

Energiebezug (thermisch)				
Heizöl EL	223.670	kWh	805.212.000	KJ
Erdgas	16.512.210	kWh	59.443.956.000	KJ
Gesamt	16.735.880	kWh	60.249.168.000	KJ
Anteil Heizöl	1	%		
Anteil Erdgas	99	%		
Energieerzeugung (thermisch)				
Kessel 1	8.571.568	kWh	30.857.644.800	KJ
Kessel 2	6.844.028	kWh	24.638.500.800	KJ
Gesamt	15.415.596	kWh	55.496.145.600	KJ
Wirkungsgrad	92,11%	1,085645991	92,11%	
Produktion				
Eindampfanlage (Energieverbrauch)				
thermisch	147.890	kWh	532.404.000	KJ
elektrisch (inkl. BV 1-3)	45.684.210	kWh	164.463.156.000	KJ
Energiebezug (thermisch, für Eindampfanlage)				
Gesamt	578.002.268	KJ		
Heizöl EL	7.724.826	KJ		
Erdgas	570.277.442	KJ		
BV1-3				
E-Energieverbrauch	39.265.480	kWh	141.355.728.000	KJ

Zentrifugen				
elektrisch	625.770	kWh	2.252.772.000	KJ
Energieverbrauch Trockner				
thermisch	11.840.360	kWh	42.625.296.000	KJ
50%			21.312.648.000	KJ
Anteil Heizöl EL (1%)	158.243	kWh	569.674.254	KJ
Anteil Erdgas (99%)	11.682.117	kWh	42.055.621.746	KJ
elektrisch	1.336.030	kWh	4.809.708.000	KJ
50%	668.015	kWh		
Energiebezug (thermisch, für Trockner)				
			Trockner 50%	
Gesamt	46.275.981.728	KJ	23.137.990.864	KJ
Heizöl EL	618.464.570	KJ	309.232.285	KJ
Erdgas	45.657.517.158	KJ	22.828.758.579	KJ
Gesamt-Energiebezug thermisch ohne 50%-Trockner				
			37.111.177.136	kJ
Heizöl EL			495.979.715	kJ
Erdgas			36.615.197.421	kJ
Gesamt Energiebezug (elektrisch)				
Verrechnungsleistung	7.018	kW		
HT-Zeit	23.253.684	kWh		
NT-Zeit	31.023.264	kWh		
Gesamt	54.276.948			

Gesamtenergiebezug (Eindampfanlage, Trockner, Zentrifuge)		
E-Bezug thermisch	46.853.983.996	kJ
E-Bezug elektrisch	47.646.010	kWh
"Sonstiges" Energieverbrauch		
Sonstiger therm. Energieverbrauch	12.338.445.600	kJ
Heizöl (Bezug)	179.022.603	kJ
Ergas (Bezug)	13.216.161.400	kJ
Sonstiger elektr. Energieverbrauch	6.630.938	kWh
Trockner+Eindampfanlage		
Energieverbrauch thermisch	11.988.250	kWh
Energiebezug thermisch	46.853.983.996	kJ
"Sonstiges" Energiebezug"		
Energiebezug thermisch	13.395.184.004	kJ
Energiebezug thermisch	6.630.938	kWh

9.4 Primäre Rohdaten Meersalz

Tabelle 36 Die spezifischen Primärdaten zum Stromverbrauch sowie zum Dieselverbrauch der Erntemaschinen stammen von Salt Partners, einem Consultant im Bereich Meersalzanlagen, und beziehen sich auf eine Anlage in West-Australien mit einer Jahreskapazität von 3.000.000 t NaCl/Jahr und eine Jahresproduktion. Diese Daten lassen sich nach Aussagen von Experten auf große Meersalzanlagen im Mittelmeerraum, wie z.B. Süd-Frankreich oder Tunesien übertragen.

Jährliche Salzproduktion in t		3.000.000
Deutsche Bezeichnung	Englische Bezeichnung	jährl. Stromverbrauch (kWh)
Pump Stationen	Pump Stations	
Meerwasser-Pumpe	Seawater Pumping	1.310.000
Salzwasser Transfer-Pumpe	Brine Transfer Pump Station	1.161.000
Salzwasser (konzentr.) Transfer-Pumpe	Concentrated Brine Pump Station	300.000
"Bitterns" Abfluspumpe	Bitterns Discharge Pump Station	150.000
Waschanlage, Absetzbecken Pumpstation	Washing Plant	206.000
Prozess-Meerwasser, Ansaugpumpe	Process Seawater Intake Pump Station	655.000
Prozess-Meerwasser, Waschanlage	Process Seawater Washing Plant Supply	243.000
Salz-Lagerung und Schiffsbeladung	Salt Stockpiling and Ship Loading	
Förderbänder zu den offenen Salzlager	Conveyors to stockpile	6.065.000
Stapler (zum Transport auf Salzhaufen)	Stacker	1.123.000
Entnahmegerät (vom Salzhaufen auf Schiff)	Reclaimer	412.000
Förderbänder zum Schiffslader	Conveyors to Ship Loader	1.707.000
Schiffslader	Ship Loader	374.000
Verluste *	Losses	1.778.000
Ernte und Transport		jährl. Dieselverbrauch (kg)
Erntemaschine	Harvester	304.000
Trucks und Trailer	Trucks and Trailer	152.000

Legende

gelb markiert = nicht berücksichtigt

* : Die Verluste beinhalten hauptsächlich die Feinsalzverluste und die Auflösung auf den Abtropfbändern sowie auf dem Stockpile. Der verlorene Teil wurde bereits mit Strom hergestellt. Insofern wurde dieser Stromverbrauch berücksichtigt.

Tabelle 37 Überblick über die Berechnungen für die Pumpenergien der Verdünnungsszenarien der Bitterns. Als Basisszenario wurde eine 1:5 Verdünnung angenommen, vgl. Kapitel 4.2.3. Die Verdünnungen wurden jeweils als zusätzlicher Stromverbrauch für die benötigte Pumpenergie zu den in Tabelle 37 aufgeführten Verbräuchen hinzu addiert.

Berechnung der Pumpenergie für die Verdünnungsszenarien der Bitterns	
3,5% Salzgehalt in 0,976 L Meerwasser (in g)	35,0
Salzproduktion in t/Jahr	3.000.000,0
Input Meerwasser in L/ Jahr	85.714.285.714,3
5% Anteil Bitterns in L	4.285.714.285,7
Stromverbrauch Meerwasserpumpe in kWh	1.310.000,0
Stromverbrauch in kWh für 1 L Meerwasser	0,00001528
benötigte Meerwassermenge für 1:5 Verdünnung in L	17.142.857.142,9
Stromverbrauch für 1:5 Verdünnung (Pumpenergie) in kWh	262.000,0
benötigte Meerwassermenge für 1:24 Verdünnung in L	98.571.428.571,4
Stromverbrauch für 1:24 Verdünnung (Pumpenergie) in kWh	1.506.500,0