

Karlheinz Rößler
Verkehrsberater
Gräfstraße 133
81241 München

Telefon: 089/883307
<roessler@vr-transport.de>

Ermittlung der durch den Fehmarnbeltunnel verursachten Treibhausgasemissionen

Abschlußbericht

München, den 6.6.2017

Auftraggeber:
Aktionsbündnis gegen eine
feste Fehmarnbeltquerung e.V.
Westermarkelsdorf 12a
23769 Fehmarn

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Kurzfassung	3
2. Ausgangssituation und Aufgabenstellung	6
3. Datengrundlage und Rahmenbedingungen der Untersuchung	8
3.1 THG-Emissionsfaktoren und Mengengerüst des Bauwerks FFBQ	8
3.2 Verkehrsmengen im Planfall und im Referenzfall	9
3.2.1 Planfall	10
3.2.2 Referenzfall	11
3.3 Annahmen über den zukünftigen Strommix sowie über die Entwicklung des elektrischen Antriebs von Fahrzeugen	12
3.3.1 Zukünftiger Strommix	12
3.3.2 Zukünftige Entwicklung des Antriebs von Straßenfahrzeugen und Fährschiffen	14
4. Untersuchungsergebnisse	16
4.1 Treibhausgasemissionen während der Bauphase des Fehmarnbelttunnels	16
4.1.1 Produktion des Baumaterials	16
4.1.2 Bagger- und Transportarbeiten	17
4.2 Treibhausgasemissionen durch Unterhalt und Betrieb des Fehmarnbelttunnels	18
4.2.1 Unterhalt des Tunnels	18
4.2.2 Betrieb des Tunnels	19
4.3 Treibhausgasemissionen durch den Verkehr im Tunnel	21
4.4 Summenbetrachtung der Treibhausgasemissionen des Fehmarnbelttunnels	22
4.5 Treibhausgasemissionen des Fährbetriebs im Referenzfall	23
5. Kritische Betrachtung der Studie COWI 2013	27
6. Fazit der Untersuchung	29
Quellenangaben und Anmerkungen	30
Anhang	35

1. Kurzfassung

(1) Ausgangssituation und Aufgabenstellung

(1.1) Auf der Klimakonferenz 2015 in Paris vereinbarten fast alle Staaten, so auch Deutschland und Dänemark, die Emission von Treibhausgasen schrittweise zu reduzieren und noch im Laufe des jetzigen Jahrhunderts ganz zu stoppen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob die in Form eines Absenktunnels geplante Feste Fehmarnbeltquerung (im Folgenden abgekürzt als FFBQ) hinsichtlich des Treibhauseffekts überhaupt noch zu rechtfertigen ist, wenn man die Erdüberhitzung tatsächlich eindämmen will.

(1.2) Deshalb sind zum einen die durch den Bau, Unterhalt und Betrieb der Festen Fehmarnbeltquerung anfallenden Treibhausgasemissionen zu quantifizieren. Zum zweiten ist der Treibhausgasausstoß zu ermitteln, der durch den Verkehr bei Querung des Fehmarnbelts im Fall mit Tunnel (Planfall) und durch den zukünftigen Fährbetrieb im Fall ohne Tunnel (Referenzfall) während eines Betrachtungszeitraums von 30 Jahren - von 2033 bis 2062 - erzeugt wird. Zum dritten ist die Studie "Fehmarnbelt fixed link, Greenhouse Gas Emission Inventory, Report no. E6TR0221" kritisch zu betrachten, die von der dänischen Firma COWI A/S im Auftrag von FEMERN A/S im Jahr 2013 vorgelegt wurde und die im Folgenden als "COWI 2013" zitiert wird. Diese Studie führt aus, dass der Tunnel im Gegensatz zum Fährbetrieb zu einer Reduzierung der Emissionen von Treibhausgas (abgekürzt THG) beitrage.

(2) Datengrundlagen der Untersuchung

(2.1) Die Grundlage, um den THG-Ausstoß zu ermitteln, bilden zum einen die THG-Emissionsfaktoren, insbesondere bezüglich der Herstellung des verwendeten Baumaterials. Diese Daten stammen vor allem aus Untersuchungen des deutschen Öko-Instituts und des Umweltbundesamtes der Jahre 2013 bis 2015. Zum anderen ist das Mengengerüst (des Baumaterials, des Verkehrs, der elektrischen Energie usw.) zu bestimmen. Das Mengengerüst für das Bauwerk Fehmarnbelttunnel, z.B. Masse an Beton, ist den aktuellen Planfeststellungsunterlagen für das Projekt auf deutscher Seite zu entnehmen.

(2.2) Das Mengengerüst des Verkehrsaufkommens stützt sich auf Daten aus der Finanzanalyse 2016. Diese Daten entsprechen den für den Basisfall B im Jahr 2030 prognostizierten PKW- und LKW-Zahlen und werden auf den Betrachtungszeitraum hochgerechnet, wobei laut Finanzanalyse ab 2053 ein Nullwachstum zu erwarten ist. Die Verkehrszahlen für Omnibusse und Züge stammen direkt aus der Intraplan/BVU-Prognose. Es wird unterstellt, dass diese ohnedies niedrigen Werte im gesamten Betrachtungszeitraum 2033 bis 2062 stabil bleiben.

(3) Zukünftiger Strommix

Nach dem Klimaschutzplan der deutschen Bundesregierung soll die Stromerzeugung in Deutschland bis 2050 vollständig auf nicht fossile Energiequellen umgestellt werden, in Dänemark soll diese Umstellung bereits 2035 abgeschlossen sein. Wegen des unterschiedlichen Anteils von fossil vs. nicht fossil erzeugtem Strom in Deutsch-

land und Dänemark und wegen der unterschiedlich schnellen Umstellung der Stromgewinnung in beiden Ländern sind die beiden Stromnetze und die THG-Emissionsfaktoren getrennt zu betrachten. Es wird angenommen, dass im Planfall für den Betrieb der FFBQ sowie für KFZ mit Elektromotor, welche den Tunnel durchfahren, der Strom je zur Hälfte aus dem deutschen und dem dänischen Netz bezogen wird; der Bahnstrom für die Züge stammt vollständig aus Dänemark.

(4) Zukünftige Entwicklung des elektrischen Antriebs von Straßenfahrzeugen und Fährschiffen

(4.1) Bezüglich der Verbreitung des Elektroantriebs von PKWs, LKWs und Omnibussen wird ein progressives Szenario entworfen, welches das Gegenstück zur äußerst schleppend verlaufenden derzeitigen Umstellung auf Elektroautos in Deutschland darstellt. Nach diesem Szenario werden ab 2018 jährlich rund 3 % der PKWs, die noch über einen Verbrennungsantrieb verfügen, durch Elektroautos ersetzt. Ab 2050 werden nur noch elektrisch angetriebene Fahrzeuge auf deutschen Straßen unterwegs sein, was auch die LKWs und Omnibusse einschließt. Das analoge Szenario soll ebenfalls für Dänemark gelten und somit auch für den Verkehr der FFBQ.

(4.2) Die Reederei Scandlines plant, die 4 heute auf dem Fehmarnbelt eingesetzten Großfähren bis spätestens 2033 vom aktuellen dieselelektrischen auf vollelektrischen Antrieb umzustellen, wobei der Strom aus Akkumulatoren stammt, die während der Liegezeit im Hafen geladen werden. Der Elektroantrieb ist bei Wasserfahrzeugen aus Gewichtsgründen wesentlich leichter zu realisieren als bei landgebundenen Fahrzeugen; er hat sich seit über 100 Jahren in der Linienschifffahrt auf Binnengewässern hervorragend bewährt.

(5) THG-Emissionen im Planfall

(5.1) Der Tunnel am Fehmarnbelt verursacht Treibhausgasemissionen von insgesamt über 2,2 Millionen Tonnen. Davon gehen mehr als drei Viertel auf das Tunnelbauwerk inkl. Fahrwege für Autos und Züge zurück, genauer gesagt, auf die Produktion des benötigten Baumaterials und auf die baustellenbedingten Bagger- und Transportarbeiten. Durch diese Treibhausgasquellen allein werden rund 1,7 Millionen Tonnen freigesetzt. Der Straßen- und Schienenverkehr im Tunnel kommt auf einen Anteil von rund einem Siebtel, der Betrieb des Tunnels ist nur zu 6 % beteiligt, der THG-Ausstoß durch den Unterhalt des Tunnels liegt unter 1 %.

(5.2) Entscheidend für den THG-Ausstoß des Fehmarnbelttunnels ist also die Bauphase inkl. Produktion der Baumaterialien. Unterhalt und Betrieb des Tunnels spielen hingegen eine untergeordnete Rolle. Selbst der Verkehr, die zweitgrößte Emissionsquelle der FFBQ, trägt nur in relativ geringem Maße zu den THG-Emissionen bei.

(6) THG-Emissionen im Referenzfall

Wenn der Bau der FFBQ unterbleibt, entstehen noch THG-Emissionen durch die Stromerzeugung für die vollelektrisch angetriebenen Fähren zur Querung des Fehmarnbelts, durch den Neubau der Fähren als Ersatz für die vorhandenen Schiffe, die zwischen 2033 und 2062 die Grenze ihrer Lebensdauer erreicht haben werden,

und durch den verbleibenden Umwegverkehr der Güterzüge auf der Jütlandroute. In diesem Referenzfall summiert sich der Ausstoß an klimarelevanten Gasen auf rund 450.000 t. Aber hierbei handelt es sich nur um einen Anteil von rund 20 %, gemessen an der THG-Menge, welche der FFBQ insgesamt anzulasten ist. Dieses Projekt ist, verglichen mit dem Referenzfall, somit für den fünffachen THG-Ausstoß verantwortlich. Es steht also im vollen Widerspruch zu den Zielen, zu denen sich auch Deutschland und Dänemark anlässlich der Pariser Klimakonferenz 2015 verpflichtet haben, nämlich den THG-Ausstoß zu verringern statt zu erhöhen.

(7) Betrachtung der Studie COWI 2013

Die Studie COWI 2013 weist für den Bau der FFBQ (Baumaterial, Bagger- und Transportarbeiten) rund zwei Millionen Tonnen an Treibhausgasemissionen aus, während in der vorliegenden Studie nur rund 1,75 Millionen Tonnen ermittelt werden, eine um rund 12 % geringere Menge. Diese Differenz läßt sich vermutlich dadurch erklären, dass sich die vorliegende Untersuchung auf den Unterwassertunnel inkl. der dazu gehörenden Trogbauwerke beschränkt, während die Studie COWI 2013 auch die landseitigen Bauwerke und Infrastrukturkomponenten betrachtet, die teilweise nur temporär benötigt werden wie z.B. die Fabrik auf Lolland für die Produktion der Tunnelelemente. Doch der entscheidende Unterschied zwischen beiden Studien betrifft die THG-Mengen, welche im Planfall im Vergleich zum Referenzfall zu erwarten sind: Die Ausarbeitung COWI 2013 behauptet, dass die FFBQ mit Einstellung des Fährbetriebs am Fehmarnbelt in der Summe zu einer Einsparung von rund 200.000 t an THG-Emissionen pro Jahr führen werde. Auf 30 Jahre hochgerechnet, wäre dies eine Reduktion um fast 6 Millionen Tonnen. Dagegen wird in der vorliegenden Studie für den genannten Betrachtungszeitraum eine Einsparung von fast 1,8 Millionen Tonnen errechnet, wenn der Bau der FFBQ unterbleibt und stattdessen der Fährbetrieb über den Fehmarnbelt fortgesetzt wird, und zwar mit vollelektrischem Antrieb. Der gravierende Unterschied zwischen den beiden Studien kommt dadurch zustande, dass in der Studie COWI 2013 unterstellt wird, die Fehmarnbeltfähren würden auch zukünftig so wie heute mit Dieselantrieb fahren.

(8) Fazit

Die in Form eines Absenktunnels geplante Feste Fehmarnbeltquerung ist wegen ihrer hohen THG-Emissionen nicht zu rechtfertigen. Wenn man es ernst nimmt mit dem Vorhaben, den menschengemachten Treibhauseffekt mit seinen verheerenden Folgen eindämmen zu wollen, ist hingegen der Weiterbetrieb der Fähren am Fehmarnbelt die zielführende Lösung. Die Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die zukünftigen Fährschiffe über einen vollelektrischen Antrieb verfügen, der treibhausgasarm ist.

2. Ausgangssituation und Aufgabenstellung

(1) Auf der Klimakonferenz Ende 2015 in Paris bekundeten fast alle Staaten der Erde - außer Nicaragua und Syrien - ihren Willen, den von uns Menschen verursachten Treibhauseffekt zu stoppen. Hierfür muß nach Meinung von Fachleuten die Verwendung von fossilen Energieträgern - insbesondere Kohle, Erdöl, Erdgas - schrittweise reduziert und noch im Laufe dieses Jahrhunderts ganz beendet werden. Diese Entwicklung ist schon seit mehreren Jahren im Gange und hat den Ausstoß von Treibhausgasen in den Sektoren Energiewirtschaft, Gebäudeheizungen, Industrie und Landwirtschaft inzwischen spürbar gesenkt. Dagegen verharrt die Emission von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen im gesamten Transportsystem auf hohem Niveau. Durch die staatliche Investitionspolitik in den Aus- und Neubau von Verkehrswegen wird der verkehrsbedingte Treibhauseffekt sogar regelrecht gefördert. Denn der Bau von Straßen und Bahnstrecken und ganz besonders von Tunnels und Brücken ist wegen der Produktion der hierfür benötigten Baumaterialien Beton und Stahl für große Mengen an Treibhausgasen (abgekürzt THG) verantwortlich. Zu den Treibhausgasen werden neben Kohlendioxid vor allem Methan und Stickoxide wie Lachgas gezählt, die eine 25-fache bzw. sogar 298-fache Treibhauswirkung haben, verglichen mit Kohlendioxid gleicher Masse. Dieser klimawirksame Effekt anderer Gase wird häufig auch als CO₂-äquivalent bezeichnet.

(2) Es ist nun zu fragen, ob der geplante Tunnel am Fehmarnbelt als Herzstück der Festen Fehmarnbeltquerung (abgekürzt FFBQ) wegen seines großen Bedarfs an Beton und Stahl überhaupt noch zu rechtfertigen ist, wenn man es ernst meint mit dem Vorhaben, den menschengemachten Treibhauseffekt eindämmen zu wollen. Immerhin haben die beiden vom Fehmarnbelttunnel betroffenen Staaten Deutschland und Dänemark das in Paris 2015 vereinbarte Klimaschutzabkommen unterzeichnet.

(3) Deshalb besteht die zentrale Aufgabe der vorliegenden Untersuchung darin, die Treibhausgasemissionen zu quantifizieren, welche insgesamt durch den Bau des Fehmarnbelttunnels inkl. Herstellung des Baumaterials wie Beton und Stahl sowie durch den Unterhalt und Betrieb des Bauwerks anfallen. Nicht betrachtet werden die Zulaufstrecken zum Tunnel auf deutscher und dänischer Seite, die oft auch als "Hinterlandanbindungen" bezeichnet werden.

(4) Den zweiten Untersuchungsschwerpunkt bildet eine Betrachtung der THG-Emissionen durch den Verkehr bei Querung des Fehmarnbelts. Es handelt sich also um den THG-Ausstoß der PKWs, Omnibusse und LKWs sowie der Züge bei ihrer Fahrt durch den geplanten Tunnel; die Alternative dazu bildet der Fährbetrieb ohne den Tunnel. Hierbei bleibt die deutsche und die dänische Zulaufstrecke zum Fehmarnbelt unberücksichtigt.

(5) Anhand der so gewonnenen Untersuchungsergebnisse befaßt sich der dritte Aufgabenbereich mit der Studie "Fehmarnbelt fixed link, Greenhouse Gas Emission Inventory, Report no. E6TR0221", die von der dänischen Firma COWI A/S im Auftrag von FEMERN A/S im Jahr 2013 vorgelegt wurde. In dieser Ausarbeitung, im Folgenden "COWI 2013" genannt und entsprechend zitiert, wird behauptet, der geplante Absenktunnel unter dem Fehmarnbelt würde im Vergleich zum Weiterbetrieb der heutigen Fähren ohne Realisierung des Tunnels ("zero-alternative") große Mengen an Treibhausgasemissionen einsparen.

(6) Die vorliegende Untersuchung umfaßt zwei unterschiedliche Zeiträume bzw. Zeithorizonte:

(6.1) Was den reinen Bau des Fehmarnbelttunnels als Emissionsquelle betrifft, wird die gesamte Bauphase betrachtet, die aus heutiger Sicht mit rund 8,5 Jahren veranschlagt wird und realistischlicherweise nicht vor 2020 beginnt, so dass sie voraussichtlich Mitte 2028 abgeschlossen sein wird.¹

(6.2) Hinsichtlich der anderen relevanten Treibhausgasquellen - nämlich Unterhalt und Betrieb des Bauwerks sowie Emissionen der Fahrzeuge (Züge, LKWs, Omnibusse, PKWs) während der Fahrt durch den geplanten Tunnel versus Weiterbetrieb der Fehmarnbeltfähren ohne Bau des Tunnels - wird ein Untersuchungszeitraum gewählt, der sich über 30 Jahre erstreckt. Der Beginn dieser Betrachtungsperiode liegt im Jahr 2033, also im fünften Jahr nach der voraussichtlichen Eröffnung des Fehmarnbelttunnels. Nach den Erfahrungen mit ähnlichen Verkehrsprojekten dürfte die Anlaufphase (ramp-up), die einen "Verkehrssprung" aufgrund der neuen Infrastruktur bedeutet,² spätestens nach 5 Jahren abgeschlossen sein, so dass sich die Verkehrsmengen stabilisieren. Der Untersuchungszeitraum umfaßt somit die Jahre von 2033 bis 2062.

(7) Als Mittel, um den durch den Fehmarnbelttunnel verursachten Treibhausgasausstoß zu bestimmen und somit das Einsparpotential durch den Verzicht auf diesen Tunnel aufzuzeigen, sind die beiden theoretisch möglichen Szenarien "Planfall" und "Referenzfall" miteinander zu vergleichen, also ein Szenario mit FFBQ und eines ohne dieses Bauwerk.

(7.1) Der Planfall beinhaltet konkret, dass der Fehmarnbelttunnel, wie er heute geplant ist, tatsächlich realisiert wird. Außerdem wird entsprechend den Erwartungen der Vorhabensträger unterstellt, dass die Fährgesellschaft Scandlines den Fährbetrieb auf dem Fehmarnbelt aufgibt.³

(7.2) Der Referenzfall ist dadurch gekennzeichnet, dass die feste Querung des Fehmarnbelts auch langfristig nicht realisiert wird. Vielmehr besteht in diesem Fall der heutige Fährbetrieb über den Fehmarnbelt dauerhaft weiter. Doch im Unterschied zu den heutigen Fährschiffen am Fehmarnbelt erfolgt im Referenzfall der Antrieb der Fähren vollelektrisch mit Strom aus aufladbaren Batterien (Akkumulatoren). Hierbei stammt die in die Batterien eingespeiste elektrische Energie aus nicht fossilen Quellen (überwiegend Sonnen-, Wind-, Wasserkraft und Biomasse) und setzt somit beim Antrieb der Schiffe keine Treibhausgase frei. Allerdings wird das Ziel des vollständig emissionslosen Antriebs realistischlicherweise nur schrittweise erreichbar sein, da der für den Betrieb der Fähren benötigte Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen wird. Dieses liefert heute einen Mix aus fossil und nicht fossil erzeugter elektrischer Energie und wird erst im Laufe eines längeren Zeitraums (siehe Kapitel 3.3.1.) ganz auf alternative Quellen umgestellt sein. Zum Referenzfall gehört auch der Ausbau der Bahnstrecke Neumünster - Bad Oldesloe (zweites Streckengleis, Elektrifizierung), ein Projekt, das bei Realisierung der FFBQ entfällt.

3. Datengrundlage und Rahmenbedingungen der Untersuchung

3.1 THG-Emissionsfaktoren und Mengengerüst des Bauwerks Fehmarnbelttunnel

(1) Die Grundlage für die Bestimmung des tatsächlichen Ausmaßes an Treibhausgasen durch den Bau, Unterhalt und Betrieb der Festen Fehmarnbeltquerung sowie durch den Verkehr im Tunnel bilden die Emissionsfaktoren. Der jeweilige Emissionsfaktor gibt die Treibhausgasmenge an, welche durch die Produktion einer bestimmten Menge an Material, durch einen bestimmten Arbeitsprozeß beim Tunnelbau, durch Treibstoffe für den Verkehr oder durch die verwendete elektrische Energie ausgestoßen wird. Die Maßeinheit des THG-Emissionsfaktors ist beispielsweise "Tonne Treibhausgas pro Tonne Material", "Tonne Treibhausgas pro Kubikmeter Material", "Gramm Treibhausgas pro kWh" oder andere Einheiten des THG-Gewichts.

(2) Die benötigten Daten werden vor allem den folgenden Studien entnommen:

(2.1) Schmied, Martin / Mottschall, Moritz (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland (FKZ 363 01 244), in Kooperation mit dem DB Umweltzentrum, Berlin, Dezember 2013

(2.2) Mottschall, Moritz / Bergmann, Thomas (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Auftraggeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Dezember 2013

(2.3) Umweltbundesamt (Hrsg.): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013, Autoren: Michael Memmler et al., CLIMATE CHANGE 29/2014, Dessau-Roßlau, 2014

(2.4) Bergmann, Thomas / Bleher, Daniel / Jenseit, Wolfgang (Öko-Institut e.V.): Ressourceneffizienzpotenziale im Tiefbau - Materialaufwendungen und technische Lösung, Redaktion: VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE), Berlin 2015, S.104

(3) Die in diesen Studien genannten Emissionsfaktoren "enthalten alle Prozessschritte von der Gewinnung der Rohmaterialien bis zu deren Verarbeitung. Transportprozesse der Rohmaterialien sind in den Prozessschritten enthalten, jedoch nicht die Transporte vom Werk oder Regionallager bis zum Endkunden. (...) In der Regel handelt es sich dabei um durchschnittliche Produktionsmixe in Europa, die in Teilen Recyclingmaterialien enthalten."⁴ Hierbei stützt sich die Ermittlung der Treibhausgasemissionen auf die wissenschaftliche Methode der Stoffstromanalyse.⁵

(4) Zur Bestimmung des Mengengerüsts des Bauwerks Fehmarnbelttunnel, z.B. Masse an Beton, werden die aktuellen Planfeststellungsunterlagen des Projekts auf deutscher Seite ausgewertet, insbesondere der Erläuterungsbericht, und zwar in den beiden folgenden Versionen

(4.1) "Feste Fehmarnbeltquerung, Planfeststellung, Erläuterungsbericht, Anlage 1, vollständig überarbeitete Fassung, 03.06.2016", aufgestellt durch: Femern A/S, Kopenhagen, 03.06.2016; Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Niederlassung Lübeck, Lübeck, 03.06.2016

(4.2) "Feste Fehmarnbeltquerung, Planfeststellung, Anlage 1, Anhang 1, Allgemein verständliche Zusammenfassung (AVZ), vollständig überarbeitete Fassung, 03.06.2016", aufgestellt durch: Femern A/S, Kopenhagen, 03.06.2016; Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Niederlassung Lübeck, Lübeck, 03.06.2016

(5) Die entsprechenden Planungsunterlagen für die dänische Seite stehen nicht zur Verfügung, aber die deutschen Unterlagen enthalten dennoch die meisten der benötigten Angaben; hilfsweise werden fehlende Daten durch Analogieschlüsse aus den deutschen Unterlagen ergänzt. So wird angenommen, dass die dänischen Trogbauwerke und Lichtübergangszonen spiegelsymmetrisch zu den deutschen angeordnet sind und deshalb auch dieselben Längen wie die deutschen Bauwerkskomponenten haben. Für einzelne Daten, die aus den Planfeststellungsunterlagen nicht zu entnehmen sind, wird auch auf die oben genannte Studie COWI 2013 zurückgegriffen.

(6) Aus dem Bauwerks-Mengengerüst zusammen mit den THG-Emissionsfaktoren läßt sich dann der Treibhausgasausstoß durch den Bau der FFBQ ermitteln.

3.2 Verkehrsmengen im Planfall und im Referenzfall

(1) Die Menge der Treibhausgasemissionen, welche durch die Fahrzeuge im Fehmarnbelttunnel (im Planfall) sowie durch die Fähren über den Fehmarnbelt (im Referenzfall) verursacht werden, hängt neben den schon erwähnten Emissionsfaktoren von den Verkehrsmengen ab, die bei der Querung des rund 19 km breiten Fehmarnbelts auftreten.

(2) Die Verkehrsmengen des Referenzfalles werden den aktuellen Prognosen entnommen, die Teil der Planfeststellungsunterlagen sind und von den beiden deutschen Büros Intraplan Consult GmbH, München, und BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH, Freiburg, erarbeitet wurden.⁶ Hierbei wird der "Basisfall B" zugrunde gelegt, der hinsichtlich der Annahmen stärker an die dänischen Planungsüberlegungen angepaßt ist als die Variante "Basisfall A". Zugleich bildet der "Basisfall B" die Grundlage sowohl für die dänischen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur FFBQ als auch für das dänische Baugesetz der FFBQ;⁷ der "Basisfall A" entspricht hingegen den Annahmen und Daten des deutschen Bundesverkehrswegeplans⁸ und weist geringere Verkehrsmengen aus als der "Basisfall B".

(3) Was den Planfall betrifft, nennen die Prognosebüros Intraplan und BVU lediglich für ein einziges Jahr, nämlich für 2030, konkrete Fahrzeug- und Zugzahlen. Der Betrachtungszeitraum der vorliegenden Studie erstreckt sich hingegen über 30 Jahre bis Ende 2062. Für diese relativ lange Periode liegen in der Untersuchung von Intraplan/BVU somit keinerlei Prognosezahlen vor. Um diese große Datenlücke dennoch schließen zu können, werden die Verkehrsmengen für PKWs und LKWs der Finanzanalyse von Femern A/S vom Februar 2016 entnommen.⁹ Diese Finanzanalyse selbst baut auf dem "Basisfall B" der genannten Verkehrsprognose auf, die "als solide

Grundlage zur Schätzung des künftigen Verkehrs im Fehmarnbelt-Tunnel und somit auch der Verkehrseinnahmen eingestuft" wird.¹⁰ Die verwendeten Verkehrszahlen für Omnibusse und Züge stammen hingegen direkt aus der Intraplan/BVU-Prognose und sind mit denen des genannten "Basisfalls B" identisch. Hierbei wird unterstellt, dass diese ohnedies niedrigen Zahlen im gesamten Betrachtungszeitraum 2033 bis 2062 stabil bleiben. Bezüglich der Verkehrsmengen für PKWs und LKWs gehen die Autoren der Finanzanalyse davon aus, dass es ab 2053 ein Nullwachstum geben werde.¹¹ Diese Annahme ist plausibel, denn im PKW- und LKW-Verkehr ist langfristig mit stark steigenden Kosten zu rechnen, insbesondere durch die Verteuerung des Kraftstoffs wegen der sich abzeichnenden Erdölverknappung und der sehr wahrscheinlich kommenden Einführung von Treibhausgassteuern bzw. durch die Umstellung auf den Elektroantrieb. Dieser wird zukünftig wesentlich kostenaufwendiger als der Antrieb mit Verbrennungsmotoren sein.

3.2.1 Planfall

(1) Im Hinblick auf die in einem späteren Schritt durchzuführende Berechnung der THG-Emissionen ist eine Unterteilung des Betrachtungszeitraums in zwei Phasen notwendig: Phase von 2033 bis 2049, in der es auf der Fehmarnbeltroute noch KFZ mit Verbrennungsantrieb geben wird; Phase von 2050 bis 2062, in der ausschließlich elektrisch angetriebene PKWs, Omnibusse und LKWs eingesetzt werden (siehe Kapitel 3.3.2); im Schienenverkehr des Planfalls wird ohnedies der vollelektrische Zugverkehr der Standard sein, wenn im Eisenbahnkorridor Hamburg - Kopenhagen die heute noch vorhandenen Elektrifizierungslücke zwischen Bad Schwartau und Ringsted geschlossen sein wird, was im Rahmen der Ertüchtigung der FFBQ-Zulaufstrecken geplant ist.

(2) In der Finanzanalyse von 2016 finden sich, soweit dies für den Betrachtungszeitraum 2033 bis 2062 relevant ist, nur Angaben bezüglich der PKW- und LKW-Verkehrsmengen in den Jahren 2032, 2042 und 2053. Die fehlenden Werte müssen deshalb durch Interpolation bzw. Extrapolation ermittelt werden. Als Grundlage zur späteren Bestimmung der Treibhausgasemissionen wird für die beiden Zeiträume 2033 bis 2049 und 2050 bis 2062 jeweils ein Durchschnittswert ermittelt. Die Verkehrsmengen via Fehmarnbelt im Planfall von 2033 bis 2062 sind in der untenstehenden Tab.1 angegeben.

(3) Entsprechend dem Szenario, das dem Basisfall B der Verkehrsprognosen zugrunde liegt, gibt es während des gesamten Betrachtungszeitraums keinen Fährbetrieb am Fehmarnbelt, also parallel zur Festen Fehmarnbeltquerung.¹²

Tab.1: Verkehrsmengen via Fehmarnbelt im Planfall ab 2033

	durchschnittliche Fahrzeugzahl/Zugzahl			
	----2033 - 2049----		----2050 - 2062----	
	pro Tag	pro Jahr	pro Tag	pro Jahr
PKWs*	11.928	4.353.720	13.333	4.866.545
Omnibusse*	100	36.500	100	36.500
LKWs**	1.971	616.923	2.209	691.417
Personenzüge*	38	13.870	38	13.870
Güterzüge***	70	17.850	70	17.850

* 365 Verkehrstage pro Jahr

** 313 Verkehrstage pro Jahr, da ein LKW-Fahrverbot an den Sonntagen besteht

*** 255 Verkehrstage pro Jahr

Quellen:

(1) Femern A/S: Finanzanalyse der Festen Fehmarnbeltquerung inkl. der dänischen Hinterlandverbindungen, Inoffizielle Übersetzung, Kopenhagen, Februar 2016, Tabelle 9, S.35;

(2) Intraplan Consult GmbH / BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH: Verkehrsprognose für eine Feste Fehmarnbeltquerung 2014 - Aktualisierung der FTC-Studie von 2002, für Femern A/S, München / Freiburg 2016, Tab.0-10, Tab.0-11, jeweils Basisfall B, S.16f; Tab.6-24, S.168

3.2.2 Referenzfall

Bezüglich der Verkehrsmengen, die im Referenzfall bei Querung des Fehmarnbelts zu erwarten sind, nennen die Prognosebüros Durchschnittswerte pro Tag, die auf jährliche Durchschnittswerte hochzurechnen sind. Da die Fahrzeuge in diesem Fall am Fehmarnbelt die Fähren benutzen und nicht mit eigener Motorkraft fahren, bleiben sie bei der Ermittlung der THG-Mengen unberücksichtigt - die nachstehenden Angaben (siehe Tab.2) haben deshalb einen rein informativen Charakter.

Tab.2: Verkehrsmengen via Fehmarnbelt ab 2033 im Referenzfall

	durchschnittliche Fahrzeugzahl/Zugzahl	
	pro Tag	pro Jahr
PKWs	6.318	2.306.070
Omnibusse	74	27.010
LKWs*	1.581	494.853
Personenzüge	10**	<3.650
Güterzüge	0	0***

* 313 Verkehrstage pro Jahr, da ein LKW-Fahrverbot an den Sonntagen besteht

** Zugzahl heute im Sommer, im Winter nur 8 Züge/Tag

*** kein Übersetzen von Güterwaggons über den Fehmarnbelt, stattdessen Güterzugroute via Jütland: 7,638 Mio t/Jahr

Quelle:

Intraplan Consult GmbH / BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH: Verkehrsprognose für eine Feste Fehmarnbeltquerung 2014 - Aktualisierung der FTC-Studie von 2002, für Femern A/S, München / Freiburg 2016, Tab.0-10, S.16; Tab.5-15, S.138

3.3 Annahmen über den zukünftigen Strommix sowie über die Entwicklung des Antriebs von Fahrzeugen

3.3.1 Zukünftiger Strommix

(1) Für den Betrieb der FFBQ (Beleuchtung, Belüftung, sonstige elektrische Anlagen), für die elektrisch betriebenen Personen- und Güterzüge im Tunnel sowie für zukünftige KFZ mit Elektroantrieb (siehe Kapitel 3.3.2.) werden große Mengen an elektrischer Energie benötigt, deren Produktion grundsätzlich zu THG-Emissionen führt, selbst wenn beispielsweise Wind- oder Wasserkraft verwendet wird. Maßgeblich für den Treibhausgasausstoß durch die Erzeugung des Stroms ist die Kraftwerkstechnik bzw. die verwendete Primärenergie, die entweder konventionell aus fossilen Quellen (vor allem Braun- bzw. Steinkohle, Gas, Kernspaltung) oder aus nicht fossilen Quellen (im wesentlichen Sonnenenergie, Windkraft, Wasserkraft und Biomasse) stammt. Die in der Literatur und Politik häufig gebrauchte Bezeichnung "Erneuerbare Energie" für die nicht fossilen Energieträger wird im Folgenden vermieden, da sie irreführend ist. Denn zumindest die Energiequellen Sonnenenergie, Windkraft und Wasserkraft verschleißten nie und müssen folglich auch niemals durch Menschen erneuert werden.¹³ Deshalb werden diese Energiequellen in der vorliegenden Studie ersatzweise als "nicht fossil" oder auch als "alternativ" bezeichnet, da sie die Alternative zu den konventionellen Energieträgern sind. Bei der Verwendung von nicht fossilen Energiequellen entsteht zwar unmittelbar durch die Stromgewinnung kein Treibhausgas, aber bei der Produktion der Kraftwerkskomponenten, also im Vorfeld der Stromerzeugung, entweichen durchaus klimarelevante Gase, die zwischen den Typen von nicht fossilen Anlagen stark differieren.¹⁴ Da der von den Kraftwerken inkl. privaten Erzeugern eingespeiste Strom im öffentlichen Netz gemischt wird, spricht man von einem "Strommix".

(2) Nach dem Klimaschutzplan 2050 der deutschen Bundesregierung von Ende 2016 soll die Stromerzeugung in Deutschland bis 2050 vollständig auf nicht fossile Energiequellen umgestellt werden, was als technisch machbar eingestuft wird.¹⁵ Um dieses Ziel zu erreichen, müssen sich die beiden Anteile des Strommixes - einerseits fossil erzeugter Strom, andererseits nicht fossil erzeugter Strom - innerhalb des Betrachtungszeitraums dieser Studie von 2033 bis 2050 pro Jahr durchschnittlich um rund 2,06 % zugunsten der letztgenannten Stromart verschieben. Im Jahr 2033, dem ersten Jahr des Betrachtungszeitraums der vorliegenden Studie, wird unter der Voraussetzung, dass der Klimaschutzplan der deutschen Bundesregierung ohne Verzögerung zur Geltung kommt, rund 65 % des Stroms aus nicht fossilen Quellen und rund 35 % aus fossilen Quellen stammen. Zur Halbzeit, also 2041, wird 81,5 % des Stroms auf nicht fossiler und nur noch 18,5 % auf fossiler Grundlage erzeugt werden. Im restlichen Zeitraum ab 2050 bis 2062 soll dann die gesamte elektrische Energie aus nicht fossilen Quellen stammen. Die dänische Regierung hatte bereits 2011 festgelegt, dass ab 2035 der Strom nur noch mit Hilfe von nicht fossilen Energieträgern erzeugt werden darf,¹⁶ was rechnerisch eine jährliche Steigerung des Stromanteils aus nicht-fossilen Quellen um 2,9 % ergibt. Daraus folgt, dass nur in den Jahren 2033 und 2034 im Untersuchungszeitraum der vorliegenden Studie zur Stromerzeugung in Dänemark überhaupt noch fossile Energiequellen verwendet werden.

(3) Bezüglich des derzeitigen Strommixes in Deutschland - Anteil der nicht fossilen Energieträger: 35,5 %, Anteil der fossilen Energieträger: 64,5 % - errechnet sich ein THG-Emissionsfaktor von 20,56 g/kWh für den nicht fossil und von 722,21 g/kWh für den fossil erzeugten Strom.¹⁷ Der THG-Emissionsfaktor für Strom aus konven-

tionellen Kraftwerken auf der Basis von Braunkohle, Steinkohle oder Gas steigt wegen des Wegfalls der emissionsarmen Kernkraftwerke ab 2022 auf 942,16 g/kWh an.

(4) Der Strommix aus dem deutschen und dänischen Netz kommt während des Betrachtungszeitraums 2033 bis 2062 folgenden Verbrauchern zugute:

(4.1) dem Betrieb des Fehmarnbelttunnels (Beleuchtung, Belüftung, sonstige elektrische Anlagen im Tunnel)

(4.2) dem Antrieb von in der Zukunft verstärkt elektrisch betriebenen Fahrzeugen, welche den Tunnel durchfahren, also den Elektro-PKWs, Elektro-Omnibussen und Elektro-LKWs; dagegen erhalten die elektrisch betriebenen Personen- und Güterzüge ihren Strom allein aus dem dänischen Netz (siehe Kapitel 4.3)

(4.3) den elektrisch betriebenen Fährschiffen der Reederei Scandlines über den Fehmarnbelt.

(5) Wenn das Mengengerüst der jeweils benötigten elektrischen Energie bekannt ist, lassen sich die daraus resultierenden Mengen der THG-Emissionen berechnen (siehe Tab.D.4 bis D.8 im Anhang sowie Tab.4 bis 6).

(6) Wegen des unterschiedlichen Anteils von fossil vs. nicht fossil erzeugtem Strom in Deutschland und Dänemark und wegen der unterschiedlich schnellen Umstellung der Stromgewinnung in beiden Ländern auf alternative Energiequellen sind die beiden Stromnetze und die THG-Emissionsfaktoren getrennt darzustellen. Wenn man beide Emissionsfaktoren entsprechend den Mengenanteilen der beiden Stromarten aus fossilen vs. nicht fossilen Quellen gewichtet, erhält man jeweils einen gewichteten THG-Emissionsfaktor für den Strom aus dem deutschen und aus dem dänischen Netz.

(7) Der gewichtete THG-Emissionsfaktor für die Jahre 2033 bis 2049 beträgt in Deutschland aufgrund des Strommixes aus fossil und nicht fossil erzeugtem Strom 191,1 g/kWh oder 0,1911 t/MWh; für die Jahre 2050 bis 2062 gilt der Faktor 20,56 g/kWh oder gerundet 0,0206 t/MWh (siehe Tab. 3), weil ab 2050 in Deutschland der Strom vollständig ohne fossile Energiequellen erzeugt wird.

(8) In Dänemark, das bis 2035 seine Stromerzeugung vollständig auf nicht fossile Quellen umgestellt haben will, wird nur noch 2033 und 2034 der Strom von fossilen Energieträgern stammen. Es ergibt sich für diese beiden Jahre ein gewichteter THG-Emissionsfaktor von 611 g/kWh oder 0,0611 t/MWh (siehe Tab. 3).

(9) Die detaillierte Herleitung der Emissionsfaktoren für Treibhausgase durch Stromerzeugung findet sich im Anhang Teil B.

Tab.3: Gewichtete THG-Emissionsfaktoren für den Strommix aus fossilen vs. nicht fossilen Energiequellen

Betrachtungs- zeitraum	Land	durchschn. Stromanteil nicht fossil	THG-Emiss.- Faktor gewichtet
2033 bis 2049	Deutschland	81,5 %	0,1911 t/MWh
2050 bis 2062	Deutschland	100,0 %	0,0206 t/MWh
2033 bis 2034	Dänemark	95,65 %	0,0611 t/MWh
2035 bis 2062	Dänemark	100,0 %	0,0206 t/MWh

3.3.2 Zukünftige Entwicklung des Antriebs von Straßenfahrzeugen und Fährschiffen

(1) Während in Deutschland und Dänemark alle wichtigen Eisenbahnstrecken in naher Zukunft vom Dieselantrieb auf elektrischen Betrieb - mit Strom aus Oberleitungen - umgestellt sein werden, ist der Elektroantrieb auf Straßen und auf dem Wasser bislang nur wenig verbreitet. Der Bestand an PKWs mit vollelektrischem Antrieb - also kein Hybridantrieb - betrug zum 1.1.2017 in Deutschland lediglich 34.000 Fahrzeuge, was gemessen an der Gesamtzahl von 45,8 Millionen PKWs¹⁸ nur einen Anteil von unter einem Promille ergibt und somit vernachlässigbar ist. Selbst wenn das von der deutschen Bundesregierung gesetzte Ziel erreicht würde, dass im Jahr 2020 in Deutschland eine Million Elektroautos zugelassen wären, so würde deren Anteil nur bei rund 2 % liegen; anders ausgedrückt, würden dann immer noch 98 % der deutschen PKWs von Verbrennungsmotoren angetrieben - angesichts der Feinstaub- und Treibhausgas-Problematik des Autoverkehrs kaum vertretbar.¹⁹

(2) Dieser unbefriedigenden Situation soll im Folgenden ein aus Umweltsicht vorteilhafteres und somit sehr progressives Szenario für die Verbreitung von Elektro-Autos entgegengesetzt werden. Dieses Szenario orientiert sich am Klimaschutzplan 2050 der deutschen Bundesregierung. In diesem Plan ist als Ziel formuliert: "Das Verkehrssystem in Deutschland wird im Jahr 2050 nahezu unabhängig von Kraftstoffen mit fossilem Kohlenstoff ("dekarbonisiert") und somit weitgehend treibhausgasneutral sein."²⁰ Daraus folgt:

(2.1) Ab 2050 werden nur noch PKWs mit Elektroantrieb auf deutschen Straßen unterwegs sein, was analog auch für Dänemark gelten soll. Das heißt konkret, dass von 2018 bis 2049, also 32 Jahre lang, jedes Jahr 1,43 Millionen deutsche PKWs, die noch einen Verbrennungsmotor haben, durch einen Neuwagen mit E-Antrieb ersetzt werden, was eine durchschnittliche Austauschquote von rund 3,13 % pro Jahr ergibt. Hierbei ist unterstellt, dass die PKW-Zahl in Deutschland gleich bleibt, also konstant bei 45,8 Millionen Fahrzeugen liegt. Ende 2032 - also unmittelbar vor Beginn des Betrachtungszeitraums der vorliegenden Studie oder in einem Zeitraum von 15 Jahren ab heute, sind dann in Deutschland rund 21,45 Millionen E-Autos unterwegs, ein Anteil von rund 47 %. In den darauf folgenden 17 Jahren (von 2033 bis 2049 und somit innerhalb des Betrachtungszeitraums) werden noch einmal 24,31 Millionen Autos mit Verbrennungsmotoren durch PKWs mit Elektroantrieb ersetzt. Dies ergibt im Durchschnitt der Jahre 2033 bis 2050 einen Bestand von 12,16 Millionen neuen E-Autos pro Jahr, zusätzlich zu den schon seit Ende 2032 vorhandenen Elektro-PKWs. Die durchschnittliche Zahl der Elektroautos liegt somit von 2033 bis 2049 bei 33,61 Millionen, was einen Anteil von 73,4 % bedeutet; der Anteil der PKWs mit Verbrennungsmotoren sinkt dadurch auf 26,6 % ab. Ab 2050 liegt dann die Quote der PKWs mit E-Antrieb bei 100 %.

(2.2) Die genannten Anteile der elektrisch betriebenen PKWs für die Zeiträume 2033 bis 2049 und 2050 bis 2062 sollen auch bezüglich der Verkehrsmengen zugrunde gelegt werden, welche den Fehmarnbeltunnel durchfahren. Der Einfachheit halber soll diese Quote auch für Omnibusse und LKWs gelten. Hierbei kann es sich entweder um batteriebetriebene Fahrzeuge handeln oder die E-Busse und E-LKWs erhalten ihren Strom aus Oberleitungen. Elektrobusse mit Strom aus Oberleitungen sind als Obusse bekannt und insbesondere in der Schweiz weit verbreitet; Oberleitungen für LKWs mit E-Motor wurden bereits 2012 vom Sachverständigenrat für Umweltfragen vorgeschlagen.²¹

(3) Was den Eisenbahnverkehr der FFBQ betrifft, ist ohnedies der zeitgemäße rein

elektrische Betrieb vorgesehen, wie oben im Kapitel 3.3.1 bereits erwähnt. Heute hingegen werden die wenigen Züge auf der Fehmarnbelttroute mit Dieselmotoren angetrieben, während die Jütlandroute bereits durchgängig elektrifiziert ist.

(4) Im Folgenden wird angenommen, dass die Energie für die elektrisch betriebenen PKWs, Omnibusse und LKWs je zur Hälfte aus dem deutschen und dem dänischen Netz stammt, so dass wiederum dieselben THG-Emissionsfaktoren herangezogen werden wie oben (siehe Kapitel 3.3.1.).²² Für die Züge im Fehmarnbelttunnel wird der Strom allein aus dem dänischen Netz in die Oberleitungen gespeist.²³

(5) Anders als bei Straßenfahrzeugen hat die Eigenmasse der Batterien oder Akkumulatoren bei Fahrzeugen auf dem Wasser nur einen relativ geringen Einfluß auf den Energiebedarf und die Gesamtmasse. Aus diesem Grunde ist der Elektroantrieb mit Strom aus Akkus bei Schiffen schon seit weit über 100 Jahren Stand der Technik. So fahren auf dem Königssee nahe Salzburg bereits seit 1909 elektrisch angetriebene Linienschiffe, die ihre Energie aus Akkumulatoren beziehen. Seit den 1990er Jahren befinden sich Elektroschiffe im Linienverkehr auch auf der Alster in Hamburg, auf der Spree in Berlin, auf dem Neckar in Heidelberg, auf dem Bodensee und als Autofähren über norwegische Fjorde im Einsatz. Diese Schiffe beziehen ihren Strom meist aus Akkus, die beim Anlegen am Ufer aus dem öffentlichen Stromnetz aufgeladen werden. Die Reichweite der in den Akkus gespeicherten Energie ist ausreichend groß, so dass im Linien- und Fährdienst problemlos die nächste Anlegestelle erreicht wird. Deshalb ist auch der Fährverkehr auf der relativ kurzen Route über den Fehmarnbelt für den Elektroantrieb geeignet (siehe Kapitel 4.5.).

4. Untersuchungsergebnisse

4.1 Treibhausgasemissionen während der Bauphase des Fehmarnbelttunnels

Beim Bau des Fehmarnbelttunnels sind im Wesentlichen zwei Quellen für den Ausstoß von Treibhausgasen relevant: zum einen die Produktion des Baumaterials für den Tunnel inkl. Trogbauwerke und zum anderen die während des Tunnelbaus anfallenden Bagger- und Transportarbeiten.

4.1.1 Produktion des Baumaterials

(1) Zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen, die durch den Bau des Fehmarnbelttunnels verursacht werden, wird das überwiegend aus Beton und Bewehrungsstahl bestehende gesamte Bauwerk betrachtet, und zwar ab Beginn der Fahrbahntröge auf deutscher Seite bis zum Ende der Fahrbahntröge auf dänischer Seite. Dieses Gesamtbauwerk setzt sich, in Richtung von Deutschland nach Dänemark betrachtet, aus den 7 Teilabschnitten Trogbauwerke für Straße und Eisenbahn, Lichtübergangszone, Tunnel in offener Bauweise, Absenktunnel, Tunnel in offener Bauweise, Lichtübergangszone und wiederum Trogbauwerke zusammen. Vor und hinter diesen Abschnitten sind zum Bau der Fahrwege von Straße und Eisenbahn überwiegend nur Erdarbeiten erforderlich, so dass betonintensive Kunstbauten lediglich punktuell zu errichten sind, überwiegend als niedrige und kleine Stützmauern sowie als relativ schmale, kurze und flache Brücken zur Querung der Autobahn- und Eisenbahn-Fahrspuren. Diese punktuellen Bauwerke fallen bezüglich der Treibhausgasemissionen, verglichen mit den durch den Tunnel inkl. Fahrbahntrögen verursachten Emissionen, kaum ins Gewicht. Weitere THG-Emissionsquellen sind temporäre Anlagen und Gebäude wie z.B. die Fabrik zum Herstellen der Tunnelemente. Aber da diese Bauwerke fast alle auf dänischer Seite liegen sollen und somit in den deutschen Planfeststellungsunterlagen gar nicht enthalten sind, werden sie in der vorliegenden Untersuchung ausgeklammert.

(2) Das maßgebliche Mengengerüst der Festen Fehmarnbeltquerung, z.B. Länge des Tunnels, die bezüglich des Mengengerüsts zugrunde gelegten Annahmen sowie die Angaben über die Emissionsfaktoren für die Produktion des Materials zum Bau der FFBQ finden sich im Anhang Teil A.

(3) Die beim Bau der FFBQ anfallenden THG-Emissionen sind in der Tab.A.2.3 im Anhang ausgewiesen. Insgesamt verursacht die Produktion aller Materialien, die für das Bauwerk Feste Fehmarnbeltquerung inkl. Fahrwege benötigt werden, einen THG-Ausstoß von rund 1,7 Millionen Tonnen.

4.1.2 Bagger- und Transportarbeiten

(1) Während des Tunnelbaus fallen folgende Arbeitsprozesse bezüglich ihrer THG-Emissionen ins Gewicht: die Bagger- und Transportarbeiten zum Ausheben des Grabens am Meeresboden, der Abtransport des Aushubs nach Lolland und Fehmarn, die Transporte der Tunnelsegmente von ihrer Produktionsstätte auf der Insel Lolland zu ihren endgültigen Positionen auf dem Meeresgrund sowie die sonstigen Materialtransporte wie Ballastbeton oder Komponenten des Fahrwegs von Straße und Schiene.

(2) Die Menge des anfallenden Aushubmaterials wird in den Planfeststellungsunterlagen mit 19.338.000 m³ beziffert. Hierbei handelt es sich um eine Materialmenge, die sich auf den ungestörten Boden am Meeresgrund bezieht. Durch die Baggerarbeiten erhöht sich das Volumen erfahrungsgemäß um rund 30 %. Deshalb ist das Volumen des Baggerguts mit rund 25.140.000 m³ anzusetzen. Der größte Teil dieses Aushubs wird zur Landgewinnung auf Lolland verwendet, der Rest dient erstens zur Verfüllung der Abschnitte im Fehmarnbelt dort, wo der Tunnel in offener Bauweise gebaut wird und somit beidseitig des Tunnels bautechnisch bedingte Lücken entstehen, zweitens zur Landgewinnung auf Fehmarn und drittens als Untergrund von Straßen- und Eisenbahnanlagen auf beiden Inseln. Da die Landgewinnung wie auch die Verfüllung der Tunnelabschnitte in offener Bauweise unmittelbar am Ufer des Belts stattfindet, ist davon auszugehen, dass dieses Material weitgehend per Schiff transportiert wird, während Transporte an Land bei der Betrachtung der THG-Emissionen zu vernachlässigen sind. Das übrige Material (Ballastbeton, Asphalt für Straßenfahrbahnen, Schienen und Feste Fahrbahn für die Eisenbahn) wird im Tunnelinnern eingebaut und deshalb mit LKWs bzw. Güterwaggons von einem landseitigen Lager aus zu seinem Bestimmungsort im Tunnel gebracht. Die Transporte von Rohmaterial zur Endfertigung, z.B. die Bestandteile des Stahlbetons, sind bezüglich der auf den Transportwegen entstehenden THG-Mengen bereits in den Daten der THG-Emissionsfaktoren berücksichtigt.²⁴

(3) Die Tunnelsegmente werden, da sie in einer speziellen Fabrik auf Lolland am Fehmarnbeltufer angefertigt werden, im Durchschnitt über die halbe Tunnellänge befördert, also über rund 9 km. Der Aushub aus dem Graben, in den die vorgefertigten Tunnelelemente abgesenkt werden, wird zu rund 90 % auf Lolland und nur 10 % auf Fehmarn verwendet, und zwar in unmittelbarer Nähe des jeweiligen Fährhafens.²⁵ Dies ergibt wiederum einen durchschnittlichen Transportweg von rund 9 km. Das übrige Baumaterial kann von beiden Enden aus in das Gesamtbauwerk (Tröge plus Tunnel) eingebracht werden, so dass die durchschnittliche Transportdistanz rund 9,5 km beträgt. Bezüglich dieses Materials wird zugleich angenommen, dass es aus Lagern auf den Inseln Fehmarn und Lolland in Ufernähe stammt, da keine Informationen über mögliche Transportwege und -distanzen von weit entfernten Auslieferungslagern oder Produktionsstätten bis zu den beiden Inseln vorliegen.

(4) Die Angaben in der Literatur bezüglich der THG-Emissionen durch Bagger beziehen sich auf Arbeiten an Land. Es wird unterstellt, dass die im Fehmarnbelt vorgesehenen Löffel- und Greifbagger dieselben spezifischen THG-Emissionen (pro Kubikmeter Aushubmaterial) verursachen wie Bagger bei Erdarbeiten an Land. Das Mengengerüst des Materials, das bei Bagger- und Transportarbeiten während des Tunnelbaus bewegt wird, ist in Tab.A.2.4 im Anhang dargestellt.

(5) Aus dem genannten Mengengerüst des bei Bagger- und Transportarbeiten bewegten Materials lässt sich nun die Menge der THG-Emissionen errechnen:

(6) Der gesamte THG-Ausstoß durch die Bagger- und Transportarbeiten während des Tunnelbaus beträgt rund 22.000 t (siehe Tab.A.2.5 im Anhang). Dadurch werden die THG-Emissionen, welche bei der Produktion aller Materialien zum Tunnelbau inkl. Fahrwege anfallen - insgesamt rund 1,75 Millionen Tonnen (siehe Tab.A.2.3 im Anhang) - lediglich um rund 1 % erhöht. Der durch Bagger- und Transportarbeiten verursachte Treibhauseffekt ist also relativ gering und somit fast vernachlässigbar. Was hingegen vor allem zählt, ist der treibhausgasintensive Herstellungsprozess des Materials zum Bau der FFBQ, aber kaum die im Rahmen der Bauarbeiten durchzuführenden Baggerarbeiten und Transporte.

4.2 Treibhausgasemissionen durch Unterhalt und Betrieb des Fehmarnbelttunnels

4.2.1 Unterhalt des Tunnels

(1) Die Asphaltschicht von Straßenfahrspuren ist, wie die allgemeinen Erfahrungen zeigen, nach 20 Jahren erneuerungsbedürftig.²⁶ Deshalb fällt während des Betrachtungszeitraums der vorliegenden Untersuchung ein einmaliger Austausch des Asphalts im Tunnel an. Arbeits- und Transportprozesse, sofern sie sich innerhalb des Tunnels abspielen (Abfräsen und Abtransport des verschlissenen Asphalts aus dem Tunnel hinaus, Einbringen des neuen Asphalts) sind bezüglich der THG-Emissionen vermutlich fast bedeutungslos. Deshalb genügt es, die Emissionen zu ermitteln, welche bei der Produktion des neuen Asphalts entstehen. Es handelt sich hierbei naturgemäß um dieselben Materialmengen, die beim Tunnelbau als Quelle von THG-Emissionen quantifiziert wurden: Die Masse des Asphalts für die Straßenfahrbahnen im Tunnel beträgt 142.000 t und ist für den Ausstoß von gut 3.000 t an THG verantwortlich (siehe Tab.A.2.3 im Anhang).

(2) Die Lebensdauer von Eisenbahnschienen wird in der Literatur mit 30 Jahren angegeben.²⁷ Daraus folgt, dass innerhalb von 30 Jahren nach Eröffnung der FFBQ ein einmaliger Austausch der inzwischen abgenutzten Schienen stattzufinden hat, also auch im Betrachtungszeitraum der vorliegenden Studie. Für die Herstellung der neuen Schienen ist ein THG-Ausstoß von rund 6.700 t anzusetzen. Dagegen rechnet man bezüglich der Festen Fahrbahn der Eisenbahn generell mit einer Lebensdauer von 60 Jahren,²⁸ so dass innerhalb des Betrachtungszeitraums keine Erneuerung dieser Fahrwegkomponente zu berücksichtigen ist.

(3) Die produktionsbedingten Treibhausgasemissionen durch die Erneuerung des Asphalts der Straßenfahrbahnen und durch den Austausch der Eisenbahnschienen führen in der Summe zu einem THG-Ausstoß von fast 10.000 t. Doch gemessen an der THG-Menge von rund 1,75 Millionen Tonnen, die bei der Herstellung des Baumaterials für den Tunnel inkl. Fahrwege anfällt, sind die zusätzlichen Emissionen durch die Herstellung von neuem Asphalt und neuen Eisenbahnschienen äußerst gering und somit nicht relevant. Vielmehr ist das Material, aus dem der Tunnel und die Fahrwege bestehen, die entscheidende Quelle für die THG-Emissionen.

(4) Alle weiteren Emissionsquellen durch den Unterhalt des Tunnels, dessen Lebensdauer mit mindestens 60 Jahren angesetzt werden kann,²⁹ sind in diesem Zusammenhang von noch geringerer Bedeutung. Dies dürfte erst recht auch für die Reparatur bzw. Erneuerung der technischen Einrichtungen (z.B. Lampen, Ampelanlagen, Verkehrszeichen und Eisenbahnsignale, Stromkabel für die Tunnelbeleuchtung, -belüftung und -entwässerung sowie Signalkabel, Aggregate wie Ventilatoren, Pumpen usw.) gelten. Auch die Fahrten der Arbeiter für Inspektionen und Reparaturen im Innern des Tunnels dürften Marginalien darstellen, was ihre Treibhausgasrelevanz betrifft. Insgesamt ist der Unterhalt des Tunnels (Erneuerung der Asphaltsschichten und der Schienen) im Vergleich zu dem beim Tunnel- und Fahrwegbau eingesetzten Material bezüglich THG-Emissionen nahezu vernachlässigbar.

4.2.2 Betrieb des Tunnels

Der Betrieb des Tunnels unter dem Fehmarnbelt emittiert Treibhausgase durch die folgenden drei Quellen: (1) Beleuchtung des Tunnels, (2) Belüftung des Tunnels, (3) Nebenanlagen wie z.B. Pumpen (für die Tunnelentwässerung) und Verkehrsampeln. Die Erzeugung der hierfür benötigten elektrischen Energie verursacht - abhängig vom Mix von fossilen und nicht fossilen Energieträgern - THG-Emissionen. Da die tunnelreiche Schweiz - neben Italien - vermutlich die größten Erfahrungen mit Straßentunnels und deren betriebsbedingtem Energieverbrauch besitzt, soll im Folgenden zur Ermittlung des Mengengerüsts auf empirische Daten von Schweizer Straßentunnels zurückgegriffen werden. Diese Daten stammen aus dem Jahr 1994 und beziehen sich auf Tunnelröhren mit einer Gesamtlänge von 118,5 km.³⁰

(1) Tunnelbeleuchtung

Im genannten Bezugsjahr waren fast alle Schweizer Straßentunnels im Normalfall unbeleuchtet. Inzwischen allerdings werden die meisten Straßentunnels so nachgerüstet, dass sie dauernd beleuchtet sind, neue Straßentunnels werden von Anfang an mit einer Dauerbeleuchtung angelegt. Dies hat zum einen psychologische Gründe (zur Vermeidung von Tunnelängsten und von Monotonie beim Fahren) und zum anderen erhöht die Beleuchtung im Tunnel die Sicherheit. Deshalb ist davon auszugehen, dass die beiden Autoröhren des Fehmarnbelttunnels - immerhin der zweitlängste Straßentunnel der Welt und weltweit der längste Autotunnel, der unter Wasser verläuft - ebenfalls ständig beleuchtet sind. Daraus leitet sich die Annahme ab, dass der jährliche Energieaufwand zur Beleuchtung der beiden Straßenröhren der FFBQ pro Kilometer mindestens dreimal so hoch ist wie der Aufwand 1994 in der Schweiz. Dagegen wird angenommen, dass der Energieaufwand für die Beleuchtung der (im Normalfall unbeleuchteten) Eisenbahnröhren im Fehmarnbelttunnel pro Kilometer derselbe ist wie für die (früher im Normalfall ebenfalls unbeleuchteten) Straßenröhren in der Schweiz.

(2) Tunnelbelüftung

(2.1) Zur Belüftung der Straßenröhren des Fehmarnbelttunnels dienen Jet-Ventilatoren, welche die Luft vom Eingangsportal zum Ausgangsportal blasen,³¹ ein bei den meisten anderen Straßentunnels übliches Verfahren.³² Die Erfahrungswerte aus den Schweizer Straßentunnels bezüglich des Energiebedarfs der Tunnelbelüftung werden für den Fehmarnbelttunnel übernommen.

(2.2) Auch die Tunnelröhren der Eisenbahn im Fehmarnbelttunnel sollen mit Hilfe von Strahlventilatoren belüftet werden, wobei im Normalbetrieb der Kolbeneffekt der fahrenden Züge als ausreichend betrachtet wird.³³ Der Einfachheit halber werden die Erfahrungswerte aus den Straßentunnels in der Schweiz auch für die Eisenbahnröhren des Tunnels am Fehmarnbelt herangezogen.

(3) Elektrische Nebenanlagen im Tunnel

Zum jetzigen Zeitpunkt existieren noch keine detaillierten Planungsunterlagen über die konkrete technische Gestaltung aller Nebenanlagen des Tunnels, sofern diese als Stromverbraucher relevant sind wie z.B. Wasserpumpen. Denn die Planfeststellungsunterlagen sind reine Baupläne für Bauwerke, aber nicht für die technischen Anlagen im Tunnelinneren. Somit kann über den zu erwartenden Bedarf an elektrischer Energie für die Nebenanlagen der FFBQ keine Aussage gemacht werden. Deshalb werden die Schweizer Angaben in diesem Punkt für die Straßenröhren unverändert übernommen, für die betrieblich wesentlich einfacheren und zugleich schmalere Eisenbahn-röhren wird der halbe Bedarf unterstellt.

(4) Nicht berücksichtigt ist der Energiebedarf für die Serviceröhre, die mittig zwischen den beiden Röhren des Straßenverkehrs angeordnet sein wird. Denn es ist davon auszugehen, dass die Beleuchtung und Belüftung dieser bezüglich des Volumens ohnedies relativ kleinen Röhre nur für Servicearbeiten und bei Notfällen benötigt wird, aber im Regelbetrieb nicht.

(5) Die elektrische Energie für den Betrieb der 4 Verkehrstunnelröhren der FFBQ beträgt somit jährlich fast 64.000 MWh (siehe Tab.C.1 im Anhang). Wie oben bereits ausgeführt, wird nun unterstellt, dass diese Energie je zur Hälfte aus dem deutschen und dem dänischen Stromnetz bezogen wird. Um die bei der Energieerzeugung anfallenden THG-Emissionen zu quantifizieren, ist zum einen der deutsche und der dänische Strommix bezüglich seiner Energiequellen zu bestimmen, also die Frage, welchen Anteil der fossil versus nicht fossil erzeugte Strom jeweils hat, und zum anderen die Größe der gewichteten THG-Emissionsfaktoren dieser beiden Energiequellen bei der Stromerzeugung im Durchschnitt der betrachteten Jahre in jedem der beiden Länder. Die Herleitung der THG-Emissionsfaktoren durch Stromerzeugung aus fossilen und nicht fossilen Quellen ist im Anhang Teil B dargestellt.

(6) Der Strombedarf für den Betrieb des Fehmarnbelttunnels verursacht im Laufe des Betrachtungszeitraums insgesamt rund 130.000 t an THG-Emissionen, wie aus Tab.C.2 im Anhang hervorgeht.

4.3 Treibhausgasemissionen durch den Verkehr im Tunnel

- (1) Die oben beschriebenen Verkehrsmengen, die für die Fahrt durch den Fehmarnbeltunnel auf der Straße im Planfall prognostiziert werden (siehe Kapitel 3.2.1), sind entsprechend ihrer Anteile der beiden Antriebsarten Verbrennungsmotor vs. Elektromotor bis zum Jahr 2049 aufzuteilen. Bezüglich der Zeit danach wird aufgrund des gewählten Szenarios (siehe Kapitel 3.3.2.) nur noch der elektrische KFZ-Antrieb zugrundegelegt.
- (2) Die jährlichen Verkehrsmengen der KFZ und Züge, welche im Planfall 2033 - 2062 den Fehmarnbeltunnel benutzen, sind in Tab.D.1 im Anhang dargestellt, und zwar aufgeteilt nach der Art des Antriebs.
- (3) Die THG-Emissionsfaktoren des Verbrennungsantriebs sind der Tab.D.2 im Anhang zu entnehmen.
- (4) Die für die Berechnung der THG-Emissionen maßgebliche Fahrtstrecke im Tunnel beträgt für Straßen- und Schienenfahrzeuge einheitlich rund 18 km. Daraus lässt sich die jährliche Fahrtstrecke, getrennt für die Zeiträume 2033 bis 2049 (mit Verbrennungs- und Elektroantrieb) und 2050 bis 2062 (nur noch Elektroantrieb) ableiten. Anhand dieses Mengengerüsts wird sodann - in einem mehrstufigen Rechengang - der Ausstoß an Treibhausgasen berechnet (siehe Tab.D.3 bis D.8 im Anhang).
- (5) Im Zeitraum von 2033 - 2049 sind Straßenfahrzeuge mit Verbrennungsantrieb aufgrund ihrer Fahrt durch den Fehmarnbeltunnel für rund 230.000 t an Treibhausgasen verantwortlich (siehe Tab.D.3 im Anhang). Danach allerdings entfällt diese Emissionsquelle wegen der vollständigen Umstellung auf Elektroantrieb laut zugrunde liegendem Szenario.
- (6) Bezüglich der elektrisch betriebenen KFZ wird unterstellt, dass die Antriebsenergie für diese Straßenfahrzeuge jeweils zur Hälfte aus dem deutschen und dem dänischen Stromnetz stammt.³⁴ Die Stromzuführung für die Personen- und Güterzüge im Fehmarnbeltunnel soll nach den vorliegenden Plänen hingegen einseitig aus dem dänischen Netz erfolgen, denn die technische Schnittstelle zwischen den beiden Bahnstromnetzen soll auf der deutschen Seite des Fehmarnbelts liegen.³⁵
- (7) Wie aus Teil D im Anhang hervorgeht, betragen die THG-Emissionen der elektrisch betriebenen PKWs, Omnibusse und LKWs rund 91.000 t (siehe Tab.D.6); die elektrischen Personen- und Güterzüge steuern weitere knapp 8.000 t an Treibhausgasen bei (siehe Tab.D.8).
- (8) Insgesamt verursachen die Straßen- und Schienenfahrzeuge bei ihrer Fahrt durch den Fehmarnbeltunnel im Betrachtungszeitraum von 2033 bis 2062 einen THG-Ausstoß von rund 330.000 t. Für diese Emissionen sind zu mehr als zwei Drittel die KFZ verantwortlich, die noch mit Verbrennungsmotoren fahren; gut ein Viertel der Treibhausgasmengen stammt von den PKWs, Omnibussen und LKWs mit E-Antrieb. Auf die Züge bei der Fahrt durch den Tunnel entfallen lediglich rund 2 % der THG-Emissionen, wie die nachstehende Tab.4 zeigt.

Tab.4: Treibhausgasemissionen durch den Straßen- und Schienenverkehr im Fehmarnbelttunnel 2033 bis 2062

	Treibhausgasemissionen	
	absolut	Anteile
<hr/>		
Straßenfahrzeuge		
- mit Verbrennungsmotor	232.989 t	70,1 %
- mit Elektromotor	91.382 t	27,5 %
elektrische Züge	7.858 t	2,4 %
<hr/>		
Summe	332.229 t	100,0 %

4.4 Summenbetrachtung der Treibhausgasemissionen des Fehmarnbelttunnels

(1) Die gesamten THG-Emissionen, welche durch die Bauphase und innerhalb von 30 Jahren durch Unterhalt und Betrieb des Tunnels sowie durch den Verkehr im Tunnel verursacht werden, betragen über 2,2 Millionen Tonnen (siehe Tab.5).

Tab.5: Treibhausgasemissionen durch den Fehmarnbelttunnel in der Bauphase und in der Zeit von 2033 bis 2062

THG-Quelle	--Treibhausgasemissionen--	
	absolut	Anteile der THG-Quellen
<hr/>		
Baumaterial		
für Tunnel und Fahrwege	1.722.899 t	77,5 %
Bagger- und Transportarbeiten	22.523 t	1,0 %
<hr/>		
Zwischensumme Bauphase	1.745.422 t	78,5 %
Unterhalt des Tunnels	9.924 t	0,4 %
Betrieb des Tunnels	134.281 t	6,0 %
Verkehr im Tunnel	332.229 t	15,0 %
<hr/>		
Summe	2.221.856 t	99,9 %

(2) Für den größten Teil der genannten Treibhausgasmenge, und zwar für mehr als drei Viertel, ist die Bauphase inkl. Produktion der Baumaterialien verantwortlich: Rund 1,75 Millionen Tonnen an Treibhausgasen werden in dieser Phase ausgestoßen. An zweiter Stelle, aber mit großem Abstand, ist der Straßen- und Schienenverkehr im Tunnel zu nennen, der im 30 Jahre dauernden Betrachtungszeitraum einen Anteil von genau 15 % am gesamten THG-Ausstoß hat. Der Betrieb des Tunnels - Beleuchtung, Belüftung und sonstige Nebenanlagen - trägt mit 6 % nur wenig zu den THG-Emissionen der FFBQ bei. Der Unterhalt des Tunnels, über einen Zeitraum von 30 Jahren betrachtet, fällt mit seinem geringen Anteil von lediglich 4 Promille nicht ins Gewicht.

(3) Die so ermittelten THG-Mengen sind allein auf das Tunnelbauwerk (inkl. Fahrbahntröge) am Fehmarnbelt zurückzuführen. Dagegen ist der zusätzliche Treibhausgasausstoß gar nicht berücksichtigt, der durch den Bau bzw. die Ertüchtigung der Zulaufstrecken zur FFBQ (allgemein als "Hinterlandanbindungen" bezeichnet) verursacht wird. Diese Maßnahmen umfassen auf deutscher Seite insbesondere den Aus- und Neubau der Bahnstrecke von Bad Schwartau bis zum Fehmarnbelttunnel für 160 km/h und auf dänischer Seite den Streckenausbau zwischen Holeby (bei Rødby) und Ringsted für 200 km/h. Hierzu gehören auch eine neue feste Querung des Fehmarnsunds für Straße und Schiene (Tunnel oder Brücke) als Ersatz für die vorhandene, aber erneuerungsbedürftige Brücke und ein Brückenneubau für Autos und Eisenbahn am Storstrøm (zwischen den dänischen Inseln Falster und Seeland).³⁶ Denn die inzwischen 80 Jahre alte, über 3 km lange Storstrømsbroen dürfte dem zu erwartenden Verkehr nach Eröffnung der FFBQ nicht mehr gewachsen sein. Würde man die durch diese Maßnahmen freigesetzten Treibhausgasemissionen ebenfalls ermitteln, so würde sich der gesamte THG-Ausstoß der FFBQ und ihrer Zulaufstrecken gegenüber dem ausgewiesenen Betrag von rund 2,2 Millionen Tonnen vermutlich vervielfachen.

4.5 Treibhausgasemissionen des Fährbetriebs am Fehmarnbelt im Referenzfall

(1) Bis zum Beginn des Betrachtungszeitraums im Jahr 2033 werden nach den Plänen der Reederei Scandlines alle am Fehmarnbelt eingesetzten Fähren vollelektrisch angetrieben, wobei die Elektromotoren ihren Strom aus Akkumulatoren beziehen. Heute verfügen die Fähren über einen diesel-elektrischen Antrieb: Dieselmotoren treiben Generatoren an, welche den Strom für Elektromotoren zum Antrieb der Schiffspropeller erzeugen. Die Dieselmotoren und Generatoren werden in den kommenden Jahren entfernt und an ihrer Stelle werden Akkumulatoren in den Schiffsrumpf eingebaut. Diese Akkumulatoren, die während der Liegezeit von jeweils 15 Minuten im deutschen bzw. dänischen Fährhafen geladen werden,³⁷ liefern zukünftig den Strom für die Elektromotoren. Der Bedarf an elektrischer Energie für eine Überfahrt über den Fehmarnbelt wird im Durchschnitt mit 4.750 kWh veranschlagt.³⁸ Es ist davon auszugehen, dass am Fehmarnbelt spätestens 2033 insgesamt 5 vollelektrische Großfähren fahren, von denen im Durchschnitt 4 Fährschiffe ständig im Einsatz sind.³⁹ Zum Abwickeln der Verkehrsspitzen werden alle 5 Fähren, in Zeiten von schwacher Nachfrage voraussichtlich nur drei Schiffe, benötigt. Außerdem ist die fünfte Fähre eine Reserve für den Fall, dass eine der anderen Fähren aus technischen Gründen gar nicht einsatzfähig ist oder sich zu einer routinemäßigen Inspektion in der Werft befindet. Die Fährabfahrten zur Querung des Fehmarnbelts finden auf jeder Seite im 30-Minuten-Takt statt, wobei jede Fähre nach 15 Minuten Liegezeit im Hafen zur Überfahrt startet, die fahrplanmäßig 45 Minuten dauert - also jeweils eine Überfahrt pro Stunde. Die 4 im Durchschnitt eingesetzten Fährschiffe absolvieren somit $4 * 24 = 96$ Überfahrten pro Tag. Der tägliche Energiebedarf der 4 Schiffe beträgt $96 * 4.750 \text{ kWh} = 456.000 \text{ kWh} = 456 \text{ MWh}$, pro Jahr (bei 365 Betriebstagen) insgesamt 166.440 MWh . Diese elektrische Energie wird je zur Hälfte aus dem deutschen und dem dänischen Stromnetz bezogen, also jeweils 83.220 MWh . Es wird angenommen, dass diese Strommenge während des Betrachtungszeitraums konstant bleibt.

(2) Im Laufe des genannten Zeitraums werden die am Fehmarnbelt im Einsatz befindlichen Großfähren, die alle im Jahr 1997 in Betrieb genommen wurden, durch neue Schiffe zu ersetzen sein. Denn bereits 2033 würden sie 36 Jahre und 2062 sogar 65 Jahre alt sein; letzteres wäre ein zu hohes Alter für ein solches Schiff. Deswegen ist auch der THG-Ausstoß zu ermitteln, der durch die anstehenden Schiffsneubauten verursacht wird. Zugrunde gelegt wird hierzu, dass 5 neue Großfähren zu bauen sind, die bezüglich Eigengewicht und Materialzusammensetzung mit den heutigen Fehmarnbeltfähren identisch sind.

(3) Die am Fehmarnbelt eingesetzten Großfähren haben eine Eigenmasse (leeres Schiff) von rund 6.850 t.⁴⁰ Da für den nach 2033 anfallenden Bau der dann benötigten neuen Großfähren noch keine detaillierten Pläne bestehen, sollen hilfsweise die für die Binnenschifffahrt ermittelten Grunddaten herangezogen werden, was den THG-Emissionsfaktor zum Bau von Schiffen betrifft. Dieser Faktor beträgt 1,73 Tonnen THG pro Tonne Eigengewicht.⁴¹ Daraus errechnet sich ein THG-Ausstoß von insgesamt 59.252 t, verursacht durch den Neubau von 5 Großfähren.

(4) Nach den Verkehrsprognosen von Intraplan/BVU wird die Eröffnung des Fehmarnbelttunnels bei Teilen des KFZ-Verkehrs nicht nur Verlagerungen weg von der Jütlandroute hin zur Fehmarnroute bewirken, sondern auch Routenverlagerungen von anderen Fährlinien hin zur FFBQ, besonders im LKW-Verkehr. Dadurch wird in der Summe die Verkürzung der landseitigen Fahrtstrecke, die bisher teilweise über den Umweg via Jütland führt, durch neu entstehende landseitige Umwege kompensiert bzw. sogar überkompensiert.⁴² Dem dadurch teilweise entstehenden zusätzlichen THG-Ausstoß im Planfall müssen allerdings die durch den Wegfall der genannten Fährlinien eingesparten THG-Mengen gegengerechnet werden. Eine entsprechende THG-Bilanz aufzustellen, würde allerdings den Rahmen der vorliegenden Studie sprengen. Deshalb beschränkt sich die folgende Betrachtung auf den Umweg, der für die Güterzüge via Jütlandroute im Referenzfall anfällt. Die rechnerische Herleitung des entsprechenden THG-Ausstoßes findet sich im Anhang Teil E.

(5) Im Referenzfall werden durch den vollelektrischen Fährbetrieb am Fehmarnbelt von 2033 bis 2062 insgesamt rund 350.813 t Treibhausgase ausgestoßen (siehe Tab.6), und zwar als Folge der Erzeugung des benötigten Stroms. Die genannte THG-Menge ist in etwa so groß wie der durch den Straßen- und Schienenverkehr im Tunnel verursachte Treibhausgasausstoß, der 332.229 t beträgt (siehe Tab.4). Die Differenz der beiden THG-Mengen liegt lediglich bei 5,6 %.

Tab.6: THG-Emissionen im Referenzfall durch die vollelektrischen Fähren am Fehmarnbelt, durch den Neubau von Fähren sowie durch den Umwegverkehr via Jütlandroute 2033 bis 2062*

Betrachtungs- zeitraum	Land	THG-Faktor gewichtet (t/MWh)	Anzahl Jahre	Summe Strom- bedarf (MWh)	Summe THG- Emis- sionen
2033 - 2049	D	0,1911	17	1.414.740	270.357 t
2050 - 2062	D	0,0206	13	1.081.860	22.286 t
2033 - 2034	DK	0,0611	2	166.440	10.169 t
2035 - 2062	DK	0,0206	28	2.330.160	48.001 t
Summe				4.993.200	350.813 t
Neubau von 5 Großfähren					59.252 t
Güterzug-Umwegverkehr via Jütlandroute 2033 bis 2062 (siehe Anhang Teil E)					40.030 t
Gesamtsumme im Referenzfall					450.095 t
THG-Emissionen im Planfall					2.221.856 t
THG-Einsparung durch den Referenzfall gegenüber dem Planfall					1.771.768 t

* durchschnittlicher Energiebedarf pro Überfahrt: 4.750 kWh

(6) Da jedoch ohne die FFBQ der Umweg über Flensburg und den Großen Belt für die Güterzüge bestehen bleibt, die sonst den kürzeren Weg via FFBQ nehmen könnten, müssen die durch diesen Umweg verursachten rund 40.000 t an THG-Emissionen berücksichtigt werden. Ebenso sind dem zukünftigen Fährbetrieb wegen des notwendigen Neubaus von 5 Großfähren knapp 60.000 t an weiteren THG-Mengen anzulasten. Deshalb ergeben sich beim Referenzfall im Zeitraum von 2033 bis 2062 in der Summe rund 450.000 t an Treibhausgasen. Im Vergleich dazu ist der THG-Ausstoß durch den Fehmarnbelttunnel (Bauphase, 30 Jahre Unterhalt und Betrieb des Bauwerks sowie 30 Jahre Straßen- und Schienenverkehr im Tunnel) mit über 2,2 Millionen Tonnen rund 5-mal so groß. Somit lassen sich insgesamt fast 1,8 Millionen Tonnen an Treibhausgasen vermeiden, indem auf die Realisierung des Bauwerks am Fehmarnbelt verzichtet und stattdessen der heutige Fährverkehr in technisch modernisierter Form weiter fortgesetzt wird. Umgekehrt betrachtet, entstehen in diesem Fall im Laufe von 30 Jahren rund 80 % weniger an Treibhausgasen als im Planfall (Realisierung der FFBQ). Dadurch bleiben der Erdatmosphäre große Mengen an Treibhausgasen erspart. Das Projekt FFBQ steht somit im vollen Widerspruch zu den Zielen, zu denen sich auch Deutschland und Dänemark anlässlich der Pariser Klimakonferenz 2015 verpflichtet haben, nämlich den THG-Ausstoß zu verringern statt zu erhöhen.

(7) Ein grundsätzlicher Vorteil des elektrischen Fährbetriebs am Fehmarnbelt anstelle des Baus der FFBQ besteht außerdem darin, dass der in der Ostsee (offshore) und in Küstennähe an Land (onshore) mit Windkraftanlagen gewonnene Strom zu einem erheblich größeren Teil, als dies nach dem Bau der FFBQ der Fall wäre, in fast unmittelbarer Nähe zu den Windkraftanlagen verbraucht wird. Dadurch werden die umstrittenen "Stromautobahnen" entlastet, welche sonst den vor Ort nicht zu verbrauchenden Strom bis nach Süddeutschland leiten sollen. Diese Leitungen können so möglicherweise kleiner dimensioniert werden.

5. Kritische Betrachtung der Studie COWI 2013

(1) In der Studie COWI 2013 werden allein für den Bau der FFBQ (Produktion des Baumaterials, Bagger- und Transportarbeiten) insgesamt 1.977.000 t an Treibhausgasemissionen ermittelt,⁴³ in der vorliegenden Studie hingegen nur 1.745.422 t, also eine um rund 12 % geringere Menge.

(2) Dieser Unterschied läßt sich vermutlich dadurch erklären, dass in der vorliegenden Studie nur der Unterwassertunnel plus die anschließenden Trogbauwerke berücksichtigt werden, aber nicht die sonstigen Bauwerke und Infrastrukturkomponenten wie

- die landseitige Straßen- und Schieneninfrastruktur, die sich südlich und nördlich unmittelbar an den Tunnel inkl. Trogbauwerke auf deutscher und dänischer Seite anschließt
- die landseitigen Gebäude und sonstigen Einrichtungen, die für den Unterhalt und Betrieb der FFBQ benötigt werden
- die temporäre Fabrik auf Lolland für die Tunnelemente
- temporäre Straßen während der Bauphase auf Fehmarn und Lolland
- temporäre Hafenanlagen während der Bauphase, insbesondere auf Lolland, von wo aus die angefertigten Tunnelemente durch Schlepper zu ihren endgültigen Standorten im Fehmarnbelt transportiert werden
- temporäre Gebäude und sonstige Anlagen an Land während der Bauphase wie z.B. Baubüros, Unterkünfte für Bauarbeiter, Garagen für Baufahrzeuge, Materiallager, Betonsilos.

(3) Eine schlüssige Klärung dieser Frage ist allerdings nicht möglich, da in der Studie COWI 2013 eine eindeutige Darstellung bezüglich des Materialmengengerüsts fehlt, vergleichbar der Tab.A.2.1 im Anhang der vorliegenden Studie. Ebenso unterscheidet sich die Methode zur Berechnung der THG-Emissionsmengen zwischen beiden Studien beträchtlich: In der vorliegenden Untersuchung wird als Methode die Stoffstromanalyse benutzt, so dass in den ausgewiesenen THG-Emissionsfaktoren die THG-Mengen bereits enthalten sind, die durch den Transport der Rohmaterialien bis zur Fertigungsstätte, z.B. bis zum Betonwerk, ausgestoßen werden. Dagegen sind in der Studie COWI 2013 die Transportwege gesondert angegeben, so dass beispielsweise für Sand und Zement zur Herstellung der Tunnelemente durchschnittliche Transportdistanzen von 1.000 km bzw. 900 km angenommen werden,⁴⁴ die sich dann in entsprechenden THG-Emissionen niederschlagen.

(4) Aber der Hauptunterschied zwischen der Untersuchung COWI 2013 und der vorliegenden Studie betrifft die THG-Emissionen, welche im Referenzfall durch die Fähren bei Querung des Fehmarnbelts freigesetzt werden. Indem der Fährbetrieb im Planfall ganz eingestellt wird, ergibt sich laut COWI 2013 eine jährliche Einsparung von 198.500 t an Treibhausgasen, verglichen mit dem Szenario, dass auf die FFBQ verzichtet wird und stattdessen weiterhin die heutigen Fähren mit konventionellem Antrieb fahren werden. Dies würde, auf 30 Jahre hochgerechnet, eine THG-Reduktion um fast 6 Millionen Tonnen ergeben.

(5) Die vorliegende Studie kommt hingegen zu dem konträren Ergebnis, dass sich gerade durch den Referenzfall große Mengen an Treibhausgasen vermeiden lassen, und zwar rund 1,8 Millionen Tonnen, welche sonst im Planfall durch den Bau der FFBQ sowie im 30 Jahre langen Betrachtungszeitraum durch Unterhalt und Betrieb des Bauwerks und den Verkehr im Tunnel anfallen. Die Hauptursache für diesen Widerspruch zwischen den Resultaten der beiden Studien besteht darin, dass in der Studie COWI 2013 die Annahme getroffen wurde, "that the existing ferries will still be in operation".⁴⁵ Diese Annahme würde bedeuten, dass die Fehmarnbeltfähren auch in der Zukunft so wie bisher über einen Dieselantrieb verfügten. Dagegen liegt der vorliegenden Studie das von Scandlines geplante vollelektrische Antriebskonzept zugrunde (siehe Kapitel 4.5). Hierbei wird entsprechend dem verwendeten Szenario bis 2049 der Anteil an nicht fossil erzeugtem Strom von Jahr zu Jahr ansteigen; ab 2035 wird in Dänemark und ab 2050 auch in Deutschland nur noch Strom aus nicht fossilen Quellen verwendet (siehe Kapitel 3.3.1.). Somit ist in der Studie COWI 2013 bezüglich des Antriebs der Fähren ein Konzept unterstellt, das ab 2033 völlig veraltet oder wirklichkeitsfremd ist. Doch selbst im Jahr 2030, das in der Studie COWI 2013 neben dem Jahr 2025 betrachtet wird, dürfte mit größter Wahrscheinlichkeit der vollelektrische Fährbetrieb am Fehmarnbelt die Regel sein.

6. Fazit der Untersuchung

(1) Die in Form eines Absenktunnels geplante Feste Fehmarnbeltquerung ist wegen ihrer THG-Lastigkeit nicht zu rechtfertigen, wenn man es ernst nimmt mit dem Vorhaben, den menschengemachten Treibhauseffekt mit seinen verheerenden Folgen eindämmen zu wollen. Dieses Verkehrsprojekt soll u.a. dazu dienen, die Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen sowie den Energieverbrauch zu senken.⁴⁶ Doch dieser Vorgabe wird der Fehmarnbelttunnel in keiner Weise gerecht. Angesichts der aufgezeigten Ergebnisse zum THG-Ausstoß des Planfalls widerspricht die FFBQ dem genannten Ziel vollkommen.

(2) Dagegen erfüllt der Weiterbetrieb der Fähren mit innovativer Antriebstechnik auf Basis von elektrischer Energie, die in Akkumulatoren gespeichert wird, den Anspruch auf Senkung der Treibhausgasemissionen - auch gegenüber dem heutigen Fährbetrieb mit Dieseltreibstoff als Energiequelle.

(3) Wenn man auch noch die Treibhausgasmengen berücksichtigen würde, die durch den Aus- bzw. Neubau der deutschen und dänischen Zulaufstrecken zur FFBQ anfallen, würde sich der gesamte THG-Ausstoß der FFBQ und ihrer Zulaufstrecken gegenüber dem ausgewiesenen Betrag von rund 2,2 Millionen Tonnen vermutlich vervielfachen. Demgegenüber wären die THG-Emissionen des Referenzfalls, der ohne diese Baumaßnahmen auskommt, fast bedeutungslos.

(4) Das Projekt FFBQ bzw. das Denken, auf dem dieses Vorhaben beruht, gehört einer vergangenen Zeit an, in welcher die Aufheizung der Erde durch Treibhausgase nicht bekannt war oder dieses Klimaproblem einfach noch ignoriert werden konnte. Dagegen leistet der in moderner Form fortgesetzte Fährbetrieb am Fehmarnbelt als Alternative zur Festen Fehmarnbeltquerung einen positiven Beitrag im Kampf gegen die Erdüberhitzung mit ihren voraussichtlich katastrophalen Folgen.

Quellenangaben und Anmerkungen

- 1) Bei dieser Bauzeit handelt es sich allerdings um eine eher optimistische Einschätzung. Denn die Fertigstellung der meisten Infrastruktur-Großprojekte hat sich gegenüber den ursprünglichen Zeitplänen teilweise um mehrere Jahre verzögert, wie dies z.B. beim Berliner Flughafen BER der Fall ist.
- 2) Femern A/S: Finanzanalyse der Festen Fehmarnbeltquerung inkl. der dänischen Hinterlandanbindungen, Inoffizielle Übersetzung, Kopenhagen, Februar 2016, S.33f
- 3) Es handelt sich hierbei jedoch um eine rein theoretische Annahme, denn dem privatwirtschaftlichen Unternehmen Scandlines kann von staatlicher Seite keinesfalls untersagt werden, die Fehmarnbeltfähren nach Eröffnung des Tunnels weiter zu betreiben, auch wenn für diesen Tunnel durch die Fähren ein starkes Konkurrenzangebot entstehen würde. Ein solches Verbot des Fährbetriebes wäre rechtlich nur dann möglich, wenn die Fähren - wie in früheren Zeiten - im Staatsbesitz wären oder wenn sowohl in Deutschland als auch in Dänemark die Marktwirtschaft abgeschafft und durch eine staatliche Planwirtschaft wie in den ehemaligen kommunistischen Staaten ersetzt würde.
- 4) Schmied, Martin / Mottschall, Moritz (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland (FKZ 363 01 244), in Kooperation mit dem DB Umweltzentrum, Berlin, Dezember 2013, S.18f
- 5) a.a.O., S.3
- 6) Intraplan Consult GmbH / BVU Beratergruppe Verkehr +Umwelt GmbH: Verkehrsprognose für eine Feste Fehmarnbeltquerung 2014 - Aktualisierung der FTC-Studie von 2002, für Femern A/S, München / Freiburg 2016
- 7) a.a.O., S.3
- 8) a.a.O., S.47
- 9) Femern A/S: Finanzanalyse der Festen Fehmarnbeltquerung inkl. der dänischen Hinterlandanbindungen, Inoffizielle Übersetzung, Kopenhagen, Februar 2016, Tabelle 9, S.35
- 10) a.a.O., S.31
- 11) a.a.O., S.31
- 12) Intraplan Consult GmbH / BVU Beratergruppe Verkehr +Umwelt GmbH: Verkehrsprognose für eine Feste Fehmarnbeltquerung 2014 - Aktualisierung der FTC-Studie von 2002, für Femern A/S, München / Freiburg 2016, Tab.0-2, S.9
- 13) Wehling, Elisabeth: Politisches Framing, Herbert von Halem Verlag, Köln 2016, S.189
- 14) In Kraftwerken auf der Basis von Biomasse werden zwar Treibhausgase freigesetzt, aber zumindest das hierbei emittierte Kohlendioxid war zuvor von den nun als Biomasse verheizten Pflanzen aus der Atmosphäre aufgenommen worden.
- 15) Klimaschutzplan 2050, 11. November 2016, S.29
- 16) Ropenus, Stephanie: Dänemark: Eine Energiewende für Strom, Wärme und Verkehr, Bund der Energieverbraucher (Hrsg.), 4. 1.2016, http://www.energieverbraucher.de/de/daenemark__3186/NewsDetail__16310/, abgerufen am 18.3.2017

- 17) eigene Berechnungen nach: Burger, Bruno (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE): Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2015, Freiburg, Aktualisierung vom 13.01.2016, S.3f, Internet: www.ise.fraunhofer.de, www.energy-charts.de, abgerufen am 2.4.2017; Memmler, Michael et al. (Umweltbundesamt): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013, CLIMATE CHANGE 29/2014, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2014, S. 39,42,45,48,56
- 18) Kraftfahrt-Bundesamt: Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2017 in Deutschland, http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/b_jahresbilanz.html;jsessionid=F6E4C1A5CE190548773E03F20E977424.live11291?nn=644526, abgerufen am 3.4.2017
- 19) Der Hauptgrund für die minimale Verbreitung des Elektroantriebs bei PKWs ist die relativ große Masse der Akkus, der damit verbundene hohe Energiebedarf und der sehr hohe Preis der Akkus bzw. aufladbaren Batterien. Damit ein E-Auto nicht allzu schwer und sein Kaufpreis nicht zu hoch ist, sind die meisten Akkus relativ leicht und klein, was jedoch die Reichweite stark begrenzt. Viele potentielle Neuwagenkäufer verzichten deshalb aus Angst, mit ihrem E-Auto unterwegs liegenzubleiben, auf den Kauf eines solchen PKWs. Diese Angst hat zudem eine reale Grundlage: das weitgehende Fehlen von Ladestationen, vergleichbar der flächendeckenden Verbreitung der Tankstellen, und die zu lange Ladedauer der Akkus. Doch bezüglich der Akku- und Ladetechnik sind in den nächsten Jahren große Effizienzsteigerungen zu erwarten, nachdem in der Vergangenheit bereits gravierende Fortschritte erzielt wurden. Ebenso ist zukünftig mit einem raschen Bau von neuen (Schnell-) Ladestationen zu rechnen
- 20) Klimaschutzplan 2050, 11. November 2016, S.48
- 21) SRU Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2012, Verantwortung in einer begrenzten Welt, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2012, S. 238ff
- 22) Akkubetriebene E-Fahrzeuge laden ihre Akkus auf der Fahrt Dänemark - Deutschland vor der Nordeinfahrt in den Tunnel auf, also in Dänemark; in der Gegenrichtung findet das Laden der Akkus vor der Südeinfahrt in den Tunnel, also auf deutscher Seite, statt. Da der Verkehr beider Richtungen in etwa symmetrisch ist - denn (fast) jedes Auto fährt auch wieder zurück - ergibt sich die Aufteilung 50 % zu 50 %. Beim Fahrleitungsbetrieb - bisher nur bei der Eisenbahn, zukünftig voraussichtlich auch auf Autobahnen, gibt es üblicherweise an jeder Grenze eine sog. Systemtrennung wie heute im Bahnhof Padborg: Auf dem deutschen Streckenabschnitt stammt der Strom aus dem deutschen Netz, auf dem dänischen Abschnitt aus dem dänischen Netz.
- 23) Vertrag zwischen der Bundesrepublik Deutschland und dem Königreich Dänemark über eine Feste Fehmarnbeltquerung vom 3.9.2008, Artikel 2 Absatz (4)
- 24) Schmied, Martin / Mottschall, Moritz (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland (FKZ 363 01 244), in Kooperation mit dem DB Umweltzentrum, Berlin, Dezember 2013, S.18f

- 25) "Auf Lolland wird die Küstenlinie auf einer Breite von ca. 3 km in den Fehmarnbelt verschoben und liegt dann etwa 500 m südlich der heutigen Küste (Landgewinnungsfläche).(…) "Auf dänischer Seite sind zwei Flächen jeweils östlich und westlich vom Hafen Rødbyhavn geplant. Darüber hinaus ist vorgesehen, dass ein Teil des Aushubmaterials aus dem Tunnelgraben an Land für die Portal- und Rampenbereiche verwendet wird. Quelle: Feste Fehmarnbeltquerung, Planfeststellung, Anlage 1, Anhang 1, Allgemein verständliche Zusammenfassung (AVZ), vollständig überarbeitete Fassung, 03.06.2016", aufgestellt durch: Femern A/S, Kopenhagen, 03.06.2016; Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Niederlassung Lübeck, Lübeck, 03.06.2016, S.65,67
- 26) Motschall, Moritz / Bergmann, Thomas (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Auftraggeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Dezember 2013, S.25
- 27) Schmied, Martin / Mottschall, Moritz (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland (FKZ 363 01 244), in Kooperation mit dem DB Umweltzentrum, Berlin, Dezember 2013, S.15
- 28) a.a.O., S.34
- 29) a.a.O., S.47
- 30) Motschall, Moritz / Bergmann, Thomas (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Auftraggeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Dezember 2013, S.41
- 31) "Feste Fehmarnbeltquerung, Planfeststellung, Anlage 1, vollständig überarbeitete Fassung, 03.06.2016", aufgestellt durch: Femern A/S, Kopenhagen, 03.06.2016; Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Niederlassung Lübeck, Lübeck, 03.06.2016, S.162
- 32) Lange Straßentunnels im Gebirge, insbesondere der Gotthard-Straßentunnel, der mit fast 17 km Länge nur wenig kürzer ist als der geplante Fehmarnbelttunnel, verfügen zur Entlüftung über mehrere Zwischenschächte, die bis zur Oberfläche führen.(Quelle: <http://www.gotthard-strassentunnel.ch/Lueftung.38.0.html>, abgerufen am 8.4.2017) In diesen Schächten kann warme Luft, die zugleich mit Autoabgasen angereichert ist, durch den Kamineffekt nach oben entweichen. Am Fehmarnbelttunnel sind hingegen wegen seiner Lage unter Wasser derartige Zwischenschächte mit vertretbarem Aufwand nicht möglich. Deshalb wäre hier als Alternative eigentlich eine aktive Be- und Entlüftung mit Hilfe von starken Gebläseanlagen angemessen, welche die Ab- und Frischluft über eine Entfernung von bis zu 9 km zu bzw. von den Tunnelportalen am Ufer der Ostsee transportieren würden.
- 33) "Feste Fehmarnbeltquerung, Planfeststellung, Anlage 1, vollständig überarbeitete Fassung, 03.06.2016", aufgestellt durch: Femern A/S, Kopenhagen, 03.06.2016; Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Niederlassung Lübeck, Lübeck, 03.06.2016, S.162

- 34) Annahme: E-Fahrzeuge laden ihre Akkus auf der Fahrt Dänemark - Deutschland vor der Nordeinfahrt in den Tunnel auf, also in Dänemark; in der Gegenrichtung findet das Laden der Akkus vor der Südeinfahrt in den Tunnel, also auf deutscher Seite, statt. Wegen der Symmetrie des Verkehrs ergibt sich die Aufteilung 50 zu 50. Bezüglich der Zukunftstechnik "Stromzuführung per Oberleitung" wird unterstellt, dass in der Tunnelmitte die Trennstelle zwischen dem dänischen und dem deutschen Stromnetz für die straßenseitigen Oberleitungen liegen wird. Für diese Art der Stromzuführung gibt es bisher zwar nur wenige Teststrecken, aber im Laufe des Betrachtungszeitraums - also in den kommenden 45 Jahren - dürften Oberleitungen voraussichtlich auf allen wichtigen Autobahnen in Westeuropa eingeführt werden.
- 35) Vertrag zwischen der Bundesrepublik Deutschland und dem Königreich Dänemark über eine Feste Fehmarnbeltquerung vom 3.9.2008, Artikel 2 Absatz (4)
- 36) Femern A/S: Finanzanalyse der Festen Fehmarnbeltquerung inkl. der dänischen Hinterlandanbindungen, Inoffizielle Übersetzung, Kopenhagen, Februar 2016, S.24
- 37) Möller, Marko (Scandlines Deutschland GmbH): Grüner Fährverkehr im Wettbewerb zur Festen Fehmarnbeltquerung, 17. Sitzung des Dialogforums Feste Fehmarnbeltquerung, Oldenburg, 5. März 2015
- 38) Scandlines Deutschland GmbH, schriftliche Mitteilung vom 14.3.2017; hierbei beträgt die Speicherkapazität der Akkus 10.000 kWh, so dass für jede Überfahrt eine ausreichende Reserve vorhanden ist.
- 39) Es wird die Annahme getroffen, dass die beiden noch mit Dieselmotoren ausgerüsteten zusätzlichen Fähren - für Gefahrgüter und für Verkehrsspitzen - durch eine neue elektrische Großfähre ersetzt werden.
- 40) Auskunft vom 16.5.2017 durch Scandlines Deutschland GmbH, Rostock
- 41) eigene Berechnung nach: Motschall, Moritz / Bergmann, Thomas (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Auftraggeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Dezember 2013, Tabelle 62, S.106
- 42) So verlängert sich beispielsweise in der Relation Hamburg - Malmö durch die Verlagerung von KFZ-Fahrten auf die FFBQ die landseitige Fahrtstrecke um 274 km (Faktor 3,4), wenn nicht mehr die Fährlinie Travemünde - Malmö, sondern die FFBQ benutzt wird, und immerhin um 239 km (Faktor 2), wenn anstelle der Fährlinie Travemünde - Trelleborg die FFBQ gewählt wird. In der Relation Berlin - Kopenhagen bedeutet die Fahrt per Auto über Hamburg und Lübeck via Fehmarnbelttunnel eine Streckenverlängerung um 40% (170 km) und auf der Schiene sogar von rund 220 km (über 50 %) gegenüber dem bisherigen landseitigen Weg (ca. 420 km) mit Nutzung der Fährlinie Rostock - Gedser. Für die Güterzug-Relationen zwischen Berlin und Malmö und weiter nach Göteborg bzw. Stockholm verlängert die Routenverlagerung von den Fähren Rostock - Trelleborg und Saßnitz - Trelleborg hin zur FFBQ die landseitigen Wege sogar um fast 400 km bzw. rund 330 km. Diese Streckenverlängerungen führen zwangsläufig zu einer Erhöhung der THG-Emissionen des verlagerten Güterzugverkehrs.

- 43) COWI 2013, Table 2.1
- 44) COWI 2013, Table 3.3
- 45) COWI 2013, S.49
- 46) Feste Fehmarnbeltquerung, Planfeststellung, Anlage 1, Erläuterungsbericht, vollständig überarbeitete Fassung, 03.06.2016", aufgestellt durch: Femern A/S, Kopenhagen, 03.06.2016, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Niederlassung Lübeck, Lübeck, 03.06.2016, S.19

ANHANG

Teil A: Herleitung der THG-Emissionen durch den Bau des Fehmarnbelttunnels

A.1: Annahmen bezüglich des Mengengerüsts des Tunnelbauwerks

- (1) Die beiden Tunnelabschnitte, die in offener Bauweise hergestellt werden, haben jeweils dieselben Ausmaße (Breite: 43 m, Höhe: 9 m) wie die Standardelemente. Dasselbe gilt für die beiden Lichtübergangszonen.
- (2) Die 10 Spezialelemente des Absenktunnels haben pro laufendem Meter Länge eine um 15 % höhere Masse, da sie um 4 m breiter und um 4 m höher sind als die Standardelemente.
- (3) Die Lichtübergangszonen haben im Gegensatz zum Tunnel keine geschlossene Decke, sondern an deren Stelle zahlreiche "Balken", deren Zwischenräume mit zunehmender Nähe zum eigentlichen Tunnel immer kleiner werden. Deshalb wird die durchschnittliche Masse der Lichtübergangszonen pro laufendem Meter Länge mit $\frac{3}{4}$ der entsprechenden Masse der Standardelemente angesetzt.
- (4) Die gemeinsamen Trogbauwerke für Straße und Schiene werden als "Tunnels ohne Decke" betrachtet. Deshalb wird für ihre Masse angenommen, dass sie pro laufendem Meter Länge $\frac{2}{3}$ der entsprechenden Masse der Standardelemente beträgt.
- (5) Für die Abschnitte der Trogbauwerke, die nur die beiden Eisenbahngleise aufnehmen sollen und deshalb nur aus einer Bodenplatte und drei Wänden bestehen, wird die Masse pro laufendem Meter Länge mit weniger als der Hälfte der entsprechenden Masse der vollständigen Trogbauwerke angesetzt.
- (6) Es wird angenommen, dass die deutschen und dänischen Trogbauwerke und Lichtübergangszonen spiegelsymmetrisch zueinander angeordnet sind und deshalb auch jeweils dieselbe Länge haben.
- (7) Es wird angenommen, dass sich die Masse des Stahlbetons für den Tunnel und die Trogbauwerke sowie für die Feste Fahrbahn der Eisenbahn zu 93 % aus Beton und zu 7 % aus der Stahlbewehrung zusammensetzt. Bei Brückenbauwerken ist sogar ein Stahlanteil von 10 % üblich.

A.2: Darstellung des Bauwerk-Mengengerüsts und des Rechengangs

Tab.A.2.1: Mengengerüst der Bauwerkskomponenten des Tunnels incl. Trogbauwerke und Fahrwege

Bauwerkskomponenten	Länge	Masse
Trogbauwerke Deutschland		
- Straße + Eisenbahn	89 m	19.978 t
- nur Eisenbahn	296 m	29.600 t
Lichtübergangszone D	151 m	37.746 t
Tunnel offene Bauweise D	440 m	146.667 t
Absenktunnel D + DK		
- 79 Standardelemente Stahlbeton	17.130 m	5.767.000 t*
- 10 Spezialelemente	470 m	181.986 t**
Tunnel offene Bauweise	100 m	33.333 t
Lichtübergangszone DK	151 m	37.746 t
Trogbauwerke Dänemark		
- nur Eisenbahn	296 m	29.600 t
- Straße + Eisenbahn	89 m	19.978 t
Ballast im Absenktunnel	17.600 m	798.275 t
<hr/>		
Summe Länge Straße	18.620 m	
Länge Eisenbahn	19.212 m	
Summe Masse:		7.101.909 t
Länge Straßentunnel	18.140 m	
Länge Eisenbahntunnel	18.140 m	
Breite aller Komponenten	43 m	
- Spezialelemente	47 m	
Höhe aller Komponenten	9 m	
- Spezialelemente	13 m	

Fahrwege

- Asphalt für Straßenfahrbahnen	142.000 t
- UIC-60-Schienen	4.611 t
- Betonschwellen und Feste Fahrbahn Eisenbahn***	85.187 t

* Eigenmasse jedes Standardelements: 73.000 t

** Annahme, dass die Spezialelemente ebenso wie die Standardelemente ganz aus Stahlbeton hergestellt werden und nicht aus Stahl oder einer Kombination aus beiden Materialien. Denn im Erläuterungsbericht ist hierzu ausgeführt: "Die Spezialelemente werden aus Stahl und/oder aus Stahlbeton in der Produktionsstätte auf Lolland hergestellt, zur Einbaustelle eingeschommen und in dem zuvor ausgehobenen Graben abgesenkt. Die Bauweisen (Stahl und/oder Stahlbeton) haben im Wesentlichen die gleiche Geometrie und genügen den gleichen Anforderungen." ("Feste Fehmarnbeltquerung, Planfeststellung, Erläuterungsbericht, Anlage 1, vollständig überarbeitete Fassung, 03.06.2016", aufgestellt durch: Femern A/S, Kopenhagen, 03.06.2016; Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, Niederlassung Lübeck, Lübeck, 03.06.2016, S.131)

*** eigene Berechnung nach Schmied, Martin / Mottschall, Moritz (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland (FKZ 363 01 244), in Kooperation mit dem DB Umweltzentrum, Berlin, Dezember 2013, S.33

Tab.A.2.2: Emissionsfaktoren für Treibhausgase (THG) bei der Produktion des Materials zum Bau der FFBQ

Beton für Tunnel und Trogbauwerke*	0,324 t/m ³ = 0,143 t/t
Beton für Schwellen und Feste Fahrbahn Eisenbahn*	0,324 t/m ³ = 0,143 t/t
Stahl für Betonbewehrung	1,444 t/t
Ballastbeton*	0,095 t/m ³ = 0,044 t/t
Asphalt für Straßendecken	0,023 t/t
UIC-60-Schienen	1,444 t/t

* Dichte Beton für Bauwerke etc.: 2,265 t/m³, Dichte Ballastbeton: 2,16 t/m³ (eigene Berechnung nach COWI 2013, S.14)

Quellen:

(1) Schmied, Martin / Mottschall, Moritz (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland (FKZ 363 01 244), in Kooperation mit dem DB Umweltzentrum, Berlin, Dezember 2013, S.19;

(2) COWI 2013, S.22;

(3) Bergmann, Thomas / Bleher, Daniel / Jenseit, Wolfgang (Öko-Institut e.V.): Ressourceneffizienzpotenziale im Tiefbau - Materialaufwendungen und technische Lösung, Redaktion: VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE), Berlin 2015, S.104

Tab.A.2.3: Treibhausgasemissionen durch die Produktion des Materials für den Tunnel und für die Fahrwege im Tunnel

	Masse des Materials	THG-Emissionen
Tunnel plus Trogbauwerke*	7.101.909 t	1.662.344 t
Ballastbeton	798.275 t	35.124 t
Asphalt für Straßenfahrbahnen	142.000 t	3.266 t
UIC-60-Schienen	4.611 t	6.658 t
Betonschwellen und Feste Fahrbahn Eisenbahn**	85.187 t	15.507 t
Summe		1.722.899 t

* Betonanteil: 93 %, Anteil der Stahlbewehrung: 7 %

** Betonanteil: 97 %, Anteil der Stahlbewehrung: 3 %

Tab.A.2.4: Mengengerüst des bei Bagger- und Transportarbeiten bewegten Materials

	Masse bzw. Volumen des Materials
Gesamtvolumen des Aushubs	
- aus ungestörtem Boden	19.338.000 m ³
- nach dem Baggern*	25.140.000 m ³
Masse des Aushubs aus ungestörtem Boden	38.676.000 t**
Gesamtmasse der Tunnelelemente	5.947.165 t
Ballastbeton	798.275 t
Asphalt Straße	142.000 t
Betonschwellen, Feste Fahrbahn Eisenbahn	85.187 t
Eisenbahnschienen	4.611 t

* Durch die Baggerarbeiten am Meeresgrund erhöht sich das Volumen um rund 30 %.

** Dichte des Aushubs: durchschnittlich 2,0 t/m³

Tab.A.2.5: THG-Emissionen der Bagger- und Transportarbeiten während des Tunnelbaus

Art des Arbeitsprozesses	THG-Emiss.faktor (kg/tkm)	Arbeits-/Transportgerät	durchschn. Transportstrecke (km)	THG-Emissionen
Ausheben				
des Grabens	0,38*	Bagger**	-----	9.553 t
Abtransport Aushub	0,0298	Schute	9,0	10.373 t
Transporte				
- Tunnelsegmente	0,0298	Schlepper	9,0	1.595 t
- Ballastbeton	0,1027	LKW	9,5	779 t
- Asphalt Straße	0,1027	LKW	9,5	139 t
- Betonschwellen, Feste Fahrbahn	0,1027	LKW	9,5	83 t
- Schienen	0,0254	Güterzug	9,5	1 t
Summe				22.523 t

* Einheit: t/1.000 m³

** Löffelbagger bis 25 m Tiefe, Greifbagger für größere Tiefen

Quellen:

(1) Schmied, Martin / Mottschall, Moritz (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch die Schieneninfrastruktur und Schienenfahrzeuge in Deutschland (FKZ 363 01 244), in Kooperation mit dem DB Umweltzentrum, Berlin, Dezember 2013, S.21;

(2) Mottschall, Moritz / Bergmann, Thomas (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Auftraggeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Dezember 2013, S.55, S.106;

(3) Erläuterungsbericht, S.67

Teil B: Herleitung der THG-Emissionen durch Stromerzeugung aus fossilen und nicht fossilen Quellen

Tab.B.1: Stromerzeugung in Deutschland 2015 und THG-Emissionsfaktor

Energiequelle	Energienmenge		THG-Emiss.- faktor (in g/kWh)
	Deutschland (in TWh)	Anteil am Strommix	
Photovoltaik	37	6,6 %	55,19
Windkraft	85	15,2 %	6,52
- offshore			4,27
- onshore			8,76
Biomasse	56	10,0 %	25,36
Wasserkraft	20	3,6 %	2,69
<hr/>			
Zwischensumme			
nicht fossil	198	35,4 %	-----
Emiss.faktor			
nicht fossil	---	-----	20,56
<hr/>			
Kernkraft	87	15,6 %	32,0
Braunkohle	139	24,9 %	1.070,1
Steinkohle	104	18,6 %	919,0
Gas	30	5,4 %	429,7
<hr/>			
Zwischensumme			
fossil	360	64,5 %	-----
Emiss.faktor			
fossil	---	-----	722,21
<hr/>			
Gesamtsumme	558	99,9 %	-----

1 TWh = 1 Billion kWh = 1.000.000.000 kWh

THG-Emissionsfaktor in g/kWh = in kg/MWh

Quellen:

- (1) Burger, Bruno (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE): Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2015, Freiburg, Aktualisierung vom 13.01.2016, S.3f, Internet: www.ise.fraunhofer.de, www.energy-charts.de, abgerufen am 2.4.2017
- (2) Umweltbundesamt (Hrsg.): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013, Autoren: Michael Memmler et al., CLIMATE CHANGE 29/2014, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2014, S. 39,42,45,48,56
- (3) für THG-Emissionen Atomkraft: <http://www.co2-emissionen-vergleichen.de/Stromerzeugung/CO2-Vergleich-Stromerzeugung.html>, abgerufen am 2.4.2017

Es wird unterstellt, dass in Deutschland ab 2022 alle Kernkraftwerke durch Stromerzeugung aus nicht fossilen Quellen - und zwar entsprechend den Anteilen des Jahres 2015 - ersetzt werden, während die Stromerzeugung aus den anderen konventionellen Kraftwerken und somit auch deren THG-Ausstoß gleich bleibt. Die bislang durch Kernkraftwerke erzeugte elektrische Energie von 87 TWh pro Jahr wird nun auf die nicht fossilen Energiequellen entsprechend dem jeweiligen Anteil verteilt:

Tab.B.2: THG-Emissionsfaktoren in Deutschland ohne Kernkraftwerke:

ab 2022	Energie- menge in D (in TWh)	Anteil am Strommix	THG-Emiss.- faktor (in g/kWh)	THG-Emiss. 2022 (in t)
Energiequelle				
Photovoltaik	54	10,0 %	55,19	2.980.260
Windkraft	122	22,0 %	6,52	795.440
- offshore			4,27	
- onshore			8,76	
Biomasse	80	14,0 %	25,36	2.028.800
Wasserkraft	29	5,0 %	2,69	78.010
Zwischensumme				
nicht fossil	285	51,0 %	-----	5.882.510
Emiss.faktor				
nicht fossil	---	-----	20,56	-----
Braunkohle	139	24,9 %	1.070,1	148.743.900
Steinkohle	104	18,6 %	919,0	95.576.000
Gas	30	5,4 %	429,7	12.891.000
Zwischensumme				
fossil	273	48,9 %	-----	257.210.900
Emiss.faktor				
fossil	---	-----	942,16	-----
Gesamtsumme	558	99,9 %	-----	263.093.410

Annahme: Die Strommengen aus den einzelnen nicht fossilen Quellen stehen zueinander im selben Verhältnis (Strommix) wie 2015, so dass auch der THG-Emissionsfaktor für nicht fossile Stromerzeugung weiterhin derselbe ist.

Quellen: siehe Tab.B.1

Tab.B.3: Rechengang zur Bestimmung der gewichteten THG-Emissionsfaktoren

Betrach- tungs- zeitraum	Land	%-Anteil Strom nicht fossil	Rechengang im Detail*	gewicht. Emiss.- Faktor (t/MWh)
2033-2049	D	81,5	$0,815 * 0,0206 + 0,185 * 0,94216$	0,1911
2050-2062	D	100,0	$1,0 * 0,0206$	0,0206
2033-2034	DK	95,65	$0,956 * 0,0206 + 0,044 * 0,94216$	0,0611
2035-2062	DK	100,0	$1,0 * 0,0206$ t/MWh	0,0206

* THG-Emiss.faktor gewichtet = Anteil nicht fossiler Energie * THG-Emiss.faktor
+ Anteil fossiler Energie * THG-Emiss.faktor

Teil D: Herleitung der THG-Emissionen durch Straßen- und Schienenfahrzeuge im Fehmarnbeltunnel

Tab.D.1: Verkehrsmengen pro Jahr im Planfall 2033 - 2062

	durchschn. KFZ- und Zugzahl pro Jahr 2033 bis 2049	Anzahl der KFZ nach Art des Antriebs bis 2049		durchschn. KFZ- und Zugzahl pro Jahr ab 2050 (E-Antrieb)
		mit Verbren- nungsmotor 26,6 %	mit E- Antrieb 73,4%	
PKWs	4.353.720	1.158.090	3.195.630	4.866.545
Busse	36.500	9.709	26.791	36.500
LKWs	616.923	164.102	452.821	691.417
Personen- züge	13.870	-----	-----	13.870
Güter- züge	25.550	-----	-----	25.550

Tab.D.2: THG-Emissionsfaktoren der KFZ mit Verbrennungsmotoren, bezogen auf Personen-/Tonnenkilometer vs. Fahrzeugkilometer

	Besetzung/ Beladung pro KFZ	Treibhausgasemissionsfaktor	
		g pro pkm/ g pro tkm	umgerechnet in g pro fkm
PKW	1,5 Pers.	146,6	219,9
Bus	26,8 Pers.	31,1	833,5
LKW	15,3 t	97,5	1.491,8

pkm = Personenkilometer

tkm = Tonnenkilometer

fkm = Fahrzeugkilometer

Quellen:

(1) Motschall, Moritz / Bergmann, Thomas (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Auftraggeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Dezember 2013, S.48,52;

(2) Intraplan Consult GmbH / BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH: Verkehrsprognose für eine Feste Fehmarnbeltquerung 2014 - Aktualisierung der FTC-Studie von 2002, für Femern A/S, München / Freiburg 2016, S.15;
Scandlines GmbH: Verkehrszahlen Puttgarden - Rödby 2000 bis 2016;

(3) Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zum Verkehr, Dessau 2012, S.14,32

Tab.D.3: THG-Emissionen der KFZ mit Verbrennungsantrieb bei Fahrt durch den Tunnel von 2033 bis 2049 pro Jahr

	THG-Emissionsfaktor		Anzahl KFZ pro Jahr	Fahr- zeug-km** pro Jahr	THG-Emissionen	
	ober- irdisch (g/fkm)	im Tunnel* (g/fkm)			pro Jahr	von 2033 bis 2049
PKW	219,9	329,9	1.158.090	20.845.620	6.877t	116.908 t
Bus	833,5	1.250,3	9.709	174.762	218 t	3.714 t
LKW	1.491,8	2.237,7	164.102	2.953.836	6.610 t	112.367 t
Summe						232.989 t

* Fahrtstrecke im Tunnel je Fahrzeug: 18 km

** wegen des hohen Luftwiderstandes im Tunnel ist hier der Energiebedarf und somit auch der THG-Ausstoß bei PKW, Bus und LKW um 50 % höher als auf oberirdischer Strecke

Tab.D.4: Spezifischer Energiebedarf des KFZ- und Schienenverkehrs mit Elektroantrieb

Fahr- zeug	Auslastung pro Fahrzeug	spezifischer Energiebedarf pro Fahrzeug oberirdische Fahrt	Fahrt im Tunnel*
PKW	1,5 Pers./PKW	0,18 kWh/fkm	0,27 kWh/fkm
Bus	26,8 Pers./Bus	3,00 kWh/fkm**	4,50 kWh/fkm
LKW	15,3 t/LKW	1,76 kWh/fkm	2,64 kWh/fkm
Pers.- zug	109 Pers./Zug	9,48 kWh/Zkm	18,96 kWh/Zkm
Güter- zug	-----	19 Wh/tkm	38 Wh/tkm

pkm = Personenkilometer

tkm = Tonnenkilometer

fkm = Fahrzeugkilometer

Zkm = Zugkilometer

* Wegen des hohen Luftwiderstandes im Tunnel ist hier der Energiebedarf bei PKW, Reisebus und LKW um 50 % und beim Zug um 100 % höher als auf oberirdischen Strecken

** Schätzung: Angabe abgeleitet aus empirischen Daten über Elektrobusse im städtischen Linienbetrieb

Quellen:

(1) Motschall, Moritz / Bergmann, Thomas (Öko-Institut e.V.): Treibhausgasemissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Straßen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland, Auftraggeber: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Dezember 2013, S.48,52;

(2) Intraplan Consult GmbH / BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH: Verkehrsprognose für eine Feste Fehmarnbeltquerung 2014 - Aktualisierung der FTC-Studie von 2002, für Femern A/S, München / Freiburg 2016, S.15;

(3) Scandlines GmbH: Verkehrszahlen Puttgarden - Rödby 2000 bis 2016;

Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zum Verkehr, Dessau 2012, S.14,32;

(4) Breimeier, Rudolf: Elektrifizierte Autobahnen statt Eisenbahn? in: Eisenbahn-Revue International, Heft 3/2017, S.150ff;

(5) Rößler, Karlheinz: Der Bus ist der Eisenbahn überlegen, Vortrag bei der WBO-Jahrestagung am 6.12.2013, Böblingen 2014, S.2

Tab.D.5: Gesamter Energiebedarf der elektrisch betriebene Straßenfahrzeuge im Tunnel 2033 bis 2049 und 2050 - 2062 pro Jahr

	--Zeitraum von 2033 bis 2049--			--Zeitraum von 2050 bis 2062--		
	Anzahl KFZ	Fahrz- km	Energie (MWh)	Anzahl KFZ	Fahrz- km	Energie (MWh)
PKW	3.195.630	57.521.340	15.531	4.866.545	87.597.810	23.651
Bus	26.791	482.238	2.270	36.500	657.000	2.957
LKW	452.821	8.150.778	21.519	691.417	12.445.506	32.856
Summe Energie pro Jahr			39.320	59.464		
Strom für Elektro-KFZ						
2033 - 2049 pro Jahr			39.320			
- davon Bezug aus deutschem Stromnetz (50 %) pro Jahr			19.660			
- davon Bezug aus dänischem Netz (50 %) pro Jahr, aber nur 2033 + 2034			19.660			
Strom für Elektro-KFZ						
2050 - 2062 pro Jahr				59.464		
- davon Bezug aus deutschem Stromnetz (50 %) pro Jahr				29.732		
- davon Bezug aus dänischem Stromnetz (50 %)				29.732		

Tab.D.6: THG-Emissionen durch elektrisch betriebene Straßenfahrzeuge im Tunnel 2033 bis 2062

Betrach- tungs- zeitraum	Strom- bezug aus	THG-Faktor gewichtet (t/MWh)	Jahre	Strom- bedarf insgesamt (MWh)	THG- Emissionen Elektro- Fahrzeuge
2033 - 2049	D	0,1911	17	334.220	63.869 t
2050 - 2062	D	0,0206	13	386.516	7.962 t
2033 - 2034	DK	0,0611	2	39.320	2.402 t
2035 - 2062	DK	0,0206	28	759.486	17.149 t
Summe				1.519.542	91.382 t

D = Stromnetz Deutschland, DK = Stromnetz Dänemark

Tab.D.7: Energiebedarf der elektrischen Züge im Tunnel 2033 bis 2062

	Zugzahl pro Jahr	Verkehrs- leistung pro Jahr	spezif. Energie- bedarf	Energie- bedarf pro Jahr
Pers.- zug	13.870	249.660 Zkm	19 kWh/Zkm*	4.744 MWh
Güter- zug	17.850**	171 Mio tkm	38 Wh/tkm	6.498 MWh
Summe Strom für Züge pro Jahr				11.242 MWh

* Zkm = Zug-km

**70 Güterzüge pro Tag, aber nur 255 Verkehrstage pro Jahr

Quellen:

- (1) Intraplan Consult GmbH / BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH: Verkehrsprognose für eine Feste Fehmarnbeltquerung 2014 - Aktualisierung der FTC-Studie von 2002, für Femern A/S, München / Freiburg 2016, S.167f;
- (2) Breimeier, Rudolf: Elektrifizierte Autobahnen statt Eisenbahn? in: Eisenbahn-Revue International, Heft 3/2017, S.150ff;
- (3) Rößler, Karlheinz: Der Bus ist der Eisenbahn überlegen, Vortrag bei der WBO-Jahrestagung am 6.12.2013, Böblingen 2014, S.2

Tab.D.8: THG-Emissionen durch elektrische Züge im Tunnel 2033 bis 2062*

Betrach- tungs- zeitraum	THG-Faktor gewichtet (t/MWh)	Jahre	Strombedarf insgesamt (MWh)	THG-Emis- sionen Züge
2033 - 2034	0,0611	2	22.484	1.374 t
2035 - 2062	0,0206	28	332.248	6.484 t
Summe			354.732	7.858 t

* Strombezug ausschließlich aus dem dänischem Netz

Tab.D.9: Treibhausgasemissionen durch den Straßen- und Schienenverkehr im Fehmarnbelttunnel 2033 bis 2062

	Treibhausgasemissionen	
	absolut	Anteile
<hr/>		
Straßenfahrzeuge		
- mit Verbrennungsmotor	232.989 t	70,1 %
- mit Elektromotor	91.382 t	27,5 %
elektrische Züge	7.858 t	2,4 %
<hr/>		
Summe	332.229 t	100,0 %

Teil E: THG-Emissionen durch Güterzüge im Referenzfall aufgrund des Umwegs via Jütlandroute

Tab.E.1: Im Planfall von der Jütlandroute auf die FFBQ verlagerter Schienengüterverkehr pro Jahr

- Gütervolumen 2030:	7.638.000 t
- Umwegstrecke oberirdisch:	145 km
- Umwegstrecke im Tunnel	
Großer Belt:	8 km
- Transportleistungen auf der Umwegstrecke:	
- oberirdisch:	1.107.510.000 tkm
- im Tunnel:	61.104.000 tkm

Quelle: Intraplan Consult GmbH / BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH: Verkehrsprognose für eine Feste Fehmarnbeltquerung 2014 - Aktualisierung der FTC-Studie von 2002, für Femern A/S, München / Freiburg 2016, Tab.5-15, S.138

Tab.E.2: Energiebedarf der elektrischen Güterzüge auf der Umwegstrecke via Jütland im Referenzfall

	spezifischer Energiebedarf		gesamter Energiebedarf pro Jahr
	pro tkm	pro 1 Mio tkm	
oberirdisch	19 Wh	19 MWh	21.043 MWh
im Tunnel am			
Großen Belt	38 Wh	38 MWh	2.322 MWh
Summe Energie pro Jahr			23.365 MWh
- davon Bezug aus deutschem Stromnetz (36 %) pro Jahr*			8.411 MWh
- davon Bezug aus dänischem Netz (64 %) pro Jahr**			14.954 MWh

* Da sich die Systemgrenze zwischen dem deutschen und dem dänischen Bahnstromnetz im Bahnhof Padborg befindet, teilt sich die Gesamtstrecke Hamburg - Kopenhagen im Verhältnis 36 zu 64 auf.

Quellen:

- (1) Breimeier, Rudolf: Elektrifizierte Autobahnen statt Eisenbahn? in: Eisenbahn-Revue International, Heft 3/2017, S.153;
- (2) Eisenbahnatlas Deutschland, Ausgabe 2007/2008, Verlag Schweers und Wall, Köln 2007, S.2/3

Tab.E.3: THG-Emissionen der elektrischen Güterzüge 2033 bis 2062 durch den Umweg via Jütland im Referenzfall

Betrachtungs- zeitraum	Land	Jahre	Summe Bedarf an Strom (MWh)	THG- Faktor gewichtet (t/MWh)	THG-Emiss. elektr. Güterzüge
2033-2049	D	17	142.987	0,1911	27.325 t
2050-2062	D	13	109.343	0.0206	2.252 t
2033-2034	DK	2	29.908	0,0611	1.827 t
2035-2062	DK	28	418.712	0,0206	8.626 t
Gesamtsumme			700.950	-----	40.030 t