

Orientierende ökobilanzielle Untersuchung einer Fernleitung für Salzabwasser der Kaliproduktion zur Weser und zur Nordsee

Freiburg, 19.02.2010

Autoren:

Dipl.-Ing. Martin Möller

Martin Hendel

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Zielstellung und Untersuchungsrahmen	1
2.1	Zielstellung der Studie	1
2.2	Festlegung der Systemgrenzen	2
2.3	Funktion und funktionelle Einheit	3
3	Methodische Vorgehensweise und Datenbasis	4
3.1	Allgemeine Beschreibung der Ökobilanz-Methodik	4
3.2	Grundlegende Modellierungsannahmen	5
3.2.1	Herstellung der Komponenten	6
3.2.2	Transport der Komponenten	7
3.2.3	Tiefbau / Montage	7
3.2.4	Betrieb	10
3.2.5	Entsorgung	12
3.3	Zusammenfassung der Referenzflüsse	13
3.4	Verwendete Sachbilanzmodule	13
3.5	Vorgehensweise bei der Wirkungsabschätzung	14
3.5.1	Verbrauch energetischer Ressourcen (Kumulierter Energie-Aufwand, KEA)	15
3.5.2	Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP)	15
3.5.3	Versauerungspotenzial (Acidification Potential, AP)	15
3.5.4	Aquatisches und terrestrisches Eutrophierungspotenzial (EP)	16
3.5.5	Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)	16
4	Ergebnisse	17
4.1	Wirkungsabschätzung für den Bau und Betrieb der Pipeline	17
4.2	Vergleich zwischen den Trassen	18
4.3	Beiträge der Lebenswegabschnitte zur Wirkungskategorie “Treibhauspotenzial”	18
4.4	Wirkungsabschätzung für den Bau der Pipeline	19
4.5	Beiträge innerhalb des Lebenswegabschnitts “Herstellung Komponenten”	20
4.6	Einordnung der Ergebnisse	21
5	Empfehlungen	22

6	Fazit	22
7	Referenzen	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Systemgrenzen der Untersuchung [eigene Darstellung]	3
Abbildung 2:	Phasen einer Ökobilanz [DIN EN ISO 14040]	4
Abbildung 3:	Schematische Darstellung des Regelarbeitsstreifens der Neuhoftal-Phillipsthal-Trasse (DN300) [K+S 2009a].	8
Abbildung 4:	Schema des Grabens für die Nordsee-Fernleitung [eigene Darstellung]	9
Abbildung 5:	Schema des Grabens für die Weser-Fernleitung [eigene Darstellung]	10
Abbildung 6:	Vergleich der Wirkungskategorien zwischen den beiden Trassenverläufen [eigene Darstellung]	18
Abbildung 7:	Beiträge der Lebenswegabschnitte zur Wirkungskategorie "Treibhauspotenzial" [eigene Darstellung]	19
Abbildung 8:	Beiträge der einzelnen Konstruktionsmaterialien zum Treibhauspotenzial während der Herstellungsphase der Fernleitung [eigene Darstellung]	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Grundlegende Modellierungsannahmen für die Herstellung der Komponenten der Salzabwasser-Fernleitung	6
Tabelle 2:	Grundlegende Modellierungsannahmen für Transport der Komponenten der Salzabwasser-Fernleitung	7
Tabelle 3:	Grundlegende Modellierungsannahmen für die Tiefbauprozesse und die Montage der Salzabwasser-Pipeline	7
Tabelle 4:	Grundlegende Modellierungsannahmen für den Betrieb der Salzabwasser-Pipeline	12
Tabelle 5:	Zusammenstellung der Referenzflüsse	13
Tabelle 6:	Dokumentation der Sachbilanzmodule für die Herstellung und Verarbeitung der Konstruktionsmaterialien der Fernleitung	14
Tabelle 7:	Dokumentation der Sachbilanzmodule für die übrigen Prozesse des Produktsystems	14
Tabelle 8:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für die Nordsee- und Weser-Fernleitung	17
Tabelle 9:	Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für den Bau der Nordsee- und Weser-Fernleitung	20

1 Einführung

Das Problem der Versalzung der Werra infolge der Kaliproduktion existiert seit über 100 Jahren. Obwohl sich die Belastungssituation in den letzten Jahren verbessert hat, ist der Salzgehalt mit bis zu 2,5 Gramm Chlorid pro Liter am Pegel Gerstungen immer noch deutlich zu hoch. Dabei ist zu berücksichtigen, dass neben der Chloridbelastung auch die hohen Kalium- und Magnesiumkonzentrationen aus ökologischer Sicht schädlich sind. [Brinckmann 2008, Brinckmann 2009b].

Vor diesem Hintergrund wurde im März 2008 der Runde Tisch „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“ eingerichtet, um aus unterschiedlichen Interessen und Funktionen heraus Problemlösungen zu erarbeiten. Neben einer Optimierung der Produktionsprozesse (z.B. durch Eindampfen) und einer lokalen Entsorgung nicht vermeidbarer Produktionsrückstände (z.B. Tiefkühlanlage für die Optimierung der Produktion sowie die ESTA-Anlage zur Vermeidung von flüssigen Rückständen) wird dabei insbesondere auch die überlokale Entsorgung durch einen Ferntransport des Salzabwassers an die Nordsee oder die Weser diskutiert [Brinckmann 2009b].

Um für die Arbeit des Runden Tisches die Entscheidungsbasis zu erweitern, wurde das Öko-Institut im Juni 2009 beauftragt, im Rahmen einer orientierenden ökobilanziellen Untersuchung die potenziellen Umweltauswirkungen zu ermitteln, die mit Bau und Betrieb einer Salzabwasser-Fernleitung an die Nordsee bzw. die Weser verbunden sind. Diese Studie wurde so konzipiert, dass eine enge inhaltliche Abstimmung mit einem vom Büro für Raum- und Umweltplanung Jestaedt + Partner zeitgleich durchgeführten umweltfachlichen Planungsbeitrag zur Machbarkeitsstudie für die überregionale Salzabwasser-Entsorgung möglich war [vgl. Jestaedt 2009].

2 Zielstellung und Untersuchungsrahmen

2.1 Zielstellung der Studie

Die Zielstellung der vorliegenden Studie besteht darin, die potenziellen Umweltauswirkungen einer Fernleitung für Salzabwasser der Firma K+S Aktiengesellschaft entlang ihres gesamten Lebensweges zu untersuchen. Entsprechend der zwei grundsätzlich möglichen Trassenverläufe soll dabei sowohl eine Fernleitung zur Nordsee (Länge ca. 400 km) als auch eine Fernleitung zur Weser (Länge ca. 130 km) näher betrachtet werden.

Ziel dieser Analyse ist es, die beiden Fernleitungsvarianten miteinander zu vergleichen. Darüber hinaus soll eine Beitragsanalyse durchgeführt werden, um die wichtigsten Einflussgrößen (z.B. Herstellung der Konstruktionsmaterialien, Tiefbaumaßnahmen, Stromverbrauch

der Pumpen, etc.) für das Gesamtergebnis zu identifizieren. Im Rahmen einer Relevanzabschätzung sollen die potentiellen Umweltauswirkungen ferner mit den gesamten Umweltauswirkungen der Firma K+S in Beziehung gesetzt werden. Auf der Grundlage der genannten Analysen werden schließlich ggf. auch Empfehlungen zur ökologischen Optimierung des Fernleitungskonzepts entwickelt.

Zielgruppe der Studie sind in erster Linie die Mitglieder des Runden Tisches „Gewässerschutz Werra/Weser und Kaliproduktion“ sowie die interessierte Öffentlichkeit.

2.2 Festlegung der Systemgrenzen

Mit der Wahl der Systemgrenzen wird festgelegt, welche Module in der Studie enthalten sind. Module wiederum stellen diejenigen Prozesse des untersuchten Produktsystems dar, für die zur Erstellung der Ökobilanz Daten gesammelt werden.

Grundsätzlich besteht bei der Durchführung von Ökobilanzen der Anspruch, dass der gesamte Lebensweg der untersuchten Systeme von der Rohstoffgewinnung bis zur Behandlung von Abfällen bilanziert wird. In der Praxis müssen jedoch zur Komplexitätsreduktion sowie aus Zeit- und Ressourcengründen Vereinfachungen vorgenommen werden. Konkret wurden im Rahmen der vorliegenden Studie folgende vereinfachende Annahmen getroffen:

- Das so genannte "Capital Equipment" (z.B. Investitionsgüter zur Herstellung der Konstruktionsmaterialien, Baufahrzeuge, etc.) wird aufgrund ihrer geringen Relevanz vernachlässigt. Dies entspricht der gängigen Praxis in Ökobilanz-Studien.
- Prozesse mit einem Anteil von weniger als 1% an den Gesamtergebnissen der Wirkungskategorien (hier: Treibhauspotenzial) werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Die Summe des Beitrages aller vernachlässigten Prozesse zu den Gesamtergebnissen der Wirkungskategorie darf allerdings 5% nicht überschreiten.
- Aufgrund dieses Abschneidekriteriums wurde konkret z.B. auf eine Modellierung der Herstellung von Pumpen, Schiebern und Molchstationen verzichtet.
- Darüber hinaus wurde aus gleichem Grund die Wartung der Pipeline vernachlässigt¹.

Unter Berücksichtigungen dieser Annahmen umfasst die Ökobilanz der Salzabwasser-Fernleitung die Herstellung der Komponenten, deren Transport, die Aufwendungen für Tiefbau und Montage, den Betrieb der Fernleitung sowie die Entsorgung am Ende des Lebens-

¹ So müsste der jährliche Energieaufwand für die Reinigungsmolche ca. 200.000 kWh überschreiten, um bezogen auf das Treibhauspotenzial und entsprechend des gewählten Abschneidekriteriums als relevanter Bestandteil in diese Untersuchung mit aufgenommen zu werden. Dies wird als unwahrscheinlich angenommen.

weges. Die wesentlichen von diesen Prozessen verursachten Stoff- und Energieströme befinden sich innerhalb der Systemgrenzen der Untersuchung und werden in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

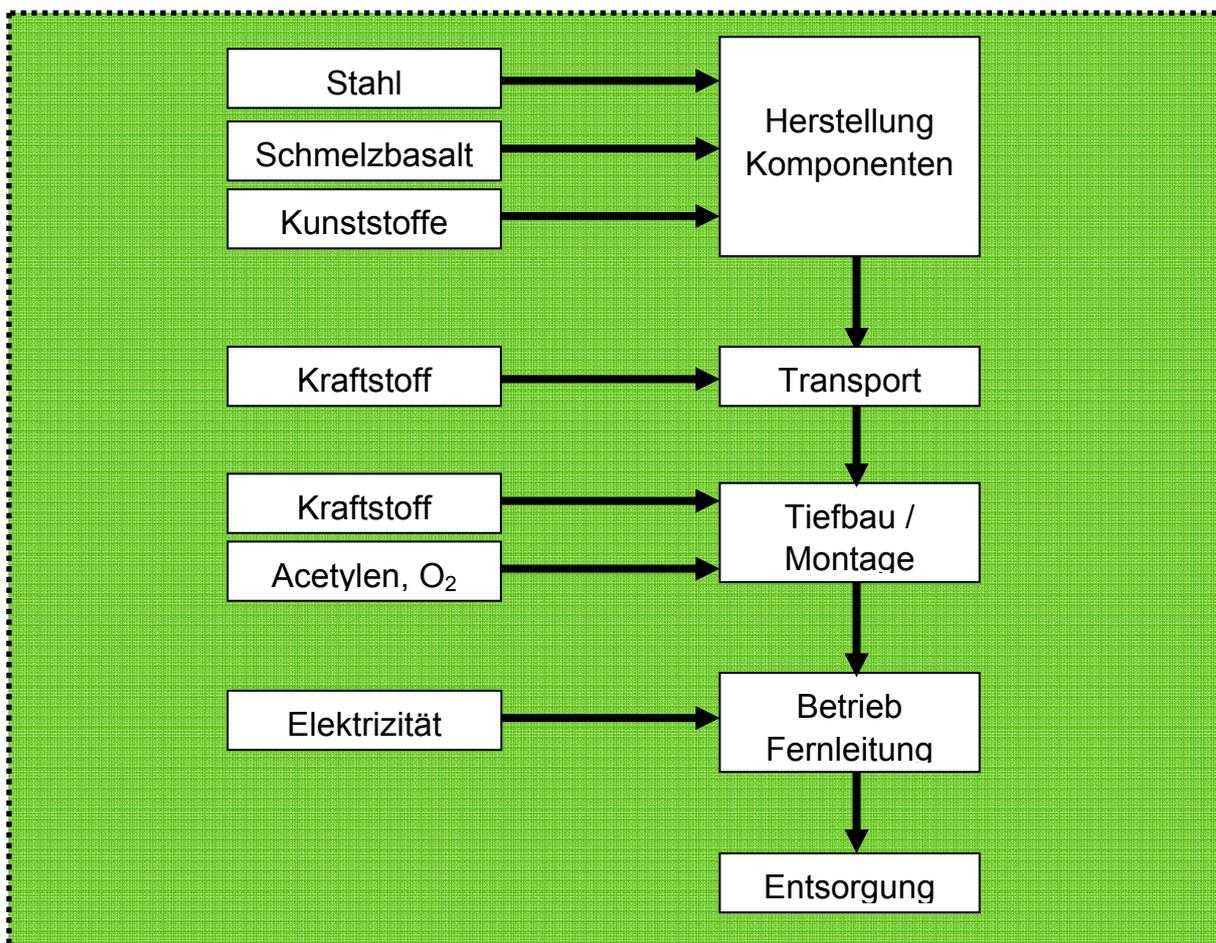


Abbildung 1: Systemgrenzen der Untersuchung [eigene Darstellung]

2.3 Funktion und funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit stellt den quantifizierten Nutzen dar, der für die untersuchten Produktsysteme gleichermaßen Gültigkeit besitzt und als Vergleichseinheit in der Ökobilanzstudie verwendet wird.

Unter Berücksichtigung der gewählten Systemgrenzen (s.o.) wird als funktionelle Einheit der Studie der (anteilige) Bau und Betrieb der Pipeline mit einem jährlichen Durchsatz von 7 Mio. m³ definiert [vgl. Brinckmann 2009a]. Dabei werden die potenziellen Umweltauswirkungen aus dem Bau der Pipeline unter Annahme eines voraussichtlichen Abschrei-

bungszeitraums von 30 Jahren² über die gesamte Nutzungsdauer gleichmäßig verteilt [vgl. hierzu auch ARGE WESER 1979].

3 Methodische Vorgehensweise und Datenbasis

3.1 Allgemeine Beschreibung der Ökobilanz-Methodik

Im Rahmen einer Ökobilanz wird der gesamte Lebensweg eines Produktsystems betrachtet, von der Rohstoffgewinnung und -erzeugung über die Energiebereitstellung und Materialherstellung bis zur Anwendung, Abfallbehandlung und endgültigen Beseitigung. Dabei ist die Ökobilanz eine iterative Methode. In ihren einzelnen Phasen (vgl. folgende Abbildung) werden die Ergebnisse der anderen Phasen verwendet. Der iterative Ansatz innerhalb und zwischen den Phasen trägt zur Ganzheitlichkeit und Konsistenz der Studie und der im Bericht angegebenen Ergebnisse. [DIN ISO 14040; DIN EN ISO 14044]

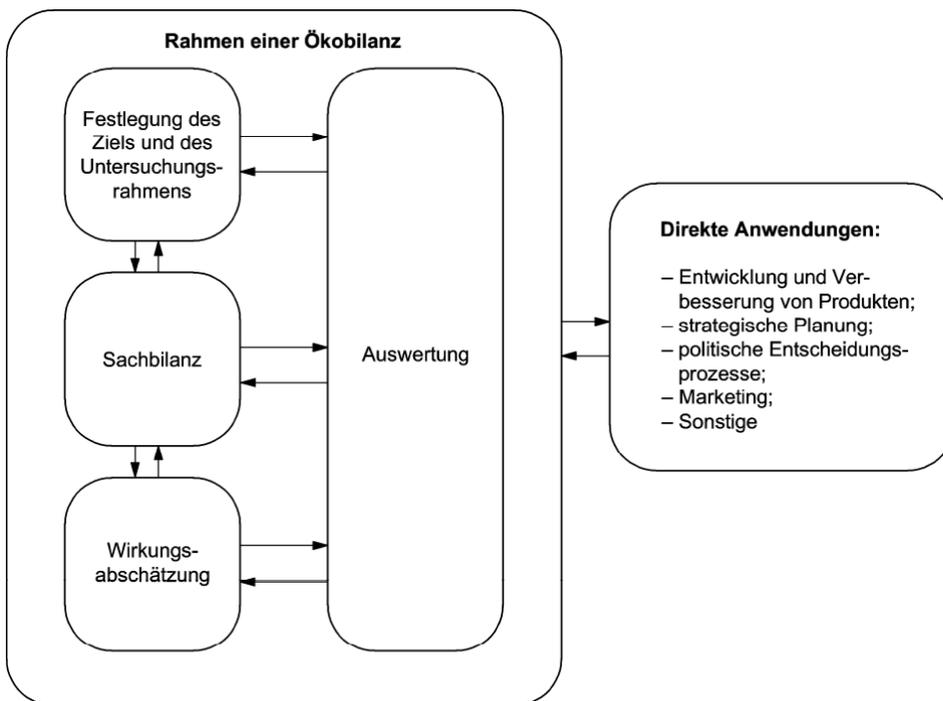


Abbildung 2: Phasen einer Ökobilanz [DIN EN ISO 14040]

² Dieser Wert wurde im Rahmen eines Telefonats mit Herrn Dr. Waldmann von K+S am 5.08.2009 als ein realistischer Wert angenommen.

Bei einer orientierenden Ökobilanz handelt es sich um einen Screening-Ansatz, der ausgehend von einer Analyse von besonders umweltrelevanten Aspekten (so genannten „Hot Spots“) Schritt für Schritt zu einer vollwertigen Ökobilanz weiterentwickelt werden kann. Dies kann sich sowohl auf die Prozessschritte als auch auf einzelne Umweltindikatoren beziehen [vgl. Hochfeld / Jenseit 1998].

3.2 Grundlegende Modellierungsannahmen

Prinzipiell 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, 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 im Rahmen dieser Studie erstellten Sachbilanzen wurden sowohl allgemeine als auch spezifisch ermittelte Daten zugrunde gelegt.

Konkret wurde wie folgt vorgegangen:

- Für die Bereitstellung von Rohstoffen und die Herstellung von Grundstoffen, für die Bilanzierung der Strombereitstellung sowie für abfallwirtschaftliche Grundoperationen werden allgemeine Daten aus Verbandsveröffentlichungen, Literaturangaben oder Datenbanken [vgl. Ecolnvent 2.1] 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 bzw. Technologien zugeordnet werden können und die Abnehmer- / Lieferantenbeziehungen auf diesen Stufen je nach Marktlage häufig wechseln.
- Spezifische Daten wurden hingegen grundsätzlich bei denjenigen Aspekten einbezogen, die für die Unterschiede zwischen den Fernleitungsvarianten typisch und charakteristisch sind. Diese Daten basieren in erster Linie auf den Ergebnissen der Studie von Jestaedt + Partner sowie Angaben von (potenziellen) Herstellern [vgl. Jestaedt 2009]. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie weder für die Nordsee- und Weserfernleitung detaillierte Planungsdaten vorlagen und folglich qualifizierte Annahmen getroffen werden mussten. Hierzu wurde v.a. auf Auslegungsdaten von vergleichbaren Vorhaben zurückgegriffen [vgl. ARGE WESER 1979; K+S 2009a].

3.2.1 Herstellung der Komponenten

In der folgenden Tabelle werden die grundlegenden Modellierungsannahmen für die Herstellung der Komponenten der Salzabwasser-Fernleitung zusammengefasst. Daraus geht hervor, dass für beide Trassenverläufe eine Rohrleitung aus Stahl angenommen wird, die im Inneren mit einer Schicht aus Schmelzbasalt ausgekleidet ist, um eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion und Abrasion sicherzustellen. Zusätzlich zu dieser Innenauskleidung ist auch ein äußerer Korrosionsschutz in Form einer Ummantelung aus Polyethylen (PE) vorgesehen.

Tabelle 1 Grundlegende Modellierungsannahmen für die Herstellung der Komponenten der Salzabwasser-Fernleitung

	Einheit	Nordsee-Pipeline	Weser-Pipeline
Länge der Pipeline	km	400	130
Rohrdurchmesser	mm	DN 600	DN 1000
Rohrlänge	m	18	18
Wanddicke (Stahl)	mm	11	11
Wanddicke (Schmelzbasalt)	mm	23	23
Wanddicke (PE-Ummantelung)	mm	3	3
Durchmesser PVC-Kabelschutzrohr	mm	DN 50	DN 50
Wanddicke Kabelschutzrohr	mm	2,4	2,4

3.2.2 Transport der Komponenten

Tabelle 2: Grundlegende Modellierungsannahmen für Transport der Komponenten der Salzabwasser-Fernleitung

	Einheit	Nordsee-Pipeline	Weser-Pipeline
Transportentfernung für Komponenten	km	500	500
Nutzlast LKW	t	> 32	> 32
Schadstoffklasse		EURO 5	EURO 5

Die grundlegenden Modellierungsannahmen für den Transport der Fernleitungskomponenten an den Ort der Verwendung befinden sich in Tabelle 2.

Bei der angenommenen Transportentfernung in Höhe von 500 km handelt es sich eher um eine konservative Annahme, da potenzielle Lieferanten für die Konstruktionsmaterialien in z.T. deutlich geringerer Entfernung vorhanden sind.

3.2.3 Tiefbau / Montage

Tabelle 3 können die wichtigsten Modellierungsannahmen für die Tiefbaumaßnahmen und die Montage der Fernleitung entnommen werden.

Tabelle 3: Grundlegende Modellierungsannahmen für die Tiefbauprozesse und die Montage der Salzabwasser-Pipeline

	Einheit	Nordsee-Pipeline	Weser-Pipeline
Grabenbreite	m	max. 2,64 m	max. 3,87 m
Grabentiefe	m	1,80 m	2,20 m
Volumen Speicherbecken	m ³	75.000	75.000
Anzahl Speicherbecken		5	5
Länge Schweißnaht pro Rohr (autogenes Schweißen)	m	2,0	3,2

Das Bodenvolumen, das im Zuge der Tiefbaumaßnahmen bewegt werden muss, wurde unter Verwendung von Auslegungsdaten einer kleineren Salzabwasser-Pipeline (vgl. Schema in Abbildung 3) ermittelt, die um folgende Annahmen ergänzt wurden:

- Die Tiefe des abgetragenen Mutterbodens beträgt 20 cm;
- Beim Hochskalieren der Auslegungsdaten auf die Nordsee- und Weserfernleitung wurden die grundlegenden Annahmen (z.B. Dimensionierung der Baustelle, Schichtdicke der Unterfütterung, Abschrägungswinkel des Grabens) beibehalten;
- Die gesamte zu bewegende Bodenmenge entspricht dem doppelten Volumen des Grabens (Aushub und Wiederverfüllen).

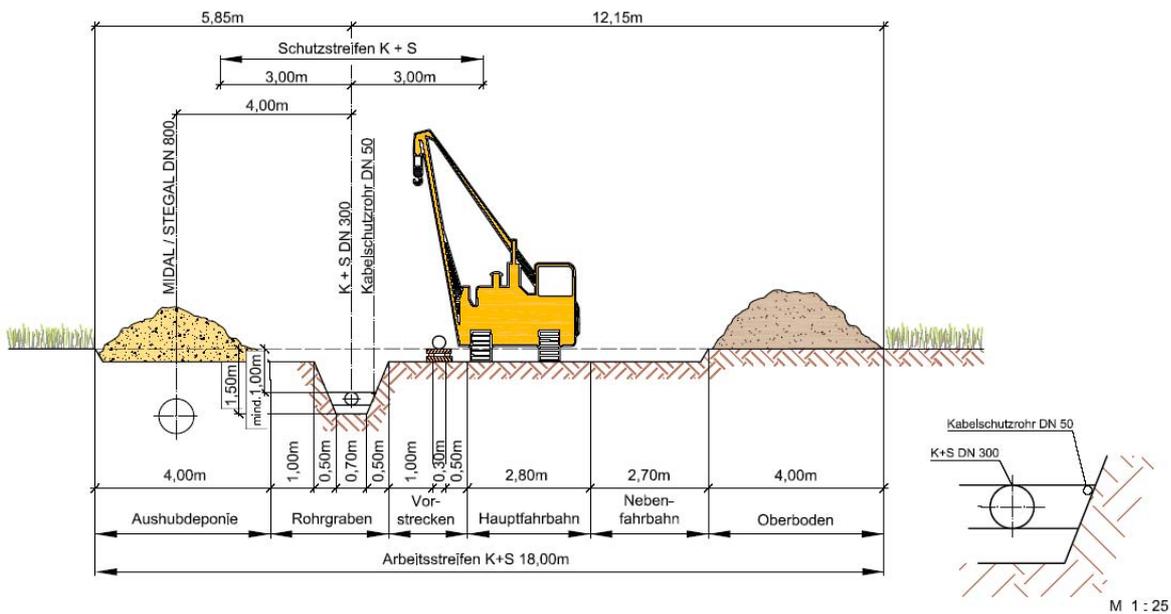


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Regelarbeitsstreifens der Neuhoof-Phillipsthal-Trasse (DN300) [K+S 2009a].

Für die Nordsee-Fernleitung ergibt sich daher folgende Dimensionierung des Grabens (vgl. Abbildung 4).

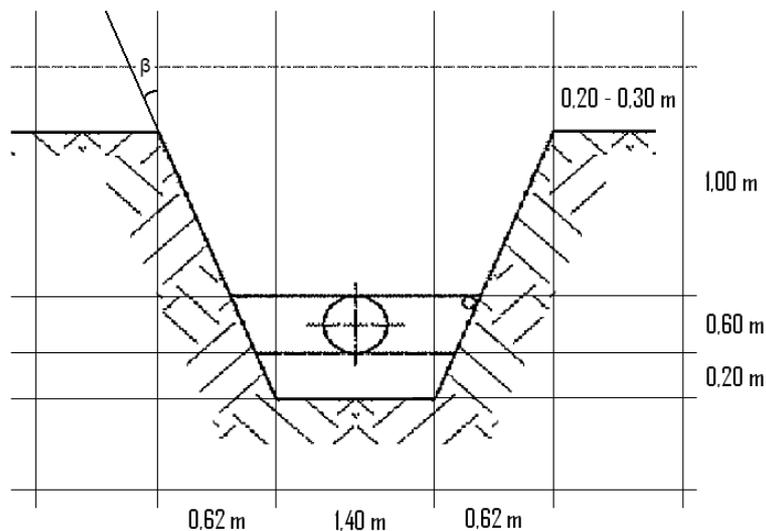


Abbildung 4: Schema des Grabens für die Nordsee-Fernleitung [eigene Darstellung]

Daraus ergibt sich für die Nordsee-Fernleitung eine zu bewegende Bodenmenge von 12.422 m^3 pro Kilometer. Bei einer Leitungslänge von ca. 400 km summierte sich die Bodenmenge auf rund 5 Mio. m^3 .

Die Dimensionierung der Weser-Fernleitung kann der folgenden Abbildung entnommen werden (vgl. Abbildung 5).

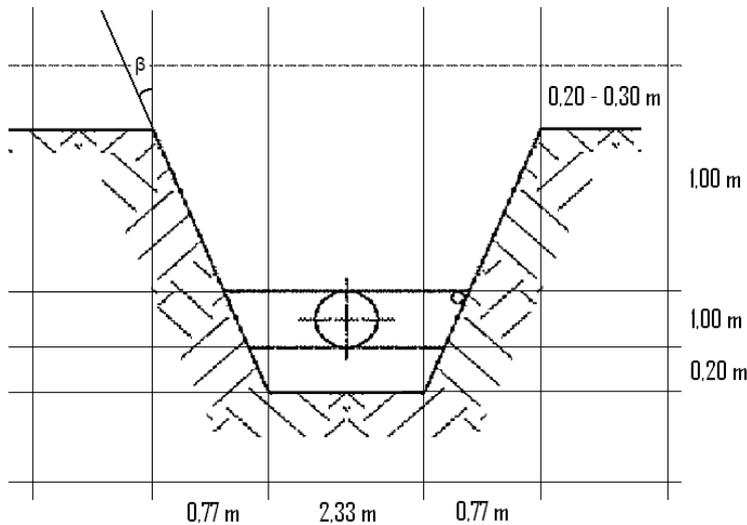


Abbildung 5: Schema des Grabens für die Weser-Fernleitung [eigene Darstellung]

Infolgedessen beträgt die bei der Weser-Fernleitung zu bewegende Bodenmenge 18.879 m^3 pro Kilometer Leitungslänge. Bei einer Leitungslänge von ca. 130 km summiert sich so die Bodenmenge auf ca. 3 Mio. m^3 .

Bei der Modellierung der Speicherbecken wurde angenommen, dass für die temporäre Speicherung bei beiden Fernleitungsvarianten in erster Näherung das gleiche Speichervolumen erforderlich ist. In der Praxis ist davon auszugehen, dass im Falle der Weser-Fernleitung aufgrund der abflussabhängigen Einleitung eine ggf. deutlich höhere temporäre Pufferung vorgenommen werden muss³.

3.2.4 Betrieb

Der Energiebedarf während des Betriebs der Fernleitung ist stark abhängig von der Strömungsmechanik innerhalb der Leitung. Diese hängt wiederum in erster Linie von den Reibungskräften an den Rohrleitungswandungen und dem Höhenunterschied während ihres Transports ab.

³ Eine in diesem Zusammenhang durchgeführte Sensitivitätsanalyse ergab, dass im Falle einer 10-fach höheren Pufferkapazität (d.h. rund 4 Mio. m^3) bei der Weser-Fernleitung das Treibhauspotenzial um ca. 60 Tonnen CO_2 -Äquivalente steigen würde. Dieser Differenzbetrag entspricht ca. 0,5% des Gesamtergebnisses (vgl. Kapitel 4.1). Für den Fall, dass eine Pufferung erforderlich ist, die über die genannte Kapazität deutlich hinaus geht, ist dieser Aspekt nicht mehr ökobilanziell vernachlässigbar. Ferner ist dann auch die technische und ökonomische Machbarkeit einer solch umfangreichen Pufferung über Tage zunehmend in Frage zu stellen.

Allerdings sind die Reibungskräfte im Vergleich zum Höhenunterschied vernachlässigbar. Im vorliegenden Fall ist bei beiden Fernleitungsvarianten anfänglich eine Steigerung von 320 m zu überwinden. Im verbleibenden Trassenverlauf ist ebenfalls in beiden Fällen das Gefälle groß genug, um auf einen Pumpeneinsatz zu verzichten. Insofern entsteht nur auf der anfänglichen Druckstrecke ein Stromverbrauch, der im Rahmen der vorliegenden Studie berücksichtigt wird.

Die Ermittlung des Stromverbrauchs basiert auf dem Druckverlust innerhalb der Leitung, der entsprechend der folgenden Gleichung ermittelt wurde:

$$p_1 - p_2 = \rho \cdot g(z_2 - z_1) + \lambda \cdot \frac{8 \cdot \rho \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^5}$$

mit:

p_i : Flüssigkeitsdruck in der Position „i“, wobei Position 1 für den Startpunkt und Position 2 für den höchsten Punkt der Trasse steht;

z_i : Flüssigkeitshöhe in Position „i“;

g : Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$);

ρ : Flüssigkeitsdichte, in Kilogramm pro Kubikmeter;

L : Leitungslänge, in Meter;

D : Leitungsdurchmesser, in Meter;

Q : Durchfluss, in Kubikmeter pro Sekunde.

Mit einem Sicherheitsfaktor von 1,2 wurde für die beiden Fernleitungsvarianten der Druckverlust und unter Annahme eines Pumpenwirkungsgrades von 80% die erforderliche Pumpenleistung sowie der daraus resultierende Energiebedarf ermittelt (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Grundlegende Modellierungsannahmen für den Betrieb der Salzabwasser-Pipeline

	Einheit	Nordsee-Pipeline	Weser-Pipeline
Abwassermenge	m ³ /a	7.000.000	7.000.000
Auslastung	%	82	35
Lebensdauer	a	30	30
Höhendifferenz	m	320	320
Dichte Abwasser	kg/m ³	1.251	1.214
Kinetische Viskosität	cSt	2,78	2,05
Pumpstationen		1	1
Pumpenleistung	MW	1,5	3,0
Energiebedarf	Wh/tkm	3,1	8,4

3.2.5 Entsorgung

Für die Entsorgung der Fernleitung wurde ein Verbleib der Konstruktionsmaterialien im Boden und keine Rückgewinnung der Komponenten angenommen. Dabei handelt es sich um eine konservative Annahme, da nach dem Ablauf der angenommenen Nutzungsdauer (30 Jahre) angesichts der tendenziell steigenden Ressourcenpreise ein solches werkstoffliches Recycling wahrscheinlich ist und ökobilanziell zu einer Gutschrift führen würde.

Stattdessen wurde im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch in der Nachgebrauchsphase die im Boden vorhandenen Anlagenkomponenten als eine (Quasi-) Inertstoffdeponie⁴ betrachtet, die durch einen Datensatz einer Gaspipeline [vgl. Ecolinvent 2.1] approximiert wurde. Folglich ergeben sich aufgrund der verwendeten inerten Materialien keine direkten Emissionen (z.B. Auslaugung), sondern lediglich eine Berücksichtigung von Flächeninanspruchnahme und Infrastruktur.

⁴ Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei der Inertstoffdeponierung um eine vereinfachende Annahme handelt. Insbesondere falls es zu einem Ersatz der Fernleitung nach der angenommenen Nutzungsdauer von 30 Jahren kommen sollte, kann nicht zweifelsfrei von einer Inertstoffdeponie ausgegangen werden. In diesem Fall ist von einem höheren Aufwand für die Entsorgung auszugehen, wobei sich dann jedoch auch erhebliche Gutschriften für die Verwertung der Stahlrohre ergeben würden. Insofern ist die getroffene Annahme mit Unsicherheiten verbunden, bezüglich der Belastbarkeit der Ergebnisse der Ökobilanz jedoch robust.

3.3 Zusammenfassung der Referenzflüsse

Die folgende Tabelle fasst die Referenzflüsse der Untersuchung zusammen. Dabei handelt es sich um das Maß für die ökologisch relevanten Outputs der Prozesse des untersuchten Produktsystems, die zur Erfüllung der funktionellen Einheit erforderlich sind und auf Basis der zuvor genannten grundlegenden Modellierungsannahmen errechnet wurden [vgl. DIN ISO 14040].

Tabelle 5: Zusammenstellung der Referenzflüsse

Stoff- bzw. Energiestrom	Einheit	Nordsee-Pipeline	Weser-Pipeline
Stahl, unlegiert	t	66.400	35.700
Schmelzbasalt	t	49.400	27.200
PE-Ummantelung	t	2.250	1.200
PVC-Kabelschutzrohr	t	232	75
Transporte	tkm	59 Mio.	32 Mio.
Erdarbeiten (Aushub + Verfüllen)	m ³	4.969.000	2.644.000
Elektrische Energie	MWh/a	10.700	9.400

3.4 Verwendete Sachbilanzmodule

Um die Sachbilanz des Produktsystems zu erstellen, wurden im Rahmen der vorliegenden Studie für alle relevanten Prozesse die Referenzflüsse mit geeigneten Sachbilanzmodulen verknüpft. Aufgrund des orientierenden Charakters der Studie wurde dabei auf generische Datensätze der Ökobilanz-Datenbank EcoInvent zurückgegriffen (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 7).

Tabelle 6: Dokumentation der Sachbilanzmodule für die Herstellung und Verarbeitung der Konstruktionsmaterialien der Fernleitung

Material	Sachbilanzmodul für die Rohstoffgewinnung	Quelle	Sachbilanzmodul für die Verabreichung	Quelle
Stahlrohr	Stahl, niedriglegiert, ab Werk	ecoinvent 2.1	Rohr ziehen, Stahl	ecoinvent 2.1
Schmelzbasalt- auskleidung	Feuerfeste Steine, basische Steine, verpackt, ab Werk	ecoinvent 2.1	im Sachbilanzmodul der Rohstoffgewinnung enthalten	-
Kunststoffummantelung	Polyethylen-Granulat, HDPE, ab Werk	ecoinvent 2.1	Extrudieren, Kunststoffrohre	ecoinvent 2.1
Kabelschutzrohr	Polyvinylchlorid, Emulsions- Polyvinylchlorid, ab Werk	ecoinvent 2.1	Extrudieren, Kunststoffrohre	ecoinvent 2.1

Alle übrigen Prozesse des untersuchten Produktsystems wurden wie folgt modelliert:

Tabelle 7: Dokumentation der Sachbilanzmodule für die übrigen Prozesse des Produktsystems

Material	Sachbilanzmodul	Quelle
Transport der Konstruktionsmaterialien	Transport, Lkw >32t, EURO5	ecoinvent 2.1
Aushub und Wiederverfüllen des Bodens	Aushub Hydraulikbagger	ecoinvent 2.1
Schweißen der Pipeline	Schweißen, Autogen, Stahl	ecoinvent 2.1
Stromverbrauch der Pumpen während des Betriebs	Strom, Niederspannung, ab Netz	ecoinvent 2.1
Entsorgung der Pipeline	Entsorgung, Erdgasleitung, 0% Wasser, in Inertstoffdeponie	ecoinvent 2.1

3.5 Vorgehensweise bei der Wirkungsabschätzung

Auf der Basis der Sachbilanzdaten wurde eine Bewertung der Umweltauswirkungen der verglichenen Produktsysteme vorgenommen. Dabei wurden zunächst die ermittelten Sachbilanzdaten zu Umweltwirkungskategorien zugeordnet (Klassifizierung). In einem zweiten Schritt wurden die Sachbilanzdaten innerhalb der Wirkungskategorien modelliert (Charakterisierung) und anschließend im dritten Schritt die Standard-Umweltwirkungskategorien ermittelt.

Dabei handelt es sich um

- den Verbrauch energetischer Ressourcen (KEA),
- das Treibhauspotenzial (GWP),
- das Versauerungspotenzial (AP),
- das Eutrophierungspotenzial (EP) sowie
- das Photooxidantienpotenzial (POCP).

Für eine detaillierte Beschreibung der Wirkungsabschätzung wird auf Möller et al 2005 verwiesen.

Weitere mögliche Wirkungskategorien, wie beispielsweise das Ozonabbaupotenzial (ozone depletion potential, ODP) oder der Flächenverbrauch (land use, LU) werden für die in der vorliegenden Studie untersuchten Prozesse als nicht relevant eingeschätzt und daher nicht näher betrachtet.

Im Folgenden werden die verwendeten Wirkungskategorien näher beschrieben.

3.5.1 Verbrauch energetischer Ressourcen (Kumulierter Energie-Aufwand, KEA)

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) ist ein Maß für den gesamten Verbrauch an energetischen Ressourcen, die für die Bereitstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung benötigt werden. Darüber hinaus wird im KEA auch der Energiegehalt bilanziert, der im Produkt selbst enthalten ist. Der KEA weist alle nicht-erneuerbaren und erneuerbaren energetischen Ressourcen als Primärenergiewerte aus. Zur Berechnung des KEA wird der obere Heizwert (in MJ) der verschiedenen Energieträger angesetzt.

3.5.2 Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP)

Das Treibhauspotenzial beschreibt den Beitrag anthropogener Emissionen an der Wärmeabsorption in der Atmosphäre und ist damit ein Indikator zur Messung des so genannten Treibhauseffekts. Luftemissionen, die zum Treibhauseffekt beitragen (z.B. CO₂, Methan, Lachgas), werden bilanziert und entsprechend ihres spezifischen Treibhauspotenzials zum gesamten Treibhauspotenzial charakterisiert. Das spezifische Treibhauspotenzial beschreibt den Treibhauseffekt von chemischen Substanzen im Verhältnis zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) mit Hilfe von CO₂-Äquivalenten.

3.5.3 Versauerungspotenzial (Acidification Potential, AP)

Das Versauerungspotenzial fasst Emissionen zusammen, die Säuren sind, oder zur Versauerung in der Luft, im Wasser oder im Boden beitragen. Diese Substanzen werden entsprechend ihres spezifischen Versauerungspotenzials relativ zu SO₂ mit Hilfe von SO₂-

Äquivalenten zusammengefasst. Die Hauptverursacher des Versauerungspotenzials sind Schwefeldioxid (SO₂), Ammoniak⁵ und Stickoxide.

3.5.4 Aquatisches und terrestrisches Eutrophierungspotenzial (EP)

Die Wirkungskategorie Eutrophierung steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß in Gewässern und im Boden. Die Anreicherung von Nährstoffen kann eine Verschiebung der Artenzusammensetzung und eine erhöhte Biomasseproduktion in aquatischen und terrestrischen Ökosystemen bewirken. Das aquatische und terrestrische Eutrophierungspotenzial von Nährstoffemissionen in Luft, Gewässer und Boden wird mit Hilfe von PO₄-Äquivalenten zu einer Maßzahl aggregiert. Wie in [Guinée, J. B. et al. 2001] vorgeschlagen, wird dabei nicht zwischen aquatischer und terrestrischer Eutrophierung unterschieden und aufgrund der dortigen Begründung von der in [Schmitz / Paulini 1999] vorgeschlagenen getrennten Betrachtung abgewichen.

3.5.5 Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)

Die Bildung reaktiver Substanzen, wie z.B. Ozon, unter dem Einfluss von chemischen Substanzen (z.B. flüchtige organische Kohlenwasserstoffe) und Sonnenlicht in der Troposphäre wird auch als Sommersmog bezeichnet. Ozon schädigt das menschliche respiratorische System, aber auch Pflanzen. Substanzen, die zur Bildung von troposphärischem Ozon beitragen, werden mit Hilfe ihres photochemischen Oxidantienbildungspotenzials (in Ethen-Äquivalenten) zusammengefasst.

⁵ Die versauernde Wirkung von Ammonium beruht darauf, dass es in Böden durch Mikroorganismen zu Nitrat oxidiert wird, wobei Protonen freigesetzt werden (verborgene Säure).

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ökobilanziellen Untersuchung dargestellt und erläutert. Im Einzelnen handelt es sich dabei auf der Ebene der funktionellen Einheit zunächst um die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für den Bau und Betrieb der Fernleitung (vgl. Kapitel 4.1) sowie den Vergleich zwischen den beiden Trassenverläufen (vgl. Kapitel 0). Da im Rahmen der Untersuchungen auch die Beiträge zum Gesamtergebnis zu ermitteln waren, werden in Kapitel 4.3 exemplarisch anhand der Wirkungskategorie "Treibhauspotenzial" die Beiträge der einzelnen Lebenswegabschnitte aufgeschlüsselt. Angesichts der Tatsache, dass für den Runden Tisch auch von Interesse war, welche potenziellen Umweltauswirkungen mit dem reinen Bau der Pipeline verbunden sind, wird auf diesen Aspekt in einem gesonderten Abschnitt (vgl. Kapitel 4.4) eingegangen. Ausgehend von dieser Betrachtungsweise wird in Kapitel 4.5 eine Beitragsanalyse innerhalb des Lebenswegabschnitts "Herstellung der Komponenten" vorgenommen. Schließlich werden die Resultate in Hinblick auf ihre Relevanz eingeordnet und diskutiert (vgl. Kapitel 4.6).

4.1 Wirkungsabschätzung für den Bau und Betrieb der Pipeline

In der folgenden Tabelle werden für die beiden Trassenverläufe die Ergebnisse für alle ermittelten Wirkungskategorien zusammengefasst. Diese beziehen sich auf die gewählte funktionelle Einheit (vgl. Kapitel 2.3) und somit auf den (anteiligen) Bau und Betrieb der Fernleitung während eines Betriebsjahrs. So verursacht die Nordseepipeline beispielsweise ein Treibhauspotenzial von 16.800 Tonnen CO₂-Äquivalente, während mit dem Bau und Betrieb der Weserpipeline 11.700 Tonnen CO₂-Äquivalente verbunden sind.

Tabelle 8: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für die Nordsee- und Weser-Fernleitung

Wirkungskategorie	Einheit	Nordsee-Pipeline	Weser-Pipeline
Kumulierter Energieaufwand	GJ	262.000	187.000
Treibhauspotenzial	t CO ₂ -äq	16.800	11.700
Versauerungspotenzial	kg SO ₂ -äq	43.900	27.800
Eutrophierungspotenzial	kg PO ₄ -äq	4.970	3.040
Photooxidantienpotenzial	kg Eth-äq	3.520	2.090

Für den Fall, dass nach der angenommenen Nutzungsdauer von 30 Jahren aufgrund eines fortbestehenden Entsorgungsbedarfs eine komplette Erneuerung der jeweiligen Fernleitung erforderlich ist, gelten die Ergebnisse aus Tabelle 8 entsprechend auch für die zweite Nutzungsperiode. Insofern sind die ökologischen Effekte, die sich aus einer nutzungsbedingten Erneuerung der Fernleitung ergeben, im Rahmen dieser Studie berücksichtigt.

4.2 Vergleich zwischen den Trassen

Vergleicht man Ergebnisse der Wirkungskategorien für die beiden Trassenverläufe, so zeigt sich, dass die Weser-Fernleitung je nach Wirkungskategorie ca. 60-70% der potenziellen Umweltauswirkungen der Nordsee-Fernleitung verursacht (vgl. Abbildung 6).

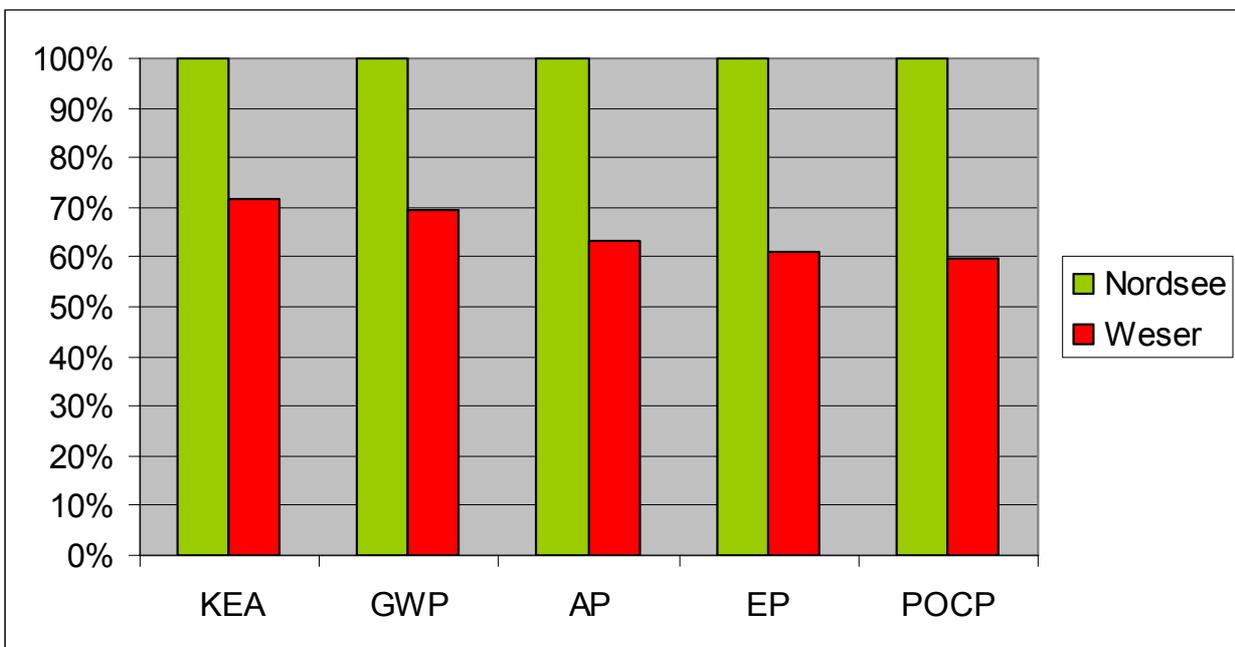


Abbildung 6: Vergleich der Wirkungskategorien zwischen den beiden Trassenverläufen [eigene Darstellung]

4.3 Beiträge der Lebenswegabschnitte zur Wirkungskategorie “Treibhauspotenzial”

Die Beitragsanalyse innerhalb der Wirkungskategorie „Treibhauspotenzial“ ergibt, dass das Gesamtergebnis in erster Linie durch die Herstellung der Komponenten und die Betriebsphase der Fernleitung bestimmt wird. So trägt bei der Nordsee-Fernleitung der Betrieb in

Höhe von 46% zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei, im Falle der Weser-Fernleitung liegt dieser Anteil sogar bei 58%. Die Herstellung der Komponenten verursacht bei der Nordsee-Pipeline 53% der Gesamtemissionen, während der Beitrag bei der Weser-Pipeline nur 41% ausmacht (vgl. Abbildung 7).

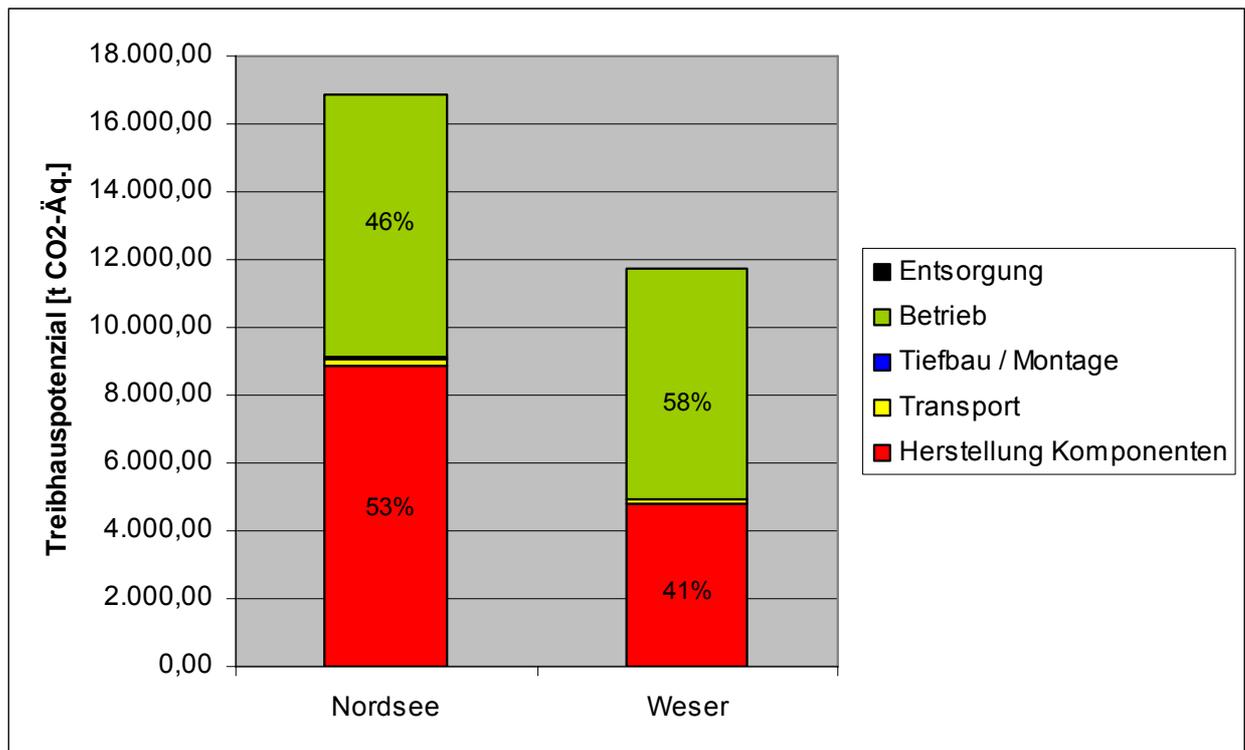


Abbildung 7: Beiträge der Lebenswegabschnitte zur Wirkungskategorie "Treibhauspotenzial" [eigene Darstellung]

4.4 Wirkungsabschätzung für den Bau der Pipeline

Betrachtet man jenseits der funktionellen Einheit nur den Bau der Pipeline, so errechnen sich die Wirkungskategorien wie folgt:

Tabelle 9: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für den Bau der Nordsee- und Weser-Fernleitung

Wirkungskategorie	Einheit	Nordsee-Pipeline	Weser-Pipeline
Kumulierter Energieaufwand	GJ	3.805.000	2.059.000
Treibhauspotenzial	t CO ₂ -äq	274.000	149.000
Versauerungspotenzial	kg SO ₂ -äq	957.000	519.000
Eutrophierungspotenzial	kg PO ₄ -äq	119.000	65.000
Photooxidantienpotenzial	kg Eth-äq	88.000	48.000

In diesem Fall beziffert sich das Treibhausgaspotenzial der Nordsee-Fernleitung auf 274.000 Tonnen CO₂-Äquivalente, während die Weser-Pipeline mit 149.000 Tonnen CO₂-Äquivalente nur etwa halb so große Treibhausgasemissionen aufweist. Beim Vergleich dieser Ergebnisse mit Tabelle 8 ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich diese Werte nicht auf die anteiligen Emissionen während eines Betriebsjahres beziehen, sondern die Gesamtwerte für den Bau der Fernleitung darstellen.

4.5 Beiträge innerhalb des Lebenswegabschnitts "Herstellung Komponenten"

Eine Beitragsanalyse innerhalb des Lebenswegabschnitts der Komponentenherstellung ergibt, dass die Treibhausgasemissionen überwiegend, d.h. zu ca. 55% durch die Herstellung und Verarbeitung des Stahlrohrs verursacht werden. An zweiter Stelle ist mit einem Anteil von 43% die Schmelzbasalt-Auskleidung zu nennen, während alle weiteren Anlagenkomponenten nur sehr geringfügig zum Gesamtergebnis beitragen (vgl. Abbildung 8).

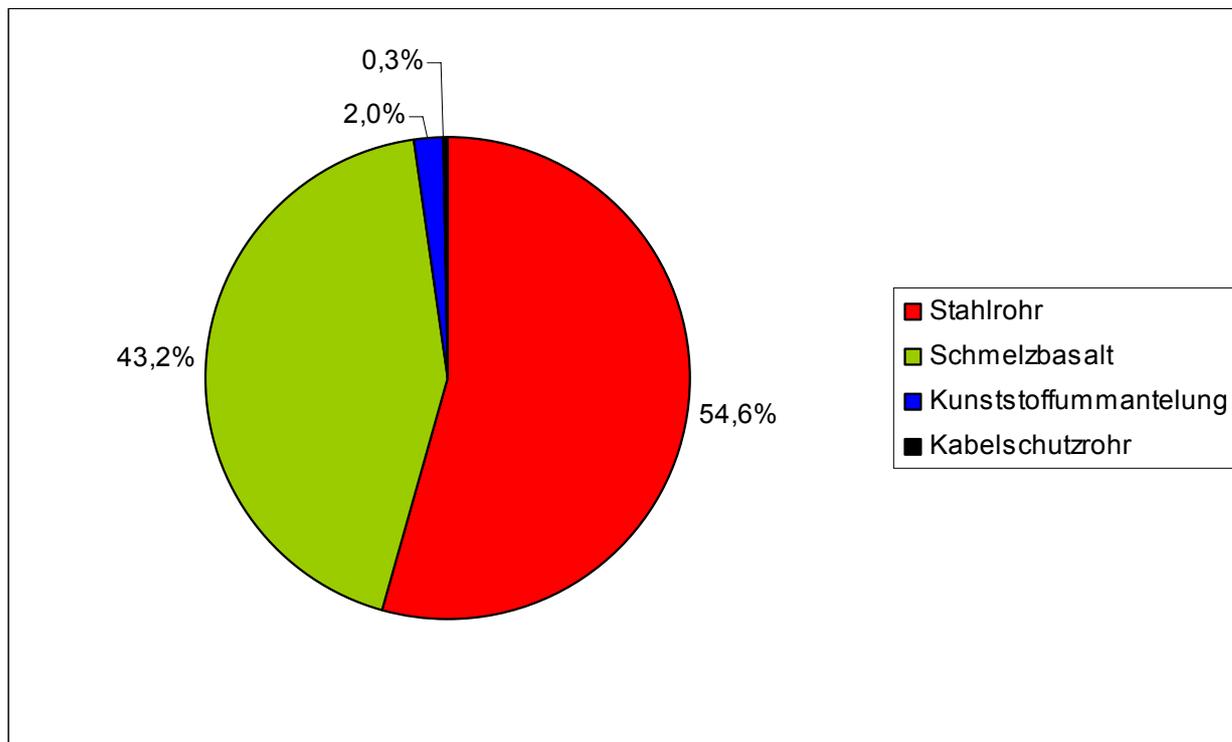


Abbildung 8: Beiträge der einzelnen Konstruktionsmaterialien zum Treibhauspotenzial während der Herstellungsphase der Fernleitung [eigene Darstellung]

4.6 Einordnung der Ergebnisse

Wie die Wirkungsabschätzung der orientierenden Ökobilanz ergeben hat, verursacht der (anteilige) Bau und Betrieb der Nordsee-Fernleitung mit einem jährlichen Durchsatz von 7 Mio. m³ pro Jahr ein Treibhausgaspotenzial von 16.800 Tonnen CO₂-Äquivalente. Um diesen Wert bezüglich seiner ökologischen Relevanz besser einordnen zu können, wurde ein Vergleich mit den gesamten Treibhausgasemissionen der K+S Aktiengesellschaft vorgenommen. Laut des aktuellen Unternehmens- und Nachhaltigkeitsberichts des Unternehmens [vgl. K+S 2009b] beläuft sich dieser Wert auf 1,26 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr (Stand 2008). Der Vergleich kommt folglich zu dem Resultat, dass der Bau und Betrieb einer Salzwasser-Fernleitung an die Nordsee lediglich 1,3 % der jährlichen Gesamtemissionen betragen und somit in der Größenordnung der üblichen jährlichen Schwankungen der Gesamtemissionen liegen dürften.

Insofern kann davon ausgegangen werden, dass eine Fernleitung – insbesondere im Quervergleich zu der Verdampfung⁶ der Salzabwässer als einer weiteren theoretisch denkbaren Lösungsoption – aus der Perspektive der durchgeführten orientierenden ökobilanziellen Analyse eine vertretbare Option darstellt.

Es wird in diesem Zusammenhang jedoch darauf hingewiesen, dass zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie weder für die Nordsee- noch die Wesertrasse konkrete material- und energiebezogenen Planungsdaten existierten. Darüber hinaus besteht keine vollständige Nutzengleichheit der beiden Vergleichssysteme, da die im Falle der Weser-Fernleitung vorhandene Salzbelastung der Weser im Rahmen einer orientierenden Ökobilanz nicht berücksichtigt werden konnte. Vor dem Hintergrund dieser Limitierungen sollte sich die Entscheidung in Hinblick auf die Wahl der Trasse (Nordsee vs. Weser) nicht ausschließlich nach den Ergebnissen der orientierenden Ökobilanz richten.

5 Empfehlungen

Wie anhand der durchgeführten Beitragsanalysen gezeigt werden konnte (vgl. Kapitel 4.5), haben die verwendeten Konstruktionsmaterialien mit ca. 50% einen wesentlichen Anteil an den gesamten potenziellen Umweltauswirkungen der Fernleitung. Aus diesem Grund sollten bei der Auslegung der Fernleitung ökologischer Aspekte berücksichtigt werden. Konkret wird empfohlen, bei der Schmelzbasalt-Auskleidung auf eine optimale Wahl der Wanddicke zu achten, da allein der Schmelzbasalt ca. 20% Anteil am gesamten Treibhauspotenzial trägt.

Darüber hinaus sollte auch eine Optimierung der Trassenführung in Hinblick auf den Druckverlust vorgenommen werden. Dabei ist z.B. zu prüfen, ob eine Umgehung der Anhöhe bei Ersrode (ca. 510 m ü.NN.) möglich ist. Eine solche Maßnahme würde die Gesamtlänge der Trasse nur unwesentlich (d.h. um 60 m) verlängern, jedoch zu einem ca. 20% niedrigeren Pumpenergiebedarfs führen.

6 Fazit

Um für die Arbeit des Runden Tisches die Informationsgrundlagen zu vervollständigen, wurde das Öko-Institut beauftragt, im Rahmen einer orientierenden ökobilanziellen

⁶ Eine überschlägige Berechnung hat ergeben, dass die Eindampfung von 7 Mio. Kubikmeter Salzabwasser mehr als 500.000 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr und somit ca. 30 Mal so viel klimaschädliche Gase verursachen würde wie eine Fernleitung an die Nordsee. Dabei ist bereits von der konservativen Annahme ausgegangen worden, dass die Energiebereitstellung durch ein effizientes Gas-Kraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt.

Untersuchung die potenziellen Umweltauswirkungen zu ermitteln, die mit einer Salzabwasser-Fernleitung an die Nordsee bzw. die Weser verbunden sind.

Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, dass der (anteilige) Bau und Betrieb der Nordsee-Pipeline pro Jahr ein Treibhausgaspotenzial von 16.800 Tonnen CO₂-Äquivalente verursacht. Dies entspricht 1,3% der jährlichen Treibhausgasemissionen der K+S Aktiengesellschaft. Die Treibhausgasemissionen der Weser-Pipeline liegen rund 30% niedriger und belaufen sich auf 11.700 Tonnen CO₂-Äquivalente p.a. bzw. 0,9% der jährlichen Treibhausgasemissionen von K+S. Insbesondere im Quervergleich zu der Verdampfung der Salzabwässer als einer weiteren theoretisch denkbaren Lösungsoption stellt die überregionale Entsorgung durch eine Fernleitung aus der Perspektive einer orientierenden ökobilanziellen Untersuchung eine vertretbare Option dar.

Die wichtigsten Beiträge zum Gesamtergebnis liefern mit jeweils rund 50% die Herstellung der Konstruktionsmaterialien (Stahl, Schmelzbasalt, Kunststoff) sowie der Energiebedarf für die Pumpen. Innerhalb der Konstruktionsmaterialien tragen die Stahlrohre und die Schmelzbasalt-Auskleidung ebenfalls mit jeweils rund 50% zum Treibhauspotenzial bei.

Durch die Berücksichtigung von ökologischen Kriterien bei Materialauswahl und Dimensionierung der Rohrleitung sowie eine Optimierung der Trassenführung in Hinblick auf den späteren Stromverbrauch beim Betrieb können die Umweltauswirkungen der Pipeline signifikant gesenkt werden.

7 Referenzen

- ARGE WESER 1979 Bremen – Hessen – Niedersachsen – Nordrhein-Westfalen
Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung der Weser (Hrsg.);
Rahmenentwurf zum Bau einer Salzabwasserleitung ans dem Werra-
Weser-Gebiet zur Nordsee, Band 1, Kurzfassung des
Erläuterungsberichts, 1979
- Brinckmann 2008 Brinckmann, H.; Infobrief 01 des Runden Tisches „Gewässerschutz
Werra/Weser und Kaliproduktion, Kassel, September 2008,
<http://www.runder-tisch-werra.de/index.php?parent=1173> [abgerufen
am 06. Juli 2009]
- Brinckmann 2009a Brinckmann, H.; Infobrief 02 des Runden Tisches „Gewässerschutz
Werra/Weser und Kaliproduktion, Kassel, Januar 2009,
<http://www.runder-tisch-werra.de/index.php?parent=1173> [abgerufen
am 06. Juli 2009]
- Brinckmann 2009b Brinckmann, H.; Infobrief 03 des Runden Tisches „Gewässerschutz
Werra/Weser und Kaliproduktion, Kassel, Mai 2009, [http://www.runder-
tisch-werra.de/index.php?parent=1173](http://www.runder-tisch-werra.de/index.php?parent=1173) [abgerufen am 06. Juli 2009]
- DIN EN ISO 14040 DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.); DIN EN ISO 14040,
Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und
Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006), Berlin 2006
- DIN EN ISO 14044 DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.); DIN EN ISO 14044,
Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen
(ISO 14044:2006), Berlin 2006
- Ecolnvent 2.1 Schweizer Zentrum für Ökoinventare (Hrsg.); Ecolnvent 2.1 Datenbank,
2009
- Guinée, J. B. et al. 2001 Guinée, J. B. et al.; An operational guide to the ISO-standards, Final
report – Part 3, Centre of Environmental Science (CML), Leiden, 2001.
- Hochfeld / Jenseit 1998 Hochfeld, C.; Jenseit, W.; Allokation in Ökobilanzen bei der Berechnung
des Kumulierten Energieaufwandes, Arbeitspapier im Rahmen des UBA
F&E-Vorhabens Nr. 104 01 123; Darmstadt 1998
- Jestaedt 2009 Jestaedt, A, Orientierende umweltfachliche Untersuchung zur
überregionalen Entsorgung von Salzabwasser aus der Kaliproduktion
mittels Rohrfernleitungsanlagen zur Weser oder Nordsee, Präsentation
auf der Sitzung des Runden Tisches am 01.09.2009, Bad Sooden-
Allendorf 2009, [http://www.runder-tisch-werra.de/index.php?
parent=1227](http://www.runder-tisch-werra.de/index.php?parent=1227) [abgerufen am 08.11.2009]
- K+S 2009a K + S Aktiengesellschaft (Hrsg.); Salzabwasserleitung Neuhof-
Philippsthal, Kapitel A Projektbegründung und -beschreibung, Neuhof
2009

K + S 2009b	K + S Aktiengesellschaft (Hrsg.); Kraft aus der Tiefe, Unternehmens-/ Nachhaltigkeitsbericht 2008, Kassel 2009
Möller et al. 2005	Möller, M.; Bunke, D.; Gensch, C.-O.; Quack, D.; Vogt, P.; EcoGrade 2.0. Methodology Description; Freiburg 2005
Schmitz / Paulini 1999	Schmitz, S.; Paulini, I.; Bewertung in Ökobilanzen. Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043. Version '99. UBA Texte 92/99.