Handbuch Klimaschutz Schleswig-Holstein

Fakten, Zahlen und Fragen
für politische Entscheidungsfindung
und partizipative Prozesse

Herausgegeben von:

MEHR DEMOKRATIE Schleswig-Holstein

HEINRICH BÖLL STIFTUNG SCHLESWIG-HOLSTEIN

Projektleitung
Karl-Martin Hentschel
24226 Heikendorf, Am Steinkamp 7
0431-243 889 oder 0151-5908 4268
karl.m.hentschel@mehr-demokratie.de

Herausgeber
Mehr Demokratie e. V. Landesverband Schleswig-Holstein
24957 Husby, Dorfstr. 2a
https://sh.mehr-demokratie.de
sh@mehr-demokratie.de

Heinrich-Böll-Stiftung Schleswig-Holstein
24106 Kiel, Heiligendammer Straße 15
http://www.boell-sh.de/
info@boell-sh.de

Autorinnen und Autoren
Karl-Martin Hentschel, Mathematiker
Steffen Krenzer, Psychologe
Claudia Bielfeldt, Biologin
Jessica Hentschel, Juristin
Anja Twest, biologische Ozeanographin
Lea Johannsen, Mathematikerin, Psychologin
Hermann Hell, Physiker, Energieberater

Redaktion & Layout
Karl-Martin Hentschel
Steffen Krenzer

Cover
Unter Verwendung einer Grafik von Ulamm, CC BY-SA 3.0, http://www.maps-for-free.com

Kiel, Oktober 2021

Vorwort von Doris Lorenz, Heinrich-Böll-Stiftung Schleswig-Holstein

Nur gemeinsam können wir die Herausforderungen des Klimawandels und der Energiewende angehen. Wir werden in den nächsten zwei Jahren über 30 neue Klima-Netzwerke in Gemeinden und städtischen Nachbarschaften in Schleswig-Holstein initiieren, um als Bürgergesellschaft gemeinsam mit der Politik und den Verwaltungen vor Ort Klimaschutz zu machen. Hierfür ist das vorliegende „Handbuch Klimaschutz Schleswig-Holstein“ eine exzellente Wissensbasis.

Bereits seit acht Jahren betreiben wir mit der Initiative „Energiebürger.SH“ gemeinsam mit unseren Kooperationspartner*innen[1] eine aktivierende Bildungsarbeit, mit Volkhochschulkursen zur Wissensvermittlung, mit Klima-Werkstätten zur Initiierung von Bürgerprojekten, mit Netzwerktreffen zum Austausch von Erfahrungen und kollegialer Beratung, etc. Dabei stehen für uns die Teams der Macher*innen vor Ort zentral im Fokus.

Wie das Handbuch sehr anschaulich aufzeigt, bestehen die Hausaufgaben in Schleswig-Holstein über der Energiewende hinaus insbesondere im Bereich der Landwirtschaft und damit auch bei der Ernährung. Um diese Vielschichtigkeit besser abbilden zu können, war es deshalb an der Zeit unserer Initiative einen neuen Namen zu geben. Machen Sie nun mit bei „bewirk.sh – gemeinsam fürs Klima“.

Unsere Erfahrungen zeigen sehr deutlich, dass dort, wo sich Bürger*innen vor Ort als Teams zusammengefunden haben – gern im engen Austausch mit Politik und Verwaltung, sich selbst Ziele gesetzt und Klimaschutz in die eigenen Hände genommen haben, sie einiges bewirken können. Wichtig dafür sind jedoch vertrauensvolle Grundlagen an wissenschaftlichen Erkenntnissen, die verständlich und nachvollziehbar erklärt werden und von denen passgenaue Klimaschutzaktionen abgeleitet werden können. Das Handbuch bietet diesen Rahmen und zeigt eine Fülle von Bereichen in denen wir gemeinsam aktiv werden können. Deshalb werden wir unsere zukünftige Arbeit auf diesem Handbuch aufbauen.

Doris Lorenz, geschäftsführender Vorstand der
Heinrich-Böll-Stiftung Schleswig-Holstein für das Team von
bewirk.sh – gemeinsam fürs Klima
Kiel, den 20.10.2021

[1] Zur Initiative Energiebürger.SH haben sich sechs Kooperationspartern*innen zusammengeschlossen: Heinrich-Böll-Stiftung Schleswig-Holstein, Gustav-Heinemann-Bildungsstätte, Hermann-Ehlers-Akademie, Bildungszentrum für Natur, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Landesverband der Volkshochschulen Schleswig-Holstein e.V. und die „Kirche für Klima“ der ev.-luth. Kirche in Norddeutschland

Grußwort von Claudine Nierth, Mehr Demokratie Schleswig-Holstein

Im September 2020 veröffentlichte Mehr Demokratie das Handbuch Klimaschutz[2] und machte damit die Frage, wie Deutschland das Pariser Klimaschutzabkommen einhalten kann, für demokratische Beteiligungsprozesse besprechbar. Anwendung fand das Handbuch bei der Vorbereitung des ausgelosten Bürgerrat Klima[3], der von April bis Juni 2021 tagte und weitreichende Vorschläge für die Klimapolitik und die Koalitionsverhandlungen nach der Bundestagswahl vorgelegt hat.

Das hier vorgelegte Buch konkretisiert die Vorschläge und Fragestellungen des Handbuch Klimaschutz für die Landesebene. Wir erhoffen uns, dass es dazu beiträgt, dass im kommenden Jahr in Schleswig-Holstein ein Bürgerrat zum Thema Klimaschutz durchgeführt wird, um Vorschläge für die zu wählende neue Landesregierung zu erarbeiten.

Mehr Demokratie e.V. engagiert sich aus zwei Gründen für die Durchführung von Bürgerräten zur Klimapolitik:[4] Einmal halten wir den Klimawandel für eine Gefahr und eine Bewährungsprobe der Demokratie. Es muss uns gelingen, auf demokratischem Weg die notwendigen weitreichenden Maßnahmen für die Transformation in eine klimaneutrale Gesellschaft zu beschließen. Zum anderen eignet sich die komplexe und kontrovers diskutierte Klimaproblematik in besonderer Weise dafür, durch Bürgerräte herauszufinden, welche Maßnahmen die Menschen in unserem Land bereit sind mitzugehen.

Natürlich wünschen wir uns, dass die demokratische Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern nicht bei der Durchführung eines Bürgerrats stehenbleibt. Stattdessen könnten wichtige Vorschläge eines Bürgerrates auch in einem Volksentscheid zur Abstimmung gestellt werden. Mehr Demokratie e.V. Schleswig-Holstein hat hierzu ein Thesenpapier für die Verknüpfung von direkter Demokratie und Bürgerräten erarbeitet. Wir würden uns freuen, wenn diese Anregungen zur Weiterentwicklung der Demokratie und zur Verbesserung der Bürgerbeteiligung von der Politik aufgegriffen werden.

Claudine Nierth, Landesvorsitzende Mehr Demokratie e.V.
Schleswig-Holstein
4. Oktober 2021

[2] Siehe Handbuch Klimaschutz, Oekom Verlag, München 2020. Mehr Infos: https://handbuch-klimaschutz.de
[3] https://buergerrat-klima.de/
[4] Für einen Überblick zum Instrument des Bürgerrats, Dokumentationen von abgeschlossenen und laufenden Verfahren sowie Beratungsangebote siehe: https://www.buergerrat.de/

Vorbemerkung des Projektleiters

Im Jahr 2018 brachte der Weltklimarat (siehe Infobox 1) ein Sondergutachten heraus.[5] Das Gutachten stellte fest, dass die Klimaerwärmung noch schneller verläuft, als bisher angenommen. Auch die Folgen sind dramatischer, als die Wissenschaft bisher dachte. Der Weltklimarat empfiehlt deshalb, alles dafür zu tun, damit die Klimaerwärmung unter 1,5 Grad bleibt. Das ist das „1,5-Grad-Ziel". Vorher dachte man es würde ausreichen, die Erderwärmung auf zwei Grad zu beschränken.

Infobox 1: Weltklimarat – IPCC

Am Weltklimarat (auf Englisch: IPCC) sind 195 Staaten beteiligt. Im Vorstand sitzen 34 Wissenschaftler aus allen Erdteilen. Der IPCC ist frei und unabhängig. Mehrere tausend Wissenschaftler arbeiten dem IPCC zu – alle ehrenamtlich ohne Honorar. Die bisherigen Berichte des IPCC waren sehr vorsichtig. Die Erwärmung ging jedes Mal schneller als vorhergesagt. Der Grund dafür: Der Rat möchte keine Angriffsflächen für Klimawandelleugner bieten.

Noch ist das 1,5-Grad-Ziel erreichbar. Es sind aber große gesellschaftliche Anstrengungen dafür nötig. Die bisher veranlassten Maßnahmen und auch das Klima-Paket der Bundesregierung reichen dazu nicht aus. Wenn die Entwicklung so weitergeht wie bisher, erwärmt sich die Erde wahrscheinlich um 3 Grad oder mehr.

Die großen Aufgaben scheinen nicht lösbar zu sein. Andererseits zeigen zahlreiche Studien, dass die Aufgabe zu bewältigen ist – sowohl technisch als auch finanziell! Die Umstellung Deutschlands auf Klimaneutralität schafft Arbeitsplätze, sie reduziert Import-Abhängigkeiten und kann als gemeinsames Ziel den geschädigten gesellschaftlichen Zusammenhalt wiederherstellen. Sie kann so gestaltet werden, dass soziale Ungerechtigkeiten in der Gesellschaft verkleinert werden und auch global Deutschland seiner Verantwortung stärker gerecht wird. Die anhaltenden Proteste von Fridays for Future und anderen Gruppen, sowie die gewaltig angestiegene Medienpräsenz des Themas deuten darauf hin, dass sich eine Veränderung anbahnt, die von der Mehrheit der Bevölkerung gewollt ist.

Daher haben sich Mehr Demokratie e.V. Landesverband Schleswig-Holstein und die Heinrich-Böll-Stiftung Schleswig-Holstein verständigt, eine Studie in Auftrag zu geben, die in Form eines „Handbuchs" darstellen soll, was notwendig ist, damit Schleswig-Holstein seinen Beitrag zum 1,5-Grad-Ziel leisten kann. Das Handbuch ist keine politische Stellungnahme. Er ist als

[5] IPCC, 2018

Diskussionsgrundlage für Bürgerinnen und Bürger sowie Verantwortliche in Politik und Verwaltung geschrieben worden und soll ggf. als inhaltliche Grundlage für einen Bürgerrat in Schleswig-Holstein dienen.

Wir (die Autorinnen und Autoren) haben uns bemüht möglichst neutral Fakten und Handlungsmöglichkeiten zusammenzustellen. Wir haben versucht die Zusammenhänge so zu beschreiben, dass alle sie verstehen können.

Schleswig-Holstein ist ein Teil von Deutschland und die notwendigen Umstellungen können nicht in Schleswig-Holstein allein beschlossen und umgesetzt werden. Deshalb wird im Handbuch auch darauf eingegangen, was das 1,5-Grad-Ziel für Deutschland bedeutet. Die Maßnahmen für Deutschland sind allerdings nur in Kürze beschrieben. Ausführliche Erklärungen und Hintergründe für die hier dargestellten Ergebnisse finden sich im „Handbuch Klimaschutz“[6], das vom gleichen Autorenteam geschrieben wurde und Grundlage des deutschen Klimabürgerrates war, der von April bis Juni 2021 durchgeführt wurde.[7]

Das Handbuch Klimaschutz Schleswig-Holstein besteht aus fünf Teilen:

In Teil 1 wird zusammengefasst, was die Wissenschaft über den Klimawandel, seine Folgen und seine Ursachen weiß. Es wird erklärt, was das 1,5-Grad-Ziel ist und warum schnell die richtigen Entscheidungen getroffen werden müssen, wenn das Ziel noch erreicht werden soll.

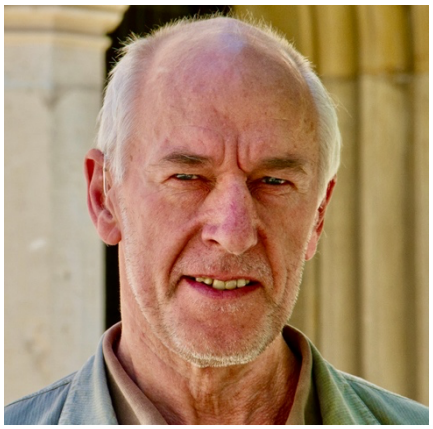
In Teil 2 wird dargestellt, wie eine klimaneutrale Gesellschaft aussehen kann und welche grundsätzlichen Veränderungen notwendig sind, damit die Umstellung rechtzeitig gelingt.

In Teil 3 werden Maßnahmen und Schritte der Umstellung beschrieben, die alle gesellschaftlichen Bereiche betreffen, beispielsweise ein CO_2-Preis.

In Teil 4 wird dargestellt, welche Maßnahmen in Schleswig-Holstein zur Umstellung der einzelnen Sektoren der Gesellschaft (Häuser, Landwirtschaft usw.) erforderlich sind.

In Teil 5 werden Fragen formuliert, die in der Gesellschaft und der Politik beantwortet werden müssen, wenn eine Politik in Richtung 1,5-Grad-Ziel eingeschlagen werden soll. Diese Fragen könnten in einem Bürgerbeteiligungsverfahren in Schleswig-Holstein als Grundlage für die Diskussionen dienen.

Karl-Martin Hentschel, 1. September 2021



[6] Siehe BBK 2020

[7] Siehe https://buergerrat-klima.de

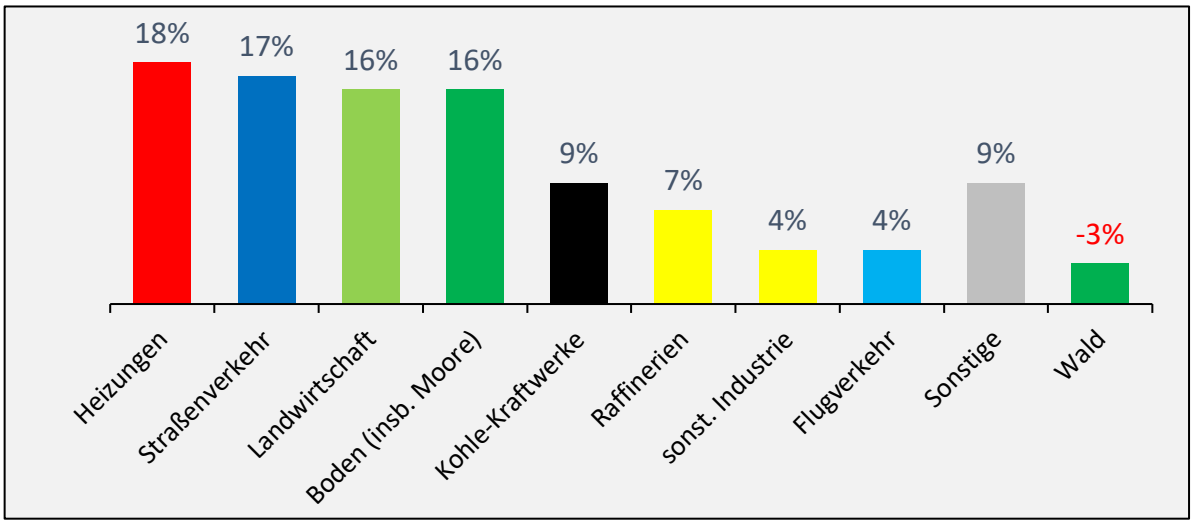
Inhalt

Vorworte 3
Zusammenfassung 8
Teil 1: Die Ausgangslage für Deutschland und Schleswig-Holstein 11
Klimaerwärmung: Ursachen und Folgen 11
Das 1,5-Grad-Ziel 14
Das „Restbudget“ 17
Teil 2: Wie könnte eine klimaneutrale Gesellschaft aussehen? 23
Teil 3: Rahmenbedingungen für die Transformation 27
Energieeinsparung und Lebensstil-Änderung 27
Die Finanzierung der Umstellung 30
Treibhausgas-Preise 32
Planungsrecht 33
Import von Erneuerbaren Energien 35
Rohstoffe, Kreislauf- und Abfallwirtschaft 36
Digitalisierung 40
Teil 4: Maßnahmen in den einzelnen Sektoren 43
Energie 43
Hauswärme 59
Verkehr 70
Landwirtschaft und Bodennutzung (Moore und Wälder) 86
Industrie 99
Abfälle und Abwässer 110
Teil 5: Fragen an die Bürgerinnen und Bürger 112
Anlagen 120
Abbildungsverzeichnis 152
Tabellenverzeichnis 152
Übersicht über Infoboxen 153
Quellen 154

Zusammenfassung

Der Bericht des Weltklimarates von 2018 macht deutlich, dass der Handlungsbedarf beim Klimaschutz noch dringlicher ist, als zuvor angenommen. Vorher wurde meistens über das Zwei-Grad-Ziel gesprochen. Nun ist aber klar, dass es sehr wichtig ist, dass sich die Erde höchstens um 1,5 Grad erwärmt. Allerdings kann dieses Ziel – das nun auch im Koalitionsvertrag der neuen Regierung zugrundegelegt werden soll – nur erreicht werden, wenn schnell die nötigen Maßnahmen ergriffen werden. Bis 2040 muss die Gesellschaft klimaneutral sein. Dafür müssen fast alle Bereiche, die heute Treibhausgase verursachen (siehe Grafik 1) so umgestellt werden, dass sie keine Treibhausgase mehr ausstoßen.

Grafik 1: Die größten Treibhausgas-Quellen und Senken in Schleswig-Holstein



Die wichtigsten Maßnahmen, um in Schleswig-Holstein klimaneutral zu werden, sind:

- In Schleswig-Holstein müssen, anders als in anderen Bundesländern, die Landwirtschaft und die Bodennutzung im Zentrum der Klimapolitik stehen. Immerhin werden 32 Prozent der Emissionen in diesem Bereich verursacht.
- Daher müssen große Flächen, die früher einmal Moore waren, müssen wieder vernässt werden. Gleichzeitig werden neue Wälder angepflanzt.
- In der Landwirtschaft muss die Düngung so umgestellt werden, dass sie weniger Treibhausgase verursacht. Außerdem müssen Reststoffe besser genutzt werden und Tierbestände reduziert werden. Dafür ist es auch wichtig, dass der Konsum von Fleisch- und Milchprodukten zurückgeht.
- Die erneuerbare Stromerzeugung muss weiter ausgebaut werden. Das meint vor allem Wind- und Sonnenkraftwerke. Dazu gehört auch die notwendige Infrastruktur, das heißt Netze, Speicher und Elektrolyseanlagen. Gleichzeitig müssen Kohlekraftwerke und etwas später auch Gaskraftwerke abgeschaltet werden.

- Ein großer Teil der Häuser muss saniert und neu gedämmt werden. Öl- und Gasheizungen müssen durch andere Heizungen ersetzt werden. Hier kommen vor allem Wärmepumpen in Frage. Die Fernwärme-Netze müssen ausgebaut und auf erneuerbare Wärme umgestellt werden. Biogas-Anlagen wird es weiterhin geben. Allerdings werden sie anders genutzt.
- Möglichst viel Güter- und Personenverkehr muss von Auto und LKW auf Bahn, Bus und Rad verlagert werden. Dazu braucht es neue Bahnstrecken, ein besseres ÖPNV-Angebot und Regeln für die Innenstädte, die Radverkehr begünstigen.
- PKW und LKW müssen weitgehend auf Elektro-Antriebe umgestellt werden. Wo das nicht möglich ist, werden die Treibstoffe erneuerbar erzeugt. Dies gilt vor allem für den Schiffs- und Flugverkehr.
- Die Industrie muss so umgebaut werden, dass die Produktion fast keine Treibhausgase mehr freisetzt. Dies betrifft in Schleswig-Holstein vor allem die Raffinerien in Brunsbüttel und Hemmingstedt und die Zement-Industrie in Lägerdorf. Diese drei Standorte verursachen fast 90 Prozent der Emissionen der Industrie.

Hinzu kommen Maßnahmen, die nicht von Schleswig-Holstein allein beschlossen werden können. Sie müssen deutschlandweit eingeführt werden. Sie sind aber wichtig, um die Umstellung in Schleswig-Holstein zu erleichtern:

- Die Verursachung von Treibhausgasen muss Geld kosten („CO_2-Preis“). Das ist ein großer Anreiz für Unternehmen und Verbraucher klimafreundlicher zu handeln. Der CO_2-Preis kann und muss so gestaltet werden, dass Menschen mit wenig Einkommen entlastet werden.
- Viele Rohstoffe (z.B. Metalle) sind begrenzt und es braucht viel Energie, um sie zu gewinnen. Es ist deshalb notwendig ein Recycling-System einzuführen, das garantiert, dass diese Rohstoffe nicht verschwendet werden, sondern immer wieder benutzt werden können.
- Heute dauert es oft viele Jahre, bis große Projekte umgesetzt werden können. Die Umstellungen müssen aber alle sehr schnell erfolgen. Es ist deshalb wichtig, dass Planungen und Genehmigungen von Bauprojekten beschleunigt werden.
- Gleichzeitig muss es genug Fachpersonal geben, das die Maßnahmen umsetzt, zum Beispiel im Handwerk. Dafür muss mehr Fachpersonal ausgebildet und umgeschult werden.
- Deutschland steht nicht allein in der Welt. Es muss mit anderen Ländern zusammenarbeiten. Wichtig sind vor allem vier Dinge. 1.) Deutschland muss mit anderen Ländern Verträge schließen, um in Zukunft erneuerbare Brennstoffe importieren zu können. 2.) Deutschland muss darauf hinwirken, dass in ganz Europa vergleichbare CO_2-Preise eingeführt werden. Dies garantiert klare und verlässliche Regeln für Unternehmen. 3.) Viele Produkte, die in Deutschland verbraucht werden, werden im Ausland hergestellt und verursachen dort Emissionen. Deutschland muss mit dafür sorgen, dass diese Emissionen

reduziert werden. 4.) Ärmere Länder müssen finanziell dabei unterstützt werden, ihre Treibhausgase zu reduzieren und auch CO_2 wieder zu speichern.

All diese Maßnahmen sind möglich, aber sie erfordern Anstrengungen. Das Projekt kann nur gelingen, wenn alle zusammenarbeiten. Dafür ist es wichtig, dass Kosten und Nutzen der Umstellung fair auf alle verteilt wird. Insbesondere Menschen mit geringen Einkommen sollten Gewinner der Umstellung sein. Das ist nur fair, da diese Menschen heute die geringsten Emissionen verursachen.

In Schleswig-Holstein ist es besonders wichtig, Lösungen für die Landwirtschaft zu finden, von denen alle profitieren. Landwirtschaft und Bodennutzung[8] zusammen verursachen in Schleswig-Holstein ein Drittel der Emissionen. Dies erfordert grundlegende Veränderungen. Diese müssen so gestaltet werden, dass auch die Landwirte von ihnen profitieren. Wir brauchen daher in Schleswig-Holstein einen historischen Kompromiss zwischen Landwirtschaft, Klimaschutz und Umweltpolitik.

[8] Wir benutzen im Handbuch den Begriff „Bodennutzung“ anstelle Begriffs „LULUCF“, um den Text verständlicher zu halten. LULUCF steht in der internationalen Treibhausgasstatistik für „land-use, land-use-change and forestration“. Mehr dazu in Teil 4 im Abschnitt „Landwirtschaft und Bodennutzung“.

Teil 1: Die Ausgangslage für Deutschland und Schleswig-Holstein

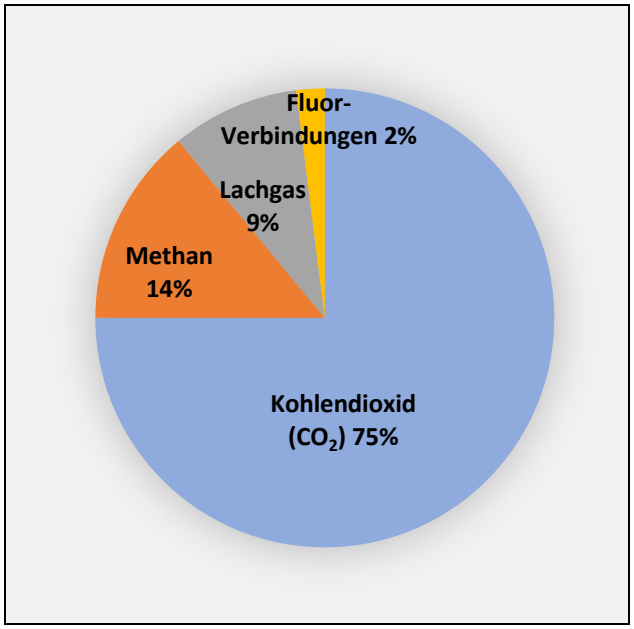
Klimaerwärmung: Ursachen und Folgen

Die Temperatur auf der Erde hat sich seit der Zeit vor der Industrialisierung schon um mehr als ein Grad erhöht. Zu diesem Ergebnis kommen die Berichte des Weltklimarates und andere Studien.[9] Einige Folgen lassen sich auch in Deutschland bereits beobachten: Die Gletscher in den Alpen sind stark zurückgegangen, im Sommer werden Temperaturrekorde erzielt und im Winter gibt es an vielen Orten keinen Schnee mehr. In Brandenburg kommt es zu Dürren und Waldbränden, der Rhein hat im Sommer so wenig Wasser, das keine Schiffe mehr fahren können.[10] In anderen Ländern sind die Folgen schon deutlich schlimmer, wie die Waldbrände in Brasilien und Australien im Jahr 2019 gezeigt haben.

Ursache für die Erwärmung ist, dass sich immer mehr Treibhausgase in der Erdatmosphäre ansammeln. Diese werden durch menschliche Aktivitäten verursacht.

Das bekannteste Treibhausgas ist Kohlendioxid. Es entsteht vor allem bei der Verbrennung von fossilen Stoffen wie Kohle, Gas oder Öl. Es gibt noch andere wichtige Gase. Diese treten in geringeren Mengen auf, aber sie sind viel schädlicher für die Atmosphäre. Das ist vor allem Methan, das z.B. bei der Verdauung von Kühen entsteht oder wenn Erdgas in die Atmosphäre entweicht, etwa durch Löcher in Leitungen. Das dritte Gas ist Lachgas, das z.B. bei der Düngung von Feldern freigesetzt wird. Einen kleinen Teil machen Fluor-Verbindungen aus, die beispielsweise in Kältemitteln enthalten sind.

Grafik 2: Verteilung der Treibhausgase in Schleswig-Holstein



Je mehr Treibhausgase ausgestoßen werden, desto größer ist die Erwärmung. Je größer die Erwärmung ist, desto schwerer sind die Auswirkungen. Für eine Erwärmung um zwei Grad nennt der Bericht des Weltklimarats diese Folgen:

- Ein Anstieg des Meeresspiegels um mehrere Meter.
- Mehr Extremwetter, je nach Region Hitzeperioden, Starkregenfälle oder Dürren.
- Überflutung von Küstenregionen.

[9] Siehe IPPC 2014, IPPC 2018, WRI 2017, World Bank Group 2019, EPA 2019, UBA 2019/4
[10] Für die Folgen in Schleswig-Holstein siehe MELUND 2017

- Die Ozeane werden wärmer, sodass das Eis auf dem Nordpolarmeer schmilzt, die Versauerung der Ozeane nimmt zu, der Sauerstoffgehalt nimmt ab. Dies führt z.B. dazu, dass Korallenriffe sterben, die eine zentral für das Überleben von Meerestieren sind.
- Es entwickelt sich eines der größten Artensterben der Erdgeschichte und eine tiefgreifende Störung wichtiger Abläufe in den Ökosystemen der Erde.[11]
- Die Erwärmung hat starke schädliche Folgen für Gesundheit, Ernährungssicherheit und Wasserversorgung vieler Menschen.
- Die Erwärmung hat schädliche Folgen für die Wirtschaftsentwicklung und verursacht hohe Kosten durch Überschwemmungen, Sturmschäden und Missernten.
- Die Zahl der Flüchtlinge aus den am stärksten betroffenen Gebieten nimmt zu, wodurch soziale Konflikte geschürt werden.

Der Sonderbericht des Weltklimarats von 2018 stellt fest, dass die meisten genannten Folgen nicht mehr ganz vermeidbar sind. Jede weitere Erwärmung verschlimmert die Auswirkungen aber enorm. Das gilt auch für die Kosten. Zudem wächst mit zunehmender Erwärmung die Gefahr, dass sogenannte Kipp-Punkte erreicht werden.[12] Dies sind sprunghafte Veränderungen in der Umwelt. Einige dieser Kipp-Punkte lösen eine Art Teufelskreis aus. Wenn ein solcher Kipp-Punkt erreicht ist, führt das dazu, dass weitere Treibhausgase entweichen, was die Erde weiter erwärmt und weitere Kipp-Punkte anstößt. Die wichtigsten dieser Ereignisse sind:

- die Dauerfrostböden in Sibirien und Kanada tauen. Die aufgetauten Pflanzen werden von Mikroorganismen zersetzt. Das setzt riesige Mengen CO_2 und Methan frei.
- das Eis am Nordpol schmilzt. Das dunkle Meer nimmt viel mehr Wärme auf als die weiße Eisdecke vorher. Dadurch erwärmt sich die Erde weiter.
- Erwärmung und geringere Niederschläge – verstärkt durch Wald-Rodungen und Waldbrände – verursachen Waldsterben. Dies führt dazu, dass die Wälder im Amazonasbecken, in Sibirien und andernorts noch weiter zurückgehen. Wälder speichern bisher große Mengen an CO_2. Diese Speicher gehen dann verloren.
- Der Jetstream (ein sehr hoher Luftstrom) über dem Atlantik nimmt ab ⇒ noch mehr Hitzewellen und Rekordniederschläge treten in Europa auf
- Der Monsun in Indien und China wird instabil ⇒ zusätzliche Überschwemmungen und Dürren in Indien und China
- Der Golfstrom im Nordatlantik wird schwächer ⇒ wenn der Golfstrom ausbleibt, würde Nordeuropa rapide abkühlen und es käme eine kleine Eiszeit
- Die Methanhydrate an den Abhängen der Tiefsee werden instabil ⇒ durch Erdrutsche werden gigantische zusätzliche Methanmengen frei

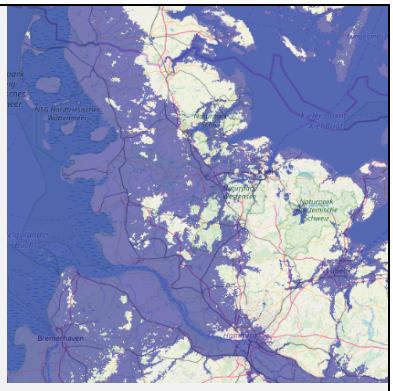
[11] Siehe Ostberg 2013

[12] Genaue Definition eines Kipppunktes: Es findet an einem kritischen Punkt (1) ein qualitativer Sprung statt in einer (2) relevanten wichtige Systemeigenschaft bei (3) sich veränderndem Treiber. Siehe Lenton 2008 – zu den Auswirkungen siehe Odenwald 2019, PIK 2019, PNAS 2018

- Es kommt öfter zu sogenannten Monster-El-Niños ⇒ es treten unerwartete Dürren und Überschwemmungen auf allen Kontinenten auf

Schleswig-Holstein ist von vielen dieser Effekte auf jeden Fall indirekt betroffen, beispielsweise wenn Nahrungsmittelimporte deutlich teurer werden. Direkte Effekte treten für die Landwirtschaft auf, zum Beispiel wenn Unwetter, Dürren oder mehr Niederschläge zu Ernteverlusten führen. Außerdem hat der Meeresspiegelanstieg schwerwiegende Konsequenzen. Der Meeresspiegel liegt in manchen Küstenabschnitten in Deutschland bereits über dreißig Zentimeter höher als zu Beginn der Industrialisierung.[13] Der Anstieg geht immer schneller: in den letzten Jahren war er doppelt so hoch, wie im letzten Jahrhundert.[14] Die Prognosen des Weltklimarats sagen voraus, dass bis 2100 der Meeresspiegel um weitere siebzig Zentimeter, also insgesamt um einen Meter steigen wird.[15] Es gibt auch Studien, die das doppelte annehmen.[16] Der Unterschied hängt davon ab, wie viel Treibhausgase bis dahin noch ausgestoßen werden. Ein gewisser Meeresspiegelanstieg kann durch Deiche abgefangen werden. Allein 2019 wurden dafür 77 Millionen Euro ausgegeben. Auch sind große Teile des Landes, vor allem der Westküste, durch Sturmfluten bedroht. Die Landesregierung schätzt, dass in den betroffenen Regionen ungefähr 350.000 Menschen wohnen.[17] Neue Studien gehen davon aus, das bei hohem Treibhausgas-Ausstoß bereits 2050 weltweit 340 Millionen Menschen von Fluten bedroht sind.[18] In den Grafik 3 ist gezeigt, wie sich ein Meeresspiegel auf Schleswig-Holstein auswirken würde, wenn die Deiche den Anstieg nicht aufhalten können.

Grafik 3: Schleswig-Holstein – Land zwischen den Meeren

		
Meeresspiegel heute (+33 cm gegenüber 1850)	**Meeresspiegel + 2 Meter** (Wahrscheinlich zwischen 2100 und 2200)	**Meeresspiegel + 20 Meter** (Nachdem Grönland und die Westantarktis vollständig geschmolzen sind. Dies wird vermutlich Jahrhunderte dauern.)

[13] Siehe Searise-correctiv.org 2020
[14] Siehe Nerem u.a. 2018
[15] Siehe IPPC 2018
[16] Siehe Helmholtz 2020
[17] Siehe kn-online.de
[18] Siehe Kulp u.a. 2019

Das 1,5-Grad-Ziel

Damit die Folgen des Klimawandels nicht zu groß werden, haben sich im Jahr 2015 197 Staaten der Erde im Abkommen von Paris darauf geeinigt, die Erwärmung deutlich unter zwei Grad, möglichst auf 1,5 Grad zu begrenzen. Der Weltklimarat stellt hierzu fest: Das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen erfordert „rasche, weitreichende und beispiellose Veränderungen in sämtlichen Bereichen der Gesellschaft wie Energieerzeugung, Bodennutzung[19], Verkehr, Gebäude und Industrie“. Die Veränderung der Gesellschaft wird kurzfristig hohe Investitionskosten und große Anstrengungen brauchen. Trotzdem empfiehlt der Weltklimarat unbedingt das 1,5-Grad-Ziel zu verfolgen. Denn die Anstrengungen machen sich bezahlt. Nicht nur können die schlimmsten Folgen so vermieden werden. Auch sind die Kosten für die Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels erheblich niedriger als die sonst auftretenden Schäden.[20]

Die Umstellung auf eine klimaneutrale Gesellschaft hat auch positive Auswirkungen auf andere Ziele, die von der Weltgemeinschaft (UNO) formuliert wurden[21]: Beispielsweise die Bekämpfung von Hunger und Armut und das Überleben von Tier- und Pflanzenarten. Auch die Stabilität der Wirtschaft wird gestärkt. Die Umstellung kann auch in Deutschland positive Auswirkungen auf Gesundheit, Lärmschutz, Naturschutz, Wohnkomfort und Arbeitsplätze haben.

Viele neue technische und gesellschaftliche Entwicklungen der letzten Jahre machen die Umstellung einfacher, zum Beispiel:

- Die Preise von Photovoltaik-Anlagen sind stark gesunken. Sie benötigen weniger Rohstoffe und produzieren mit der gleichen Fläche mehr Strom.[22]
- Neue Windkraftwerke produzieren viel mehr Strom als alte, weil sie bereits bei schwachem Wind die volle Leistung bringen können (Schwachwindanlagen).
- Damit ist es an vielen Standorten bereits heute günstiger Strom erneuerbar zu produzieren, statt durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen oder in Kernkraftwerken![23]
- Es gibt neue Formen von Energiespeichern (z.B. Stahl-, Eis- und Beton-Speicher).
- Die Preise von elektrischen Batterien sind gesunken und ihr Wirkungsgrad gestiegen.
- Neue Erdkabel-Technologien machen es möglich Strom ohne große Verluste über weite Strecken zu transportieren.
- Auch andere wichtige Technologien werden immer günstiger und gleichzeitig besser. Dies gilt z.B. für Wärmepumpen, Elektrolyseure, Dämmstoffe, Batterien für Elektro-Fahrzeuge und elektrische Oberleitungen für LKW.

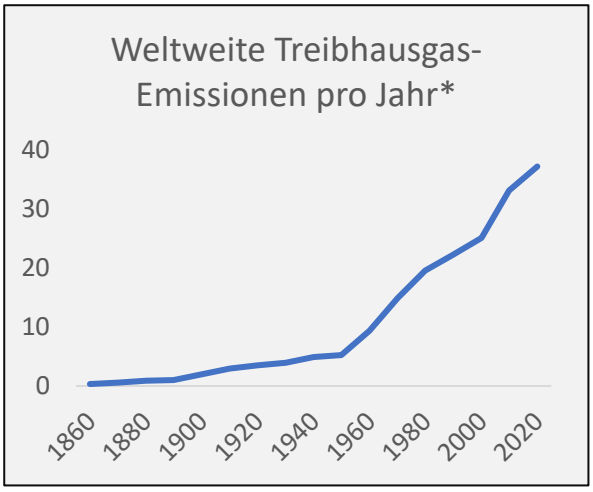
[19] Wir übersetzten hier Begriff „land-use“ mit „Bodennutzung“, um Verwechslungen mit der Landwirtschaft zu vermeiden.
[20] Siehe Agora Energiewende 2018/1
[21] Siehe UNO 2020
[22] Siehe Fraunhofer ISE 2019
[23] Siehe Fraunhofer ISE 2018

- Es werden bereits die ersten Anlagen gebaut, die ohne Kohle-Verbrennung Stahl erzeugen können. So kann theoretisch ohne Treibhausgase Stahl produziert werden.[24]
- Die Chemieindustrie hat konkrete Planungen vorgelegt, wie sie ihre Produktion künftig treibhausgasfrei machen kann.

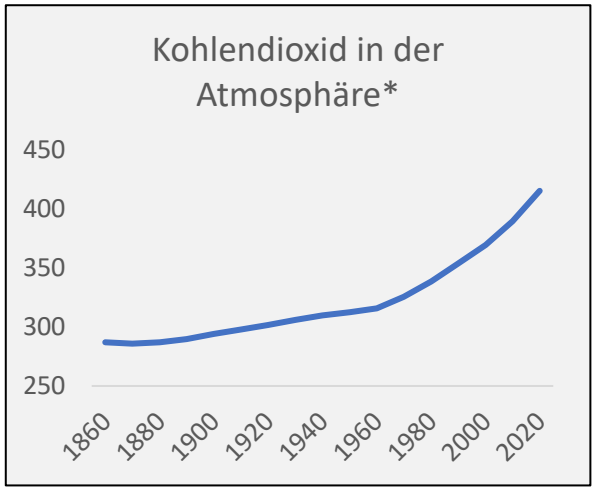
Politische Umsetzung – historische Kipp-Punkte

Dass das 1,5-Grad-Ziel technisch erreichbar ist, heißt aber nicht, dass es ohne weiteres auch politisch und gesellschaftlich umgesetzt werden kann. Es stellt eine große politische Herausforderung dar. Schon 1972 hat der *Club of Rome* darauf hingewiesen, dass die Weltwirtschaft im 21. Jahrhundert zusammenbrechen wird, wenn die Wirtschaftsweise sich nicht grundlegend ändert und umweltfreundlicher wird.[25] 1990 haben viele Staaten der Erde das sogenannte Kyoto-Protokoll unterzeichnet, in dem sie sich dazu verpflichten den Ausstoß von Treibhausgasen zu verringern. Beide Male hat sich der Ausstoß in den Folgejahren aber stark erhöht. Über die Hälfte aller Emissionen fand nach 1980 statt. Auch nach dem Abkommen von Paris 2015 sind die jährlichen Emissionen weiter gestiegen (linke Grafik 4[26]). Dies führt dazu, dass auch die Zahl der CO_2-Moleküle in der Erd-Atmosphäre immer weiter zunimmt (rechte Grafik 4[27]).

Grafik 4: Weltweite Emissionen und Konzentration in der Atmosphäre



* Einheit: 1000 TE, siehe Infobox 2



* Einheit: ppm (CO_2 Moleküle pro Mio. Moleküle)

Hätte man rechtzeitig auf die Warnungen reagiert, hätte die Menschheit genug Zeit gehabt, die Umstellung zur Klimaneutralität durchzuführen. Diese Chance wurde aber verpasst und nun muss alles sehr schnell gehen. Und wenn wir nicht sofort anfangen wird es noch schwerer.

[24] Siehe Salcos-Salzgitter-AG 2020 und Tagesspiegel 2020
[25] Siehe Meadows u.a. 1972
[26] Eigene Darstellung auf Basis von Daten von Ourworldindata.org 2020
[27] Eigene Darstellung auf Basis von Daten von Global Carbon Atlas 2020 und ESRL 2020

Es gibt aber einen guten Grund, warum wir trotzdem glauben, dass das 1,5-Grad-Ziel erreicht werden kann: Historische Umbrüche erfolgten oft mit langer zeitlicher Verzögerung, selbst wenn die Zeit bereits reif war. Aber wenn es schließlich losgeht, geht die Entwicklung ganz schnell und Dinge werden möglich, die vorher für unmöglich gehalten wurden. Es gibt mehrere Anzeichen dafür, dass ein solcher historischer Umbruch bevorsteht. Weltweit finden Proteste von Gruppen wie Fridays for Future statt. In Deutschland ist Klimaschutz in den Meinungsumfragen das wichtigste Thema.[28] Große Finanzunternehmen und Versicherungen stellen sich um: Nachhaltigkeit wird wichtiger.[29] Investitionen in Milliarden-Höhe werden von fossilen Unternehmen weggenommen, da diese sich nicht mehr lohnen.[30] Auch wenn die Entwicklungen noch zu langsam und nicht konsequent genug stattfinden, deutet sich an, dass ein großer Umbruch bevorsteht. Es kommt jetzt darauf an, dafür die Weichen richtig zu stellen.

Infobox 2: Treibhausgaseinheiten – TE

Um die Darstellung zu vereinfachen sprechen wir von Treibhausgaseinheiten. Eine Treibhausgaseinheit entspricht einer Million Tonnen CO2-Äquivalente. Äquivalent bedeutet, man rechnet die verschiedenen Treibhausgase entsprechend ihrer Wirkung in Kohlendioxid (CO_2) um. Eine Tonne Methan hat zum Beispiel die gleiche Wirkung wie 25 Tonnen Kohlendioxid. Bei Lachgas liegt der Faktor sogar bei 300 und bei einigen Fluorgasen über 1000.

Die Rolle Deutschlands in der Welt

Oft wird gesagt, dass Deutschland nur zwei Prozent der weltweiten Emissionen verursacht und es deshalb keine Wichtigkeit hat, was Deutschland tut. Es sprechen aber einige Gründe dafür, dass es sehr wohl wichtig ist, was Deutschland tut.

Erstens gilt: Deutschland hat das Pariser Abkommen unterzeichnet und sich, wie alle anderen Länder, dazu verpflichtet das 1,5-Grad-Ziel oder zumindest das 2-Grad-Ziel einzuhalten. Damit das 1,5-Grad-Ziel erreicht werden kann, müssen *alle* Länder klimaneutral werden, egal wie klein oder groß sie sind.

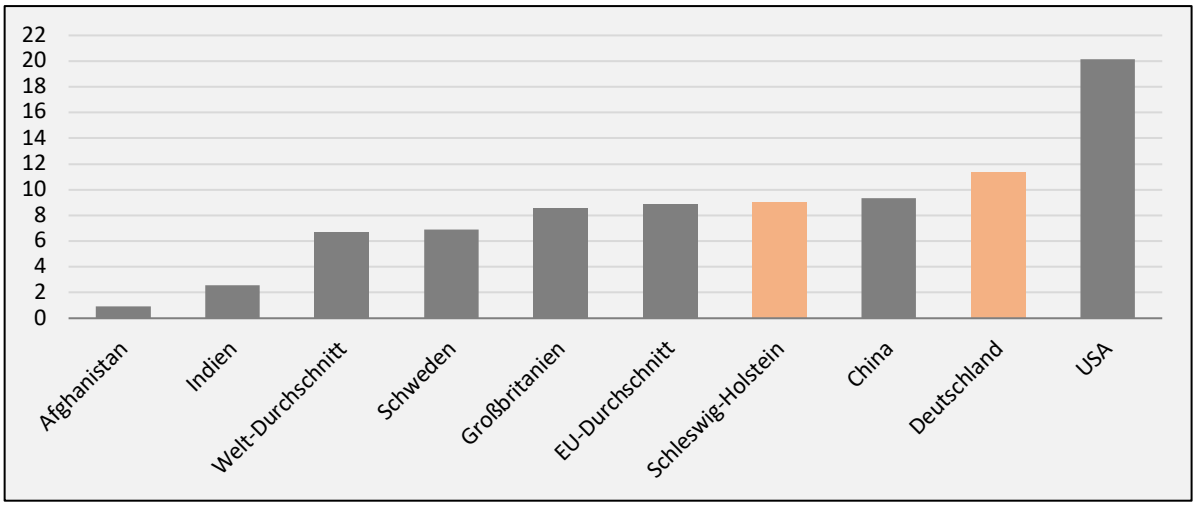
Zweitens: Wenn man darauf schaut, wie viel pro Kopf ausgestoßen wird („CO_2-Fußabdruck“), liegt Deutschland deutlich über dem weltweiten Durchschnitt. Länder wie Indien oder China stoßen mehr aus als Deutschland. Allerdings haben diese Länder auch fast 16-mal so viele Menschen wie Deutschland. Insbesondere China stellt außerdem sehr viele Waren für den Export her, die also nicht in China verbraucht werden.

Schleswig-Holstein liegt wegen der geringen Kohle-Nutzung etwas unter dem deutschen Durchschnitt.

[28] Forschungsgruppe Wahlen e.V. 2020
[29] Siehe z.B. Blackrock 2020, Munich Re 2020
[30] Siehe 350.org 2019

Auch historisch hat Deutschland eine große Verantwortung. Es gehört zu den fünf Ländern, die in der Geschichte über die Hälfte aller Treibhausgase verursacht haben![31]

Grafik 5: Durchschnittlicher „Fußabdruck“ von ausgewählten Staaten
(Treibhausgasausstoß pro Person im Jahr – in Tonnen Kohlendioxid-Äquivalent)[32]



Drittens: Wenn Deutschland als eines der reichsten Industrieländer vormacht, wie es geht, dann ist die Chance, dass die EU das Gleiche tun wird, sehr hoch. Der Anteil der EU an den weltweiten Emissionen liegt immerhin bei zehn Prozent. Dann könnte Europa ein Vorbild sein. Die anderen Länder würden das nachahmen, weil sie sehen, dass es sich wirtschaftlich lohnt. Dazu kommt das Problem, dass in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern wie Indien die Wirtschaft noch rasch wachsen soll, um die Armut zu verringern. Deshalb haben sie die Industriestaaten gebeten, ihnen nicht zu viel abzuverlangen.

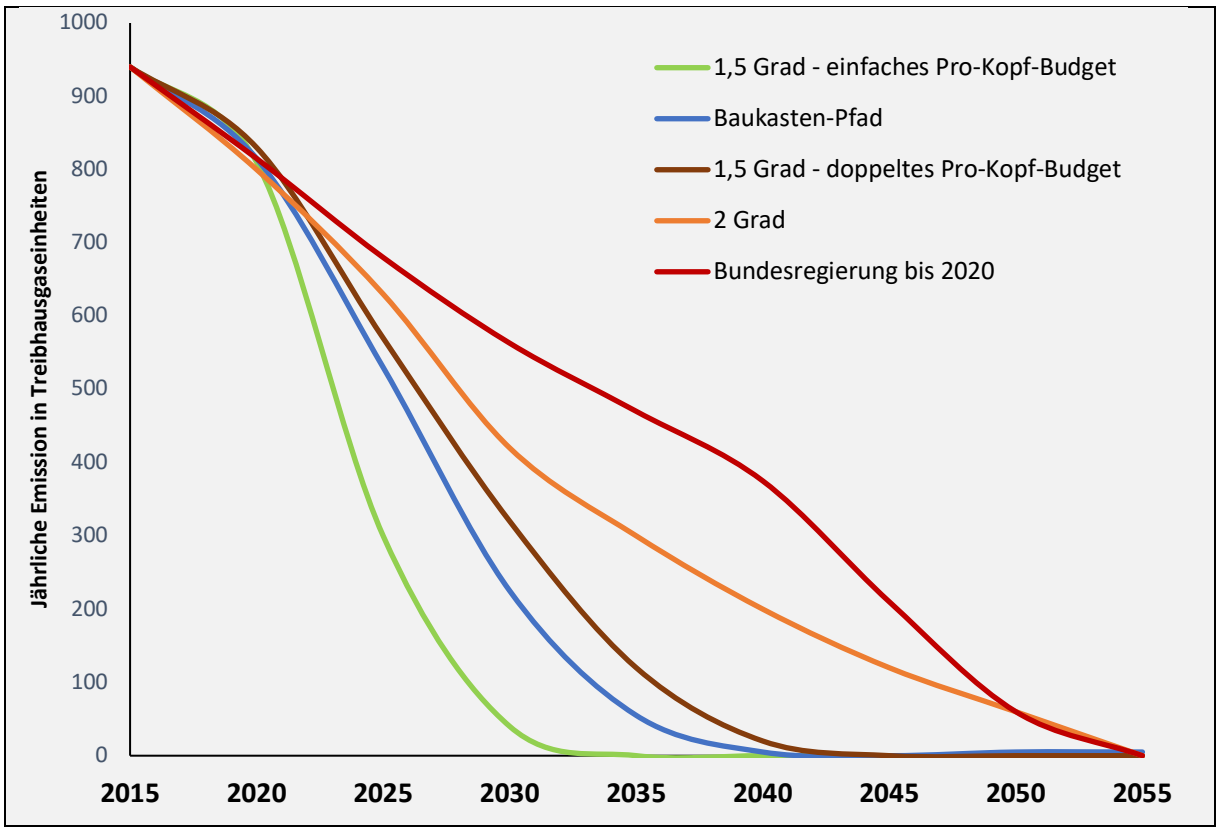
Das „Restbudget“

Wenn das 1,5-Grad-Ziel erreicht werden soll, darf nur noch eine bestimmte Menge an Treibhausgas ausgestoßen werden. Die Wissenschaft hat diese Menge berechnet. Sie ist unser Restbudget. Wenn es aufgebraucht ist, dürfen wir nichts mehr ausstoßen oder wir müssen den Ausstoß teuer kompensieren (siehe Kapitel „Negative Emissionen“). Die Berechnung des Restbudgets ist sehr kompliziert und wird ausführlich in Anlage 1 beschrieben. Da es so schwer ist, das Budget zu berechnen, besteht eine gewisse Unsicherheit. Das heißt, es kann sein, dass uns doch etwas mehr oder weniger zur Verfügung steht. Man kann sich aber daran orientieren.

[31] Ourworldindata.org 2020
[32] European Commission 2020

Die Frage ist nun, wie sich das Restbudget auf die Länder der Welt aufteilt. Je nachdem, wie viel Budget Deutschland beansprucht, ergeben sich unterschiedliche Pfade (siehe Grafik 6). Wenn das Budget der Welt nach Einwohner-Zahl aufgeteilt würde, stünde Deutschland etwa ein Prozent zu. Dann müsste Deutschland bereits 2030 fast klimaneutral werden (grüne Linie). Dieses Ziel ist nur noch mit starken Lebensstiländerungen zu erreichen (siehe Abschnitt „Suffizienz“). Das heißt wir müssten zum Beispiel sofort unseren Fleisch- und Milchkonsum halbieren, Teile der Industrie abstellen und nur noch ein Zimmer der Wohnung heizen.

Grafik 6: Verschiedene Minderungspfade für Deutschland



Heute verbraucht Deutschland pro Kopf doppelt so viel wie der Durchschnitt der Welt. Wenn wir weiterhin so viel beanspruchen, stünde uns die doppelte Menge zur Verfügung (braune Linie). Dann müssten wir ungefähr 2040 fertig sein. Auf dem Pfad, den die orange Linie zeigt, wird nur das Zwei-Grad-Ziel erreicht. Die rote Linie zeigt den Pfad, der zurzeit von der Bundesregierung und der EU geplant ist. Er läuft vermutlich auf eine Erwärmung von mindestens 2,5-Grad hinaus.

Der blaue Pfad stellt den Weg dar, den wir für dieses Handbuch gewählt haben. Er stellt den schnellsten Weg dar, den wir auf Grundlage der wissenschaftlichen Studien für umsetzbar halten, wenn wir keine radikalen Verhaltensänderungen annehmen. Allerdings muss dann jeder Deutsche bis 2040 etwa 1,9-mal so viel Treibhausgase freisetzen dürfen, wie für den durchschnittlichen Weltbürger vorgesehen ist.

Auf diesem Weg muss die gesamte Welt etwa 2045 klimaneutral sein. Dabei nehmen wir an, dass die Reduktion am Anfang schneller erfolgt. Dann bleibt am Schluss etwas mehr Zeit für die wenigen schwierigen Bereiche. Deutschland müsste etwa 2040, also fünf Jahre früher mit der Umstellung fertig werden. Bis 2035 müssen auf diesem Weg bereits 90 Prozent der Emissionen vermieden werden. Danach hat Deutschland noch ein kleines Restbudget bis 2040. Deutschland könnte auf diesem Weg immer noch eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung der Technologien spielen.

Schleswig-Holstein muss seinen Teil leisten, damit der blaue Pfad in Deutschland gegangen werden kann. Was dies bedeutet wird in Teil 2 dieses Handbuchs dargestellt.

Negative Emissionen

Allerdings muss die Gesellschaft nicht „nur“ auf null kommen, also keine Treibhausgase mehr ausstoßen. Es muss sogar wieder Treibhausgas aus der Atmosphäre entfernt werden. Dies nennt man „negative Emissionen“. Dafür gibt es drei Gründe.

1) Einige Kipp-Punkte sind bereits erreicht. Zum Beispiel schmelzen die Permafrostböden in Sibirien. Dadurch werden in den nächsten Jahrzehnten sehr viele Treibhausgase freigesetzt.

2) Manche Emissionen können nicht vermieden werden. Dies betrifft vor allem: Die Herstellung von Zement, Restemissionen des Flugverkehrs, den Methan-Ausstoß von Kühen und anderen Wiederkäuern, Lachgas-Ausdünstungen bei der Düngung von Feldern und Ausdünstungen aus Abwässern. Theoretisch wäre es möglich, alternative Baustoffe zu verwenden, keine Kühe mehr zu halten und nicht zu fliegen. Dies wurde bisher in der Gesellschaft aber nicht als realistische Lösung diskutiert.

3) Langfristig muss auf jeden Fall Kohlendioxid wieder aus der Luft entfernt werden, um das Schmelzen des Eises auf Grönland und der Antarktis zu stoppen. Dies findet in diesem Handbuch noch keine Berücksichtigung. Hierfür müssen rechtzeitig Lösungen gefunden werden, wenn die Welt klimaneutral ist.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten *negative Emissionen* zu erzeugen. Es wird bereits diskutiert, in den kommenden Jahrzehnten Flächen neu zu bewalden, die so groß sind, wie ganz Europa. Bäume speichern Kohlendioxid, wenn sie wachsen. Dies schiebt das Problem aber eigentlich nur auf, denn wenn die Bäume irgendwann verrotten oder verbrannt werden, setzen sie das CO_2 wieder frei.

Alternativ müssen wir den Kohlenstoff von Pflanzen einfangen und unterirdisch lagern.[33] Auch andere Techniken sind in der Diskussion, z.B. gigantisch große Mengen an Gestein zu

[33] Es gibt zwei Verfahren: a) Die Herstellung von Pflanzenkohle (auch Biokohle genannt) erfolgt durch Erhitzung von Biomasse unter Abwesenheit von Sauerstoff. Das CO2 liegt fest gebunden als stabiler Kohlenstoff vor. Pflanzenkohle ist im Mittel mehrere Hundert bis 1000 Jahre im Boden stabil und könnte auch in Ackerböden eingearbeitet werden. B) Bei BECCS (Bio Energy with Carbon Capture and Storage) wird die Energieproduktion aus der Biomasse schnell wachsender Pflanzen mit der Abscheidung und Speicherung von CO2 kombiniert. Dabei erfolgt eine Speicherung des gasförmigen CO_2 in unterirdischen geologischen Formationen.

zerbröseln und in die Ozeane zu schütten, da dadurch CO_2 gebunden wird. Diese Techniken sind aber noch nicht ausgereift, sehr teuer und stark umstritten. Erstens ist nicht sicher, in welcher Größenordnung sie überhaupt funktionieren. Zweitens haben sie wahrscheinlich negative Nebeneffekte.[34]

In jedem Fall ist klar: Es ist sehr viel leichter, günstiger und sicherer Treibhausgas einzusparen, als es später wieder aus der Luft zu entfernen.

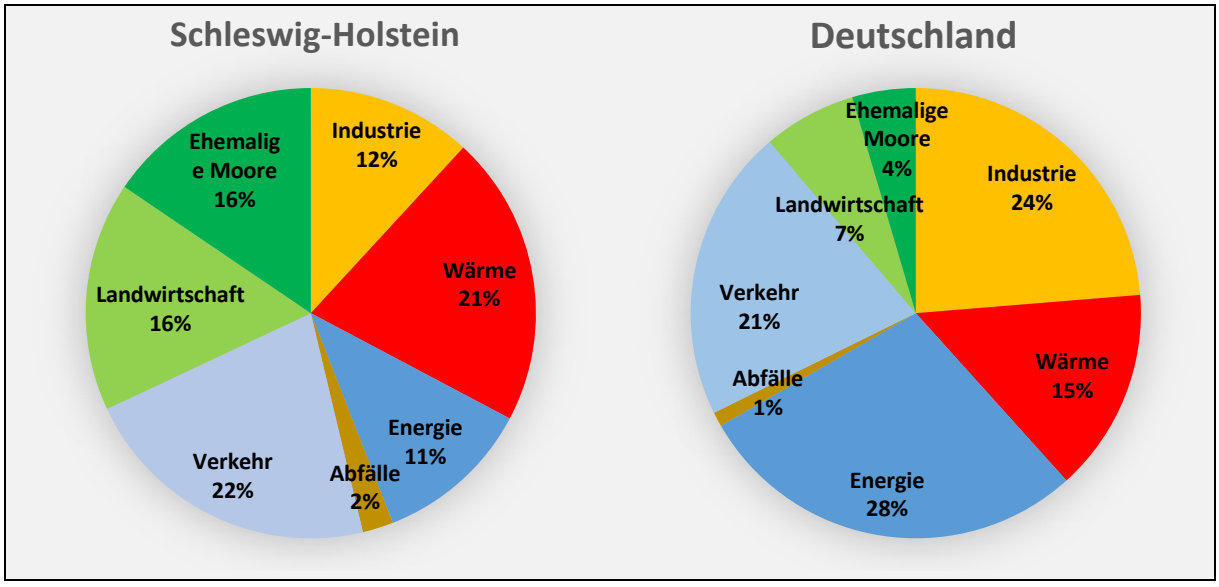
Was sind die Treibhausgas-Quellen in Schleswig-Holstein?

Schleswig-Holstein stößt zurzeit pro Jahr circa dreißig Treibhausgaseinheiten aus. Würde sich nichts ändern wäre unser Budget bereits 2026 vollständig aufgebraucht!
In Grafik 7 ist dargestellt, wie sich die Emissionen auf einzelne gesellschaftliche Bereiche (Sektoren) verteilen.

Die Situation in Schleswig-Holstein unterscheidet sich von der in Deutschland hauptsächlich in den Sektoren Energie, Industrie, Landwirtschaft und Bodennutzung (das sind vor allem trockengelegte Moore). Die wichtigsten Unterschiede sind:

- Der Energiesektor umfasst die Stromerzeugung. Die Emissionen entstehen durch die Verbrennung von Erdgas, Kohle und Müll. Schleswig-Holstein hat einen großen Anteil von Windrädern an der Stromerzeugung und gleichzeitig wenige Kohlekraftwerke. Die Emissionen des Energie-Sektors sind deshalb geringer als in Deutschland.
- Schleswig-Holstein hat weniger große Industrie-Anlagen als andere Bundesländer. Deshalb ist der Anteil des Industrie-Sektors geringer als in Deutschland. Die Treibhausgase werden hauptsächlich von Raffinerien und der Zement-Produktion verursacht.

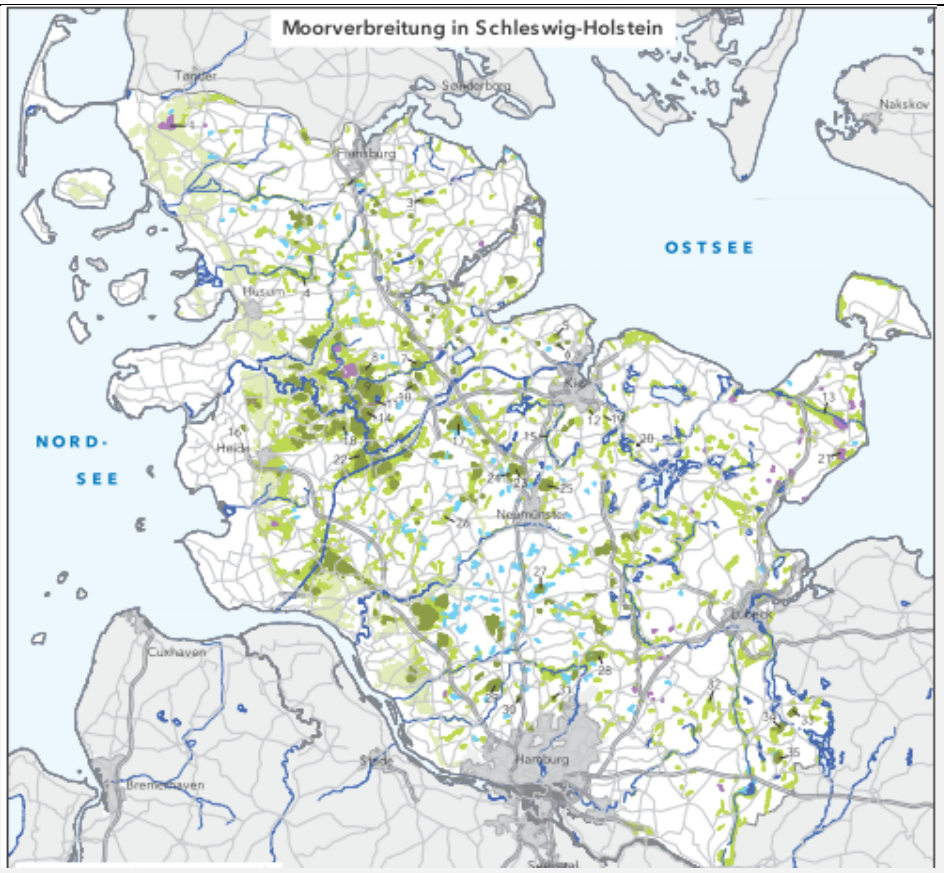
Grafik 7: Verursacher der Treibhausgas-Emissionen in Schleswig-Holstein



[34] Siehe Lawrence u.a. 2018

- Schleswig-Holstein hat sehr viel Landwirtschaft. Der Anteil ist deshalb im Vergleich zu Deutschland mehr als doppelt so groß. Die größten Treibhausgas-Quellen in diesem Bereich sind die Kühe zur Fleisch- und Milchproduktion. Diese stoßen bei der Verdauung Methan-Gas aus. Auch die Gülle dünstet Treibhausgas aus, wenn sie nicht luftdicht gelagert wird. Auch bei der Düngung von Feldern entsteht viel Treibhausgas in Form von Lachgas.
- Der Bereich, in dem sich Schleswig-Holstein am stärksten unterscheidet, ist die Bodennutzung. Das kommt daher, dass es in Schleswig-Holstein in früheren Zeiten zu fast einem Fünftel aus Mooren und Feuchtgebieten (sogenannte „Anmoore“) bestand, die trockengelegt wurden (siehe Grafik 8[35]). Diese stoßen in großem Maß Treibhausgase aus. Die einzige Möglichkeit diesen Ausstoß zu verringern ist es, die Flächen wieder zu vernässen (siehe Abschnitt „Landwirtschaft“).

Grafik 8: Moore in Schleswig-Holstein



*Die grünen Stellen sind Moorböden. Man kann sehen, dass diese über ganz Schleswig-Holstein verteilt sind. Besonders dicht liegen die Moore aber an den Ufern der Eider.

Die Sektoren Wärme, Verkehr und Abfall unterscheiden sich in Schleswig-Holstein kaum von denen in Deutschland.

[35] Siehe Landesamt für Landwirtschaft Umwelt und ländliche Räume 2015

- Im Verkehrssektor sind die größten Quellen sind PKW-Verkehr, der LKW-Verkehr und die Flüge. Schleswig-Holstein hat zwar keine internationalen Flughäfen, aber wir haben hier einen Anteil an den gesamtdeutschen Emissionen durch Flugverkehr zu Schleswig-Holstein gerechnet. Bahnen und Schiffe spielen nur eine kleine Rolle.
- Die Emissionen im Wärme-Sektor entstehen durch Öl- und Gas-Heizungen sowie durch die Erzeugung von Fernwärme. Der Anteil der Emissionen ist etwas höher als in Deutschland. Das wird wahrscheinlich durch das kühlere Klima und den Wind verursacht.[36]
- Die Emissionen im Bereich Abfälle entstehen durch Ausdünstungen von Müll-Deponien Abwasser-Rohren und Kläranlagen.

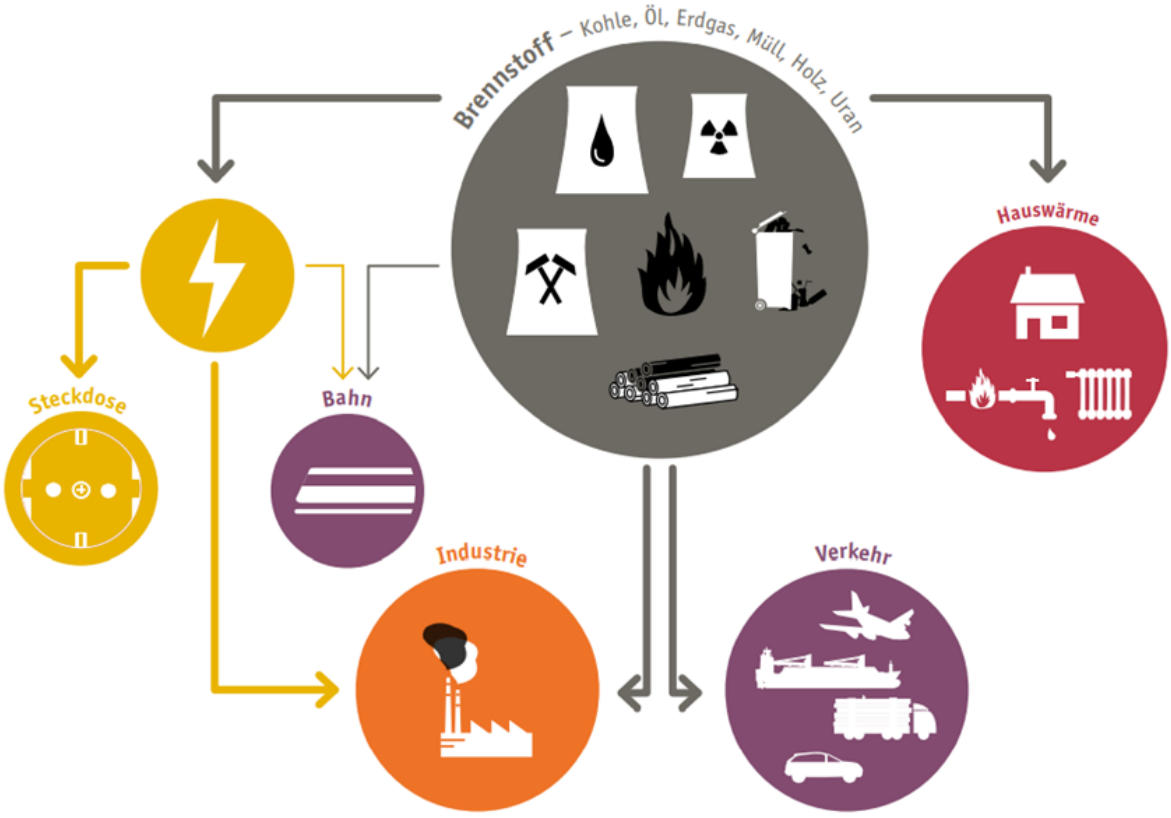
[36] Auch durch die geringen Emissionen der Sektoren Energie und Industrie fällt die Wärme mehr ins Gewicht.

Teil 2: Wie könnte eine klimaneutrale Gesellschaft aussehen?

Worin unterscheidet sich die klimaneutrale Gesellschaft der Zukunft von der alten „fossilen“ Gesellschaft?

Im Zentrum des alten Energiesystem (siehe Grafik 9) steht die Energieerzeugung durch die fossilen Brennstoffe Kohle, Öl und Erdgas. Hinzu kommt Uran in den Kernkraftwerken. Einziger erneuerbarer Brennstoff ist Holz. Aus den Brennstoffen wird die Wärme für die Häuser, die Motorkraft für den Verkehr und die Industrie und der Strom gewonnen. Dabei entstehen große Umwandlungsverluste. Ein Verbrennungsmotor kann beispielsweise je nach Größe nur zwischen 20 und 40 Prozent der Energie, die im Kraftstoff steckt, in Bewegung umsetzen. Der Rest geht in Form von Wärme verloren.

Grafik 9: Das alte Energiesystem

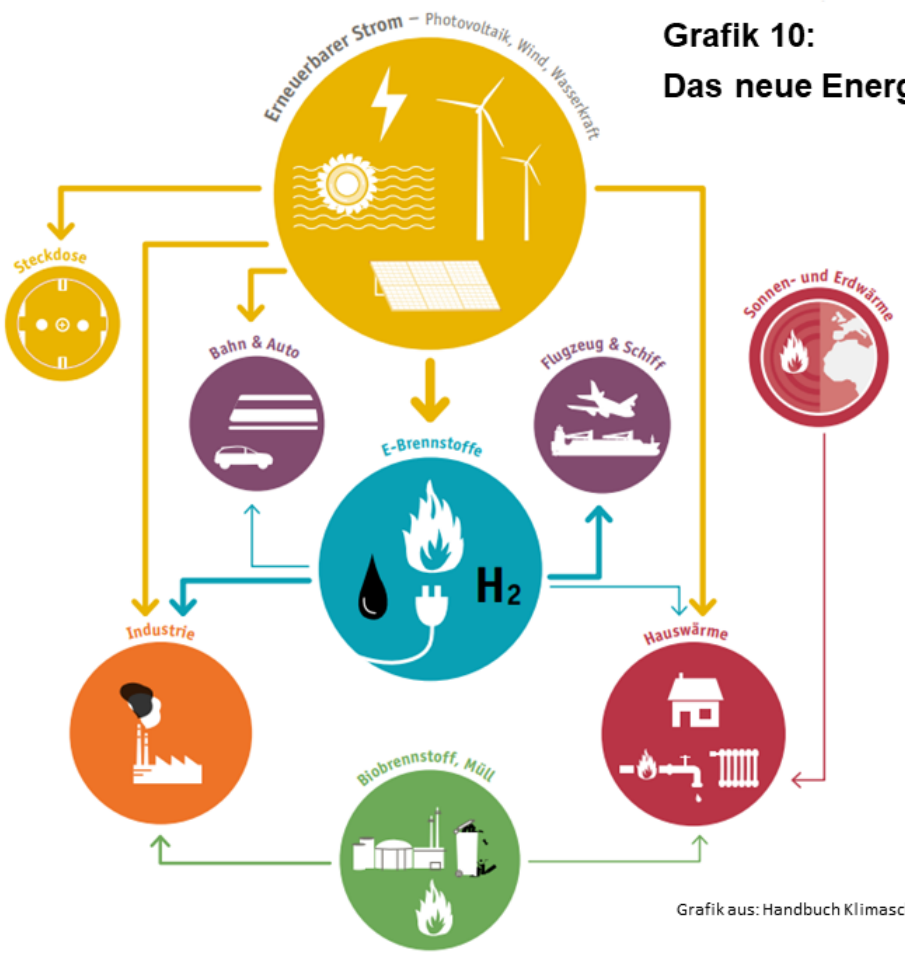


Grafik aus: Handbuch Klimaschutz, oekom 2020

Das Energiesystem der Zukunft

In Zukunft wird es genau umgekehrt sein: Die Grundlage des Systems wird Strom sein. Die wichtigsten Stromquellen sind Wind und Sonne. Mit dem Strom werden Fahrzeuge angetrieben und Häuser geheizt (siehe Infobox 4 „Wärmepumpe“). Der Strom kann auch in Industrieprozessen eingesetzt werden, die vorher fossile Brennstoffe benötigten. Die direkte Verwendung des Stroms ist sehr effizient, das heißt, es entstehen wenige Verluste. Aus technischen Gründen ist es nicht möglich alles auf direkte Stromnutzung umzustellen. Die meisten Flugzeuge und Schiffe können nicht elektrisch betrieben werden. Auch an einigen anderen Stellen wird es weiterhin Brennstoffe geben. Diese stammen aber nicht aus der Erde, sondern werden mit Hilfe von grünem Strom erzeugt („E-Brennstoffe“, siehe Infobox 3). Deswegen sind sie klimaneutral.

Weitere ergänzende Energiequellen sind Bio-Brennstoffe sowie Wärmequellen wie Erdwärme, Luftwärme und direkte Sonnenwärme. Berechnungen ergeben, dass das neue System nicht teurer werden muss als das alte. Aber es werden große Investitionen erforderlich sein, um die notwendige Infrastruktur zu schaffen.



Grafik 10:
Das neue Energiesystem

Grafik aus: Handbuch Klimaschutz, oekom 2020

Infobox 3: E-Brennstoffe

Die unterschiedlichen Bezeichnungen führen manchmal zu Verwirrung. Wir unterscheiden:

- **E-Brennstoffe**: Dies sind elektrisch erzeugte Brennstoffe wie E-Methan-Gas, E-Kerosin oder E-Diesel, die aus Wasserstoff und Kohlenstoff erzeugt werden. Wasserstoff kann aus Wasser gewonnen werden. Allerdings braucht es dafür Strom. Wenn dieser erneuerbar erzeugt wurde (z.B. mit Windrädern), ist auch der Wasserstoff klimaneutral. Man spricht dann auch von „grünem Wasserstoff". Der grüne Wasserstoff kann dann weiterverarbeitet werden zu E-Brennstoffen. Dazu braucht es noch Kohlenstoff. Dieser kann theoretisch aus der Luft gewonnen werden. Das ist aber sehr teuer. Man kann den Kohlenstoff auch aus den Abgasen von Verbrennungsprozessen gewinnen. Das nennt man CCU (Carbon Capture and Use). E-Brennstoffe sind klimaneutral, da der Kohlenstoff, der bei der Verbrennung entsteht, vorher aus der Luft geholt wurde. Allerdings braucht die Herstellung sehr viel Strom.
- **Agro-Brennstoffe**: Dies sind Brennstoffe, die aus Energie-Pflanzen (vor allem Mais und Raps) gewonnen werden. „E10", das zurzeit in Deutschland dem Benzin beigemischt ist, ist beispielsweise ein Agro-Brennstoff. Der Anbau von Energiepflanzen hat viele Nachteile (siehe Kapitel „Landwirtschaft").
- **Bio-Brennstoffe**: Dies sind Brennstoffe, die aus der Vergärung von organischen Reststoffen gewonnen werden, beispielsweise Gülle oder Speiseresten.

Der Weg zur Klimaneutralität

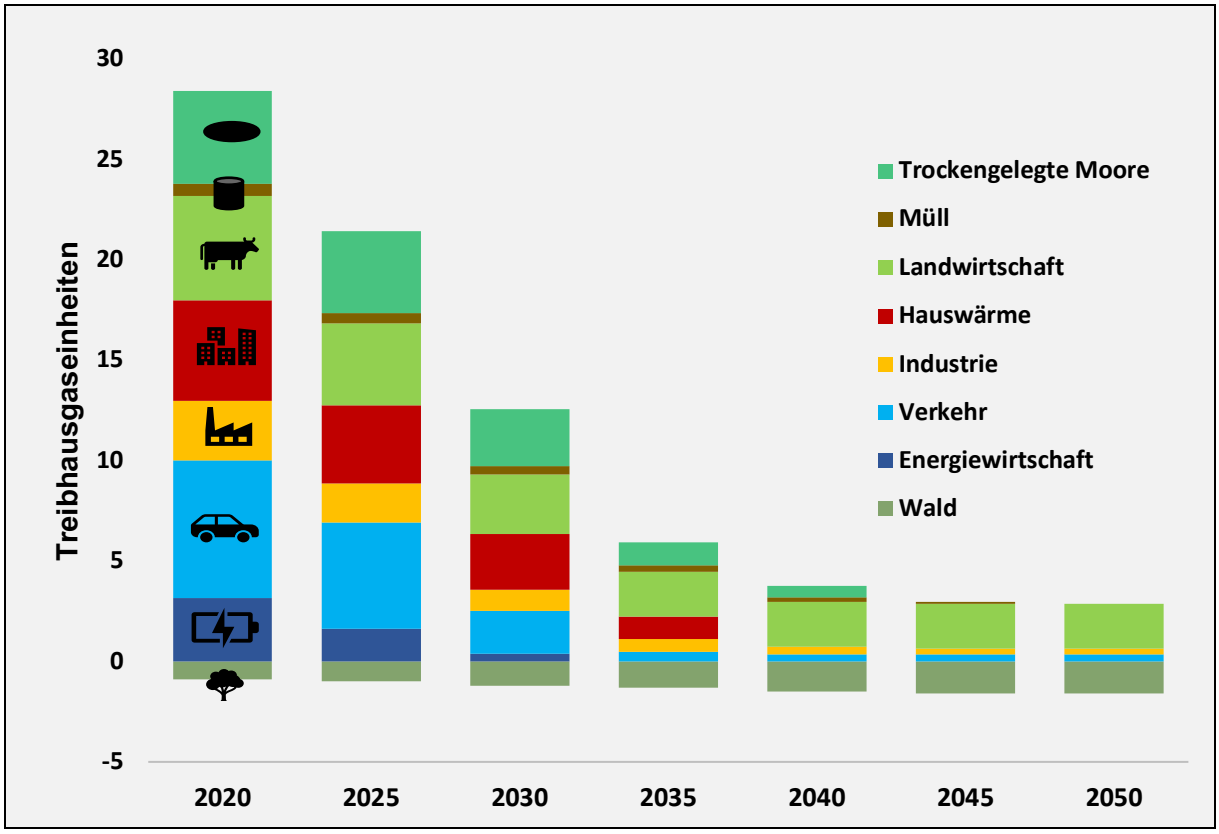
In Grafik 11 ist dargestellt,[37] wie der Treibhausgas-Ausstoß in den einzelnen Sektoren sich entwickeln sollte, wenn Schleswig-Holstein einen angemessenen Beitrag für das 1,5-Grad-Ziel leisten soll.

Bereits innerhalb der nächsten 10 Jahre müssen über die Hälfte der Emissionen reduziert werden. Ab 2030 ist die Stromerzeugung dann treibhausgasfrei. Die Hauswärme und der Verkehr brauchen etwas länger und werden zwischen 2035 und 2040 klimaneutral. Ab dann bleiben noch etwa 10% der heutigen Emissionen übrig. Diese stammen aus der Landwirtschaft, der Zement-Herstellung und dem Flugverkehr.[38] Sie sind, soweit wir heute wissen, nicht vermeidbar. Damit Schleswig-Holstein in der Summe klimaneutral wird, müssen diese Emissionen deshalb ausgeglichen werden. Dies kann durch Aufforstung geschehen. Allerdings reicht das nicht aus. Es müssen noch in anderen Bundesländern Wälder gepflanzt werden, damit Schleswig-Holsteins Emissionen ausgeglichen werden. Dies liegt daran, dass Schleswig-Holstein so einen großen Landwirtschafts-Sektor hat.

[37] Für die Zahlen zur Grafik siehe Anlage 4

[38] Ob die ehemaligen Moorböden durch Vernässung treibhausgasneutral werden können, oder Restemissionen bleiben, ist noch nicht geklärt.

Grafik 11: Der Weg zur Klimaneutralität



In Teil 3 und 4 werden nun die Maßnahmen beschrieben, wie Klimaneutralität erreicht wird.

Teil 3: Rahmenbedingungen für die Transformation

In diesem Teil des Handbuchs werden Maßnahmen beschrieben, die für alle Sektoren eine Rolle spielen.

Energieeinsparung und Lebensstil-Änderung

Ein wesentlicher Schritt auf dem Weg, Verkehr, Häuser, Industrie und andere Bereiche treibhausgasneutral zu machen, ist die Einsparung von Energie und Rohstoffen.

Energieeinsparung

Auf dem von uns vorgeschlagenen Weg kann der jährliche Energiebedarf sinken. Die größten Einsparungen werden erzielt durch diese Maßnahmen:

- Der Heizbedarf kann durch die Wärmedämmung der Häuser halbiert werden.
- Durch den Einsatz von Wärmepumpen (siehe Infobox 4) als Heizungen wird doppelt so viel Wärme mit der gleichen Energiemenge bereitgestellt.
- Der Wirkungsgrad von Elektroautos ist dreimal so groß wie bei Verbrennungsmotoren.
- Durch Car-Sharing wird die tägliche Nutzungszeit der PKW erheblich anwachsen. Dann müssen weniger Autos produziert werden, was Energie spart.
- In der Industrie und in den Haushalten werden viele weitere energiesparende Techniken zum Einsatz kommen. Dadurch kann der klassische Strombedarf (ohne Wärmepumpen und E-Autos) um 20% sinken.

Suffizienz (= weniger Konsum)

Durch technische Verbesserungen können mit der gleichen Energiemenge mehr Leistungen erzielt werden („Effizienz“). Ein Beispiel sind Automotoren. Früher verbrauchten Motoren mehr Treibstoff bei kleinerer PS-Zahl. In allen gesellschaftlichen Bereichen gab es technische Verbesserungen. Gleichzeitig zeigt sich, dass diese Verbesserungen nicht automatisch dazu führen, dass weniger Treibhausgase ausgestoßen werden. Das liegt daran, dass immer mehr konsumiert wird. Motoren werden zwar effizienter, aber es wird mehr gefahren und es gibt mehr Autos. Die Wohnfläche pro Einwohner in Deutschland ist seit 1996 um 25 Prozent gestiegen. Die Zahl der Flugreisen nahm sogar seit 2004 um 64 Prozent zu.[39] Verzicht ist in vielen Fällen die einfachste, schnellste und günstigste Klimaschutzmaßnahme. Suffizienz hilft außerdem dabei, dass nicht zu viele Rohstoffe benötigt werden.

Die meisten Studien setzen aber vor allem auf technische Lösungen um klimaneutral zu werden. Der Grund ist, dass man annimmt, dass die meisten Menschen zum Verzicht („weniger

[39] Siehe Kersting 2019

Fleisch“, „weniger fliegen“ und so weiter) nicht bereit sind. Ein weiterer Grund könnte sein, dass Veränderungen des Kauf-Verhaltens können in einer Demokratie nur schwer vorgeschrieben oder im Parlament beschlossen werden. Änderungen können meist nur über höhere Preise erreicht werden und um diese zu beschließen braucht es Rückhalt in der Bevölkerung. Auf Grund der Studienlage konzentrieren auch wir uns in diesem Papier stärker auf Effizienz, als auf Suffizienz.

Es gibt aber auch einige Studien, die starke Suffizienz-Maßnahmen annehmen. In der Vorlage für den Klima-Bürgerrat in Frankreich, der von Oktober 2019 bis Januar 2020 durchgeführt wurde, schätzten die Autoren, dass durch Verhaltensänderungen der Bürger ein Viertel der Emissionen eingespart werden kann.[40]

Auch das Umweltbundesamt hat in einer neuen Studie mit starken Suffizienz-Maßnahmen gerechnet.[41] Die Studie betont, dass die Umstellung auf Klimaneutralität nicht mehr ohne Suffizienz-Maßnahmen zu schaffen ist. Der Grund besteht darin, dass die technischen Umstellungen sehr viele Rohstoffe brauchen. Diese werden aber auch von anderen Ländern für die Umstellungen gebraucht. Wenn Deutschland einen fairen Beitrag zur weltweiten Umstellung leisten will, darf es deshalb nicht zu viele Rohstoffe in Anspruch nehmen.

Der Konsum der Deutschen hat erhebliche Auswirkungen auf den Ausstoß von Treibhausgasen und den Verbrauch von Flächen und Rohstoffen in anderen Staaten.[42] Denn wir kaufen viele Produkte, die in anderen Ländern produziert werden und deren Treibhausgasemissionen dort angerechnet werden. Durch den zunehmenden Welthandel gibt es immer mehr Emissionen, die in einem Land ausgestoßen werden, aber durch den Konsum eines anderen Landes verursacht werden.[43] Durch Suffizienz können Deutschlands Emissionen im Ausland reduziert werden. Das gleiche gilt für den Verbrauch von Rohstoffen und Flächen.

Maßnahmen im Bereich Suffizienz

Im Folgenden haben wir einen Überblick über mögliche Suffizienz-Maßnahmen aus einer Studie des Umweltbundesamtes zusammengestellt.[44] Daraus haben wir folgende Maßnahmen berücksichtigt:

- Weniger Autos: Viele Städte arbeiten bereits daran, fußgänger- und fahrradfreundlicher zu werden, Bus und Bahn auszubauen und attraktiver zu machen. Auch Car-Sharing nimmt zu.
- Reduzierung des Fleisch- und Milchkonsums: Der Verbrauch von Rindfleisch und Milch wird durch Aufklärung und Preissteigerungen für Treibhausgas-Emissionen deutlich zurückgehen.

[40] Siehe Convention Citoyenne 2019
[41] Siehe UBA 2019/3
[42] Siehe Destatis 2019/1, Destatis 2019/2
[43] Siehe Hertwig u.a. 2018.
[44] Siehe UBA 2018/1

Nicht berücksichtigt wurden Vorschläge des Umweltbundesamtes, die sich nicht verordnen lassen:

- Heiztemperatur in der Wohnung senken.
- Wohnfläche reduzieren: Seit Jahren wächst die Fläche pro Person stetig.
- Warmwasserverbrauch verringern und/oder die Temperatur des Wassers senken.
- Weniger Haushaltsgeräte – zum Beispiel Verzicht auf Geräte wie Wäschetrockner und Klimaanlagen.

Folgende Maßnahmen aus der Studie haben wir zumindest teilweise berücksichtigt, wobei man darüber streiten kann, ob sie wirklich unter Suffizienz fallen:

- Flugverkehr: Wir haben berücksichtigt, dass der Flugverkehr wegen höherer Preise nicht so schnell wächst, wie vom Verkehrsministerium prognostiziert.
- Weniger Lebensmittelabfälle: Dies haben wir zum Teil berücksichtigt (siehe nächster Abschnitt)
- Effizientere elektrische Geräte: Wir haben berücksichtigt, dass durch Maßnahmen der Regierung effizientere Geräte verkauft und genutzt werden und ein Viertel des Stroms eingespart wird.

Vermeidung von Lebensmittelabfällen[45]

In Deutschland werden nach Studien des WWF und des Thünen-Instituts jährlich zwischen zwölf bis zwanzig Millionen Tonnen Lebensmittel weggeworfen. Der größte Teil davon wird in den privaten Haushalten entsorgt, danach folgen in der Reihenfolge ihrer Anteile die Lebensmittelindustrie, die Gaststätten und Kantinen, die Landwirtschaft sowie der Groß- und Einzelhandel. Die Hälfte der Abfälle könnte etwa vermieden werden. Dann müssen weniger Lebensmittel produziert werden, so dass insgesamt sechs Treibhausgaseinheiten (TE) Emissionen eingespart werden.vv

Maßnahmen zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen

- Verbraucherinformation – Aufklärungsmaßnahmen über den bewussten Umgang mit Lebensmitteln finanzieren
- Optimierung der Produktionsprozesse und der Logistik von Lebensmitteln
- Gesetzliche Verpflichtung, dass Lebensmittel vor dem Verfallsdatum kostenlos an Verteilstellen weitergegeben werden müssen und nicht mehr entsorgt werden dürfen.
- Lebensmittel, die in Form und Gestalt nicht den genormten Standards entsprechen, sollen nicht mehr entsorgt werden, sondern kostengünstig in den Handel oder an Verteilstellen weitergegeben werden.

[45] Siehe Öko-Institut 2019, BMEL 2019, Thünen 2019, WWF 2015

- Nutzung der Rest-Abfälle für die Schweinemast, die Verwertung zu Biogas und Kompost

Die Finanzierung der Umstellung

Wissenschaftler unterschiedlicher Institute haben die Umstellung durchgerechnet. Das Fraunhofer IWES kam dabei zu folgendem Ergebnis:[46] Die Energiewende ist ein Investitionsvorhaben ohne Risiko. Es führt zu großen Gewinnen für die Gesellschaft (Rendite vier bis sieben Prozent). Die laufenden Kosten für neue Anlagen machen in Zukunft nur noch einen Bruchteil der heutigen Kosten für fossile Brennstoffe aus. Dazu kommen positive Auswirkungen für die Wirtschaft und neue Arbeitsplätze. Die Energiewende würde sich sogar im nationalen Alleingang lohnen.

Insgesamt haben sie die Gesamtkosten der Energiewende für Deutschland auf 1,5 bis zwei Billionen Euro berechnet. Der größte Teil davon fällt auf den Ausbau der Wind- und Solarkraftwerke und auf die Dämmung der Häuser.

Ein Großteil der Investitionen trägt sich aber von selbst. Schon heute beteiligen sich viele Menschen und Unternehmen mit Investitionen an den Erneuerbaren Energien. Das gleiche gilt für große Teile der Infrastruktur wie den Ausbau der Bahn, den Bau von Stromtrassen, von Oberleitungen für LKW an den Autobahnen, für Stromspeicher und so weiter. Hier braucht der Staat nichts zu zahlen, er muss vor allem aber die rechtlichen Rahmenbedingungen schaffen. Insbesondere bei der Sanierung der Häuser stellt sich die Situation schwieriger dar. Die meisten Bürger tätigen nicht gerne langfristige Investitionen. Daher sollte der Staat im privaten Bereich einen Teil der Kosten für die Energiewende vorfinanzieren. Einige Wirtschaftszweige können den Übergang aber nicht selbst finanzieren und müssen beim Neubau oder Umbau ihrer Anlagen aus Steuermitteln unterstützt werden. Dies gilt in Schleswig-Holstein vor allem für die Grundstoffchemie in Brunsbüttel und Hemmingstedt sowie für die Zementindustrie. Aber selbst das würde sich am Schluss volkswirtschaftlich rentieren.[47] Auch die Erhöhung des Anteils der Wälder wird erhebliche staatliche Mittel erfordern.[48]

Insgesamt würden im Land Schleswig-Holstein Gesamtkosten von sechzig Milliarden Euro in zwanzig Jahren anfallen. Rechnet man einen Anteil des Staates in Höhe von zehn Prozent (Investitionen und Fördermittel) und davon einen Anteil des Landes und der Kommunen von

[46] Siehe Fraunhofer IWES 2014 – mehr dazu auch in BBK 2020

[47] Siehe Dechema 2019

[48] Das Problem bei der Neuwaldbildung liegt darin, dass eine Rendite erst nach Jahrzehnten zu erwarten ist. Die teuerste Variante wäre die, dass das Land (finanziert zumindest teilweise mit EU-Mitteln oder Bundesmitteln) die Flächen kauft und bewaldet. Das würde in Schleswig-Holstein für knapp 4% der Landesfläche (30% mehr Wald) eine Größenordnung von 2 Milliarden bedeuten. Deutlich günstiger wird es, wenn private engagierte Investoren solche langfristigen Investitionen tätigen und dafür Zuschüsse bekommen.

fünfzig Prozent, dann muss das Land Schleswig-Holstein jährlich 150 Millionen Euro finanzieren – also eine durchaus realistische Größenordnung.[49]

Würde man die Umstellung bis 2040 über Kredite finanzieren, würde der sogenannte „Break-Even"-Punkt spätestens nach fünfzehn Jahren erreicht. Ab diesem Zeitpunkt kann also begonnen werden, den Kredit zurück zu zahlen. Je nach Annahme des Zinssatzes und der Steigerung der Energiekosten dauert es dann noch weitere zehn bis fünfzehn Jahre, bis die Kredite für die Finanzierung der Energiewende getilgt sind.[50] Sobald der Staat anfängt zurückzuzahlen, könnte er die Bürger an den Einsparungen beteiligen. Nach zwanzig Jahren würden dann die Bürger sogar von Jahr zu Jahr mehr von der Energiewende profitieren.

Nachhaltigkeit in der Finanzbranche

Einen wichtigen Beitrag zur Finanzierung der Umstellung kann das sogenannte „Divestment" leisten. Es ist das Gegenteil von Investment. Dabei wird Geld aus problematisch angesehenen Industrien wie Atomkraft, Erdöl- oder Kohlekraftwerken abgezogen. Danach wird es in zukunftsfähige Industrien wie Solarzellen oder Elektroautos investiert.

Eine Studie der Zeitschrift Economist hat ergeben, dass das Risiko für die weltweiten Vermögen durch die fossile Blase auf die ungeheure Summe von 43 Billionen Dollar geschätzt wird.[51] Mittlerweile steigen bereits immer mehr Großanleger auf „grün" um. Vorreiter sind die großen Versicherungsgesellschaften wie AXA, Munich RE, Swiss Re, Allianz und Züricher, die die Risiken der Klimaerwärmung in ihrer Risikoabschätzung einplanen.[52]

Allgemeine Finanzierungs-Maßnahmen

- In jedem Politikbereich müssen die Gesamt-Kosten der Umstellung festgestellt werden. Danach muss analysiert werden, welche Maßnahmen privat finanziert werden können und welche Investitionen oder Anreize der Staat finanzieren muss.
- Die Mittel können über Sondermittel des Staates oder über Kredite der staatlichen Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) oder der Europäischen Investitionsbank (EIB) bereitgestellt werden. So werden die optimalen Konditionen erreicht.

[49] Das ist nur eine pauschale Überschlagsrechnung, um eine Vorstellung von der finanziellen Dimension zu bekommen. Angenommen wurde, dass die Umstellung auf eine treibhausgasneutrale Gesellschaft in Schleswig-Holstein pro Kopf genauso viel kostet, wie im Bundesschnitt (siehe dazu BBK 2020). Wieviel davon jedoch von der EU, dem Bund, dem Land und den Kommunen finanziert werden muss, hängt von der Ausgestaltung der Gesetze ab.

[50] Fraunhofer IWES 2014 hat die Rechnung für eine Umstellung bis 2050 aufgestellt. Will man das 1,5-Grad-Ziel erreichen, dann muss die Umstellung allerdings schon bis 2040 erreicht sein. Daher muss in den ersten Jahren deutlich mehr investiert werden. Allerdings sinken dann die Kosten für fossile Brennstoffe ebenfalls viel früher und schneller. An den grundsätzlichen Aussagen der Studie würde sich dadurch nichts ändern. Der Zeitraum bis zum Erreichen des Break-Even-Punktes könnte sich sogar verkürzen.

[51] Siehe Rifkin 2019

[52] Siehe z.B. Munich Re 2020

Maßnahmen für Schleswig-Holstein

- Länder und Bund müssen klären, wie die Lastenverteilung zwischen EU, Bund, Ländern und Kommunen erfolgen soll. Die Schwerpunkte des Landes werden vermutlich bei der Sanierung der Häuser, beim Ausbau der Verkehrsinfrastruktur und bei der Unterstützung der mittelständischen Wirtschaft liegen.
- Das Land wird auch bei den überwiegend vom Bund (z. B. Umstellung der Industrie) und von der EU (Umstellung der Landwirtschaft) finanzierten Bereichen eine wichtige Aufgabe bei der Umsetzung der Programme haben.
- Dazu müssen sich alle Behörden des Landes und der Kommunen auf diese Aufgabe einstellen. Insbesondere die Kommunen und ihre Sparkassen haben bei der Beratung und der Finanzierung für die Sanierung des Gebäudebestandes eine entscheidende Aufgabe.
- Wichtige Institutionen für die Umstellung sind die Investitionsbank des Landes, die Landesverkehrsgesellschaft Nah-SH, die Organisationen der Wirtschaftsförderung wie die WTSH und auf kommunaler Ebene auch die Sparkassen.
- Schließlich müssen die einschlägigen Verbände wie die Landwirtschaftskammer, die IHKs, die Handwerkskammern usw. ins Boot geholt werden.

Treibhausgas-Preise

Wir gehen davon aus, dass die Einführung eines Treibhausgas-Preises auf Bundesebene geschieht. Von einem Treibhausgas-Preis (oder einfach CO_2-Preis) spricht man, wenn eine Person oder Firma, die Treibhausgase freisetzt, dafür etwas bezahlen muss. Alle vorliegenden Studien halten die Einführung eines Preises für Treibhausgas-Emissionen für sinnvoll.
Soll das 1,5-Grad Ziel erreicht werden, dann sollte der Preis im Jahr 2030 zwischen 80 und 180 Euro pro Tonne Kohlendioxid liegen. Für 2040 liegen die Empfehlungen der Studien zwischen 140 und 325 Euro. Als Einstiegspreise werden Preise zwischen 30 und 70 Euro – bei einigen auch über 100 Euro – empfohlen.[53]

Wir wählen daher im Folgenden diesen Kompromiss:[54] Der bestehende Treibhausgas-Preis wird auf 50 Euro pro Tonne Kohlendioxid-Äquivalent erhöht und dann jährlich um zehn Euro angehoben. 2030 würde dann ein Preis von 150 Euro erreicht werden, 2040 würde dann 250 Euro erreicht. Der Preis sollte jährlich von einer unabhängigen Kommission überprüft und ggf. nachjustiert werden.

Allerdings soll der Preis um weitere begleitende Maßnahmen ergänzt werden, damit er von Bürgern und Wirtschaft akzeptiert wird und gut funktionieren kann.

[53] Siehe BBK 2020

[54] Eine ausführliche Diskussion der möglichen Gestaltung des Treibhausgaspreises findet sich in BBK 2020

Maßnahmen zur Treibhausgas-Bepreisung

- Der bestehende Preishausgas-Preis wird auf 50 Euro pro Tonne Kohlendioxid-Äquivalent erhöht und dann jährlich um zehn Euro angehoben.
- Abschaffung aller klimaschädlichen Subventionen (zum Beispiel die Steuerbefreiung von Kerosin)[55]
- Kompensation der Belastungen für die Bürger:[56]
    - Zwei Drittel der Abgaben der Bürger werden durch ein festes Klimageld zurückgezahlt. Es könnte anfangs 150 Euro im Jahr pro Person einschließlich der Kinder betragen. Dadurch würden vor allem Niedrigverdiener und Eltern mit Kindern Vorteile haben. Das wäre fair, da sie heute den geringsten Fußabdruck haben.
    - Alternativ wird auch eine Senkung der Abgaben und Umlagen auf Strom vorgeschlagen.[57]
    - Für Pendler wird ein Pendlergeld anstelle der Entfernungspauschale vorgeschlagen.
    - Für Menschen mit alten großen oft noch ölbeheizten Häusern sollte es einen „Härtefall-Fond“ geben.
- Kompensationen für die Industrie:[58]
    - Die Firmen bekommen die Hälfte bis zu zwei Drittel der Treibhausgas-Abgaben zurück. Die Rückerstattung kann entsprechend der Lohnsumme des Betriebes erfolgen.
    - Es muss Sonderregelungen für Grundstoffindustrien geben, solange es keine gemeinsame europäische Regelung gibt (siehe Abschnitt „Industrie“)
    - Mit dem Rest der Einnahmen werden Investitionen in den Bereichen gefördert, in denen besonders hohe Einsparungen an Treibhausgas zu erwarten sind.

Planungsrecht

Viele Vorhaben zum Klimaschutz verzögern sich durch sehr lange Planungszeiten. Dies betrifft den Bau von Windkraftanlagen, von Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen, von Stromtrassen, von Bahnstrecken, von Kraftwerken und anderer Infrastruktur. Neben den Baumaßnahmen wird

[55] Siehe UBA 2016

[56] Siehe zu den folgenden Maßnahmen Agora Energiewende 2019/2 und Edenhofer u.a. 2019

[57] Diese Alternative wird von Klimaschützern kontrovers diskutiert – wir verzichten hier auf eine Bewertung.

[58] Siehe Matthes 2019, FÖS 2019

gerade in Schleswig-Holstein künftig die Flächenplanung für Naturschutz, für Überflutungsgebiete und für erneuerbare Energien eine wichtige Rolle spielen und zu Konflikten führen.

Das oft komplexe Planungsrecht ist in der Regel sinnvoll und effektiv. Es dient wichtigen Zielen: So der Gesundheit, dem Artenschutz, der Flug- und Bausicherheit, dem Denkmalschutz usw. Sie dienen auch der Beteiligung der betroffenen Bürger und Kommunen an den Planungen.

Mehrere Verbände und Stellungnahmen haben nun gefordert, diese Regelungen zu überprüfen.[59] Dies hat Aufsehen erregt, da auch Umweltverbände wie Greenpeace, der WWF und die Deutsche Umwelthilfe das Papier unterschrieben haben. Sie fordern eine erhebliche Beschleunigung der Planungszeiten für Infrastrukturvorhaben zum Klimaschutz. Diese Forderungen sind nicht von der Hand zu weisen.

Maßnahmen zum Planungsrecht

Folgende Maßnahmen wurden unter anderem vorgeschlagen:

- Es muss im gesetzlich klargestellt werden, dass an Maßnahmen zum Klimaschutz ein überwiegendes öffentliches Interesse besteht.
- Dadurch sollen Ausnahmen beim Artenschutz möglich sein. Dafür sollen zum Ausgleich zusätzliche Flächen für den Natur- und Artenschutz ausgewiesen werden.
- Für Planungsverfahren sollen feste Planungszeiten vorgeschrieben werden. Dazu muss das zuständige Personal aufgestockt werden.
- Gerichtsverfahren bei zeitkritischen Vorhaben werden vorgezogen.
- Regelungen sollen wo möglich vereinfacht werden (Beispiel: Flugsicherheit).
- Die betroffenen Kommunen sollen am Ergebnis der Anlagen beteiligt werden. Es ist nur fair, wenn die betroffenen Bürger vom Ergebnis der Anlagen profitieren.

Auch die Durchführung der Beteiligungen sollte neugestaltet werden. In Schleswig-Holstein wurden bei der Planung der Stromtrassen bereits gute Erfahrungen mit Bürgerdialogen gemacht. Künftig sollten alle Unterlagen im Internet eingesehen werden können. Vermieden werden soll eine Konfrontation zwischen organisierten Gegnern und Behörden, ohne dass andere Bürger zur Sprache kommen.

Daher sollten neue Formen von Bürgerbeteiligung genutzt werden. Geloste Räte können im Auftrag der Regierung ein Bürgergutachten erarbeiten. Bürgerinitiativen und NGOs sind dabei ebenso wie die Planungsbehörden Beteiligte, die in einem moderierten Prozess ihre Auffassungen darlegen können.

[59] Siehe BDEW u.a. 2019

Import von Erneuerbaren Energien

Die meisten Studien halten es für erforderlich, dass Deutschland auch in Zukunft ein Drittel bis zur Hälfte der Energie importiert. Bis 2010 wurden mehr als achtzig Prozent der Energie in Form von Steinkohle, Öl, Erdgas und Uran importiert. Nur die Braunkohle und etwas Erdöl wurden in Deutschland gewonnen. Künftig werden erhebliche Mengen an grünem Wasserstoff, E-Methan und E-Kraftstoffe (Kerosin, Diesel, Methanol oder andere) importiert. Methan und Wasserstoff werden auch als Rohstoff für die chemische Industrie benötigt.

Heute importiert Deutschland Energie überwiegend aus Russland, Europa und Nahost. Diese Länder werden durch die Energiewende ihren Absatz an fossiler Energie verlieren. Einige Länder haben aber große Potentiale an Erneuerbaren Energien. Russland hat riesige Windpotentiale. Nordafrika und Nahost haben große Sonnenpotentiale und zum Teil auch erhebliche Windgeschwindigkeiten. Norwegen hat große Potentiale in der Wasserkraft und Windenergie. Diese Länder haben ein großes Interesse daran, uns kostengünstige Energie zu liefern. Der Import von Energie kann aus Afrika, Russland oder dem Nahen Osten per Pipeline oder Schiff erfolgen. Es ist auch denkbar, dass über Gleichstromleitungen Strom in die EU importiert wird, wie dies heute schon aus Skandinavien geschieht.

Deutschland sollte dies durch Lieferverträge und Investitionen in den Aufbau der Anlagen unterstützen. Investoren und Regierungen würden dann sehr schnell Kapazitäten zur Produktion von Wasserstoff, E-Methan und flüssigen synthetischen Treibstoffen aufbauen, wenn die Abnahme sichergestellt ist.

Maßnahmen zum Import von E-Brennstoffen

- Erstellung einer Gesamtrechnung, wieviel Energie in Form von Strom, Wasserstoff oder E-Brennstoffen künftig importiert werden muss.
- Dafür werden mit geeigneten Staaten langfristige Lieferverträge geschlossen. Dabei sollten vorrangig Staaten zum Zuge kommen, die demokratische Standards erfüllen.
- Durch eine Quote wird geregelt: Im Brennstoff (Diesel, Kerosin usw.) muss ein fester Anteil E-Brennstoff sein. Der Anteil beginnt mit zehn Prozent und wächst jährlich. Ab 2035 wird nur noch reiner E-Brennstoff verkauft.
- Deutschland bzw. die EU helfen den Export-Ländern bei der Finanzierung von Kraftwerken und den Fabriken für E-Brennstoffe.
- In Deutschland muss die Infrastruktur dafür geplant und bereitgestellt werden. Das betrifft: Kabel, Pipelines, Hafen-Terminals usw. Soweit es sich um Quasi-Monopole handelt (zum Beispiel bei den Leitungen), sollten die Anlagen in der öffentlichen Hand bleiben.

Maßnahmen für Schleswig-Holstein

- HGÜ-Leitungen: Schleswig-Holstein ist bereits durch zwei HGÜ-Verbindungen mit Norwegen und Schweden und eine Höchstspannungsleitung mit Dänemark verbunden. Diese Kapazitäten werden künftig noch ausgebaut, wenn die Wasserkraftwerke zunehmend als Stromspeicher für Mitteleuropa konfiguriert werden. Ein Ausbau der Leitungskapazitäten reduziert den Speicherbedarf von grünem Gas in Kavernen für den Fall der kalten Dunkelflaute und reduziert den Bedarf an Gasturbinen-Notstromaggregaten (siehe im Abschnitt „Energie/Speicher“). Bis zu welcher Kapazität sich ein Ausbau der Stromverbindung nach Skandinavien rechnet, darüber liegen noch keine Berechnungen vor.
- LNG-Terminals: Der Import von grünem Methan und synthetischen Flüssigbrennstoffen kann sowohl per Pipeline wie auch per Schiff erfolgen. Für den Transport von grünem Wasserstoff kommt aus Kostengründen nur der Transport per Pipeline in Frage. Eine Einspeisung von grünem Wasserstoff ins Gasnetz ist heute schon ohne Probleme möglich, solange der Wasserstoffanteil nicht oberhalb der kritischen Grenze liegt.[60] Das geplante LNG-Terminal in Brunsbüttel für die Anlandung von Erdgas gibt keinen Sinn, da der Ausstieg aus fossilen Rohstoffen bereits 2035 erfolgt sein muss.

Rohstoffe, Kreislauf- und Abfallwirtschaft

Häufig werden Probleme wie bei der Gewinnung von Lithium gegen die Energiewende vorgetragen. Diese Probleme gibt es bei jeder Art von Rohstoffgewinnung und sind ernst zu nehmen. In der Gesamtsicht kommen die Untersuchungen jedoch zu einem anderen Ergebnis: Die heutige Industriegesellschaft ist mit großen Schäden verbunden. Beispiele sind Tankerhavarien, Lecks in Ölplattformen bei der Erdgasförderung, undichte Pipelines, Grundwasservergiftung durch Fracking, große Umweltkatastrophen bei der Kupfergewinnung, Menschenrechtsverletzungen in Afrika und viele andere Schäden. Insgesamt wird der Verbrauch an nicht erneuerbaren Rohstoffen durch die Energiewende und Recyclingwirtschaft um achtzig Prozent sinken. Der Bedarf an Metallerz wird um über siebzig Prozent zurückgehen.[61]

Rohstoffprobleme

Trotzdem müssen die Probleme der Rohstoffgewinnung endlich gelöst werden:

[60] Grundsätzlich kann 10% Wasserstoff in Erdgasleitungen zugesetzt werden. In den neuen Bundesländern in der Regel sogar bis 50%. Bei mehr müssen teilweise Dichtungen z. B. an den Pumpen ausgewechselt werden. Siehe Fraunhofer CML 2015, Stratmann 2020

[61] Siehe dazu Wuppertal Institut 2014, UBA 2019/6, acatech 2017

- Ressourcenknappheit: Für die meisten Rohstoffe gibt es noch ausreichende geologische Vorkommen – so für Kupfer und Lithium. Einige werden bereits knapp – zum Beispiel Iridium, das für die Elektrolyseure verwandt wird. Andere sind kritisch, da sie nur aus wenigen nicht immer zuverlässigen Lieferländern kommen.[62]
- Ökologische Probleme**:** Es gibt erhebliche Umweltprobleme bei der Gewinnung der Rohstoffe – wie die Vergiftung von Grundwasser, Flüssen und Seen oder die Absenkung des Grundwassers. Nicht selten verlieren Menschen ihre Lebensgrundlage oder werden unter Zwang umgesiedelt.
- Soziale Probleme: Menschenrechtsverletzungen kommen im Bergbau häufig vor. Bekannt ist der Abbau von Kobalt und Coltan unter Einsatz von Kinderarbeit zur Finanzierung des Bürgerkrieges im östlichen Kongo. In Brasilien gibt es sklavenartige Arbeitsbedingungen in den Zulieferbetrieben der Stahlindustrie und friedliche Proteste werden gewaltsam unterdrückt. Mitunter werden auch kriminelle Strukturen gefördert.[63]
- Abbau von Bodenschätzen in Schleswig-Holstein**:** Es gibt einige Firmen, die Kies und Sand für die Bauindustrie gewinnen. Im Wattenmeer vor Dithmarschen wird mit der Ölbohrplattform Mittelplate Mineralöl gefördert. Mittelplate ist das größte Ölvorkommen Deutschlands. Außerdem gab es Bestrebungen von Ölkonzernen, durch Fracking die restlichen Ölvorkommen in Ostholstein und im Dänischen Wohld zu erschießen. Die Landesregierung konnte das bislang verhindern. Ein gesetzliches Verbot kann jedoch nur der Bund beschließen.

Die Kreislauf-Wirtschaft

Wichtigstes Ziel muss der Übergang in eine Kreislauf-Wirtschaft sein: 99 Prozent aller Rohstoffe, die nicht nachwachsen, sollten wiederverwertet werden. Dabei geht es nicht um Downcycling – also Wiederverwertung als Rohstoff minderer Qualität. Ziel ist ein echter Kreislauf, so dass aus den alten Produkten neue gleicher Qualität hergestellt werden.

Maßnahmen für die Kreislauf-Wirtschaft

- Konsequente Müll-Trennung durch die Verbraucher und verbesserte Müll-Sortierung durch die Entsorger in automatischen Müll-Sortieranlagen;
- Ausfuhrverbote für Müll – insbesondere für Elektromüll und Plastik, Verbot der Deklarierung von Müll als Rohstoff oder Ware;
- Ein umfassendes Pfand-System (insbesondere für Elektrogeräte wie Handys, Kühlschränke und andere Geräte) mit einer Rücknahme- und Recycling-Verpflichtung für die Hersteller.

[62] Siehe UBA 2019/6, UBA 2019/3
[63] Siehe Dörner u.a. 2016, Europol 2015

- Dazu müssen Standards für kritische Produkte wie Lithium-Batterien, Magnete, Kühlschränke usw. geschaffen werden. Die Produkte müssen so konstruiert werden, dass die Rohstoffe leichter getrennt werden können.

Recycling von Kunststoffen

Bei Kunststoffen unterscheidet man mechanisches Recycling und chemisches Recycling. Heute liegt die Quote trotz der gelben Säcke erst bei sechzehn Prozent.[64]

Beim mechanischen Recycling müssen die Kunststoffe möglichst sortenrein gesammelt werden. Dies gelingt relativ gut bei Verpackungen und Abfällen in der Industrie. Beim Hausmüll gelingt dies nur zu einem geringen Anteil. Diese Verfahren müssen erheblich verbessert werden.

Die Kunststoffabfälle, die nicht mechanisch recycelt werden können, müssen künftig dem chemischen Recycling zugeführt werden. Sie werden dabei in Moleküle zerlegt und dann durch Cracking sortiert. Daraus können wieder neue Kunststoffe erzeugt werden. Dieses Verfahren senkt die Kosten für die Rohstoffproduktion der chemischen Industrie um fast 60 Prozent und vermeidet die Treibhausgasemissionen.

Maßnahmen zum Recycling

- Pfandsysteme für alle Kunststoffgegenstände und -Verpackungen;
- Kunststoffe brauchen eine Zulassung, bei der das geregelte Recycling nachgewiesen wird.
- Plastikteilchen, die nicht recycelbar sind, insbesondere Mikroplastik, sollen nicht mehr in den Verkehr gebracht werden dürfen.

Umstellung auf nachhaltige Produkte

- Durch Haftungsrecht und Garantievorschriften soll die Nutzungsdauer von Geräten und Produkten verlängert werden.
- Haushaltsgeräte sollen mit einer Garantie für zehn Jahre versehen werden.
- Die Verfügbarkeit von Ersatzteilen muss geregelt werden.
- Produkte und Geräte, bei denen eine echte Wiederverwertung und die Vermeidung von Emissionen nicht möglich sind, sollen künftig vermieden und durch andere Produkte und Geräte ersetzt werden.

[64] Siehe Heinrich-Böll-Stiftung 2019/1

Baustoffrecycling[65]

Es muss per Gesetz geregelt werden, dass Bauschutt – insbesondere auch Beton – aufbereitet und wiederverwertet wird. Damit könnte die Recycling-Quote erhöht werden und bis zu zehn Prozent der mineralischen Rohstoffe wie Kies und Sand ersetzt werden. Ein guter Nebeneffekt besteht darin, dass zerriebener Beton wieder mehr als ein Viertel des bei der Erzeugung freigesetzten Kohlendioxid aus der Luft binden kann.

Bei der Herstellung von Beton können künftig auch Kohlefasernetze anstatt der Eisenbewehrung eingesetzt werden. Dann können sowohl der Beton wie auch die Kohlefasern fast vollständig recycelt werden.

Maßnahmen zum Baustoffrecycling

- Für die Entsorgung sind bislang überwiegend die Kreise zuständig. Damit diese die künftigen Aufgaben wahrnehmen können, bedarf es einer Planung des Landes, welche Aufgaben im Rahmen des Recycling und der sortenreinen Mülltrennung die Kreise und welche das Land übernehmen müssen und welche die Privatwirtschaft selbst übernimmt.
- Dann kann geklärt werden, um welche Anlagen und Einrichtungen das heutige Entsorgungssystem ergänzt werden muss und welche Investitionen dafür erforderlich sind.

Internationale Abkommen

Wir brauchen internationale Abkommen für die soziale und umweltverträgliche Rohstoff-Gewinnung und die Einhaltung der Menschenrechte. Staaten und Konzerne müssen wegen Verstößen gegen die Menschenrechte oder gegen UN-Resolutionen zum Umweltschutz, Kinderarbeit, Sklaverei, Arbeitnehmerrechte, Meeresschutz und andere haftbar gemacht werden können. Dagegen muss eine Klage vor internationalen Gerichten möglich sein.

Maßnahmen zu internationalen Abkommen

- Deutschland soll den „Treaty-Prozess“, der von der UN vor fünf Jahren initiiert wurde, unterstützen. Dann können Unternehmen und Manager bei Verstößen gegen internationales Recht haftbar gemacht werden.[66]
- Im Rahmen der Welthandelsorganisation (WTO) sollen Verstöße gegen UN-Resolutionen) als Umwelt- oder Sozialdumping eingestuft werden.

[65] Siehe VDZ 2019
[66] Siehe GPF 2016, Brot für die Welt 2019

- In Deutschland könnte der Import von Waren, die unter Verstoß gegen die Menschenrechte und anderen UN-Resolutionen produziert werden, verboten werden.[67]
- Es sollen Label oder Zertifikate eingeführt werden für Geräte, die internationale Umweltstandards und faire Produktionsbedingungen gewährleisten.

Digitalisierung

Digitalisierung bedeutet, dass immer mehr Vorgänge, die früher „per Hand" gemacht wurden, heute über das Internet oder durch Computer und Roboter geregelt werden. Beispiele sind die automatische Steuerung von Verkehrs-Systemen. Digitalisierung wird kontrovers diskutiert und hat zwei Seiten:

Chancen der Digitalisierung

Die Digitalisierung bietet durchaus Chancen für den Klimaschutz. Beispiele dafür sind:

- Digitale Landwirtschaft: Geforscht wird zum Beispiel an Methoden, bei denen die Äcker nicht mehr gepflügt und großflächig gedüngt werden. Stattdessen werden die Samen punktgenau von Maschinen in den Boden gespritzt. Der Dünger wird dann den Pflanzen durch Roboter direkt zugeführt – dadurch wird insgesamt deutlich weniger Dünger verbraucht. Man hofft damit die Lachgasemissionen auf ein Drittel zu reduzieren zu können.
- Smart Grid (= Intelligentes Stromsystem): Geräte wie Waschmaschinen, E-Autos oder Kühlschränke schalten sich automatisch ab, wenn das Stromangebot knapper wird und schalten sich ein, um bei Angebotsspitzen die Strom-Last zu erhöhen. Dadurch bleibt das Strom-System stabil, auch wenn es mehr Erneuerbare Energien gibt, die stark schwankend Strom erzeugen.
- Das digitale Haus kann den Energieverbrauch von Geräten, die Heizanlage und die Temperatur in den Räumen optimieren.
- Digitalisierung des Verkehrs: Carsharing mit autonom fahrenden Fahrzeugen kann zu einer Einsparung von drei Viertel aller PKW führen. Dadurch wird Energie zur Herstellung der PKW gespart. Auch werden Menschen, die kein PKW besitzen, eher das Fahrrad oder den ÖPNV benutzen. Eine elektronische Fahrkarte, die für alle Verkehrsmittel gültig ist, kann für einen effizienteren Verkehr sorgen.
- Die Organisation einer echten Kreislaufwirtschaft wird möglich durch vollständige Erfassung aller Produkte und ein Pfandsystem für alle Produkte, die nicht natürlich und emissionsfrei abbaubar sind.

[67] Siehe Lieferkettengesetz 2019

Probleme der Digitalisierung

Wichtig ist dabei allerdings, das eingesparte Geld nicht an anderer Stelle wieder in etwas Klimaschädliches fließt, denn sonst ist nichts gewonnen. Das wird nur über eine Steuerung über den Preis verhindert werden können.

Ein weiteres Problem besteht in dem riesigen Strom-Verbrauch der Digitalwirtschaft. Heute benötigen vor allem die Internetserver und Datenzentren bereits zwei Prozent des Stroms, obwohl viele Server im Ausland stehen. Hier gibt es mittlerweile eigene Forschungsprojekte, wie dem begegnet werden kann.

Auf der anderen Seite der Medaille stehen große neue Bedrohungen, die durch die Digitalisierung erst ausgelöst werden. Als die größten Probleme der Digitalisierung werden beschrieben:

- die Gefahr der Überwachung und Steuerung der Menschen durch große Unternehmen
- die Gefahr, dass große digitale Unternehmen die Ökonomie beherrschen
- die Gefahr, dass der Staat durch Überwachung und Ausspähung aller Netzdaten die Freiheit der Bürger einschränkt

Maßnahmen zum Thema Digitalisierung

Das Bundesumweltministerium hat letztes Jahr Eckpunkte für eine umweltpolitische Digitalagenda vorgelegt.[68] Es entsteht allerdings den Eindruck, dass die Debatte noch sehr am Anfang steht. Die geeigneten Antworten auf die genannten Probleme müssen offensichtlich erst erarbeitet werden. Eine offensive Nutzung der Informationstechnologien für den Klimaschutz erfordert insbesondere eine ausreichende Regulierung der Datennutzung:[69]

- Datenschutz, der das Recht auf die Nutzung der Daten eines Menschen regelt und die Vertraulichkeit privater Daten sichert
- Steuerpolitik, die internationale Konzerne in einer angemessenen Weise besteuert
- Regeln und Standards, die die Bereitstellung und Nutzung der Daten der Bürger regeln
- Regeln und Standards, die die Transparenz allen Daten des Staates für die Bürger sichern
- Insbesondere geht es um Regeln, die die Offenlegung und Bereitstellung aller Daten für die Klimapolitik sicherstellen und den Vorrang der Politik im Interesse der Gesellschaft gegenüber privaten Konzernen sichern.

Diese Aufgaben müssen rasch angepackt werden. Nicht nur angesichts der knappen Zeit, die uns zur Verfügung steht. Genauso wichtig ist es auch, dem politischen Druck der durch

[68] Siehe BMU 2019/1

[69] Die Debatte entwickelt sich durchweg widersprüchlich und schwankt zwischen Optimismus und Schreckensszenarien. Zur Regulierung der Konzerne, der Internetökonomie und dem Recht auf Daten siehe z.B. Lanier 2013, Srnicek 2016

die IT-Wirtschaft ausgeübt wird zu begegnen und den Einfluss der Konzerne auf die politischen Prozesse zu verhindern.

Teil 4: Maßnahmen in den einzelnen Sektoren

In Teil 4 wird beschreiben, was in den sechs gesellschaftlichen Bereichen Energie, Wärme, Verkehr, Landwirtschaft, Industrie und Abfall zu tun ist, um Klimaneutralität zu erreichen.

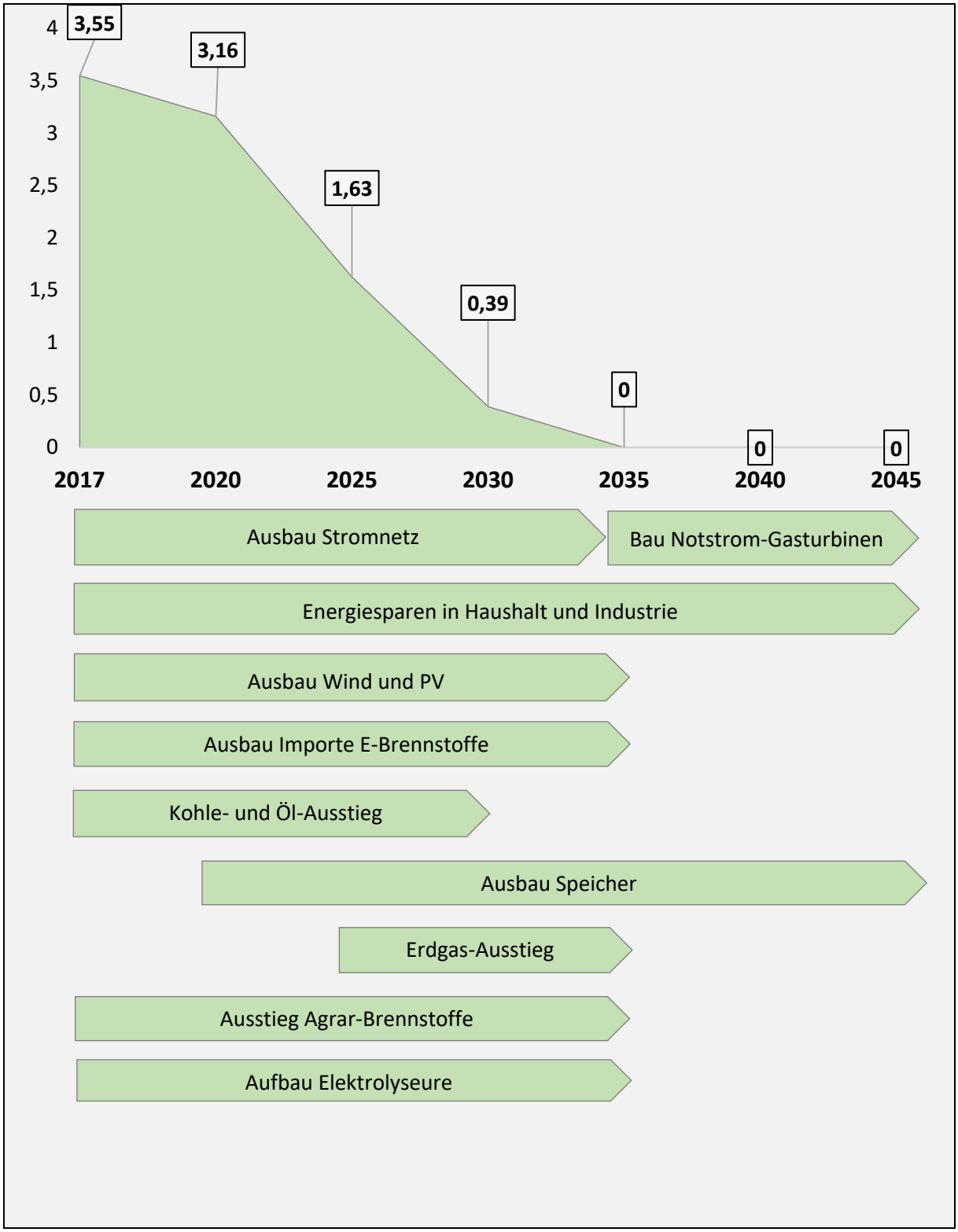
Energie

In diesem Kapitel wird die Stromversorgung beschrieben. Ein großer Teil der Fernwärme wird zurzeit ebenfalls in Stromkraftwerken erzeugt. Wie die Fernwärme in Zukunft erneuerbar erzeugt werden kann, wird im Abschnitt „Hauswärme“ dargestellt.

Wichtigste Punkte

- Bisher wird die Energie durch unterschiedliche Energieträger (Kohle, Erdgas, Öl, Benzin, Diesel, Kerosin, Uran) bereitgestellt. In Zukunft werden in allen Sektoren (Wärme, Verkehr, Industrie) diese Energieträger fast vollständig[70] durch erneuerbaren Strom ersetzt – oder durch Energieträger, die auf Basis von erneuerbarem Strom hergestellt werden. Dadurch wird der Strombedarf in Schleswig-Holstein stark steigen, auch, weil Schleswig-Holstein wie bisher Hamburg mitversorgt und der Strombedarf auch in Hamburg steigen wird.
- Damit Klimaneutralität erreicht werden kann, ist es entscheidend, dass genug erneuerbare Energie zur Verfügung steht. Ansonsten können auch die anderen Sektoren nicht klimaneutral werden.
- Damit der Strombedarf nicht zu groß wird, muss durch Sparmaßnahmen und effizientere Technologien (z.B. Elektromotor statt Verbrennungsmotor) Energie eingespart werden.
- Um den verbleibenden Strombedarf zu decken, braucht es einen weiteren Ausbau der Windenergie an Land und einen viel stärkeren Ausbau von Sonnen-Energie-Anlagen und von Windenergie auf See.
- Die Produktion von Wind- und Sonnenstrom schwankt stärker als die Stromproduktion mit Kohle und Gas. Um diese Schwankungen auszugleichen braucht es 1) einen Ausbau der Stromnetze 2) einen Ausbau von Energiespeichern 3) eine stärkere Vernetzung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr und 4) eine Flexibilisierung des Verbrauchs.
- Der Anbau von Energiepflanzen sollte bis 2035 komplett eingestellt werden. Biogas-Anlagen werden dann ausschließlich mit Reststoffen betrieben. Sie dienen künftig vor allem dazu, die Schwankungen durch Wind- und Sonnenenergie auszugleichen. Deshalb werden sie nur zeitweise – vor allem im Winter laufen – müssen dann aber eine größere Leistung abliefern.

[70] Ergänzt um Solar- und Geothermie



- Schleswig-Holstein wird Energie-Exporteur. Heute exportiert Schleswig-Holstein zwar Strom, aber importiert neben Kohle auch Erdgas und Öl für Heizungen und Treibstoffe für den Verkehr. In der strombasierten Energieversorgung der Zukunft kann Schleswig-Holstein sich komplett selbst versorgen und noch Energie an andere Bundesländer exportieren.

- Der Energiesektor soll bis 2035 klimaneutral sein. Bereits ab 2030 sollte 90 Prozent dieses Weges erreicht werden.

Grafik 12: Zeitplan und Maßnahmen im Energie-Sektor

Ausgangslage

Schleswig-Holstein ist deutschlandweit Vorreiter, was die Energiewende angeht. Nach der Abschaltung des Kraftwerks in Kiel sind noch zwei Kohlekraftwerke in Betrieb: Flensburg und Wedel. Diese sollen nach aktuellen Planungen noch einige Jahre laufen.[71]

Der Ausbau der Windenergie an Land ist im Vergleich zu anderen Regionen weit fortgeschritten. [72] Laut dem Ministerium befinden sich zurzeit rund 3100 Anlagen an Land in Betrieb oder kurz vor der Fertigstellung.[73] Alle erneuerbaren Quellen zusammen erzeugen pro Jahr bereits jetzt mehr Strom (16 TWh), wie in Schleswig-Holstein verbraucht wird (15 TWh).[74] Das ist der zweit-höchste Anteil unter allen deutschen Bundesländern.[75] In Zusammenarbeit mit Hamburg besteht das Projekt Norddeutsche Energiewende (NEW 4.0)[76]. Dort wurden bereits viele neue Ideen und Technologien erprobt und umgesetzt. Dazu zählen zum Beispiel neue Formen Energie zu speichern.

Die Pläne der Landesregierung sehen vor, dass bis zum Jahr 2025 37 TWh Strom erneuerbar erzeugt werden.(MELUND, 2019) Dafür sollen circa zwei Prozent der Landesfläche für Windanlagen zur Verfügung gestellt werden. Hinzu kommen Windräder auf See, Photovoltaik-Anlagen und Bioenergie.

Wie wird sich der Stromverbrauch entwickeln?

Obwohl heute schon wichtige Schritte in Schleswig-Holstein unternommen wurden, reichen die bisherigen Maßnahmen bei weitem nicht aus, um das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen.[77] Zwar

[71] Wedel soll 2025 abgeschaltet werden. NDR 2019. In Flensburg soll nach 2023 nur noch ein Kohlekessel (von ursprünglich 6) aktiv sein. Stadtwerke Flensburg 2019/1

[72] Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume 2019

[73] Sie haben eine Leistung von sieben GW, im Durchschnitt also 2,3 MW pro Anlage. Auf See liefern ca. 400 Windräder eine Leistung von 1,8 GW (Im Schnitt 4,5 MW pro Anlage). Netzwerkagentur Erneuerbare Energien (2020) – dabei wird allerdings der in Schleswig-Holstein angelandete Teil der Offshore-Energie vollständig Schleswig-Holstein zugerechnet. Bei unserer Darstellung der Zukunft rechnen wir die Offshore-Energie als Bundesenergie, die auf die Länder nach Bevölkerungsanteil verteilt wird (Siehe Anlage 7).

[74] Siehe StaNo 2019/4 – wir haben aber anders als in der Quelle den Offshore-Strom nur entsprechend der Bevölkerungszahl Schleswig-Holstein zugeordnet. Nach der Rechnung des Landes sind es bereits 150% des Verbrauchs.

[75] Nach Mecklenburg-Vorpommern. Agentur für Erneuerbare Energien (2017)

[76] Siehe NEW 4.0. 2020

[77] Die Referenzdaten für das Energiesystem Schleswig-Holstein basieren auf einer Vielzahl von Studien über die künftige Stromversorgung Deutschlands (siehe BBK 2020) und auf Daten für Schleswig-Holstein. Damit haben wir ein Energie-Flussdiagramm für die künftige Energieversorgung Schleswig-Holstein berechnet (siehe Anlage 3). Es

produziert Schleswig-Holstein bereits heute mehr erneuerbaren Strom, als es verbraucht. Aber der Strombedarf wird in Zukunft stark steigen. Wir rechnen mit einem Bedarf von über fünfzig Terawattstunden für 2038.[78] Ein Teil der Energie kann in Form von E-Brennstoffen importiert werden. Das meiste muss selbst erzeugt werden. Der Verbrauch steigt vor allem durch vier Faktoren: 1) weil der Straßenverkehr weitgehend elektrifiziert wird, 2) weil über zwei Drittel der Häuser elektrisch geheizt werden (Wärmepumpen), 3) weil mit Strom E-Brennstoffe und Rohstoffe für die Industrie erzeugt werden müssen und 4) weil in der Industrie viele Prozesse auf Strom als Ersatz für Kohle umgestellt werden müssen.

Außerdem muss Schleswig-Holstein auch andere Teile von Deutschland mitversorgen. Dies gilt insbesondere für Hamburg. Denn als Stadtstaat hat Hamburg einen hohen Energiebedarf, aber geringe Erzeugungs-Potentiale. Im Rahmen des Projekts NEW 4.0 ist angestrebt Schleswig-Holstein und Hamburg bis 2035 zu hundert Prozent mit erneuerbarem Strom zu versorgen, wobei Schleswig-Holstein, den deutlich größeren Anteil der Erzeugung stellen muss. Im Projekt NEW 4.0 ist jedoch noch nicht mit den Strommengen gerechnet, die für das 1,5-Grad-Ziel erforderlich sind. Trotzdem ist es sinnvoll, das Schleswig-Holstein Hamburg mitversorgt[79]. Das ist auch fair, denn dafür wird der Landwirtschaftssektor in Schleswig-Holstein in Zukunft mehr Emissionen verursachen als ihm „zustehen“ (siehe Abschnitt „Landwirtschaft“). Schleswig-Holstein kann über Hamburg hinaus noch andere Regionen, wie z.B. Nordrhein-Westfalen mit circa 17 Terawattstunden Strom versorgen.

Wie kann das Stromsystem 2038 aussehen?

Das Stromsystem der Zukunft wird ganz anders aussehen als das heutige.

Heute wird der Strom bereits zu großen Teilen von Wind an Land produziert. Dieser wird weiter ausgebaut. Der Anteil der Biomasse wird zurückgehen, da der Anbau von Energiepflanzen eingestellt wird und nur noch Reststoffe zur Biogas-Erzeugung verwendet werden. Die Strom-Erzeugung durch Kernkraftwerke, die heute noch einen großen Anteil hat, wird bis Ende 2021 vollkommen beendet. Stattdessen werden in Zukunft Sonnen-Energie und Wind auf See einen viel größeren Anteil haben. Den Wind auf See (Offshore) rechnen wir allen Bundesländern anteilig nach Bevölkerungszahl zu.

---

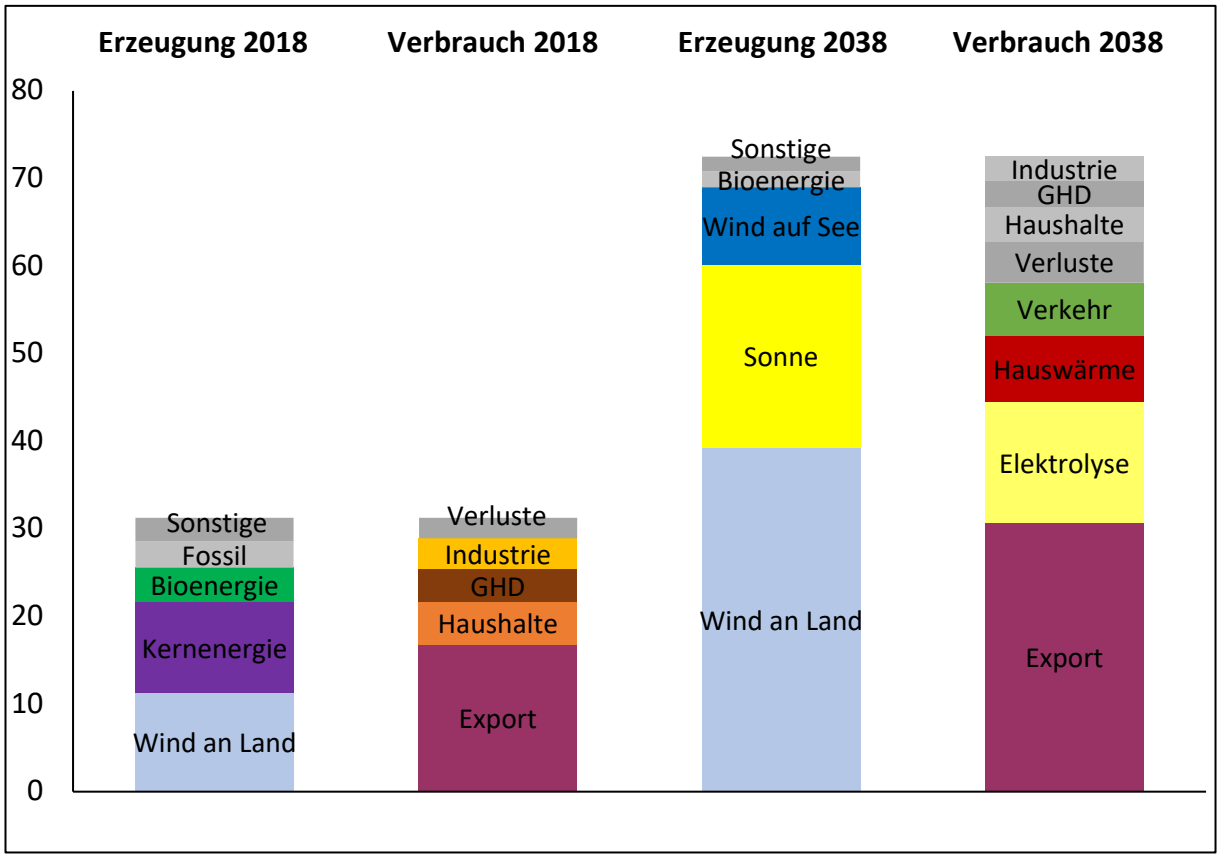
ist der Versuch plausibel darzustellen, wie auf Basis der Quellen eine schnelle Versorgung Deutschlands und Schleswig-Holsteins mit Erneuerbaren Energien realisiert werden kann. Als Zeitpunkt, zu dem der Umbau des Energiesystems abgeschlossen sein kann, haben wir dabei als frühestes Jahr das Jahr 2038 erreicht.

[78] Siehe Anlage 6

[79] Wir rechnen damit, dass Hamburg 2038 einen Importbedarf von circa dreizehn TWh Strom, drei TWh Wärme, drei Terawattstunden Flüssigbrennstoffen, drei Terawattstunden E-Methan und zwei Terawattstunden Wasserstoff aufweist (Siehe Anlage 5). Davon kann Schleswig-Holstein den Strom, Wärme- und Wasserstoffbedarf vollständig decken. Das E-Methan für die Industrie, sowie die Flüssigbrennstoffe, die hauptsächlich für den internationalen Schiffs- und Flugverkehr benötigt werden, müssen zum Teil aus dem Ausland importiert werden.

Die größten Stromverbraucher in Schleswig-Holstein sind heute Haushalte, Kleinbetriebe, Geschäfte und die Industrie. Ein großer Teil des Stroms wird exportiert. Dies wird auch in Zukunft so bleiben. Zukünftig wird ein großer Teil des Stroms für die Erzeugung von grünem Wasserstoff (Elektrolyse) benötigt. Hauswärme und Verkehr sind ebenfalls Verbraucher, die in Zukunft viel mehr Strom brauchen als heute.

Grafik 13: Stromerzeugung und -verbrauch, heute und 2038[80]



Allgemeine Maßnahmen für den Umbau der Energiewirtschaft in Deutschland

- Der Ausstieg aus der Verbrennung von Kohle und Öl bis 2030 und von fossilem Gas bis 2035 muss gesetzlich geregelt werden.
- Bund und Länder müssen sich auf einen gemeinsamen Plan für die Energiewende festlegen. Dieser enthält einen Ausbaukorridor für die Wind- und Photovoltaikanlagen, der bis 2038 die Produktion von über 1100 TWh gewährleistet. Dieser muss verbindlich auf die Länder umgelegt werden. Dann entfällt in unserer Modellrechnung auf Schleswig-Holstein ein Anteil von 70 TWh Strom durch Wind und Sonne.

[80] Der Begriff „Sonstige“ enthält für 2018 auch die Solarenergie und die SH zugeordneten Anteil der Offshore-Energie. Die Landesstatistik rechnet anders als wir das im Handbuch tun, den gesamten in SH angelandeten Offshore-Strom dem Land SH zu. Dann kommen über 6 TWh für 2018 hinzu und der Export wird entsprechend größer. Für 2038 wird der Stromaustausch mit den Speichern in Norwegen nicht als Import und Export ausgewiesen.

- Bund und Länder müssen sich auf einen gemeinsamen Plan für den Ausbau der Stromnetze und für die Speicher festlegen. Dazu gehört auch der Bau der Back-Up-Gasturbinen. Diese Planungen sollen regelmäßig überprüft und korrigiert werden.
- Die Kommunen müssen an den Einnahmen durch die Windanlagen und Stromtrassen finanziell beteiligt werden.
- Die dezentrale Einspeisung von Strom muss insbesondere für Mieter erleichtert werden. Die Einspeisetarife in das öffentliche Netz müssen sicherstellen, dass die Anlagen lohnend betrieben werden können.
- Die optimale Steuerung der dezentralen Stromproduktion und des Stromverbrauchs muss technisch und gesetzlich geregelt werden (das nennt sich „Smart Grid“). Die finanziellen Anreize für den Strommarkt werden so gesetzt, dass die Ausbauziele erreicht werden. Das Strommarktdesign muss dazu regelmäßig überprüft werden.

Ausstieg aus der fossilen Stromerzeugung

2017 machte Kohle immer noch circa neun Prozent der Treibhausgase in Schleswig-Holstein aus. Seitdem ist das Kieler Kraftwerk abgeschaltet worden und die Emissionen werden deshalb zurzeit niedriger liegen. Für die restlichen Emissionen sind die Kraftwerke in Wedel und Flensburg verantwortlich. Diese sollten möglichst schon bis 2023 durch klimaneutrale Erzeugung ersetzt werden. Der Strom, den die Kraftwerke produzieren, ist vergleichsweise einfach zu ersetzen, da Schleswig-Holstein viel erneuerbaren Strom produziert. Wie die Fernwärmenetze auf erneuerbare Wärme umgestellt werden können, wird im Abschnitt „Hauswärme“ beschrieben.

Bereits heute macht es keinen Sinn mehr, Kohlekraftwerke durch Erdgas zu ersetzen. Obwohl Erdgas nur ein Drittel der Emissionen verursacht als Kohle, ist es ein Brennstoff, der dem Klima schadet. Es sollte bis 2035 durch erneuerbare Energie ersetzt werden. Berücksichtigt man die Methanemissionen bei der Förderung von Erdgas, dann ist die Bilanz sogar noch schlechter.[81] Es ist deshalb keine Lösung, Kohlekraftwerke oder Ölheizungen auf Erdgas umzustellen, da diese bereits in einigen Jahren wieder gegen andere Technologien ausgetauscht werden müssen.

Maßnahmen für den Ausstieg aus fossilen Brennstoffen

- Kompletter Ausstieg aus der Kohle in Schleswig-Holstein bis 2023
- Ersatz schaffen durch klimaneutrale Technologien, nicht durch Erdgas
- Kompletter Ausstieg aus dem Erdgas bis 2035

[81] Siehe Fell und Traber 2019, Traywick 2020

Wind an Land[82]

In Deutschland werden etwa zwei Prozent der Landesfläche für Windanlagen benötigt. Allerdings können die benötigten Flächen nicht gleichmäßig über die Bundesländer verteilt werden. In Norddeutschland sind die Potentiale für Windenergie größer. Die norddeutschen Länder (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Niedersachsen) müssen deshalb zwei Drittel der Windenergie erzeugen. Schleswig-Holstein hat deutschlandweit die besten Windverhältnisse, um Windenergie zu produzieren. Deshalb sollten hier circa drei Prozent der Landesfläche zur Verfügung gestellt werden. Auf diesen können 14 GW Windanlagen installiert werden, die 39 Terawattstunden Strom erzeugen[83].

Wenn die aktuell erstellte Änderung der Landesplanung in Kraft tritt, stehen zwei Prozent der Landesfläche zur Verfügung. Nach den Plänen der Landesregierung sollen diese bis 2025 vollständig bebaut werden. Gleichzeitig werden alte Anlagen, die nicht auf diesen zwei Prozent „Windfläche“ stehen (ca. 1000 Anlagen), nach und nach zurückgebaut.[84] Auch innerhalb der „Windflächen“ werden bis 2038 viele alte Anlagen ersetzt werden. Um die Ziele einzuhalten, sollten 2038 ungefähr circa 3600 Windräder in Schleswig-Holstein stehen.[85] Das sind 500 Anlagen mehr als heute. Die Leistung wird sich (von heute sieben GW) bis 2038 also verdoppeln und die Stromerzeugung wird sogar 3,5 Mal höher sein als heute. Die Zahl der Räder steigt aber nur um fünfzehn Prozent. Das liegt daran, dass neue Anlagen viel leistungsstärker sind als alte Anlagen. Außerdem können sie bei schwachem Wind laufen, während alte vor allem bei starkem Wind Strom erzeugt haben. Da häufiger schwacher Wind weht, als starker, können neue Anlagen länger laufen und insgesamt mehr Strom erzeugen. Die meisten neuen Anlagen werden allerdings größer sein, als heutige und daher mehr Fläche in Anspruch nehmen.

Maßnahmen für den Ausbau der Windenergie an Land

- Die Flächenplanung für die Windkraftanlagen, die Photovoltaik und die Stromleitungen muss entsprechend der Ausbauziele umgesetzt werden (siehe im Abschnitt „Planungsrecht“).

[82] Die folgenden Zahlen für den Ausbau von Windkraft und Photovoltaik basieren auf den Modellrechnungen in BBK 2020. Sie wurden so gerechnet, um die nötige Erneuerbare Energie so schnell wie möglich bereit zu stellen, berücksichtigt aber auch den optimalen Mix.

[83] Wir rechnen damit, dass auf den 2% bisher ausgeschriebener Fläche 9 GW Leistung installiert werden können. Ein weiteres Prozent Landesfläche kann auf Grund optimierter Flächenplanung 5 GW Leistung bringen. Wir rechnen für den Bestand 2038 mit durchschnittlich 2800 Volllaststunden pro Jahr.

[84] Siehe MELUND 2020

[85] Wir rechnen damit, dass in den aktuellen Vorranggebieten ca. 3 GW Anlagen neu errichtet werden oder vor so kurzer Zeit errichtet wurden, dass sie bis 2038 nicht ausgetauscht werden müssen. Wir haben angenommen, dass diese eine durchschnittliche Leistung von 3,5 MW haben. Für die restlichen 11 GW rechnen wir mit einer durchschnittlichen Leistung von 4,5 MW.

- Bebauung der geplanten Flächen zwei Prozent der Landesfläche bis 2023. Bei insgesamt drei GW Zubau müssen pro Jahr etwa 290 neue Anlagen errichtet werden.
- Neue Flächenausschreibung (ein Prozent der Landesfläche) in einem Kommunikationsprozess mit Bürgerinnen und Bürgern, Kommunen, sowie Naturschutzverbänden und Fachverbänden. Die Flächen müssen dann so bebaut werden, dass der Ertrag pro Fläche möglichst maximiert wird. Die Planungsprozesse sollten schnell begonnen werden, damit ab 2024 mit der Bebauung begonnen werden kann. Die Bebauung sollte 2035 abgeschlossen sein. Dies erfordert etwa ein GW (220 Räder) Zubau pro Jahr.

Wind auf See

In Deutschland müssen 55 GW Offshore-Windräder installiert werden. Diese erzeugen 250 Terawattstunden Strom.[86] Dies bedeutet einen jährlichen Zubau von 450 Windrädern (2,6 GW) bis 2038. Die dafür notwendigen Flächen liegen vor allem in der Nordsee, vor der Küste von Schleswig-Holstein und Niedersachsen. Bisher wird der Strom, der auf dem Meer erzeugt wird, dem Bundesland zugerechnet, in dem die Kabel an Land gehen. Zuletzt waren das in Schleswig-Holstein Windparks mit insgesamt 400 Anlagen und einer Leistung von 1,7 GW.[87] Allerdings sind die Flächen, auf denen die Windparks stehen, Bundesgebiet. Deshalb rechnen wir den Strom, der auf See erzeugt wird, jedem Bundesland gemäß seinem Einwohneranteil zu. Schleswig-Holsteins Anteil an den 250 Terawattstunden ist damit 8,8 Terawattstunden (3,5 Prozent).[88] Die Kabel der Offshore-Parks werden natürlich trotzdem zum Teil in Schleswig-Holstein an Land gehen. Wir schätzen, dass etwa 100 Terawattstunden an Land kommen, die den anderen Bundesländern „gehören“. Zum größten Teil werden diese über HGÜ-Kabel (siehe Abschnitt „Netze“) nach Süden transportiert. Lediglich die Stromspitzen werden in Schleswig-Holstein in die Wasserstoff-Produktion fließen, da es keinen Sinn macht, die Stromspitzen in andere Teile Deutschlands zu transportieren und sie dort weiterzuverarbeiten.

Die nötigen Flächen müssen vom Bund ausgewiesen werden. Schleswig-Holstein sollte darauf hinwirken, dass das passiert. Es gab bereits eine Initiative der norddeutschen Länder, die einen Offshore-Ausbau auf dreißig GW bis 2035 fordert.[89] Diese Initiative sollte verstärkt werden. Außerdem müssen die Netze geschaffen werden, damit der Strom in Deutschland verteilt werden kann.

[86] Siehe BBK 2020

[87] Siehe Netzwerkagentur Erneuerbare Energien Schleswig-Holstein 2020

[88] Nach dieser Rechnung liegt die Erzeugung von Offshore-Strom zurzeit nicht bei 6.9 TWh, wie im Bericht des MELUND angegeben, sondern bei 0,69 TWh (19,7 TWh deutschlandweit (siehe Agora Energiewende 2020) x 3,5% Anteil Schleswig-Holsteins).

[89] Siehe MELUND 2018

Maßnahmen für den Ausbau der Windenergie auf See

- Bundesratsinitiative zur Schaffung von mehr Offshore-Flächen weiterführen und Ausbau-Ziele auf 55 GW erhöhen.
- Schleswig-Holstein muss die Landanbindung der Offshore-Parks und die erforderlichen Leitungen für die Weiterleitung des Stroms planen.

Photovoltaik (Sonnen-Energie)

Photovoltaik-Anlagen sind bisher im Vergleich zu Windrädern in Schleswig-Holstein wenig gebaut worden. Sie erzeugen nur circa zehn Prozent des Stroms, der durch Windkraft erzeugt wird. Schleswig-Holstein hat im Vergleich zu anderen Bundesländern weniger Sonnenstunden. Es gibt aber trotzdem genug Sonne, um Photovoltaik-Anlagen effizient nutzen zu können. Es gibt noch einen Grund, warum Photovoltaik stark ausgebaut werden sollte: Windanlagen erzeugen im Winter mehr Strom und Photovoltaik-Anlagen im Sommer. Um die erneuerbare Stromerzeugung über das Jahr auszugleichen, braucht es also beide (Fraunhofer ISE, 2020).

Grundsätzlich lassen sich zwei Arten von Photovoltaik unterscheiden: Erstens Anlagen, die auf Dächern bzw. an Hausfassaden installiert werden. Zweitens Freiflächen-Anlagen, die z.B. an Autobahnrändern oder auf Parkplätzen aufgestellt werden. Freiflächen-Anlagen können auch auf landwirtschaftlichen Flächen aufgeständert werden und darunter können z.B. Schafe grasen oder Pflanzen angebaut werden (Agro-PV – siehe im Abschnitt „Landwirtschaft/Flächennutzung“).

Wir rechnen damit, dass Schleswig-Holstein knapp 24 GW Solar-Anlagen installieren sollte.[90] Das sind rund 140 km^2. Zwischen 2021 und 2038 müssen pro Jahr etwa acht km^2 (1,4 GW) zugebaut werden. Wie diese sich auf Dachflächen und Freiflächen verteilen, hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem davon, wie viele geeignete Dachflächen es überhaupt gibt, wie viele dieser Dachflächen durch Solarthermie-Anlagen genutzt werden etc. Wir schätzen, dass etwa die Hälfte der Anlagen (12 GW) auf Dächern und Fassaden installiert werden kann.[91] Dann würden noch 180 km^2 an Freifläche benötigt.[92] Diese können auf etwa 10 Prozent der Fläche installiert werden, auf denen heute Energiepflanzen angebaut werden (siehe Abschnitt Bioenergie).

[90] Bundesweit müssen 480 TWh erzeugt werden. Schleswig-Holstein hat 4,4% der deutschen Landesfläche. 4,4% von 480 sind 21 TWh. Wir rechnen mit 900 Volllaststunden für Schleswig-Holstein. Damit ergibt sich eine benötigte Leistung von ca. 23,5 GW. Wir rechnen mit 165 W Peak-Leistung pro Quadratmeter PV (vgl. BBK 2020).

[91] Dies ist eine sehr grobe Schätzung. Uns liegen keine Angaben über Solarpotentiale in Schleswig-Holstein oder die insgesamte Größe der Dachflächen vor. Für Deutschland nehmen wir ein Verhältnis 3 (Dach): 2 (Freifläche) an (vgl. BBK 2020).

[92] Bei Freiflächen-Anlagen rechnen wir mit ca. 2,5 Quadratmeter Bodenfläche pro Quadratmeter PV.

Maßnahmen für den Ausbau der Photovoltaik

- Die Verpflichtung zum Bau von Photovoltaik-Anlagen auf Dächer, Fassaden, Parkplätzen und anderen geeigneten Flächen wird gesetzlich geregelt.
- Die Kommunen machen den Hausbesitzern angepasste Finanzierungsangebote und eine passgenaue Beratung. Die Einspeisetarife in das öffentliche Netz müssen sicherstellen, dass die Anlagen lohnend betrieben werden können.

- Errichtung von Photovoltaik auf allen öffentlichen Flächen, die dafür geeignet sind und keine andere Nutzung zulassen (z.B. Autobahnränder, Lärmschutzwände).

Bioenergie

Die Verwendung von pflanzlichen oder tierischen Stoffen zur Erzeugung von Wärme und Strom wird als Bioenergie bezeichnet. Grundsätzlich können diese Stoffe nach Art ihrer Herkunft in drei Gruppen eingeteilt werden:

1) Energiepflanzen, die in Deutschland angebaut werden. Dies umfasst vor allem Mais und Raps (Agro-Brennstoffe).[93]

2) Biomasse-Importe, z.B. Holz-Pellets aus Rumänien oder Palmöl aus Südamerika.

3) Reststoffen unterschiedlicher Herkunft, beispielsweise

- Stroh und Gülle als Abfallprodukte aus der Landwirtschaft
- Restholz aus der Forstwirtschaft
- Bio-Restmüll und Grünabfälle
- Altholz, z.B. aus dem Baugewerbe
- Industrie-Abfälle, z.B. aus Schlachtereien
- Klärschlamm. Dieser stammt aus Kläranlagen. Er kann getrocknet und verbrannt werden.

In Schleswig-Holstein spielt Bioenergie eine vergleichsweise große Rolle. Bioenergie trägt 12,5 Prozent zur Strom-Produktion und 13,3 Prozent zur Wärme-Versorgung bei.[94] Ein großer Teil dieser Energie stammt aus der Verwendung von Energiepflanzen. Derzeit werden auf etwa fünfzehn Prozent der landwirtschaftlichen Fläche in Schleswig-Holstein Energiepflanzen angebaut.[95] Bioenergie gilt oft als klimafreundlich und nachhaltig. Allerdings gibt es mehrere Probleme mit dem Anbau von Energiepflanzen und dem Import von Biomasse.

[93] Auch Weizen und Zuckerrüben (→ Bioethanol), Getreide-Ganzpflanzensilage und Sonnenblumen werden als Energiepflanzen genutzt.
[94] Siehe MELUND 2019/3
[95] Siehe im Abschnitt „Flächennutzung für die Klimapolitik“

- Der Anbau, insbesondere von Mais, hat negative Auswirkungen auf die Qualität von Wasser, Böden, Artenvielfalt und den Naturschutz[96]
- Die Anbauflächen können deutlich effizienter genutzt werden, wenn sie statt zum Energiepflanzen-Anbau für Solarthermie-Anlagen oder Photovoltaik verwendet werden. Dies bringt, je nach Schätzung, 5 bis 60 Mal mehr Energie[97]
- In Zukunft werden große Flächen in Schleswig-Holstein für die Wiedervernässung ehemaliger Moore und die Neu-Aufforstung benötigt. (Siehe Abschnitt „Landwirtschaft“)
- Zusätzliche Flächen werden für Windräder und Solaranlagen benötigt.
- Außerdem muss die Flächennutzung durch Energiepflanzen in Deutschland gemeinsam betrachtet werden mit der globalen Flächennutzung. Auf Grund der steigenden Weltbevölkerung, der wachsenden Nachfrage nach tierischen Produkten, der Notwendigkeit von Aufforstungen und dem Verlust an nutzbarer Fläche durch die Folgen des Klimawandels (Meeresspiegel-Anstieg, Dürren etc.) und anderen Entwicklungen (Versalzung der Böden) muss davon ausgegangen werden, dass sich global Flächenkonkurrenzen verstärken. Deutschland ist zurzeit durch die Importe von Nahrungs- und Futtermitteln, sowie Energiepflanzen für große Flächeninanspruchnahme außerhalb Deutschlands verantwortlich. Diese sollten aus Gründen der Gerechtigkeit und auch um negative Klimaeffekte zu vermeiden (z.B. Abholzungen von Urwäldern zur Bereitstellung von Ackerfläche) minimiert werden. Es müssen deshalb auch in Schleswig-Holstein in Zukunft verstärkt Futter- und Nahrungsmittel angebaut werden, was die Flächen für Energiepflanzen-Anbau weiter reduziert.
- Wenn die Anteile des Öko-Landbaus vergrößert werden sollen, steigt der Flächenbedarf zusätzlich.

Für die Nutzung von Reststoffen gibt es folgende Einschränkungen:

- Waldrestholz sollte im Wald bleiben, da das gut ist für den Naturschutz und außerdem die Speicherfunktion des Waldes verbessert. (Siehe Abschnitt „Landwirtschaft“)
- Biomasse wird in Zukunft verstärkt im Baugewerbe und in der Industrie eingesetzt, um fossile Rohstoffe zu ersetzen. So kann z.B. verstärkt mit Holz statt mit Beton gebaut werden. Dämm-Materialien können aus Naturstoffen statt aus Erdöl-Produkten gemacht werden. Damit steht aber weniger Biomasse für die Energieerzeugung zur Verfügung.
- Wenn weniger Tiere gehalten werden, gibt es auch weniger Gülle und Mist.
- Wenn weniger Lebensmittel weggeworfen werden, gibt es weniger Bio-Abfall.

[96] Siehe UBA 2013/2
[97] Beuth 2015, UBA 2019/2

Im Ergebnis bedeutet das, dass der Anbau von Energiepflanzen schrittweise eingestellt werden sollte. (siehe im Abschnitt „Flächennutzung“). In der Folge müssen auch die Biogas-Anlagen anders genutzt werden.

Maßnahmen für die Nutzung von Bioenergie

- Kein Anbau von Energiepflanzen mehr ab 2035
- Einstellung des Imports von Bio-Brennstoffen aus Energiepflanzenanbau; dies betrifft auch den Import Brennholz und Pellets ab 2030.
- Keine Förderung von Holz-Heizungen oder -Kraftwerken
- Reststoffe aus der Landwirtschaft (vor allem Gülle und Stroh) müssen vollständig genutzt werden. Dies hat zwei positive Effekte: Erstens können die Biogasanlagen auch ohne Energiepflanzenanbau genutzt werden. Zweitens werden die Treibhausgas-Emissionen reduziert, die sonst durch Gülle anfallen (Siehe in den Abschnitten „Landwirtschaft“ und „Abfälle“)
- Biogas-Anlagen müssen so umgebaut werden, dass sie seltener laufen, aber in kürzerer Zeit große Mengen Strom produzieren. Dies hilft dabei das Stromsystem zu stabilisieren. Dafür müssen größere Speicher für Biogas-Anlagen gebaut werden.
- Technische Optimierung der Gärprozesse durch Zusatz von Wasserstoff

Müllverbrennung

Da wir davon ausgehen, dass der Rohstoff-Bedarf der Industrie erst 2050 vollständig durch erneuerbare Rohstoffe oder Recycling gedeckt werden kann, wird bis dahin auch noch „normaler“ Müll (also Müll, der kein Bio-Abfall ist) anfallen. Sobald alle Produkte, z.B. Plastik, auf Basis erneuerbarer Rohstoffe (z.B. E-Methan) erzeugt werden, wird auch die Abfallverbrennung klimaneutral. Bis dahin erzeugt die Müllverbrennung weiterhin Emissionen, die nur vermieden werden können, wenn die Menge des Abfalls reduziert wird. Für Schleswig-Holstein rechnen wir mit einem TWh Energie, die durch Müllverbrennung bereitgestellt werden kann (Siehe Anlage 7).

Maßnahmen für die Vermeidung von Emissionen aus der Müllverbrennung

- Es sollte so viel Abfall wie möglich vermieden werden (Siehe Kapitel „Recycling“ und „Suffizienz“).
- Es gibt in Deutschland bereits ein Verbot Müll zu exportieren. Dies wird in der Praxis aber oft umgangen, indem der Müll als Wertstoff definiert wird. Dies muss unterbunden werden, da andere Länder mit geringeren Standards für Umwelt- und Gesundheits-Schutz nicht die Müllkippe Deutschlands sein dürfen.

- Es sollte geprüft werden, ob CCU (Carbon Capture und Usage) bei der Abfallverbrennung eingesetzt werden kann. Zwar wird die Verbrennung dadurch nicht klimaneutral, aber immerhin wird der Kohlenstoff doppelt verwendet.

Sonstige Anpassungen

Je mehr Strom durch Erneuerbare Energien produziert wird, desto größer sind die Schwankungen in der Stromerzeugung. Während z.B. ein Atomkraftwerk das ganze Jahr über gleichmäßig Strom produziert, produzieren Photovoltaik vor allem im Sommer und nur tagsüber Strom. Auch der Verbrauch von Strom schwankt erheblich. Im Winter werden bei kaltem Wetter die Wärmepumpen die Nachfrage nach oben treiben. Es sind deshalb verschiedene Anpassungen des Stromsystems notwendig, um Stabilität zu sichern.

- Lastmanagement
- Netz-Ausbau
- Energiespeicher
- Not-Reserven

Lastmanagement

Lastmanagement bedeutet, dass der Verbrauch an Strom sich dem Angebot anpassen sollte. Dafür sollte der Strompreis variabel sein. Bei einem großen Angebot ist der Preis niedrig. Wenn es wenig Strom gibt, ist der Preis hoch. Verbraucher können sich dann an den Preisen orientieren und Geräte wie zum Beispiel Waschmaschinen dann einschalten, wenn der Preis niedrig ist. Auch im Handel und in der Industrie gibt es Geräte, die flexibel angeschaltet werden können. Zum Beispiel brauchen Kühlhäuser nur eine Stunde am Tag Strom. Sie würden dann einschalten, wenn viel Strom angeboten wird und daher billig ist. Das entlastet das Stromsystem und spart gleichzeitig Geld für die Verbraucher. Auch E-Autos können größtenteils dann geladen werden, wenn viel Strom vorhanden ist.

Maßnahmen zum Lastmanagement

- Der Strompreis muss flexibilisiert werden. Das gilt auch für Steuern und Umlagen, die bisher für jede Kilowattstunde gleich hoch sind, egal, ob viel oder wenig Strom vorhanden ist.
- Es muss ein Mechanismus entwickelt werden, den Verbrauchern den aktuellen Strompreis unkompliziert mitzuteilen, damit diese sich daran orientieren können.
- Darüber hinaus sollte es möglich sein, Geräte wie Waschmaschinen oder E-Autos so zu programmieren, dass sie sich automatisch einschalten, wenn der Strompreis günstig ist.

Das Stromnetz

Eine weitere wichtige Komponente für die Energiewende ist das Stromnetz.

Regionale Netze und Ladestationen

Die regionalen Netze müssen künftig in der Lage sein, den Strom aus den Photovoltaik-Anlagen aufzunehmen, wenn diese bei Sonnenschein Höchstleistung liefern. Zugleich müssen die Verteilnetze genügend Strom für das Laden der E-Autos auf den Parkplätzen und für die Wärmepumpen bereitstellen können (siehe im Abschnitt „Verkehr“).

Das Hochspannungs-Gleichstrom-Netz

Die kostengünstigste Methode, um Speicher einzusparen und Schwankungen auszugleichen ist der Ausbau eines europaweiten Hochspannungsnetzes für Gleichstrom (HGÜ-Netz). Über diese Kabel kann Strom mit geringen Verlusten über weite Strecken transportiert werden. Wenn in einer Region ein Stromüberschuss entsteht, kann mit den HGÜ-Kabeln der Strom in eine andere Region transportiert werden, in der gerade Strom benötigt wird.

Das HGÜ-Netz dient auch dazu, die Wasserspeicher in Norwegen anzuschließen (siehe Abschnitt Tages- und Wochenspeicher). Es gibt bereits einige Kabel und weitere sind in Planung. Das Netz sollte aber noch weiter ausgebaut werden.

Stromspeicher

Wenn der Strom nicht von flexiblen Verbrauchern benutzt oder über das Stromnetz verteilt werden kann, muss er gespeichert werden. Es gibt unterschiedliche Speicherarten, je nachdem, wie lange der Strom gespeichert werden soll.

Kurzzeitspeicher

Für den Ausgleich der stündlichen und täglichen Schwankungen eignen sich Batterien am besten. Sie haben einen sehr hohen Wirkungsgrad, das heißt, es geht beim Speichern wenig Energie verloren. Aber sie sind viel teurer als andere Speicher. Deswegen wird die Kapazität klein bleiben und nur für wenige Stunden reichen. Sie werden aber fast täglich im Einsatz sein und daher den größten Anteil des Speicherstroms liefern.

Tages- und Wochenspeicher

Größere Speicher werden nötig, wenn der Strombedarf im Wochenverlauf durch Feiertage und Wochenenden schwankt. Oder auch durch eine mehrtägige Dunkelflaute – also eine Zeit fast ohne Wind und Sonne. Dazu benötigt man günstige Speicher, die mehrere Tage lang Strom liefern können. Dafür sind Batterien zu teuer. Geeignet sind Druckluftspeicher oder Pumpwasser-Speicher.

Für Schleswig-Holstein kommen vor allem Stauseen in Skandinavien in Frage. Sie können regionale Stromengpässe über mehrere Wochen überbrücken. Um die Speicherleistung zu

steigern, kann ein Teil der Speicherseen mit Pumpen ausgestattet werden. Dann kann mit überschüssigem Strom Wasser wieder hochgepumpt werden kann.

Wasserspeicher sind sehr kostengünstig, da die Stauseen bereits existieren. Die zusätzlich erforderlichen Turbinen und Pumpen sind relativ günstig. Auch der Wirkungsgrad liegt mit Hochpumpen des Wassers über 80 Prozent. Begrenzt wird der Einsatz der Wasserspeicher allerdings durch den Ausbau der Hochspannungsleitungen. Denn es lohnt sich nicht, Leitungen zu bauen, wenn diese nur wenige Stunden im Jahr genutzt werden.

Langzeitspeicher: Herstellung von E-Brennstoffen und Gas-Reserve-Kraftwerke

Die dritte Speicherform sind Langzeitspeicher. Sie sichern die Stromversorgung während einer längeren kalten Dunkelflaute – wenn im Winter wenig Wind weht und kaum die Sonne scheint, aber der Strombedarf für Wärmepumpen und Beleuchtung hoch ist. Da es keine Möglichkeit gibt Strom in so großen Mengen günstig zu speichern, muss der Strom in Form von Gas gespeichert werden. Dazu werden mit Hilfe von Strom E-Wasserstoff oder E-Brennstoffe hergestellt. Dies kann immer dann passieren, wenn es Stromüberschüsse gibt, vor allem aber im Sommer. Das Gas wird dann in den Gaskavernen und den Gasnetzen gespeichert, die es in Deutschland bereits gibt. Im Winter kann das Gas in Gas-Kraftwerken Strom und Wärme für die Fernwärmenetze erzeugen.

Diese Gaskraftwerke sollten aber nur im Notfall laufen, da die Herstellung der E-Brennstoffe sonst zu viel Energie benötigt. Denn der Weg Strom → E-Brennstoffe → Strom hat einen schlechten Wirkungsgrad von unter vierzig Prozent. Das heißt, es geht durch die Umwandlung viel Energie verloren. Deshalb soll diese Form der Speicherung nur wenige Male im Jahr genutzt werden, wenn die anderen Speicher nicht mehr ausreichen.

Für Schleswig-Holstein spielen Gas-Speicher und Gas-Reserve-Kraftwerke fast keine Rolle. Erstens hat das Land Anbindung an die Windräder auf See. Diese liefern fast das ganze Jahr konstant Strom. Zweitens kann Strom leicht über die bereits bestehenden HGÜ-Kabel aus Norwegen bezogen werden.

Maßnahmen zu Stromspeichern

- Für E-Autos muss gesetzlich vorgeschrieben werden, dass zehn Prozent der Batterien als Speicher zur Netzstabilität genutzt werden können.
- Finanzielle Doppelbelastungen für Energiespeicher müssen sofort abgeschafft werden.
- Schleswig-Holstein soll gemeinsam mit Hamburg eine Planung des Bedarfs an Strom, Speichern und Netzen erarbeiten, um die für die künftige treibhausgasfreie Energieversorgung erforderlichen Maßnahmen zu identifizieren und einzuleiten.

Rohrleitungen für Gas- und Brennstofftransporte

Heute spielten Rohrleitungen insbesondere für den Transport von Flüssigkeiten und Gas eine wichtige Rolle. Der größte Anteil betrifft den Transport von Erdöl, danach in weitem Abstand Erdgas. Durch die weitgehende Elektrifizierung des Verkehrs und der Hauswärme wird der Anteil der Rohrleitungen auf ein Bruchteil zurückgehen.

Neugestaltung der Gasnetze

Heute werden wird Erdgas vor allem für die Erdgasheizungen in den Wohngebäuden gebraucht. Hinzu kommt Erdgas, das als Rohstoff in der chemischen Industrie verarbeitet wird. Nach der Umstellung der Heizungen auf Wärmepumpen und/oder dem Anschluss an Nahwärmenetze wird das Verteilnetz in die Wohnviertel und Haushalte kaum noch benötigt werden. Einen Gasanschluss brauchen künftig nur noch:

- Blockheizkraftwerke für die Nah- und Fernwärmeversorgung
- Industriebetriebe insbesondere der Eisen- und Stahl und der Zementindustrie, in denen auf Kohle basierende Prozesse durch Prozesse mit Wasserstoff oder E-Methan ersetzt werden
- Betriebe der Chemieindustrie, in denen Wasserstoff oder E-Methan als Rohstoff eingesetzt wird

Maßnahmen für die Entwicklung des Methan- und Wasserstoffnetzes

- Der künftige Bedarf an Methan und Wasserstoff wird nur noch ein Bruchteil des heutigen Bedarfs an Erdgas ausmachen. Dazu können die heutigen Erdgasleitungen genutzt werden. In der Übergangszeit kann dem Erdgas ein zunehmender Anteil an grünem Wasserstoff beigemischt werden.
- Für die Anwendungen, die reinen Wasserstoff benötigen, muss das heute nur lokal vorhandene Netz ausgebaut werden. Dazu können nicht mehr benötigte Erdgasleitungen genutzt werden. Dafür müssen lediglich die Dichtungen an den Kupplungsstellen ausgetauscht werden. Die Rohrleitungen sind grundsätzlich auch für Wasserstoff geeignet.
- Das Land Schleswig-Holstein muss daher den künftig notwendigen Bedarf an Leitungen feststellen lassen und klären, in wieweit der Netzumbau erfolgen kann oder in wieweit öffentliche Investitionen erforderlich sind.

Hauswärme

In diesem Kapitel geht es um die Erzeugung von Wärme für Heizungen und Warmwasser. Dabei geht es sowohl um die Heizungen in den Häusern als auch um Nah- und Fernwärmesysteme. Auch die Dämmung von Gebäuden wird hier diskutiert.

Wichtigste Punkte

- Alle Häuser müssen so gut wie möglich gedämmt sein, um den Energieverbrauch zu minimieren. Die große Herausforderung besteht darin, dass pro Jahr mindestens drei bis vier-mal mehr Häuser saniert werden müssen, als bisher. Dies kann vermutlich nur über eine Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen erreicht werden.
- Die Wärmeerzeugung muss bis 2035 komplett umgestellt werden. Die Wärmeerzeugung der Zukunft wird hauptsächlich auf Wärmepumpen und Solarthermie aufbauen. Soweit noch Öl- und Gasheizungen existieren, dürfen sie nur noch mit E-Brennstoffen betrieben werden.
- Die Erzeugung der Fernwärme muss ebenfalls erneuerbar stattfinden. Dafür ist ein Mix aus Geothermie, Solarthermie, Großwärmepumpen, Biogas und Abwärme nötig.
- Dort wo es bisher noch keine Fernwärme-Systeme gibt, müssen die Kommunen entscheiden, ob sie welche bauen oder lieber auf dezentrale Lösungen setzen wollen.

Ausgangslage

In Schleswig-Holstein gibt es etwa 820.000 Wohngebäude[98]. Hinzu kommen Gebäude aus dem Bereich GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen)[99]. Dies sind zum Beispiel Supermärkte, Schulen, Krankenhäuser, Geschäfte oder Handwerksbetriebe. Wir beschreiben hier vor allem, was für die Wohngebäude wichtig ist. Prinzipiell müssen aber die gleichen Maßnahmen für die anderen Gebäude durchgeführt werden.

Die Erzeugung von Heizungswärme und Warmwasser verbraucht 41 Prozent der Endenergie in Schleswig-Holstein.[100] Außerdem verursacht sie etwa 21 Prozent der Treibhausgase in Schleswig-Holstein. Etwa elf Prozent machen die Gas-Heizungen aus, 6,5 Prozent die Öl-Heizungen und drei Prozent die Erzeugung von Fernwärme.

[98] Siehe StaNo 2018, StaNo 2019

[99] Wir orientieren uns an den Zahlen für Deutschland und schätzen, dass dies ungefähr 90.000 Gebäude sind. Auf Bundesebene gibt es ca. 19 Mio. Wohngebäude und 2,5 Mio. GHD-Gebäude. Schleswig-Holstein hat damit ca. 4,3% der Wohngebäude in Deutschland. Die Zahl ist im Verhältnis zur Bevölkerung (3,5%) überproportional, weil es in Schleswig-Holstein viele Ein- und Zweifamilienhäuser gibt (ca. 722.000, d.h. 88% im Vergleich zu 83% in Deutschland, siehe StaNo 2018, dena 2016. Für GHD-Gebäude rechnen wir damit, dass die Zahl ungefähr proportional zur Einwohnerzahl ist.

[100] Siehe MELUND 2019/3

In den letzten Jahren gab es viele technische Entwicklungen im Gebäudebereich. Durch bessere Dämmung verbrauchen Häuser weniger Energie. Neue Häuser können sogar so gebaut werden, dass sie mehr Energie erzeugen, als sie verbrauchen (Plus-Energie-Häuser). Die meisten Gebäude sind aber schlecht gedämmt und es werden zu wenige Häuser saniert.[101]

Es gibt auch neue Heizungen, die viel effizienter sind als die alten Anlagen (siehe Infobox 4). Bislang werden aber weniger als ein Prozent der Wohnungen mit Wärmepumpen beheizt.[102]

Infobox 4: Wärmepumpe

Die Wärmepumpe ist die Heizung der Zukunft. Sie funktioniert wie ein umgekehrter Kühlschrank: Die Kälte wird nach draußen gebracht und die Wärme nach innen. Dabei kann die Wärme entweder der Außenluft oder dem Boden entnommen werden. Der Wirkungsgrad liegt zwischen 200 Prozent (eine Kilowattstunde Strom pumpt zwei kWh Wärme ins Haus) bis hin zu 500 Prozent. Damit ist die Wärmepumpe viel effizienter als andere Heizungen.

Außerdem steigt die Wohnfläche pro Person ständig an. Vor zwanzig Jahren hatte jede Person durchschnittlich vierzig Quadratmeter Wohnraum zur Verfügung.[103] Heute sind es schon 47 Quadratmeter.[104] Dies wirkt sich negativ auf den Energieverbrauch aus.

Das Ziel

Wenn das 1,5-Grad-Ziel erreicht werden soll, müssen die Wohnungen und Geschäftsgebäude spätestens 2040 klimaneutral sein.[105] Dies wird sehr teuer und macht vermutlich ein Drittel aller Kosten aus, die für die Umstellung der Gesellschaft auf Klimaneutralität notwendig sind. Zugleich wird dieser Bereich die größten staatlichen Zuschüsse erfordern.

Es geht dabei um drei große Vorhaben:[106]

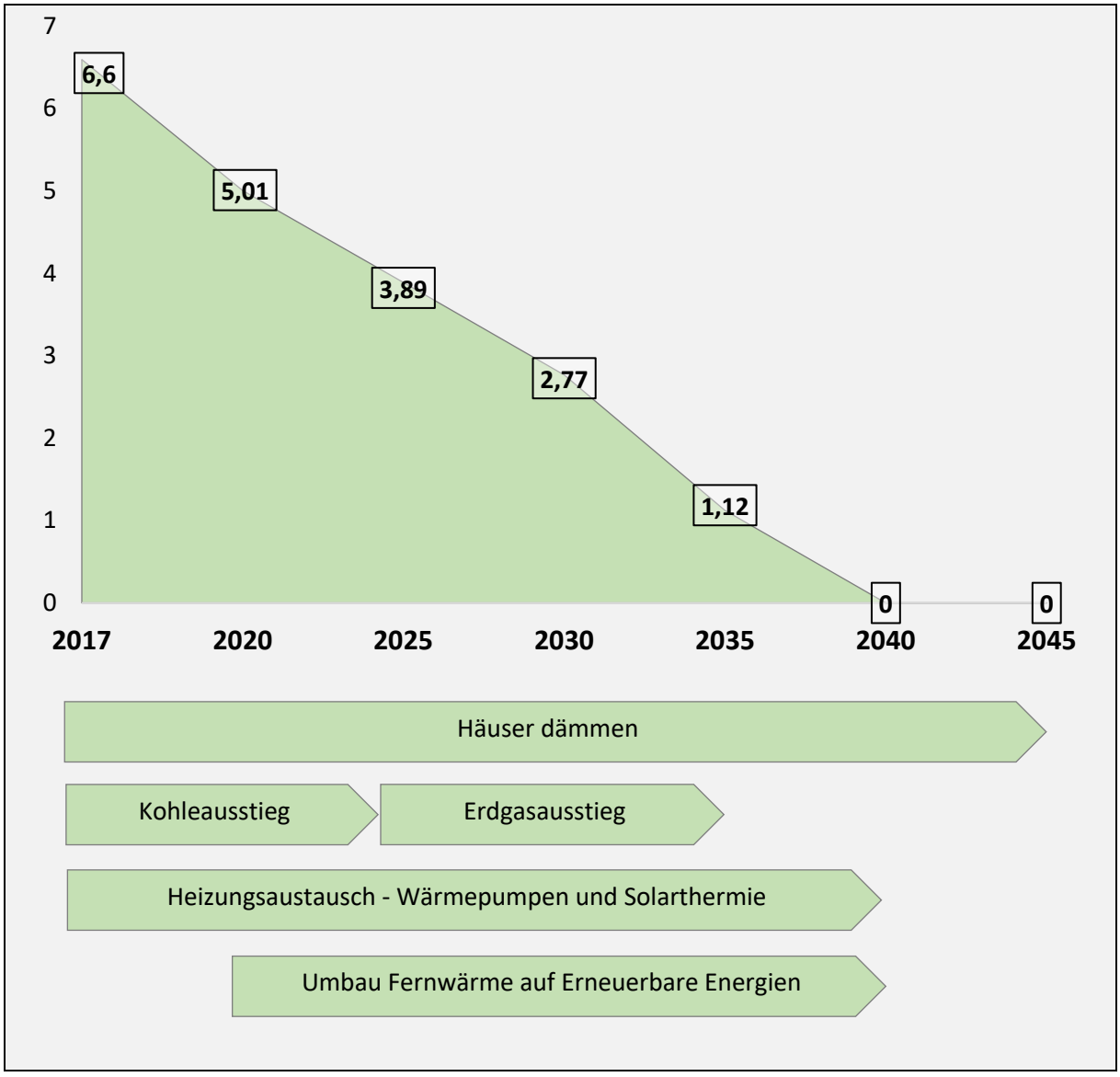
- Dämmung der Häuser: Alle Häuser sollten so gut gedämmt sein, dass sie sehr wenig Energie verbrauchen. Dies erleichtert auch den Einsatz von Wärmepumpen. Dämmung ist somit sowohl für Energiesparen wichtig, als auch für die Umstellung auf Heizungen mit erneuerbarer Energie.
- Austausch der Heizungen: Öl- und Gasheizungen müssen komplett ausgetauscht werden. Neue Heizungssysteme sind zum allergrößten Teil Wärmepumpen und Solarthermie.

[101] Für Schleswig-Holstein haben wir keine Sanierungszahlen. Auf Bundesebene lag die Sanierungsquote jahrelang bei ca. 0,7-1%. Siehe BBK 2020
[102] Siehe BDEW SH 2019
[103] Siehe StaNo 2019/2
[104] Siehe Mikrozensus 2018
[105] Klimaneutralität ist hier wie folgt definiert: Die Beheizung, Kühlung und Warmwassererzeugung des gesamten Gebäudebestands erzeugt weder direkt (im Gebäude), noch indirekt (z.B. durch den Bezug von Strom aus nicht erneuerbaren Kraftwerken) Treibhausgase.
[106] EIne Reduzierung der Wohnfläche haben wir auf Basis der Studien nicht angenommen.

- Fernwärme: Die Fernwärme-Netze können ausgebaut werden. Zugleich muss die Wärme erneuerbar erzeugt werden.

In der Grafik 14 sind die einzelnen Maßnahmen dargestellt, die notwendig sind, um diese Ziele zu erreichen. Außerdem ist dargestellt, wie sich der jährliche Treibhausgas-Ausstoß entwickeln muss.

Grafik 14: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Hauswärme



In den nächsten Abschnitten wird beschrieben, welche Schritte notwendig sind, um diese Ziele zu erreichen.

Dämmung der Häuser

Theoretisch könnten alle Häuser mit Wärmepumpen klimaneutral geheizt werden. Allerdings wäre die Menge an erneuerbarem Strom, der dafür benötigt wäre, viel zu groß. Daher sollten

soweit möglich alle Häuser so gedämmt sein, dass sie nur noch wenig Energie verbrauchen.[107] Je nach Gebäudeart, ergeben sich unterschiedliche Ziele:

- Bei Neubauten ist die Dämmung technisch leicht möglich und verursacht nur geringe Mehrkosten. Es dürfen nur noch Gebäude errichtet werden, die den Passivhausstandard erreichen.[108] Es sollte zunehmend auf ökologische Dämm- und Baumaterialien zurückgegriffen werden. Die Versiegelung von Flächen soll minimiert werden.
- Einige Häuser sind bereits gut saniert (rund zehn Prozent)[109].
- Einige Häuser können aus Denkmalschutz-Gründen nicht umfangreich saniert werden.[110]
- Trotzdem sollten geeignete Maßnahmen wie Austausch der Fenster oder Dachdämmung ergriffen werden.
- Alle anderen Häuser müssen innerhalb der nächsten 25 Jahre saniert werden. Wir schätzen, dass dies etwa siebzig Prozent der Häuser sind.[111] Pro Jahr müssen etwa 25.500 Häuser saniert werden.[112] Dies entspricht einer Verdreifachung der Sanierungsquote.[113]

Dabei soll bis 2040 ein durchschnittlicher Energiebedarf von 50 Kilowattstunden pro Quadratmeter pro Jahr erreicht werden. Mehrfamilienhäuser können einen etwas besseren Wert erreichen. Bei Einzelhäusern wird das nicht immer gelingen. Um diesen Wert zu erreichen, muss in der Regel die gesamte Gebäudehülle gedämmt werden: Dachisolierung, Fenster, Wände und Keller. Welche Dämmmaßnahmen im Einzelnen sinnvoll sind, ist von Haus zu Haus unterschiedlich. Es gibt sehr unterschiedliche Schätzungen der Kosten der Gebäudedämmung.[114] Mit Sicherheit macht diese Aufgabe eine der größten Kostenfaktoren der Energiewende aus.

Es ist seit Jahren bekannt, dass die Sanierungsquote stark gesteigert werden muss. Allerdings gibt es Gründe, warum dies bisher nicht funktioniert hat. [115]

- Hausbesitzer sind im Schnitt 58 Jahre alt.[116] Ältere Menschen scheuen langfristige Investitionen.
- Bei schwankenden Energiepreisen lässt sich schwer einschätzen, nach wie viel Jahren Investitionen sich lohnen.

---

[107] Wir rechnen mit einem durchschnittlichen Verbrauch von 50 kWh/m^{2}a im Jahr 2045. Dies entspricht einer Senkung des Energiebedarfs gegenüber heute um 64%. Der Energiebedarf lag im Jahr 2017 bei 136,9 kWh/m^{2}a im Durchschnitt in SH (siehe DIW 2018)

[108] Wir definieren Passivhaus hier als ein Gebäude, das weniger als 5kwh/m^2 im Jahr an Endenergie zu Heizzwecken verbraucht.

[109] Dies sind Häuser, die vor kurzem errichtet oder saniert wurden und Sanierungszustände bis zu 65 kwh/m2/Jahr aufweisen.

[110] Wir rechnen hier, wie auf Bundesebene, mit ca. 10% der Gebäude.

[111] Vgl. BBK 2020

[112] Wohngebäude und GHD insgesamt: 910.000. 70% davon: rund 640.000. Bis 2045 sollen alle Sanierungen abgeschlossen sein.

[113] von derzeit ca. 1% auf 2,8%.

[114] Siehe in BBK 2020 die Anlage 18

[115] Siehe UBA 2014

[116] Siehe BDH 2016

- Förderprogramme sind oft unübersichtlich und kompliziert.[117]
- Hohe Kosten von Sanierungen
- Unzureichende Zahl von Facharbeitern/ häufig Fortbildungsdefizit
- Die bestehenden Vorgaben werden teilweise nicht umgesetzt, weil selten Kontrollen stattfinden.
- In Eigentümer-Gemeinschaften sind Sanierungen oft schwer durchzusetzen

In ländlichen abgelegenen Regionen mit abnehmender Bevölkerung gibt es besondere Hemmnisse. Hier leben viele ältere Menschen in großen, billigen und oft schlecht gedämmten Wohnungen. Eine schlechte Dämmung erschwert den Einsatz von Wärmepumpen. Des Weiteren geben Banken schwerer Kredite in Regionen, in denen der Bevölkerungsstand zurückgeht. für die Banken kaum noch Kredite geben wollen.

In Mietshäusern ergibt sich das Problem, dass zunächst Vermieter die Sanierungen zahlen, aber die Mieter zunächst von der Sanierung profitieren. Dies geschieht, da die Nebenkosten durch weniger Heizkosten geringer werden. Allerdings können Vermieter viele energetische Modernisierungen zu 8% auf die jährliche Kaltmiete aufgeschlagen. Dies nennt sich Modernisierungsumlage. In vielen Fällen ist die Erhöhung der Kaltmiete mehr, als die Heizkostenersparnis, sodass es für die Mieter nach der Sanierung insgesamt doch teurer ist (die Sanierungen sind nicht warmmietneutral). Diese Modernisierungsumlage führt auch dazu, dass Vermieter häufig von staatlichen Förderprogrammen finanziell nicht profitieren und deswegen sich auch nicht an die energetischen Mindestanforderungen der Förderprogramme halten müssen. Ein interessanter Lösungsvorschlag für dieses Problem ist das sogenannte „Drittel-Modell“ (Staat, Mieter, Vermieter) von BUND und IFEU: Das Modell soll gewährleisten, dass sowohl Mieter (durch eine neutrale oder sogar geringere Warmmiete) wie auch Vermieter (durch einen öffentlichen Zuschuss) von der Sanierung profitieren.[118]

Heizungen austauschen

Wärmepumpen und Solarthermie

Bis 2040 soll der komplette Heizungsbestand (außer in Häusern mit Fernwärme) vor allem aus Wärmepumpen und als Unterstützung aus Solarthermie bestehen. Nur in Ausnahmefällen können Heizungen mit erneuerbaren Brennstoffen betrieben werden. Dies betrifft vor allem Häuser, die nicht saniert werden können. Pro Jahr müssen dafür circa 35.500 Wärmepumpen installiert werden.[119] Dies ist realistisch, da jedes Jahr ohnehin rund drei Prozent der Heizungen ausgetauscht werden. Es müsste der Austausch der Heizungen lediglich auf 3,9% erhöht

[117] Es gibt ca. 3350 Förderprogramme - siehe Henger 2017
[118] Siehe IFEU 2019/2
[119] Geschätzt 710.000 insgesamt. Einige Gebäude haben heute schon Wärmepumpen, 20% von den insgesamt 910.000 Gebäuden erhalten Fernwärme und einige Gebäude haben andere Heizungssysteme. Momentan sind

werden. Zusätzlich müssen ungefähr auf jedes zweite Haus neun Quadratmeter Solarthermie-Anlagen installiert werden.[120] Damit Wärmepumpen optimal funktionieren, ist es gut, wenn das Haus bereits gut gedämmt ist. Deshalb sollten die Maßnahmen – Dämmung und Einbau neuer Heizungssysteme – möglichst gleichzeitig stattfinden. Auch die Umstellung der Heizungen auf Niedertemperatur-Systeme (z.B. Wand- oder Fußbodenheizungen) steigern den Wirkungsgrad der Heizungen erheblich. Zuerst sollten die Ölheizungen ausgetauscht werden, da diese besonders viele Treibhausgase freisetzen.

Wärmespeicher

Die Energieerzeugung wird in Zukunft stärker schwanken – auch im Wärme-Bereich. Solarthermie-Anlagen erzeugen Wärme nur dann, wenn die Sonne scheint. Und Wärmepumpen sollten vor allem dann laufen, wenn der Strompreis günstig ist. (Siehe Abschnitt „Lastmanagement“) Deshalb werden Wärmespeicher benötigt, die die Wärme speichern können, bis sie verbraucht wird. Dies wird hauptsächlich für die Schwankungen im Stunden- und Tagesbereich möglich sein. Viele Haushalte werden deshalb kleine Wärmespeicher bekommen. Diese bestehen aus gut isolierten Wassertanks.

Maßnahmen für Wärmedämmung und Heizung

Beratung:

- Die Kommunen sollen eine kostenlose individuelle Klimaberatung für Mieter, Vermieter und Eigenheimbesitzer bereitstellen.

Ordnungsrecht:

- Es bedarf klarer Vorschriften für Energiestandards und für die Wartung und Prüfung der Heizanlagen und der Wärmedämmung.
- Jede Wohnung bzw. jedes Haus bekommt einen Energiepass.
- Es gibt verbindliche Vorschriften für die Sanierung aller Häuser, die Zustand und Alter berücksichtigen.
- Beim Austausch der Heizungen dürfen nur noch Systeme mit erneuerbarer Energie oder Fernwärme eingesetzt werden.
- Ölheizungen müssen je nach Alter bis zu einem festen Datum – spätestens 2030 – ausgetauscht werden.

9,6% der Gebäude mit Fernwärme versorgt (siehe DIW 2018). Dies wäre dann etwas mehr, als eine Verdoppelung, was im Rahmen unterschiedlichen Schätzungen liegt (siehe Fraunhofer IWES 2015, FVEE 2014).

[120] Wir rechnen mit insgesamt 2 TWh Strom aus dezentraler Solarthermie. 0,16 TWh werden derzeit erzeugt. Wenn man mit 450kwh/m^2/Jahr Ertrag rechnet, ergeben sich 4,1 km^2 neu zu installierender Anlagen. Da nicht jedes Dach für Solarthermie geeignet ist, haben wir hier grob vereinfacht angenommen, dass die Fläche sich gleichmäßig auf 50% der Gebäude verteilt. In der Praxis wird die Verteilung natürlich anders aussehen. Vgl. BBK 2020

- Für alle Gebäude der öffentlichen Hand wird ein Sanierungsplan erarbeitet, der die Sanierung bis 2040 sicherstellt.

Finanzielle Förderung:

- Benötigt wird ein Mix aus Steuer-, Zuschuss- und Kreditförderung mit attraktiven Konditionen und unbürokratischen Verfahren.
- Die Programme müssen so gestaltet werden, dass die monatlichen Kosten für Zinsen und Tilgung plus die laufenden Heizkosten geringer sind als die heutigen Heizkosten.
- Für Mietshäuser gibt es einen interessanten Vorschlag von BUND und IFEU: Das sogenannte „Drittel-Modell“ (Staat, Mieter, Vermieter): Das Modell soll gewährleisten, dass sowohl Mieter (durch eine geringere Warmmiete) wie auch Vermieter (durch einen öffentlichen Zuschuss) von der Sanierung profitieren.
- Für Geschäfts-, Büro- und Gewerbegebäude müssen teilweise spezielle Regelungen und Fördermaßnahmen entwickelt werden.
- Wir brauchen spezielle Programme für die Sanierung im ländlichen Raum, die in schwierigen Lagen mit attraktiven Angeboten zum Rückbau verbunden werden.

Sonstiges:

- Wir brauchen ein nationales Programm zur Ausbildung, Umschulung und Weiterbildung für die benötigten Handwerker.

Fernwärme

Zurzeit wird in Schleswig-Holstein fast jede fünfte Wohnung mit Fernwärme geheizt. Die Fernwärme wird in Kraftwerken zu 45 Prozent mit Steinkohle und 21 Prozent mit Erdgas erzeugt. Der Rest sind Bio-Brennstoffe und Müll.[121] Bei öffentlichen Gebäuden und bei Geschäften und Betrieben hat die Fernwärme mehr Bedeutung als in privaten Haushalten.

Infobox 5: Kraftwärmekopplung (KWK) und Blockheizkraftwerk (BHKW)

Man spricht von Kraftwärmekopplung (KWK), wenn ein Kraftwerk sowohl Strom also auch Wärme produziert. Dann wird also die Abwärme zum Heizen oder anderen Zwecken verwendet.
Ein kleines Kraftwerk mit Kraftwärmekopplung zur dezentralen Wärme- und Stromversorgung nennt man Blockheizkraftwerk (BHKW).

Meist wird in den Kraftwerken sowohl Wärme wie auch Strom produziert. Dann spricht man von Kraftwärmekopplung (siehe Infobox 5). Neben der Fernwärme gibt es immer mehr kleine

[121] Siehe MELUND 2019/3 Die Prozentzahlen stammen aus dem Jahr 2017. Da im April 2019 das Kohlekraftwerk in Kiel stillgelegt wurde, wird der Anteil der Kohle seitdem zurückgegangen sein. Die restlichen Brennstoffe sind: 17 Prozent Biogas, sieben Prozent biogene Abfälle, sieben Prozent nicht biogener Müll und die restlichen drei Prozent sonstige Brennstoffe.

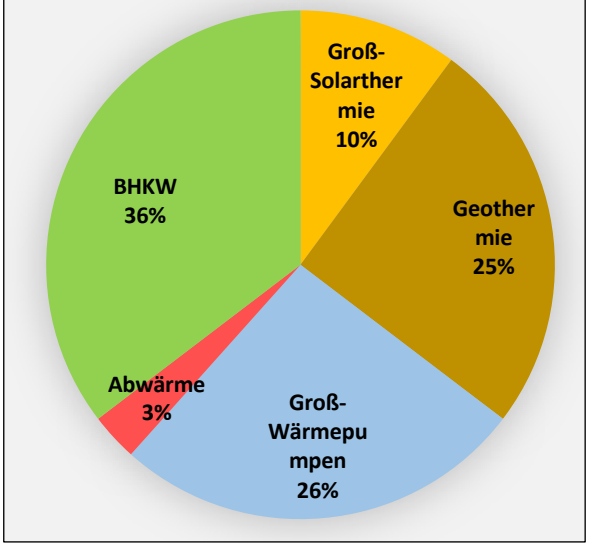
Nahwärmenetze. Bei kleinen Anlagen mit Kraftwärmekopplung spricht man von einem Blockheizkraftwerke (BHKW).

Die Zukunft der Fernwärme

Für ein klimaneutrales Schleswig-Holstein müssen die Fern- und Nahwärmenetzte komplett auf erneuerbare Energien umgestellt werden.

Die Fern- und Nahwärmenetze zusätzlich auszubauen kann wegen der hohen Effizienz der Fernwärme Sinn machen, auch, wenn dies eine hohe Investition erfordert.[122] Wir gehen davon aus, dass bis 2040 circa dreißig Prozent der Haushalte und zwanzig Prozent der Wohngebäude über Fern- und Nahwärmesysteme mit Wärme versorgt werden. [123] Dafür ist es auch notwendig, die alten Wärmenetze umzubauen. Oft nutzen diese noch 100 bis 200 Grad warmes Wasser. Diese Netze sind mit hohen Verlusten verbunden. Auch können diese Temperaturen mit Solarthermie und Wärmepumpen nicht erreicht werden. Deshalb müssen die Netze umgestellt werden auf niedrigere Temperaturen. Dazu müssen andere Heizkörper – am besten sogar Fußboden oder Wandheizungen – installiert werden.

Grafik 15: Fernwärme – Erzeugung 2038



Warmwasser muss aus Gründen der Hygiene mindestens eine Temperatur von 55 Grad haben. Deshalb sollte geprüft werden, ob es sinnvoll ist mit zwei getrennten Temperaturen für Heizung und Warmwasser zu arbeiten. Um diese großen Investitionen zu sparen, kann auch nur Niedertemperatur für das Heizen über Fernwärme bezogen werden. Das Warmwasser wird dann vor Ort durch Solarthermie oder Wärmepumpen produziert.

In Zukunft wird die Fernwärme oder auch Nahwärme folgendermaßen produziert:

Im Sommer wird eine Kombination aus Groß-Solarthermieanlagen und Großwärmepumpen die Wärmenetze füllen, soweit diese für die Warmwasser-Versorgung benötigt werden. Sie können zusätzlich dazu beitragen, die Wärmespeicher aufzuladen (siehe unten im Abschnitt „Speicher“).

[122] Auf der anderen Seite ist die Wirtschaftlichkeit von Fernwärme bei einem so gut gedämmten Gebäudebestand, wie wir ihn unterstellen wegen der geringen Wärmedichte eventuell nicht gegeben. Ob ein Ausbau sinnvoll ist, muss im Einzelfall geprüft werden.

[123] Auf Gebäude bezogen, rechnen wir mit einer angestrebten Versorgung von ca. 20% der Gebäude. Momentan sind 9,6% der Gebäude mit Fernwärme versorgt (siehe DIW 2018). Dies wäre dann etwas mehr, als eine Verdoppelung, was im Rahmen der Schätzungen von Fraunhofer IWES u.a. 2015 und FVEE 2014.

Im Winter werden zusätzlich (Block-)Heizkraftwerke eingeschaltet, die mit E-Methan, grünem Wasserstoff, Bioenergie oder Müll betrieben werden. Auch Brennstoffzellen sind dafür eine Option.

Alle Heizkraftwerke sollen künftig stets Wärme und Strom zugleich produzieren, um die Energie optimal zu nutzen. Wenn entweder die Wärme oder der Strom aktuell nicht benötigt werden, dann sollen sie gespeichert werden (mehr dazu auch im Abschnitt „Strom, Speicher und Netze“). Neue Blockheizkraftwerke sollten möglichst so flexibel gebaut sein, dass sie Gasgemische mit unterschiedlichen Wasserstoffanteilen nutzen können, damit sie auch dann noch genutzt werden können, wenn in Zukunft mehr Wasserstoff genutzt werden sollte.

Kurzfristige Windspitzen können genutzt werden, indem die Wärmespeicher mit Tauchsiedern aufgeheizt werden. Denn Wärmepumpen lohnen sich nicht für kurzzeitige Spitzen. Zunehmen wird auch die Bedeutung von industrieller Abwärme, die wo immer möglich genutzt werden soll (siehe im Abschnitt „Industrie“).

Geothermie

Schleswig-Holstein verfügt über Geothermie-Potentiale. 2017 wurden 0,41 TWh Wärme auf diese Weise gewonnen[124]. Wir konnten allerdings keine aktuellen Potentialabschätzungen für Schleswig-Holstein finden.

Das Umweltbundesamt rechnet mit einem Potential von fast 20 TWh für Deutschland. [125] Da innerhalb von Deutschland Schleswig-Holstein eines der Länder mit dem größten Potential darstellt rechnen wir mit einem überproportionalen Anteil von 2,5 TWh.[126]

Abwärme

Die Abwärme wird aus Industrie und GHD bezogen. Es liegen relativ wenige belastbare Daten zum Abwärme-Potential vor. Für Deutschland rechnen wir mit 30 TWh. Für Schleswig-Holstein rechnen wir konservativ mit 0,3 TWh Abwärme-Potential.[127] Das entspricht einem Prozent des gesamtdeutschen Potentials. Insbesondere bei Elektrolyse-Prozessen gibt es wahrscheinlich Potentiale, die bisher nur wenig berücksichtigt wurden.[128]

Abwärme-Quellen in Schleswig-Holstein sind außerdem

- Die Papier-Industrie[129]

[124] Siehe MELUND 2019/3
[125] Siehe UBA 2019/2
[126] Siehe IFEU 2019/1
[127] Eine Studie von ifeu (2019/1) hat die Potentiale zum Ersatz von Fernwärme aus Kohlekraftwerken ermittelt. Aus Abwässern können mit Hilfe von Großwärmepumpen ca. 0,1 TWh Wärme gewonnen werden. Dies bezieht sich jedoch nur auf mögliche Wärmequellen im 5-km-Umkreis der drei Kraftwerke Flensburg, Kiel und Wedel. Die TU München gibt für Schleswig-Holstein ein industrielles Abwärme-Aufkommen von 0,83 TWh an. Siehe Technische Universität München 2016. Die Autorin sagt selbst, dass das geschätzte Potential in anderen Studien höher liegt.
[128] Siehe UBA 2014
[129] Siehe IFEU 2019

- Die Chemie-Industrie[108]
- Die Raffinerien
- Des Weiteren gibt es viele kleine Abwärme-Quellen wie Rechenzentren, Druckereien oder Zement-Herstellung, für die es teilweise auch schon Nutzungsbeispiele gibt.[130]

Laut Experten ist fehlende Wirtschaftlichkeit das wesentliche Hindernis für weitere Erschließungen. Ein steigender CO_2-Preis kann die Nutzung dieser Potentiale interessant machen.[131]

Die Industrie sollte in Zukunft auch die Abwärme, die nicht in Fernwärme-Netze eingespeist wird, für ihre eigenen Zwecke besser ausnutzen.

Biogas

Der Anteil von erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch im Bereich Wärme lag 2017 mit knapp sechs Terawattstunden bei 14 Prozent, wobei davon der Großteil aus Biomasse entstand (neunzig Prozent). Der Rest setzte sich aus sieben Prozent Geothermie und drei Prozent Solarthermie zusammen.

Es wird auch in Zukunft noch Biogas-Anlagen geben, diese werden aber erheblich anders eingesetzt werden:

- Der Anbau von Energiepflanzen wird eingestellt. Biogas-Anlagen können daher nur noch mit Reststoffen betrieben werden. (Siehe Abschnitt „Energie/Bioenergie“).
- Ergänzt wird dies mit Rest-Holz, E-Methan und E-Wasserstoff in Block-Heizkraft-Werken.
- Die Anlagen laufen vor allem dann, wenn wenig Wind und Sonne da ist.
- Daher laufen sie nur zeitweilig, müssen dann aber sehr viel mehr Strom erzeugen.
- Dafür brauchen sie größere Gas-Speicher und leistungsfähigere Turbinen.

Wärmespeicher

Am meisten eingesetzt werden dafür bislang große gut isolierte Wasserspeicher. Es gibt bereits zwei Dutzend Großprojekte im Betrieb. Eine weitere vielversprechende Alternative sind Eisspeicher. Sie werden zusammen mit Wärmepumpen eingesetzt. Die Wärmepumpen laufen dann immer im optimalen Bereich und der Wirkungsgrad wird bei Minustemperaturen nicht schlechter. Sie haben weiterhin den Vorteil, dass sie nicht gedämmt werden müssen und daher keine Verluste haben. Im Gegenteil: Wenn das Eis taut, ist das ein Energiegewinn. Auch Binnensee- oder Meerwasser kann als Wärmequelle für eine Wärmepumpe dienen. Der Vorteil ist, dass das Wasser am Grund von tiefen Gewässern konstant 4 Grad hat, auch im Winter. Im Sommer kann hingegen von der Sonne erwärmtes Oberflächenwasser genutzt werden. Beispielsweise nutzen Den Haag, Stockholm und einige Städte und Gemeinden in der Schweiz solche Wassersysteme.

[130] Siehe EMN 2018
[131] Siehe co2online.de 2020

Maßnahmen für die Fern- und Nahwärmenetze

- Die Kommunen müssen für die Stadtteile und Siedlungen Wärmeleitpläne (Quartierskonzepte) erstellen, die die Versorgung regeln. Dort, wo es Fernwärme- oder Nahwärmeangebote gibt, muss es einen Anschlusszwang geben, damit diese optimal genutzt werden. Dabei sollen die Preise so attraktiv gestaltet werden, dass sie unterhalb einer Eigenversorgung liegen.
- Es müssen rechtliche und finanzielle Rahmenbedingungen geschaffen werden, damit die Fernwärmenetze und Nahwärmenetze schnell auf Erneuerbare Energie umgestellt werden (siehe auch im Abschnitt „Treibhausgaspreis“).
- Es muss sich finanziell lohnen, wenn stets Wärme und Strom zugleich produziert werden und die Energie entweder direkt genutzt oder gespeichert wird. Es müssen ausreichende finanzielle Anreize für den Bau von Wärmespeichern geschaffen werden.

Anpassung an den Klimawandel

Auch wenn wir davon ausgehen, dass das 1,5-Grad-Ziel erreicht wird, wird das Wetter sich in Zukunft ändern. Stürme, Starkregen und Überflutungen sowie Hitze-Perioden werden häufiger werden. Da im Gebäude-Sektor sehr viel Geld und Material investiert werden wird, ist es wichtig, von vorn herein so zu bauen, dass die Gebäude an das Wetter angepasst sind. Beispiele sind: Hochwasserschutz an Küsten und Flüssen; Fassaden- und Dachbegrünung in Städten gegen Überhitzung im Sommer; Solar-Anlagen müssen so gebaut werden, dass sie auch starken Hagelkörnern und Stürmen standhalten.

Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

- Einführung einer bundesweiten Pflichtversicherung gegen Elementarschäden für alle Immobilienbesitzer[132]
- Klimavorbeugeplanung (Hochwasserschutz, Fassadenbegrünung u.a.) für die Kommunen einführen.
- Bauvorschriften müssen für Extremwetterereignisse wie Hagelstürme und Dauerregen angepasst werden.

[132] Siehe UBA 2014/2

Verkehr

In diesem Abschnitt werden der Personen- und der Güterverkehr diskutiert. Das schließt alle Verkehrsmittel des Straßenverkehrs, Schiffe, Flugzeuge und Bahnen mit ein. Auch andere Fahrzeuge wie Baufahrzeuge, Traktoren etc. sind hier enthalten.

Kernpunkte

Die Treibhausgase des Verkehrs-Sektors sind beeinflusst durch eine riesige Zahl kleiner Entscheidungen. Trotzdem gibt es einige zentrale Aufgaben:

- So viel Verkehr wie möglich muss vermieden oder auf klimafreundliche Verkehrsmittel verlagert werden. Dies wird teilweise durch Preise angereizt. Vor allem wird es aber möglich durch die Umgestaltung der Städte und den Ausbau von Bahn und Bus.
- Der Verkehr der nicht vermieden oder verlagert werden kann, muss klimafreundlich sein. Dafür ist es notwendig, dass die Verkehrsmittel nicht mehr wie heute fossile Brennstoffe benutzen, sondern anders angetrieben werden. Dies bedeutet: Der PKW-Verkehr wird hauptsächlich auf E-Autos umgestellt. LKW fahren auf Autobahnen mit elektrischen Oberleitungen und ansonsten entweder elektrisch oder mit E-Brennstoffen. Schiffe werden mit E-Brennstoffen und teilweise elektrisch betrieben. Flugzeuge benutzen ausschließlich E-Kerosin.
- Die benötigten E-Brennstoffe werden teilweise in Schleswig-Holstein hergestellt und teilweise importiert. Dafür müssen gesetzliche und technische Voraussetzungen geschaffen werden.
- Für die E-Autos muss eine Ladeinfrastruktur geschaffen werden.
- Für die LKW müssen ausgewählte Autobahnen mit Oberleitungen versehen werden.

Ausgangslage

Bundesweit ist der Verkehrssektor ist für 21 Prozent der Treibhausgasemissionen verantwortlich.[133] Seit 1990 haben die Emissionen im Verkehrssektor nur geringfügig abgenommen. Zwischen 2012 und 2017 sind sie sogar deutlich gestiegen.[134] Erst 2018 erfolgte ein Rückgang um 5,6 TE. Den Grund hierfür vermutet das Umweltbundesamt in gestiegenen Kraftstoffpreisen[135] Alle anderen Einsparungen durch verbesserte Techniken wurden durch ein Mehr an Verkehr

[133] Vgl. BBK 2020

[134] Siehe SRU 2017; Öko-Institut (2016); UBA (2019/27)

[135] Im Vergleich zum Vorjahr (Benzin: +7 Prozent, Diesel: +11 Prozent). Diese führten zu einer Vermeidung von Fahrten bzw. dem Verlagern des LKW-Betankens ins Ausland. Siehe UBA 2019/12

und größere Fahrzeuge (insbesondere SUVs) wieder aufgehoben. Die größten Quellen im Verkehrssektor sind PKW-Verkehr, Güter-Verkehr mit LKW und der Luft-Verkehr. Die Situation in Schleswig-Holstein unterscheidet sich nur wenig von der in Deutschland (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Treibhausgasemissionen des Verkehrs

(Anteil des Verkehrs an den Treibhausgasen)

	Deutschland	**Schleswig-Holstein**
Flugverkehr	3%	3%
Schifffahrt	1%	1%
Bahn (ohne Strom)	0,1%	0,5%
PKW	11%	13%
Leichte Nutzfahrzeuge	1%	4%
Schwere LKW und Busse	5%	
Gesamt	21%	22%

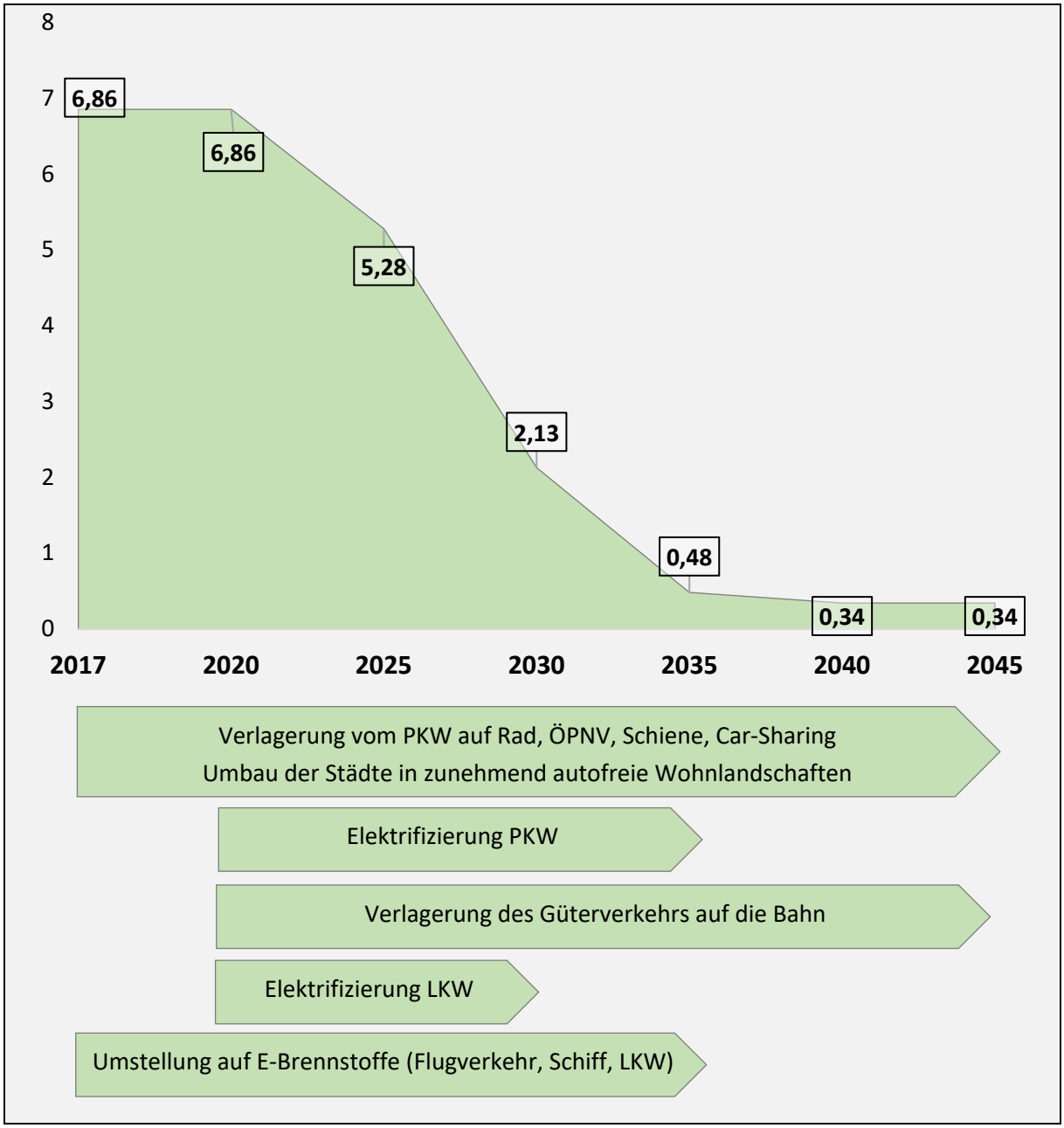
Als Flächenland hat Schleswig-Holstein einen etwas höheren Anteil des PKW-Verkehrs. Dagegen ist der LKW-Verkehr geringer. Das liegt daran, dass es nicht so viel Transit-Verkehr (Verkehr, der Deutschland durchquert, z.B. von Polen nach Frankreich) gibt. Den internationalen Luft- und Schiffsverkehr haben wir Schleswig-Holstein anteilmäßig entsprechend der Bevölkerungsgröße zugerechnet. Der Flugverkehr der Bürger Schleswig-Holsteins findet überwiegend über Hamburg statt. Dagegen sind die meisten Güter, die in den schleswig-holsteinischen Häfen umgeschlagen werden, nicht für Schleswig-Holstein bestimmt.

Das Ziel

Die größten Veränderungen sind im Straßen- und Flugverkehr notwendig. Die meisten Studien schlagen drei Lösungsschritte vor: Erstens Vermeiden, zweitens Verlagern und drittens Umstellen auf klimaneutrale Antriebe. Je mehr Verkehr vermieden wird, desto leichter fällt die Umstellung. Für die Vermeidung gibt es aber nur wenige konkrete Maßnahmen-Vorschläge. Der Verkehr, der nicht vermieden werden kann, sollte auf energie- und klimafreundliche Verkehrsmittel verlagert werden, zum Beispiel vom Auto auf die Bahn. Der übrige Verkehr muss klimaneutral werden, indem die Technik umgestellt wird. Dabei geht es vor allem um Elektrisierung. In Grafik 16 ist dargestellt, wie die Emissionen sich entwickeln sollen und was die wichtigsten Maßnahmen im Verkehr sind. Will man die 1,5-Grad-Grenze nicht über-

schreiten, darf der Verkehr bereits 2035 nur noch ein Zehntel im Vergleich zu heute ausstoßen.[136] Ob dies gelingt hängt auch davon ab, wie viel Verkehr es in Zukunft geben wird. Die Vorhersagen der Studien gehen hierbei weit auseinander (siehe Abschnitt „Verkehrsentwicklung“)[137] Die Restemissionen werden ab 2035 vor allem durch Flugzeuge verursacht, selbst wenn diese mit erneuerbaren Treibstoffen betankt werden (siehe Abschnitt „Flugzeuge“).

Grafik 16: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Verkehr



[136] Siehe in BBK 2020 die Anlage 7

[137] Siehe Öko-Institut 2016, Wuppertal Institut 2017, UBA 2017, SRU 2017

Verkehrsentwicklung

Entwicklungen im Personenverkehr

Die Studien für Deutschland schätzen die Entwicklung im Personenverkehr sehr unterschiedlich ein. Die Mehrzahl glaubt, dass die Menschen im Jahr 2050 etwa genauso viel unterwegs sind, wie heute.[138] Es müssen Maßnahmen ergriffen werden, um den Verkehr zu reduzieren oder zumindest, um zu verhindern, dass er noch weiter steigt.

Im Nahverkehr hat in einigen Städten der Wandel bereits begonnen. Mehr Busse und „Stadt-Bahnen", mehr Fahrradwege, Fahrradstraßen und Spielzonen machen das Wohnen und Leben in der Stadt attraktiver. Car-Sharing ersetzt einen Teil der eigenen PKW und spart Parkraum. Elektrofahrräder sind eine Alternative zum Auto auf dem Weg zur Arbeit, zum Einkaufen und in der Freizeit. Einige Städte wie Amsterdam und Kopenhagen, oder auch Freiburg und Münster haben schon über die Hälfte des Verkehrs verlagert.

Im Regional- und Fernverkehr wird ein Teil der Reisenden vom Auto auf die Bahn umsteigen. Diese muss regelmäßig fahren, bequem sein und wenig kosten.

Anders sieht es beim Flugverkehr aus. Zwar wird auf kurzen Strecken unter 800 Kilometern von vielen Studien eine Verlagerung vom Flugzeug auf die Schiene für möglich und sinnvoll erachtet. Problematisch bleibt jedoch der internationale Flugverkehr, der nach den Prognosen weiter zunehmen wird.

Insgesamt wird die Entwicklung von den Studien jedoch sehr unterschiedlich gesehen. Nach einer Studie des Wuppertal-Instituts geht der Anteil des PKW bereits bis 2035 auf 52 Prozent zurück, während Bahn und Bus ihren Anteil an der Transportleistung mehr als verdoppeln und das Fahrrad seinen Anteil auf 8 Prozent verdreifacht. Andere Quellen bewerten die Umsteigeeffekte viel geringer – so rechnet der BDI nur mit einer Verlagerung vom PKW auf die Bahn von sieben Prozent.[139] Aber selbst wenn die Prognose des Wuppertal-Instituts eintritt, bleibt die Durchsetzung von treibhausgasneutralen PKW die zentrale Aufgabe der Verkehrspolitik (siehe Abschnitt „PKW").

Maßnahmen zur Reduzierung des städtischen PKW-Verkehrs

Um das Verlagerungspotential in den Städten auszuschöpfen, werden in den Studien folgende Maßnahmen empfohlen:

- Einrichtung von Fußgängerzonen, Beruhigung der Viertel durch Ausschluss des Durchgangsverkehrs, spürbare Gebühren für Parkplätze, auch für Anwohnerparkplätze.

[138] Siehe BBK 2020 Anlagen 5 und 23

[139] Siehe Wuppertal 2017, BDI 2018

- Einrichtung von Fahrradstraßen, -streifen, Fahrradstationen an Bahnhöfen und -ständern. Mindestens 30 Euro pro Einwohner und Jahr investieren erfolgreiche Fahrradstädte in Dänemark und den Niederlanden seit vielen Jahren in die Radverkehrsinfrastruktur.[140] Dies bedeutet für Schleswig-Holstein Mittel in Höhe von neunzig Millionen Euro pro Jahr, welche gemeinsam von Bund, Land und Kommunen aufzubringen sind. Im Vergleich zum Ausbau von Bahn und Bus ist dies sehr kostengünstig und kann schnell umgesetzt werden.
- Einführung Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit innerorts; Ausweisung von Wohnvierteln als Spielstraßen.
- Die Straßenverkehrsordnung und das Parkmanagement in den Städten sollen dem angepasst werden.[141]
- Die Anbindung des Umlands der Städte durch Busse, Bahnen und Radschnellwege soll verbessert werden. Ein attraktives Liniennetz, auf dem öffentliche Verkehrsmittel dicht getaktet verkehren, ist die entscheidende Voraussetzung, um Autofahrer zum Umsteigen zu bewegen. Der Preis spielt nur eine nachrangige Rolle.[142]
- Für Kiel und Lübeck als Städte über 200.000 Einwohner sollen Stadt- oder Straßenbahnen gebaut werden, die die umliegenden Orte anbinden, um dem Pendler, Einkaufs- und Freizeitverkehr eine Alternative zu bieten.[143]
- In Kiel bietet sich auf Grund der besonderen hufeisenförmigen Lage um die Förde das Projekt einer Seilbahn an.[144]
- Die Arbeitswelt wird zunehmend sauberer und leiser. Dies ermöglicht es, die heute übliche Trennung von Arbeit und Wohnen wieder schrittweise zurück zu nehmen. Dies soll bei gesetzlichen Vorgaben, finanziellen Anreizen und der Stadtplanung berücksichtigt werden
- Die Investitionsmittel des Landes für den öffentlichen Nahverkehr müssen aufgestockt bzw. umverteilt werden.
- Schleswig-Holstein sollte ein Mobilitätsmanagement organisieren. Mobilität wird dann verkehrsmittel-übergreifend angeboten: So könnte es eine Mobilitätskarte für Bahn, ÖPNV, Car-Sharing, Leihfahrrad, Liefer-Service usw. geben.
- Die Städte sollen Car-Sharing, Ride-Sharing und Pendlernetze aktiv voran treiben durch Initiativ-Förderung, Parkplätze und Privilegien wie die Benutzung von Bus-

[140] Siehe ADFC 2019
[141] Siehe UBA 2010 und UBA 2017
[142] Siehe civity Management Consultants (2019)
[143] Siehe Stadt Kiel 2020 und Büro StadtVerkehr 2020
[144] Siehe Wieczorek u.a. 2019

spuren. Wenn dadurch kein eigenes Auto vor der Tür steht, führt dies bei entsprechenden Rahmenbedingungen auch zu stärkerer Nutzung von Fahrrad und ÖPNV.

- Dabei werden gesetzliche Regelungen erforderlich, um einen Missbrauch und Sozial-dumping zu verhindern und Sicherheit zu gewährleisten.

Maßnahmen zur Reduzierung des Straßenverkehrs

- Als kostengünstige Sofortmaßnahme wird eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen auf 120 km/h vorgeschlagen.[145] Das erspart jährlich ca. 2,6 TE und hat weitere positive Effekte, etwa für die Verkehrssicherheit. Vorgeschlagen wird auch ein Tempolimit für Landstraßen von 80 km/h und für Ortschaften von 30 km/h.
- Oft wurde auch eine Maut für PKW vorgeschlagen. Mautsysteme sind sinnvoll in Städten über 100.000 Einwohnern mit einer Staffelung nach Größe und Energieeffizienz. Eine allgemeine Maut wird mit zunehmender Zahl von E-Autos wahrscheinlich wieder auf die Tagesordnung kommen, um die Straßenerhaltung zu finanzieren. Denn diese wird bisher zu großen Teilen aus der Mineralölsteuer finanziert, die bei E-Autos wegfällt.
- Auch die Kfz-Steuern sollen nach Energieverbrauch pro Sitzplatz progressiv gestaffelt werden, um den Trend zu immer mehr SUVs zu stoppen.
- Die Bundesländer als Träger des Regionalverkehr müssen ein Mobilitätsmanagement organisieren, bei dem der Personenverkehr so organisiert wird, dass jeweils das am besten geeignete Verkehrsmittel gewählt wird. Diskutiert wird zum Beispiel eine Mobilitätskarte für Bahn, ÖPNV, Car-Sharing, Fahrrad, Liefer-Service usw.
- Firmen ab hundert Mitarbeitern sollten ein Mobilitätsmanagement für ihre Mitarbeiter einrichten, damit nicht jeder individuell anfährt.

Selbstfahrende Autos = Autonomes Fahren[146]

Es gibt eine Vielzahl von Studien, die übereinstimmend zu dem Ergebnis kommen, dass die Technik der selbstfahrenden Autos (Autonomes Fahren) im kommenden Jahrzehnt praxisreif wird. Dies kann großen Einfluss auf die Verkehrsentwicklung haben. Da die Prognosen sich zurzeit noch stark unterscheiden, sind die folgenden Szenarien noch sehr unsicher:

Zunächst werden Car-Sharing-Fahrzeuge aus Sicherheitsgründen mit maximal 25 Kilometer pro Stunde zum Kunden fahren. Die Kunden fahren dann noch selbst. Bis 2035 könnte jede vierte bis dritte Fahrt bereits in einer Art von autonomen Taxis (Robo-Taxi) oder autonomen

[145] Siehe UBA 2020

[146] Dieser Abschnitt basiert auf folgenden Studien: KE-CONSULT 2018, Prognos 2018/1, Deloitte 2019, ISV 2018, Fraunhofer IAO 2019

Bussen und Bahnen erfolgen. In Folge davon sinken die Kosten für Fahrdienstleistungen radikal. Der Nahverkehr wird sich dadurch grundlegend verändern.

Auch die Automobilindustrie wird ein völlig neues Geschäftsmodell finden müssen. Die Zahl der Autos nimmt ab (um zwei Drittel?), da immer weniger Menschen eigene Autos kaufen. Aber die Fahrleistungen nehmen vermutlich sogar zu. Nun können auch Kinder oder alte Menschen ohne Begleitung fahren. Vermutlich wird auch die damit verbundene Wertschöpfung enorm steigen. Die Grenzen zwischen ÖPNV, Taxis und Car-Sharing verschwimmen. Möglicherweise werden die Automobilkonzerne dieses Geschäft selbst übernehmen, um die großen Umsatzeinbußen zu kompensieren.

Die Auswirkungen auf den Verkehr werden sehr unterschiedlich eingeschätzt.[147] Während einige Studien eine erhebliche Zunahme des Autoverkehrs prognostizieren, kommen andere zum gegenteiligen Ergebnis. Während einige davon ausgehen, dass die Robo-Taxis den öffentlichen Verkehr völlig verdrängen, glauben andere, dass der öffentliche Verkehr vom autonomen Fahren profitiert.

Für den Güterverkehr ist mit großen Kosteneinsparungen zu rechnen. Es wird nicht nur weniger Personal benötigt, sondern auch weniger Treibstoff. Die Zahl der Fahrzeuge wird beim Güterverkehr eher zunehmen.

Auch die Auswirkungen auf Umwelt, Treibhausgasemissionen und den Energieverbrauch sind noch nicht klar abzusehen. Da weniger Autos gebaut werden, werden Energie und Rohstoffe eingespart. Die parkenden Autos an den Straßenrändern werden weitgehend verschwinden und die Städte dadurch lebenswerter. Aber auch das Leben auf dem Land kann wieder attraktiver werden, da die Verkehrsanbindung besser wird. Durch den gleichmäßigeren Verkehr können erheblich mehr Autos auf einer Straße fahren, ohne dass es zum Stau kommt. Dies kann aber auch dazu führen, dass der Verkehr noch mehr zunimmt.[148]

Die tatsächliche Entwicklung hängt mit Sicherheit in hohem Maße von den Rahmenbedingungen ab. Hier kommt insbesondere auf die Städte, Kommunen und Landkreise eine große Aufgabe zu.

Maßnahmen im Bereich Autonomes Fahren

- Die Städte und Kommunen sind gefordert, Konzepte für den künftigen Personen- und Güterverkehr zu entwickeln. Es besteht die Chance, den Verkehr in den Städten völlig neu zu organisieren.
- Dazu benötigen die Kommunen gesetzliche Rahmensetzungen durch Bund und Länder.

[147] Wir verzichten hier auf die Wiedergabe von Zahlen, da die Studien sich so stark unterscheiden, und beschränken uns daher auf qualitative Beschreibungen.

[148] Man spricht dann vom Rebound-Effekt.

- Die Einführung des autonomen Fahrens sollte auch aus Sicherheitsgründen mit der Reduzierung der Regelgeschwindigkeit innerhalb von Ortschaften auf 30 km/h, in Wohngebieten auf 20 km/h verbunden werden.
- In den Kernstädten sollte ein flexibles attraktives Bus- und Bahnsystem – ergänzt durch Sammeltaxis – eingerichtet werden. Dort werden nur noch öffentlich lizensierte Fahrangebote für Personen zugelassen werden.
- Für Individualfahrzeuge sollte dann die Nutzung der Straßen gebührenpflichtig werden. Dies ist sowieso nötig, da mit dem Wegfall der Mineralölsteuer eine neue Finanzierung des Straßenunterhalts benötigt wird.

Entwicklungen im Güterverkehr

Der Güterverkehr wird nach Einschätzung fast aller Studien bundesweit bis 2035 etwa um ein Drittel steigen.[149]

Das mengenmäßig wichtigste Verkehrsmittel für Gütertransporte sind Schiffe.[150] Das gilt nicht nur für Transporte von und zu anderen Kontinenten. Auch 40 Prozent des Güterverkehrs innerhalb der EU erfolgt über das Meer. Binnenschiffe spielen nur eine geringe Rolle. Obwohl Schiffe die meisten Güter transportieren, stoßen sie vergleichsweise wenig Treibhausgase aus. Trotzdem müssen sie auf E-Brennstoffen umgestellt werden (siehe Abschnitt „Schiffe“).

Das zweitwichtigste Verkehrsmittel für Güter sind LKW. Diese setzen deutlich mehr Treibhausgase frei als Schiffe. Ein Teil des LKW-Verkehrs kann verlagert werden. Hauptsächlich bietet sich hierfür die Bahn an[151], da deren Energieverbrauch und Treibhausgas-Ausstoß viel geringer ist.[152] Wegen des Umladens der Güter rentiert sich die Bahn finanziell aber erst für Strecken über 300 Kilometer. Für geeignete Verbindungen halten die Studien eine weitere Verlagerung von LKW-Langstreckenverkehren auf die Seeschifffahrt für möglich. Das Verlagerungspotential auf Binnenschiffe wird eher als gering eingeschätzt.

Bahn und Öffentlicher Nahverkehr

Eine zentrale Rolle bei der Verlagerung von Verkehr (sowohl bei Personen als auch bei Gütern) spielt der Ausbau der Bahn und der Ausbau des ÖPNV (Öffentlicher Personennahverkehr).

[149] Siehe SRU 2012, Öko-Institut 2018, DLR 2016. Das Wuppertal-Institut nimmt nur 12% Wachstum bis 2035 an, was aber mittlerweile bereits erreicht ist (siehe Wuppertal 2017). Die LUT-Studien rechnet für Europa sogar mit einer Verdoppelung des Verkehrs (siehe LUT 2019).

[150] Siehe BMVI 2018.

[151] Siehe Wuppertal 2017, Busche 2019; Heinrich Böll Stiftung 2019/2.

[152] Siehe Schweizer 2019: Der Rollwiderstand eines LKW auf einer Asphalt-Straße ist 5 bis 10-mal so hoch wie der eines Güterzuges auf Schienen. Der Energiebedarf pro Tonnenkilometer dürfte auch im Verhältnis 4:1 liegen (eigene Berechnung auf Basis der Zahlen von Öko-Institut 2018, Bundesnetzagentur 2017, Allianz pro Schiene 2019/1).

Eine Verdoppelung oder gar Verdreifachung des Bahnverkehrs wäre mit entsprechenden Ausbaumaßnahmen bis 2035 möglich.[153] Die Schweiz und Japan beweisen, dass dies nicht unrealistisch ist. Die Züge müssen dazu auf den Hauptstrecken im Fünf- bis Zehn-Minuten-Takt fahren. Dies ist möglich, wenn Güter- und Personenzüge in der gleichen Geschwindigkeit fahren. Wenn die Güterzüge schneller werden, können ohne zusätzliches Personal und zusätzliche Züge viel mehr Güter transportiert und Kosten gespart werden. Allerdings können die ICEs dann nur noch auf eigenen Gleisen hohe Geschwindigkeiten fahren. Die meisten Fahrgäste fahren maximal 300 Kilometer weit. Für sie ist ein dichter Takt sowieso wichtiger als die Höchstgeschwindigkeit.

Maßnahmen zur Verlagerung und Vermeidung des Güterverkehrs

- Die EU will den Güterverkehr über längere Strecken vom LKW auf die Bahn und das Schiff verlagern. Bis 2030 sollen 30 Prozent aller Transporte über 300 km mit diesen beiden Verkehrsmitteln erfolgen. Bis 2050 sollen es 50% sein.[154] Dies soll durch Güterverkehrskorridore erreicht werden. Der BUND schlägt dazu vor, dass die LKW-Mautgebühr pro Kilometer umso höher wird, je weiter der LKW fährt.[155]
- Künftig werden Speditionen verkehrsmittelübergreifend die jeweils optimalen Transportwege anbieten – egal ob mit LKW, Bahn, Binnenschiff oder Seeschiff.
- Auch wenn der Internethandel im Vergleich zum privaten Einkaufen Wege erspart, so sollte das Rücksenden vom Empfänger bezahlt werden, um unnötige Transportwege (und das Wegwerfen der Waren) einzusparen. Das Vernichten von Waren sollte verboten werden (siehe im Abschnitt „Rohstoffe und Kreislaufwirtschaft“).

Der Personenverkehr mit der Bahn hat in Schleswig-Holstein seit 2010 um fast dreißig Prozent zugenommen. Trotzdem betrug der Anteil der Bahn 2018 erst sieben Prozent.[156] Die Busse transportierten knapp fünf Prozent. Das bedeutete einen Zuwachs des öffentlichen Personenverkehrs von knapp 8 Prozent auf 12 Prozent. Bis 2030 soll es eine weitere Steigerung um rund 25 Prozent geben.

Die größten Umsteigeeffekte können auf den Strecken von und nach Hamburg, vor allem den Pendlerstrecken im Hamburger Umland, und zwischen Kiel und Lübeck erreicht werden.

[153] Siehe Busche 2017

[154] Siehe Europäische Kommission 2011

[155] Siehe BUND 2019

[156] 2010 leistete die Bahn in Schleswig-Holstein 1560 Millionen Personenkilometer (Pkm), 2018 waren es 1981 Millionen. Die Busse leisteten 1474 Pkm. Siehe VDV 2019

Maßnahmen zur Steigerung des Bus- und Bahnverkehrs

- Die Güter und Personenzüge auf einheitliche Geschwindigkeiten auf den Hauptstrecken im Fünf- bis Zehn-Minuten-Takt einrichten. Für Güterzüge muss ein Just-in time-Betrieb realisiert werden.
- Die „Trassengebühren“ (das ist die Maut für Züge) für Regionalzüge und Güterzüge können bei dichterem Takt deutlich gesenkt werden, da die Trassen der Hauptkostenfaktor sind.
- Zur Erreichung dieser Ziele müssen die Investitionen im Bahnsystem mindestens auf das Vierfache – also das Niveau der Schweiz – gesteigert werden.
- Bei Investitionen haben Vorrang: Beseitigung von Engpässen, Ausbau der überlasteten Bahnhöfe, Bau von Verladeeinrichtungen für den kombinierten Güterverkehr. Erst danach folgen: Bau von Überholgleisen und Parallelgleisen für den Hochgeschwindigkeitsverkehr.
- Öffentlicher Nahverkehr soll generell Vorrang auf den Straßen haben. Busse brauchen auf viel befahrenen Straßen eigene Busspuren.
- Die Investitionsmittel für Stadtbahn, Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn müssen erheblich angehoben werden.
- Vorgeschlagen werden neue und einfache Fahrkarten: Firmentickets, Semestertickets, Flatrate-Systeme (zum Beispiel „Ein-Euro-pro-Tag“) bis hin zum kostenlosen ÖPNV. Dazu gehört auch die Integration eines landesweiten Personentickets in die Kurtaxe.
- Es müssen flexible Angebote für Menschen auf dem Land weiterentwickelt werden.
- Nach dem aktuellen Diskussionsstand ergeben sich folgende Projekte beim Bahnausbau für Personenverkehr:
    - Die Ertüchtigung der Mittelachse HH-Norderstedt-NMS zu einer zweispurigen elektrifizierten Regionalbahnstrecke bedeutet den Bahnanschluss für weit über 100.000 Menschen allein in Schleswig-Holstein und verspricht die größten Umsteigeeffekte.
    - Ein Ausbau der Verbindungen ist erforderlich auf den Strecken von Hamburg nach Geesthacht, Oldesloe-Lübeck, Pinneberg-Elmshorn.
    - Zweigleisiger Ausbau und Elektrifizierung der Strecke Kiel-Lübeck.
    - Ausbau des Dammes nach Sylt und Ausbau der Verbindung nach Sylt für ICEs mit Oberleitung über Flensburg oder Husum.
    - Daneben wird die Wiederinbetriebnahmen einiger stillgelegte Nebentrassen wie NMS-Ascheberg und die Anbindung von Glückstadt diskutiert.

- Zum Bahn-Güterverkehr: Es muss geklärt werden, welche Infrastrukturmaßnahmen in Schleswig-Holstein für den künftigen Liniengüterverkehr erforderlich sind (Häfen, Frachtzentren).
- Zum Busverkehr: Es muss ein Programm zur Elektrifizierung des Busverkehrs und zur Bestimmung der Technik aufgesetzt werden.

Bei der Elektrifizierung Bahnnetzes hängt Schleswig-Holstein mit nur dreißig Prozent Oberleitungsstrecken im Vergleich zu 60 Prozent Oberleitungstrassen in Deutschland weit hinterher. Immerhin führt Schleswig-Holstein die Elektrifizierung mit elektrischen Triebwagen ab 2022 erstmal ohne Oberleitung durch.[157]

Technische Umstellung: Welcher Motor ist der beste fürs Klima?

Der Verkehr, der nicht vermieden oder verlagert werden kann muss klimaneutral werden, indem die Verkehrsmittel zukünftig klimaneutrale Antriebe haben. Welcher Motor sich in Zukunft durchsetzen wird, wird lebhaft diskutiert. Es gibt grundsätzlich drei Möglichkeiten.

Verbrennungsmotor

Das Fahrzeug fährt wie bisher mit Treibstoffen (Benzin, Diesel, Kerosin, Methanol), diese müssen aber erneuerbar, also E-Treibstoffe sein (siehe Infobox 3). Der große Vorteil besteht darin, dass alle Fahrzeuge weiterbetrieben werden können wie bisher. Man braucht keine neue Technik. Es wird dann aber sehr viel Strom benötigt, um die Treibstoffe erneuerbar zu erzeugen. Beispielsweise werden für eine Kilowattstunde Kerosin drei Kilowattstunden Strom benötigt. Zwei Drittel der Energie geht bei der Umwandlung und dem Transport verloren. Auch haben Verbrennungsmotoren einen viel geringeren Wirkungsgrad. Je nach Größe gehen bei der Verbrennung des Treibstoffes und durch das Bremsen noch einmal die Hälfte (beim Schiff) bis drei Viertel (beim PKW) der Energie verloren.

Allein um die Treibstoffe für Flugzeuge und Schiffe erneuerbar zu produzieren, wird in Zukunft etwa ein Viertel des gesamten Stroms benötigt.[158] Diese können aus technischen Gründen nicht auf Elektro-Antrieb umgestellt werden. Alle Fahrzeuge bei denen das möglich ist, sollten deshalb aber umgestellt werden, da sonst noch mehr Energie benötigt wird.

Der Preis pro Liter für E-Benzin bzw. E-Diesel wird in der groß-industriellen Herstellung wahrscheinlich auf unter einen Euro pro Liter ohne Steuern fallen.[159] Möglich ist auch der Einsatz von grünem Wasserstoff. Oft wird als Alternative auch E-Methan vorgeschlagen. Nach neueren Quellen ist aber beim Einsatz von Methan in Motoren nicht zu vermeiden, dass Methan über den Auspuff entweicht. Dann wird der Antrieb nicht treibhausgasfrei.

[157] Siehe Nah.SH 2019
[158] Siehe BBK 2020
[159] Siehe VDA 2017, Prognos AG 2018/2, Agora Energiewende 2018/2

Maßnahmen zur Umstellung auf E-Kraftstoffe für LKW, Schiffe und Flugzeuge

- Das effizienteste System zur Umstellung scheint ein Quotensystem zu sein. Dabei wird gesetzlich ein wachsender Anteil (Quote) von synthetisch erzeugten E-Kraftstoffen in allen Treibstoffen vorgeschrieben. Wenn diese Quote jährlich um sieben Prozent angehoben wird, dann würden ab 2035 nur noch E-Kraftstoffe verkauft.
- So wird auf effiziente Weise der Markt für die Erzeugung der E-Treibstoffe geschaffen. Wenn die Nachfrage gesichert ist, wird es sehr schnell zu großen Investitionen in Afrika, Nahost oder Russland kommen, um mit erneuerbarem Strom aus Wind oder PV-Anlagen E-Kraftstoffe günstig zu produzieren. (siehe dazu im Abschnitt „Import von Erneuerbaren Energien“).
- Dieser Prozess wird international abgestimmt. So können negative Ausweicheffekte (Tanken im Ausland, Ausweichen auf andere Häfen) vermieden werden. Dafür reicht bereits eine Vereinbarung für Europa.
- Eine Quote für in Deutschland produzierte E-Treibstoffe könnte dafür sorgen, dass die Potentiale an der Küste für die Wasserstofferzeugung durch die Leistungsspitzen der Wind- und Solaranlagen genutzt werden, auch wenn der Preis etwas höher liegt.

Die meisten Studien befürworten aus Gründen der Technologie-Offenheit den Aufbau eines Netzes von Wasserstofftankstellen. Nach der neuesten Studie des UBA macht das aber keinen Sinn mehr.[160]

Brennstoffzelle

Brennstoffzellen-Fahrzeuge fahren mit Wasserstoff. Dieser muss künftig ebenfalls mit Strom erzeugt werden. Dabei gibt es sehr viel weniger Umwandlungsverluste. Eine Kilowattstunde Wasserstoff benötigt nur 1,2 Kilowattstunden Strom. Der Wasserstoff lässt sich relativ leicht lagern und transportieren, auch wenn dafür die Gasspeicher und Gasleitungen umgerüstet werden müssten. Das Auto braucht im Vergleich zum Elektroauto eine kleinere Batterie und hat eine größere Reichweite. Der Nachteil ist, dass Brennstoffzellen sehr viel teurer sind und insgesamt dreimal mehr Energie benötigt wird[161]als für Elektro-Antriebe.

Elektromotor

Ein Elektromotor wird direkt mit Strom betrieben. Dieser ist in einer Batterie gespeichert. Die meisten Studien gehen davon aus, dass der Elektromotor der Motor der Zukunft ist. Der Grund ist sehr einfach: Der Elektromotor ist sehr effizient, selbst wenn man den Aufwand zur Herstellung der Batterien mitberücksichtigt. Da der Motor direkt mit Strom betrieben wird, wer-

[160] Siehe UBA 2019/9
[161] Siehe Quaschning 2016

den Umwandlungsverluste vermieden. Der Elektromotor braucht deshalb für die gleiche Strecke ungefähr fünf Mal weniger Energie als ein Verbrennungsmotor. (Zur Diskussion über die Batterie-Rohstoffe siehe im Abschnitt „Rohstoffe“.)

In den folgenden Abschnitten wird beschrieben, welche Antriebe für welche Verkehrsmittel geeignet sind.

PKW

Bei PKW wird sich der Elektromotor wahrscheinlich schnell durchsetzen, da er am mit Abstand am wenigsten Energie verbraucht. PKW werden durchschnittlich über zehn Jahre genutzt. Wenn der Verkehr 2035 klimaneutral sein soll, sollten daher ab 2025 fast alle Neuwagen mit Elektromotoren fahren.

Mit der Umstellung auf Elektro-Autos sind noch weitere Umstellungen verbunden: Es müssen schnell genug Ladestationen gebaut werden. In Schleswig-Holstein gibt es aktuell etwa 500 öffentliche Ladestationen.[162] Die Versorgung der Hersteller mit nachhaltig produzierten Rohstoffen muss gesichert sein und es muss das Recycling der Fahrzeuge und der Batterien gesetzlich geregelt werden (siehe Abschnitt „Rohstoffe“).

Maßnahmen zur Elektrifizierung des PKW-Verkehrs

- Die Planungen sollen darauf abgestellt werden, dass E-Mobile ab 2025 preisgünstiger als fossile PKW sind und damit der Kipp-Punkt erreicht wird.
- Ab 2030 sollten PKW mit Verbrennungsmotor nicht mehr neu zugelassen werden.
- Bonus-Malus-Regelung: Fahrzeuge über 95 Gramm Kohlenstoffdioxid pro Kilometer werden mit 50 Euro pro Gramm belasten, wer weniger ausstößt, wird entlastet.[163]
- Es wird ein einheitliches Bezahlsystem für Ladestationen gesetzlich geregelt. Die öffentlichen Ladekosten werden in zeitabhängige Parkplatzgebühren integriert (Oslo hat dies bereits für 1300 öffentliche Parkplätze getan).
- Alle privaten Parkplätze müssen künftig die Möglichkeit haben, zumindest Ladestation mit 22 Kilowatt Wechselstrom bereitzustellen. Weiter müssen die nötigen Leitungen gebaut werden für die Gleichstrom-Schnellladestationen auf allen Autobahnraststätten, ggfs. an der Westküste in Tönning für Nordfrieslandtouristen und an zentralen Orten der größeren Städte. Dort können PKW und LKW in 20 Minuten ausreichend beladen werden können, um 500 Kilometer weit zu fahren.
- Damit der PKW-Verkehr treibhausgasfrei wird, müssen auch die Energieversorgung und die Zulieferindustrie der Autoindustrie treibhausgasfrei werden (siehe auch in den Abschnitten „Rohstoffe/Recycling“ und „Importe“).

[162] Siehe AEE 2020
[163] Siehe Agora Energiewende 2019/1

- Mieter müssen einen Anspruch darauf haben, E-Auto-Ladestationen in Mietshäusern installieren zu dürfen.

LKW

Auch im LKW-Verkehr wird sich der elektrische Antrieb durchsetzen. Allerdings sind die gefahrenen Entfernungen in der Regel viel größer als im Personenverkehr. Deshalb empfehlen nahezu alle Studien mindestens ein Drittel (4000 km) der Autobahnen mit Oberleitungen zu versehen, um versehen, um die Reichweite der LKW zu erhöhen.[164] In Schleswig-Holstein besteht dazu aber erst dann eine Notwendigkeit, wenn eine durchgehende elektrifizierte Autobahnverbindung nach Dänemark und Schweden vereinbart wird. Für die Versorgung Schleswig-Holsteins reicht eine Elektrifizierung bis Hamburg und die Weiterfahrt mit Batterie.

Als Alternative zur Oberleitung kommt auch das dynamische Laden durch Stromspulen in der Fahrbahn in Frage. Das wird aber wohl eher für Taxis und Busse an Bedeutung erlangen. Bei einer sehr schnellen Entwicklung von leichteren Batterien ist es auch möglich, dass die Elektrifizierung der Autobahnen nicht erforderlich wird. Insgesamt rechnen die meisten Studien damit, dass 60 bis 80 Prozent der LKW künftig elektrisch fahren. Für den Rest werden synthetische E-Kraftstoffe eingesetzt.

Maßnahmen zur Elektrifizierung des LKW-Verkehrs

- Bis 2030 sollten mindestens 4000 km Autobahn elektrifiziert sein. Das kostet 12 Mrd. Euro und benötigt eine Anhebung der LKW-Maut um 12 Prozent.[165] Die Stromkosten sollen in die Mautgebühr integriert werden.
- Es ist mit Dänemark zu klären, ob und wann die Jütland-Route in Verlängerung der A7 und die Fehmarn-Trasse in Verlängerung der A1 elektrifiziert werden sollen.
- Zuschüsse für die Anschaffung von LKW werden nur noch für E-LKW gewährt.

Flugverkehr

Flugzeuge können vermutlich nicht auf Elektroantrieb umgestellt werden.[166] Sie werden in Zukunft fast ausschließlich mit Kerosin (Flug-Benzin) aus erneuerbaren Quellen oder einem anderen Brennstoff fliegen. Flüge über relativ kurze Strecken können auf die Bahn verlagert werden.

Auch wenn der Luftverkehr bis 2035 komplett auf erneuerbare Brennstoffe umgestellt wird, wird er nicht gänzlich klimaneutral werden. Aufgrund der großen Flughöhe entstehen zusätzliche Effekte wie zum Beispiel die Kondensstreifen aus Wasserdampf, die einen zusätzlich

[164] Siehe Öko-Institut 2018, SRU 2012

[165] Siehe Öko-Institut 2018

[166] In Kanada und den USA entwickeln Firmen bereits Hybrid-Flugzeuge. Siehe Simonds 2019

Klimaeffekt bewirken. Damit bleibt nach 2040 der Luftverkehr die einzige relevante Quelle von Treibhausgasen im Verkehrssektor.[167]

Die Preise für den Flugverkehr werden aufgrund der höheren Kosten für E-Kerosin steigen. Dies gilt umso mehr, wenn sie endlich angemessen besteuert werden. Trotz der Verlagerung der Kurzflüge auf die Bahn und trotz höherer Preise für die Bio- oder E-Brennstoffe wird der Flugverkehr voraussichtlich weiter zunehmen. Allein um das E-Kerosin dafür zu erzeugen, werden künftig 300 Terawattstunden Strom pro Jahr erforderlich.

Luftfracht spielt heute mengenmäßig keine relevante Rolle. Dies wird nach übereinstimmender Auffassung aller Studien auch künftig so bleiben, da nur wenige Güter so klein und leicht sind, dass sich Luftfracht rentiert.

Maßnahmen zur Umstellung des Luftverkehrs

- Zur Einführung von E-Kerosin wird eine Quote vorgeschrieben, die bis 2035 auf hundert Prozent anwächst (siehe Abschnitt „Maßnahmen/PKW“). Spätestens ab 2035 soll kein fossiles Kerosin mehr zum Verkauf angeboten werden.
- Außerdem wird auch im Flugverkehr Mehrwertsteuer erhoben.
- Dieser Prozess wird international abgestimmt. So können negative Ausweicheffekte (Tanken im Ausland, Ausweichen auf andere Flughäfen) vermieden werden. Dafür reicht bereits eine Abstimmung in Europa.
- Die Mehrzahl der Studien schlägt eine Verlagerung des Flugverkehrs auf Inlandsstrecken oder kurzen Flügen ins Ausland auf die Bahn vor, zum Beispiel durch Einstellung aller Flüge, wenn es eine Bahnverbindung unter 4 Stunden gibt. Die Inlandsflüge machen allerdings nur 0,2 Prozent der deutschen Treibhausgas-Emissionen aus.
- Schleswig-Holstein: Eine gesonderte Politik für Schleswig-Holstein wird bislang nicht diskutiert, da der Flugverkehr in Schleswig-Holstein eine geringe Rolle spielt.

Schiffsverkehr

Der Seeschiffsverkehr wird nach den verschiedenen Studien selbst bei höheren Kosten durch die Umstellung vermutlich auf dem heutigen Niveau bleiben. In Schleswig-Holstein sind neben dem Güterverkehr auch die Fährverkehre nach Skandinavien und dem Baltikum und die Kreuzfahrtschiffe von Bedeutung. Für 2019 verzeichnete der Kieler Hafen über 800.000 Kreuzfahrtpassagiere, das ist ein Plus von 34 Prozent im Vergleich zum Vorjahr.168 Wegen des extrem hohen Stromverbrauchs sollten sie in den Häfen mit Landstrom versorgt werden.

Die Schiffe im Fernverkehr werden auch künftig überwiegend mit flüssigen Brennstoffen fahren. Dabei wird der fossile Schiffsdiesel durch E-Diesel oder eventuell auch andere flüssige

[167] Siehe UBA 2012, UBA 2018/2
[168] Siehe Port of Kiel 2020

E-Kraftstoffe wie Ammoniak oder Methanol ersetzt.[169] Insbesondere Methanol erfordert zwar eine Umrüstung, lässt aber dafür einen höheren Wirkungsgrad erwarten.[170] Dagegen erwiesen sich die Bestrebungen der Internationalen Meeresorganisation (IMO), von Schweröl oder Diesel zu flüssigem Erdgas zu wechseln, bislang als kontraproduktiv.[171] Vor allem die Methanemissionen der Motoren machen den Vorteil durch die CO_2-Reduzierung mehr als zunichte. Es bleibt abzuklären, für welche Verkehre im Ostseebereich Elektromotoren mit Batteriestrom in Frage kommen. Alternative Windantriebe wie Drachensegel oder der Flettner-Rotor (eine Art rotierendes Segel) haben sich bislang nicht durchsetzen können. Das kann sich aber bei steigenden Kosten für E-Kraftstoffe ändern.

Die Binnenschifffahrt spielt im Unterschied zum Seeverkehr nur eine geringe Rolle.[172] Das gilt auch für Schleswig-Holstein. Der Ausbau der einzigen relevanten Binnenwasserstraße – der Elbe-Lübeck-Kanal – ist wegen des geringen volkswirtschaftlichen Nutzens umstritten. Die Verlagerung von Verkehr vom LKW auf die Binnenschifffahrt wird keine relevante Rolle spielen.

Maßnahmen für den Schiffsverkehr

- Der Schiffsverkehr wird bis 2035 überwiegend auf E-Treibstoffe umgestellt:
- Durch die Besteuerung von fossilem Schiffsdiesel (siehe Abschnitt „Treibhausgas-Preis“) oder durch ein Quotensystem soll E-Schiffsdiesel schrittweise durch synthetische Kraftstoffe abgelöst werden. Ab spätestens 2035 sollte kein fossiler Schiffsdiesel mehr zum Verkauf zugelassen werden.
- Dieser Prozess wird international abgestimmt. So können negative Ausweicheffekte (Tanken im Ausland, Ausweichen auf andere Häfen) vermieden werden. Dafür reicht bereits eine Abstimmung in Europa.
- Fährverkehr und Kurzstreckenschiffsverkehr werden elektrifiziert. Dies wird erreicht, indem die Kosten für E-Kraftstoffe so hochgehalten werden, dass die Umstellung sich lohnt. Dafür reicht vermutlich der CO_2-Preis.
- In allen Häfen wird die Nutzung von Landstrom Pflicht.
- Es werden Mittel für die Forschung und Erprobung von alternativen Antrieben für See- und Binnenschifffahrt bereitgestellt.

[169] Norwegen testet den Einsatz von Ammoniak als Treibstoff für Schiffe. Es wird bereits bei einem Druck von 10 bar flüssig. Siehe Wolff 2020; Zu Methanol siehe Stena Line 2020

[170] Siehe Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. 2020; SimplyScience 2020; Institut für nachhaltige Wirtschaft und Logistik 2018; Maritimes Cluster Norddeutschland 2019

[171] Die IMO hat 2018 als Strategie den Wechsel zu flüssigem Erdgas (LNG) vorgeschlagen. Eine Reihe von Reedereien haben schon LNG-Schiffe gebaut. Allerdings tritt bei den Motoren in größerem Maße Methan-Schlupf auf. Dies Problem würde auch durch einen Wechsel zu grünem Methan nicht beseitigt. Siehe ICCT 2020

[172] Information per Mail von Destatis erhalten

Landwirtschaft und Bodennutzung (Moore und Wälder)

Wichtigste Punkte

- Reduzierung von Fleischkonsums um die Hälfte und von Milchprodukten um ein Viertel. Dadurch können insbesondere die Methanemissionen der Rinder um über die Hälfte reduziert werden.
- Es sind dann keine Futtermittelimporte mehr erforderlich. Zugleich werden die Exporte der Landwirtschaft eingestellt, wenn die Subventionen für Exporte gestrichen werden.
- Die Emissionen durch die Stickstoffdüngung werden durch ein Bündel von Maßnahmen um zwei Drittel reduziert.
- Die Emissionen aus Gülle und Mist werden weitgehend vermieden. Entscheidend dafür sind geschlossene Behälter für die Lagerung von Gülle und Mist und die Steigerung des Anteils, der energetisch in Biogasanlagen genutzt wird (auf 40-50%).
- Die Humusbildung in Äckern, Wiesen und Wäldern wird standortangepasst so gesteigert, dass eine maximale Treibhausgasreduktion erreicht wird. Dazu kann die Ausweitung der ökologischen Bewirtschaftung einen wichtigen Beitrag leisten.
- Der Anbau von Energiepflanzen – insbesondere Mais und Raps – wird vollständig eingestellt. Die freiwerdenden Flächen werden anders genutzt:
- Der Waldanteil in Schleswig-Holstein wird um ein Drittel gesteigert und kann dann insgesamt einen erheblichen Teil der Restemissionen aufnehmen.
- Bis zu zehn Prozent der landwirtschaftlichen Flächen – die ehemaligen Moore – werden wiedervernässt. Je nach Standort stehen sie dann für extensive Viehwirtschaft und Feuchtkulturen, als Naturschutzgebiete oder auch zur Bewaldung zur Verfügung.
- Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für die Industrie wird mehr als verdoppelt.
- Etwa ein Prozent der Flächen werden durch Freiflächen-Photovoltaik möglichst in Verbindung mit Landwirtschaft genutzt.

Ausgangslage

51 Prozent der Fläche Deutschlands werden landwirtschaftlich genutzt. Heute verursacht die Landwirtschaft sieben Prozent aller Treibhausgasemissionen [173]. Hinzu kommen Moore, die in der Vergangenheit trockengelegt wurden und nun Kohlendioxid und andere Treibhausgase ausstoßen. Sie machen etwa fünf Prozent der Emissionen aus.[174] Die Wälder sind dagegen der einzige Bereich, der zurzeit Treibhausgase schluckt. Das kommt dadurch, dass beim Pflanzenwachstum Kohlendioxid gebunden wird. Der Wald sorgt so für negative Emissionen in Höhe von 61 TE. Das gleicht etwa sieben Prozent der deutschen Emissionen aus.

Die Emissionen aus Landwirtschaft und Bodennutzung (vor allem Moore und Wälder) müssen zusammen betrachtet werden. Viele ehemalige Moore werden landwirtschaftlich genutzt. Gleichzeitig werden Flächen, die neu bewaldet werden sollen, hauptsächlich landwirtschaftliche Flächen sein. Maßnahmen, die diese Flächen betreffen, betreffen also auch die Landwirtschaft.

Besonderheiten in Schleswig-Holstein

In Schleswig-Holstein spielt Landwirtschaft für den Klimaschutz eine zentrale Rolle. Es wird mehr Fläche landwirtschaftlich genutzt als im Rest von Deutschland (70 Prozent gegenüber 51 Prozent[175]). Der Landwirtschaftssektor in Schleswig-Holstein hat auch einen größeren Anteil an den Gesamtemissionen als in Deutschland (16 Prozent gegenüber 7 Prozent).[176] Zwar sind die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein im Zeitraum zwischen 1990 und 2016 um zehn Prozent gesunken, aber bundesweit waren es achtzehn Prozent.

Die Gründe für die hohen Emissionen in Schleswig-Holstein liegen vor allem in der großen Zahl der Rinder und den ertragreichen Böden, die besonders stark gedüngt werden.[177]

Nicht nur die Emissionen aus der Landwirtschaft sind in Schleswig-Holstein sehr groß. Auch die Emissionen in der Bodennutzung unterscheiden sich stark. In Deutschland senkt der Be-

[173] In BBK 2020 werden 8% ausgewiesen, da dort die landwirtschaftlichen Geräte, Fahrzeuge, Ställe und anderen Gebäude der Landwirtschaft zugerechnet werden. In Schleswig-Holstein stehen dafür keine Zahlen zur Verfügung. Daher beträgt der Anteil der Landwirtschaft und 7%, der Rest verteilt sich in anderen Sektoren.

[174] Siehe UBA 2019/10, UBA 2019/11

[175] Siehe StaNo 2014

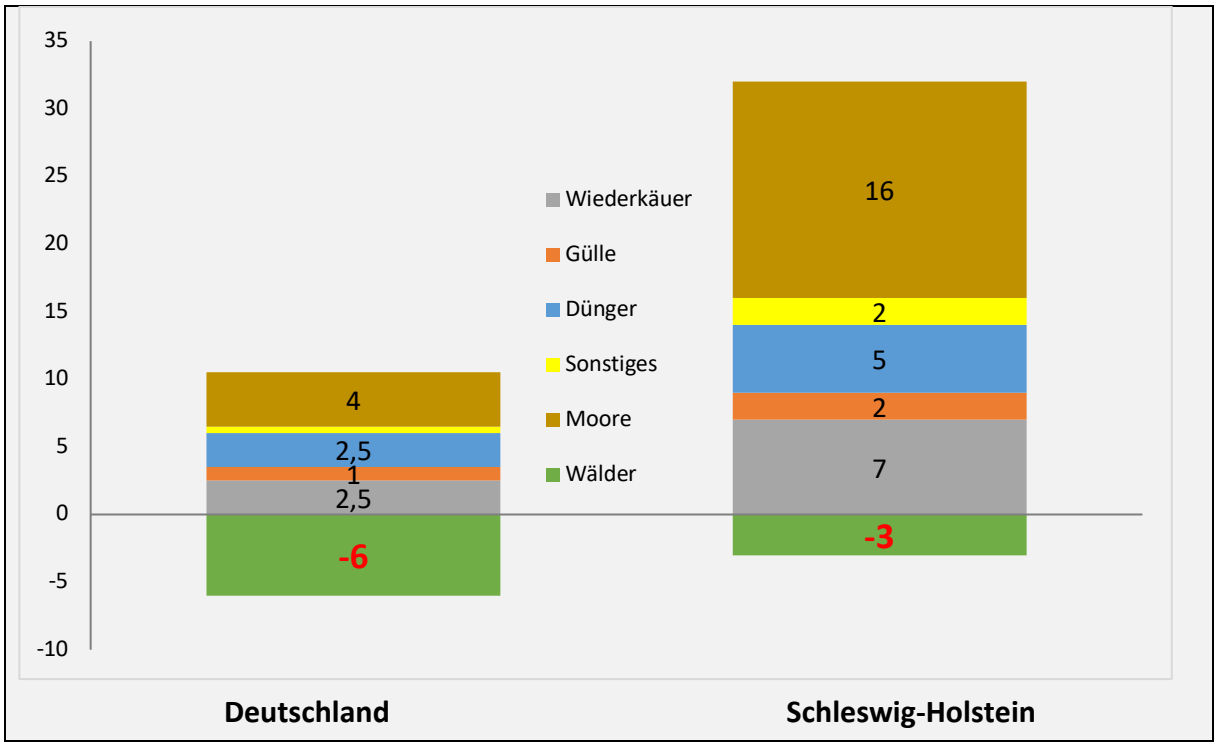
[176] 2017 betrugen die gesamten Treibhausgase in Schleswig-Holstein 25,4 Mio t $CO_{2\,Äq.}$ Der Anteil der Landwirtschaft betrug 5,2 Mio t $CO_{2\,Äq.}$ Der Anteil der Bodennutzung (LULUCF) an den Emissionen betrug 3,8 Mio t $CO_{2\,Äq.}$ wobei der Wald als Senke in Höhe von 0,9 Mio t $CO_{2\,Äq}$ einberechnet ist. In der amtlichen Statistik werden 20% Emissionen der Landwirtschaft ausgewiesen. Der Grund liegt darin, dass diese Statistik die Bodenemissionen (insbesondere durch ehemalige Moore) und die internationalen Verkehre (Schifffahrt und Flugverkehr) nicht enthält. Rechnet man diese mit, wie wir das tun, kommt man auf 16% Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft.

[177] Als Ursachen gelten der in Schleswig-Holstein seit 1990 zunehmende Anbau von Winterkulturen mit dem damit verbundenen höheren Ertragsniveau und folglich höheren Düngebedarf zulasten des verringerten Anbauumfangs von Sommerkulturen sowie die intensivierte Grünlandnutzung. Zusätzlich ist aufgrund des ungleichen Anfalls organischer Düngemittel (Überschuss- versus Bedarfsregionen) in den Überschussregionen von einer suboptimalen Düngung auszugehen.

reich Bodennutzung insgesamt die Emissionen, weil die Wälder so viele Treibhausgase aufnehmen. In Schleswig-Holstein stößt der Bereich aber 13 Prozent der gesamten Treibhausgase aus. Der Grund ist, dass es in Schleswig-Holstein viele trockengelegte Moore gibt. Diese verursachen einen viel größeren Anteil an den Emissionen, als das in Deutschland der Fall ist (16 Prozent gegenüber 4 Prozent). Gleichzeitig hat Schleswig-Holstein einen kleineren Waldanteil als Deutschland (11 Prozent gegenüber 32 Prozent). Deshalb werden weniger Emissionen ausgeglichen. In Grafik 17 sind die Unterschiede dargestellt. Sie machen deutlich, wie wichtig der Landwirtschafts-Sektor in Schleswig-Holstein ist.

Grafik 17: Anteil von Landwirtschaft und Bodennutzung

(Anteil an den gesamten Emissionen von Treibhausgasen in Prozent)



Das Ziel

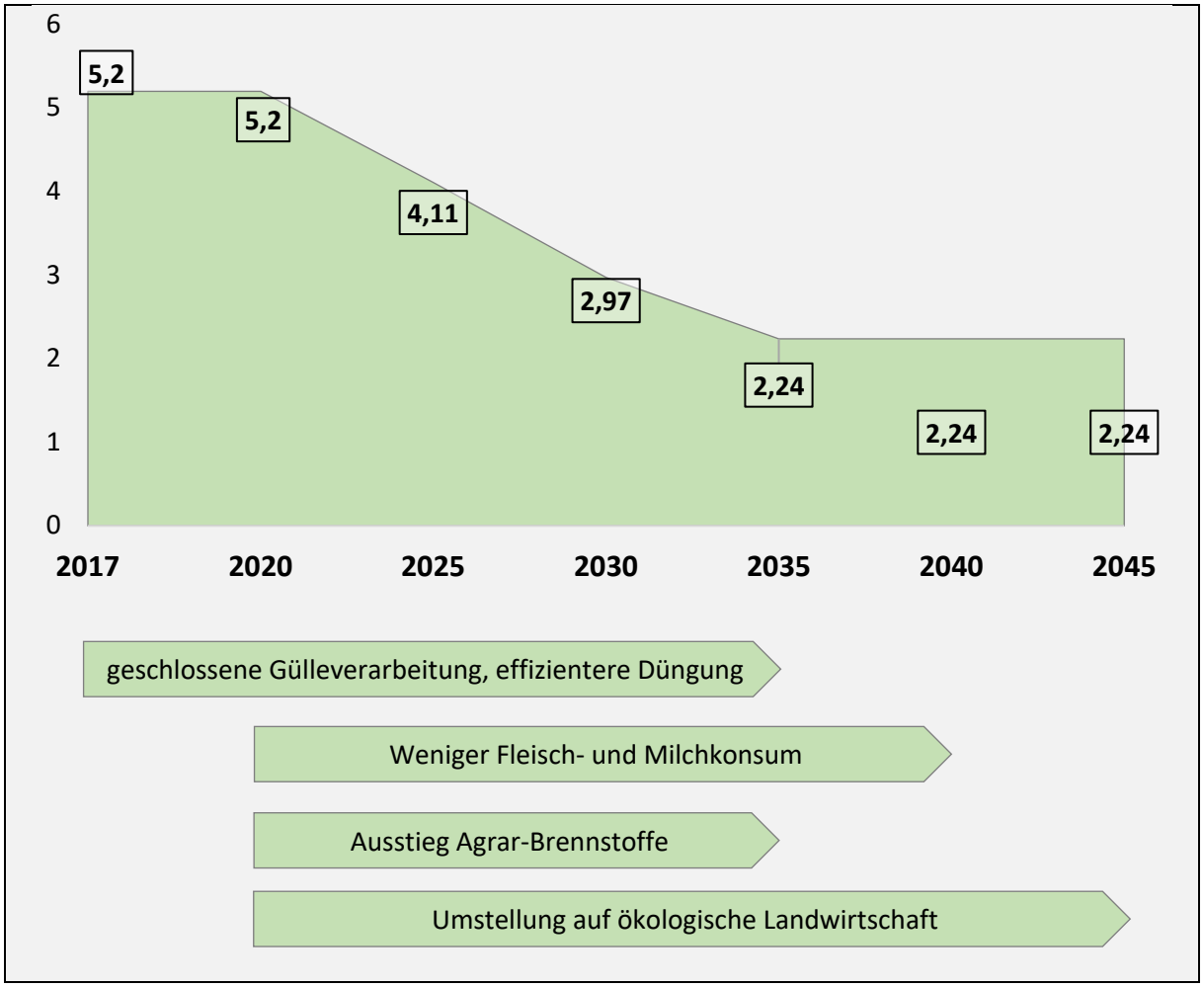
In der Landwirtschaft können die Emissionen nicht wie in den meisten anderen Bereichen auf null reduziert werden. Die Landwirtschaft wird deshalb im Jahr 2040, wenn die anderen Sektoren fast treibhausgasneutral sind, die größte Treibhausgas-Quelle sein. Um mit dem 1,5-Grad-Ziel in Deutschland vereinbar zu sein, müssen die Emissionen trotzdem deutlich reduziert werden. Außerdem sollten die Emissionen aus den Moorböden durch Wiedervernässung so schnell wie möglich reduziert werden. Durch die Pflanzung von neuen Wäldern können die negativen Emissionen vergrößert werden.

Landwirtschaft

In Grafik 18 ist dargestellt, wie sich die Emissionen entwickeln müssen und welche Maßnahmen dazu notwendig sind.

In den nächsten Abschnitten wird beschrieben, welche Maßnahmen notwendig sind, um die Emissionen zu senken.

Grafik 18: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft



Methan-Emissionen von Tieren

Rinder sind Wiederkäuer, die bei der Verdauung große Mengen Methan freisetzen. Es gibt in Schleswig-Holstein etwa eine Million Rinder, davon sind 385.000 Milchkühe. Obwohl es weniger Milchkühe gibt, verursachen diese circa 65 Prozent des Methans.[178]

Auch andere Wiederkäuer wie Schafe und Ziegen verursachen Emissionen. Allerdings gibt es von diesen Tieren so wenige, dass der Einfluss nur klein ist. Deshalb konzentrieren wir uns auf die Rinder.

[178] Siehe Landtag Schleswig-Holstein 2018

Die Möglichkeiten der Reduzierung der Emissionen in der konventionellen Rinderhaltung sind begrenzt. So ist das Potential der Reduzierung der Emissionen durch andere Ernährung der Tiere sehr gering.[179] Manche Haltungsformen können sowohl bei Milchkühen als auch bei Rindern einen Einfluss haben und die Emissionen im besten Fall um ein Viertel senken.[180]

Eine Alternative stellt die extensive Beweidung dar. Extensiv bedeutet, dass bewusst weniger Tiere gehalten werden und auf den Einsatz von Düngemitteln verzichtet wird.

Die Treibhausgasbilanz bei der extensiven Beweidung kann insgesamt sogar positiv sein.[181] Die Kühe stoßen zwar immer noch Methan aus, aber die Weiden speichern CO_2. Grünland sollte deshalb erhalten werden. Schließlich ist Tierhaltung die einzige Möglichkeit, Dauergrünland für die Erzeugung von Lebensmitteln zu nutzen.

Alle diese Maßnahmen reichen aber nicht aus. Die einzige relevante Möglichkeit, die die Fachleute sehen, um in großem Umfang die Methan-Emissionen zu reduzieren, ist die Reduzierung der Tierbestände. Und da es nichts bringt, wenn in Deutschland die Anzahl der Tiere zurückgeht, dafür aber mehr Fleisch- und Milchprodukte importiert werden, muss auch der Fleisch-, Milch- und Käsekonsum zurückgehen.

Aufgrund der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Ernährung schlägt das Ökoinstitut auch aus Gesundheitsgründen vor, den Fleischkonsum mindestens um die Hälfte und den Konsum von Milchprodukten mindestens um ein Viertel zu reduzieren. Zusammen ergibt dies eine Verminderung der Methan-Emissionen um fast die Hälfte.[182]

Lagerung und Verwendung von Gülle und Mist

Bei der Zersetzung von Mist und Gülle entstehen in großem Umfang Lachgas und Methan.[183] Eine Tonne Lachgas hat eine 290-mal so schädliche Wirkung auf das Klima wie Kohlendioxid.

Die Emissionen, die bei der Lagerung von Gülle und Mist durch Vergärung entstehen, können fast vollständig vermieden werden, wenn diese Stoffe gasdicht gelagert und in Biogasanlagen genutzt werden. Obwohl es viele Biogas-Anlagen in Schleswig-Holstein gibt, wurde 2015 nur 15 Prozent der Gülle und des Mists in Biogas-Anlagen genutzt.[184] Die übrige Menge verursacht bei der Lagerung Emissionen. Wenn Gülle und Mist in Zukunft zu einem größeren Anteil in Biogas-Anlagen genutzt werden[185], hat das außerdem den Vorteil, dass der Anbau von Energiepflanzen eingestellt werden kann (siehe Abschnitt „Bioenergie“).

[179] Siehe Brade 2016

[180] Siehe Anlage 8

[181] Siehe Kreis Schleswig-Flensburg.de 2020

[182] Siehe Öko-Institut 2019 – die Deutsche Gesellschaft für Ernährung empfiehlt eine Reduzierung des Fleischkonsums von heute 60 kg pro Person im Jahr auf 16 kg (-74%) bis 31 kg (-48%).

[183] Lachgas entsteht beim Abbau der stickstoffhaltigen Düngemitte durch bestimmte Mikroorganismen.

[184] Siehe MELUND 2019/4

[185] Mittelfristig muss es zu einer anderen Struktur der Biogasanlagen kommen mit kleineren Anlagen und mit möglichst kurzen Zufahrtswegen für Mist und Gülle.

Lachgas ist auch nicht das vorrangige Endprodukt der mikrobiellen Verstoffwechselung, sondern ein Zwischenprodukt, dass unter ungünstigen Bedingungen (z.B. Sauerstoffmangel, pH-Wert des Bodens) entsteht. Endprodukt ist reiner, gasförmiger Stickstoff. Im Ergebnis können nahezu zwei Drittel der Emissionen vermieden werden.[186]

Stickstoffemissionen aus der Düngung[187]

In Schleswig-Holstein gibt es Böden, die besonders viel Ernte bringen (Hochertragsböden). Diese werden intensiv bewirtschaftet. Daher liegen die Lachgas-Emissionen aus der Düngung in Schleswig-Holstein pro Hektar um 25 Prozent höher als in Deutschland insgesamt.[188] Diese Emissionen sind zwischen 1990 und 2016 um 1,8 Prozent angestiegen, während sie in Deutschland im selben Zeitraum um 8,9% gesunken sind.[189]

Um die Emissionen zu senken, müssen die Stickstoff-Überschüsse, die von den Pflanzen nicht aufgenommen werden, reduziert werden. Neben der sparsameren Düngung kann die Wirkung auch durch eine verbesserte Düngetechnik verbessert werden. Hierzu zählt zum Beispiel die schnellere Einarbeitung von Wirtschaftsdüngern.

Ein großes Potential zur Reduzierung der Düngermenge und damit der Treibhausgase liegt in neuen Methoden zur Bodenbearbeitung. Dabei wird der Stickstoffdünger nicht mehr auf der ganzen Fläche verteilt, sondern ganz gezielt nur zur Pflanze oder dem Samen ausgebracht.[190]

Eine weitere Reduzierung erfolgt durch den Anbau von Leguminosen auf fünfzehn Prozent der konventionellen Ackerfläche. Dies hängt jedoch stark von den Standorten ab. Leguminosen sind Pflanzen, die Stickstoff im Boden anreichern und dadurch eine Art natürlicher Dünger sind. Insgesamt können die Emissionen aus der Bodenbearbeitung etwa um die Hälfte reduziert werden.[191]

---

[186] Trotz des geringen Zuführungsanteils wird durch Einsatz von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen eine relevante THG-Minderung von 1,25 Mio. t CO2-Äquivalenten bundesweit erzielt, davon 0,076 Mio. t in Schleswig-Holstein (2015). Es könnten beispielsweise die THG-Emissionen der Landwirtschaft bei einer Verdopplung des Zuführungsanteils auf 28% des Wirtschaftsdüngers um weitere 0,076 Mio. t gemindert werden, dies entspricht 1,5% der THG-Emissionen der Landwirtschaft. Siehe MELUND 2019/4

[187] Bei den Stickstoff-Emissionen aus der Bodenbearbeitung geht es vor allem um Lachgas, aber auch um andere Stickstoffverbindungen wie Ammoniak und Nitrat. Siehe UBA 2019/10

[188] In Schleswig-Holstein 1,47 t CO_{2eq}/ha, Deutschland 1,18 t CO_{2eq}/ha

[189] Dabei hat sich die Struktur der Düngemittel und die dadurch verursachten N_2O-Emissionen deutlich verschoben. Die Emissionen aus Mineral- und Wirtschaftsdüngeranwendungen sind gesunken, aber die Emissionen aus der Ausbringung von Gärrückständen aus Biogasanlagen gestiegen. Insbesondere die durch die Biogaserzeugung und Viehhaltung geprägten Geestbereiche auf dem Mittelrücken Schleswig-Holsteins mit den dort vorherrschenden sandigen, zur Nährstoffauswaschung neigenden Böden sind von Nährstoffüberschüssen betroffen. Siehe MELUND 2019/4

[190] Siehe Thünen 2013, Osterburg 2009

[191] Siehe BBK 2020

Ökolandbau

Der Anteil der Öko-Landwirtschaftsanteil beträgt in Schleswig-Holstein vier Prozent, während er in Deutschland bei sieben Prozent liegt (2017). Es gibt in Schleswig-Holstein also weniger Öko-Landbau als im Bundesdurchschnitt. Dies liegt darin begründet, dass der konventionelle Ackerbau sich aufgrund der günstigen Bedingungen mehr lohnt und daher der Anreiz für die Bauern, nach Alternativen zu schauen, geringer ist.

Gerechnet wird mit einer Ausweitung der Ökolandbaufläche auf dreißig Prozent der Fläche der Landwirtschaft bis 2040[192] Emissionseinsparungen entstehen durch den Verzicht auf Mineraldünger (weniger Lachgas), durch verstärkten Humusaufbau (Bindung von Kohlenstoff)[193] und durch weniger Emissionen in der Mineraldüngerproduktion.

Der ökologische Landbau verursacht pro Flächeneinheit geringere THG-Emissionen. Pro Produkteinheit gibt es keinen systematischen Klimaschutzvor- oder -nachteil des ökologischen Landbaus aufgrund der geringeren Erträge. Hier kommt es auf die konkreten Standorte und Tierhaltungsbedingungen an. Allerdings führt eine gute ökologische Landwirtschaft zur stärkeren Humusbildung und damit zu zusätzlichen „negativen" Emissionen.

Regionale Konzepte

Vor dem Hintergrund der sehr unterschiedlichen natürlichen Gegebenheiten in Schleswig-Holstein und den damit verbundenen Betriebsspezialisierungen und Ertragserwartungen sind überregionale Handlungsempfehlungen allerdings nicht ausreichend. In Abhängigkeit der Gebietskulisse sollten zusätzlich regionalisierte Ansätze erarbeitet werden, um adäquate Aussagen über Einsparpotentiale und Kosten treffen zu können.[194]

Maschinen, Gebäude, Geräte und Fischkutter

In der Landwirtschaft spielen die CO_2-Emissionen durch Fahrzeuge, Maschinen sowie Wohngebäude und Ställe nur eine untergeordnete Rolle. Sie können durch den Einsatz von grünen Treibstoffen und Elektrifizierung auf null reduziert werden. Dies gilt auch für die Emissionen der Fischerei und der Forstwirtschaft. In der Statistik werden diese Emissionen nicht der Landwirtschaft zugeordnet, sondern anderen Bereichen wie Verkehr (Fahrzeuge) und Wärme (Gebäude).

[192] Siehe Öko-Institut 2019 – die Studie rechnet mit einer Steigerung auf 20% bis 2030, so dass eine Steigerung auf 30% bis 2040 realistisch ist. Die Rechnungen dieses Papiers funktionieren natürlich auch mit einem höheren Anteil an Öko-Landwirtschaft, den wir für wünschenswert halten.

[193] In der Treibhausgas-Bilanzierung wird Humus allerdings nicht bilanziert, das Thünen Institut rät auch davon ab, denn die mögliche C-Bindung in Böden durch Humusaufbau ist mengenmäßig und zeitlich limitiert und reversibel.

[194] Siehe MELUND 2019/4

Einstellung der Exporte und Futtermittelimporte

Eine Studie der Boston Consulting Group fordert, dass die Agrar-Exporte sofort beendet werden. Sie stellt fest, dass die gesamten Exporte der Landwirtschaft nur durch hohe Subventionen zustande kommen. Ein Euro Einnahme aus dem Export erfordert bis zu sechs Euro Subventionen. Der am meisten subventionierte Bereich ist die Rinderhaltung. Würden die Exporte komplett eingestellt, dann würde die Fleischproduktion halbiert. Dadurch würden achtzig Prozent der direkten und indirekten Subventionen eingespart. Durch die Reduzierung der Rinderhaltung und flächendeckenden Übergang zu ökologischen Produktionsweisen können auch die Treibhausgasemissionen weiter erheblich reduziert werden.[195]

Heute basiert die Viehzucht in Deutschland zu einem erheblichen Anteil auf Futtermittelimporten. Diese verschärfen die Flächenkonkurrenz in vielen Ländern und führen auch nicht selten dazu, dass Wälder vernichtet werden. Wenn der Fleischkonsum reduziert wird, könnte weitgehend auf die Importe verzichtet werden. Das betrifft natürlich nicht nur die Haltung von Rindern und Milchkühen, sondern auch die gesamte Schweine- und Hühnerhaltung.

Maßnahmen Landwirtschaft

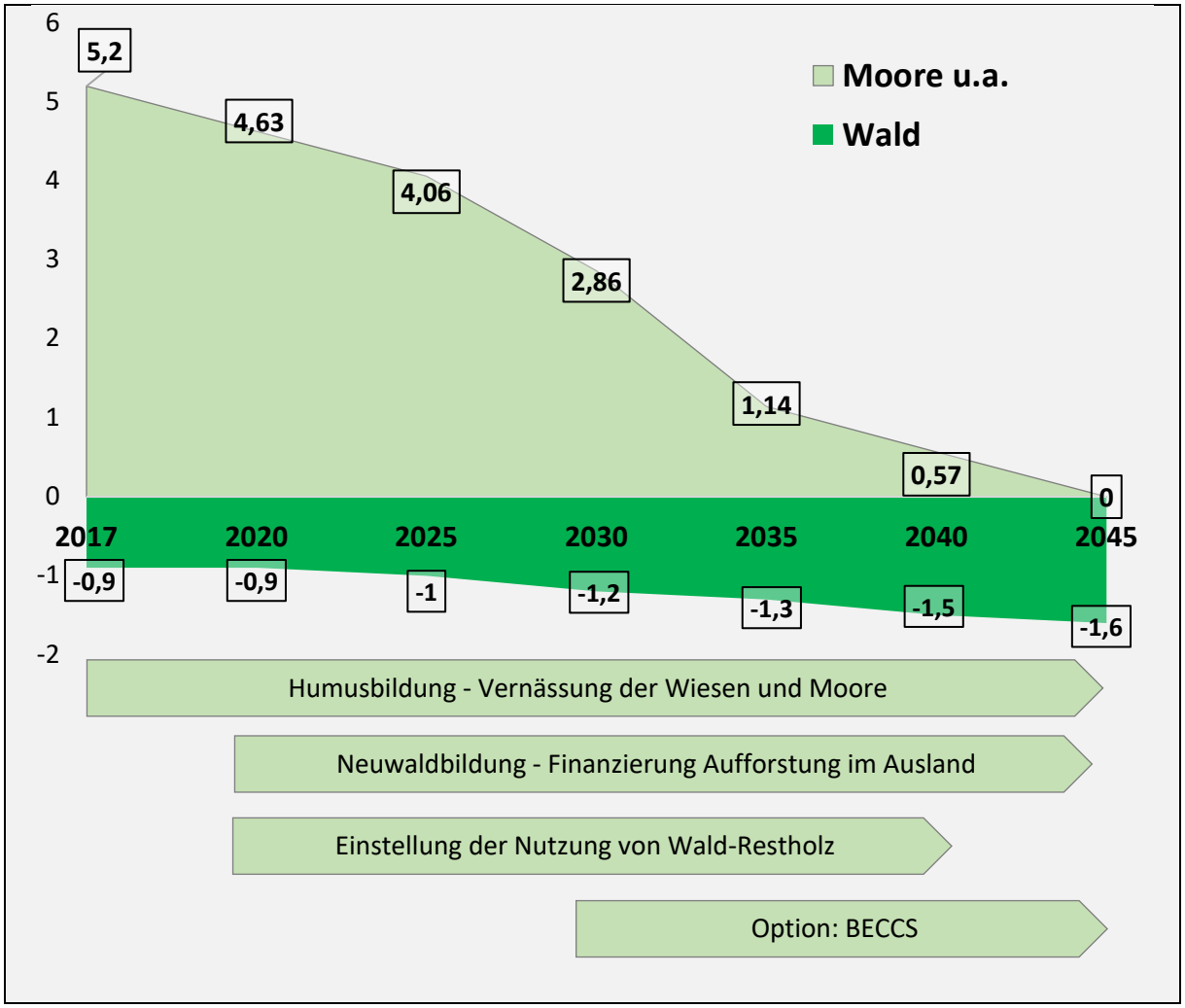
- Treibhausgasemissionen in die Kennzeichnung von Lebensmitteln aufnehmen
- Treibhausgaspreise auch in der Landwirtschaft erheben
- Reduzierung des Konsums von Fleisch und von Milchprodukten entsprechend den Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung durch Aufklärung und Preissignale
- Die wesentlichen Umstellungen in der Landwirtschaft erfolgen durch Umstellung der Regeln für die EU-Förderung und der darauf basierenden Programme des Bunds und des Landes:
    - Reduzierung der Stickstoffemissionen vorschreiben – dabei Beratung und Unterstützung bei Entwicklung von neuen Anbaumethoden
    - Ausweitung des Ökolandbaus auf mindestens dreißig Prozent bis 2040
    - Gasdichte Lagerung und Verarbeitung von Gülle und Mist regeln und eine möglichst vollständige Verwertung in Biogasanlagen sicherstellen
    - Die Förderung von landwirtschaftlicher Produktion für den Export durch die EU soll auslaufen
    - Elektrifizierung oder Umstellung auf E-Brennstoffe der Geräte, Fahrzeuge, Ställe und sonstigen Gebäude
- Biogasanlagen werden auf Reststoffe und Wirtschaftsdünger umgestellt

[195] Siehe BCG 2019

Bodennutzung

Der Bereich Bodennutzung umfasst als besonders große Bereiche Moore und Wälder. Auch die Rolle der Grünflächen und Äcker als Treibhausgasquellen und -senken sind hier enthalten.

Grafik 19: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Bodennutzung



Humuserhalt und Humusaufbau

Äcker und Wiesen können durch die Humusbildung dauerhaft CO_2 im Boden binden. Da diese Prozesse sehr langsam ablaufen, ist die jährliche Wirkung jedoch gering und wird auf nur zwei TE pro Jahr geschätzt. Da diese Speicherung bei Wiesen größer ist als bei Äckern, kann die Umwandlung von Äckern in Grünland diese Menge mehr als verdoppeln. Umgekehrt ist es wichtig, dass Dauergrünland nicht in Äcker oder Siedlungsflächen umgewandelt wird. Auch das Tauschen von Acker- und Grünlandflächen sollte nur in Ausnahmen genehmigt werden, da es zu Humusverlust führt. Der Prozess der Humusbildung kann beschleunigt werden, wenn Wiesen nicht mehr so stark entwässert werden.

Wiedervernässung der Moorböden und Schutz der Moore

Ein Zehntel der Fläche Schleswig-Holsteins bestand früher aus Mooren. Nur rund neun Prozent dieser Fläche hat heute noch ihre ursprüngliche Funktion und kann Treibhausgase auf natürliche Weise aufnehmen.[196] Alle anderen Moorstandorte wurden mehr oder weniger trockengelegt.

Die ehemaligen Moore stoßen in Schleswig-Holstein jährlich circa 5 Treibhausgaseinheiten (TE) aus. Dies sind etwa sechzehn Prozent der gesamten Emissionen in Schleswig-Holstein. Damit sind die trockengelegten Moorböden der größte einzelne Verursacher von Treibhausgas.[197]

Für die ackerbauliche Nutzung der ehemaligen Moore ist ein hoher Entwässerungsgrad notwendig. Der größere Teil der organischen Böden wird als Grünland bewirtschaftet. Grünland kann auch bei höheren Grundwasserständen genutzt werden. Dies verringert die Ernte ein wenig, reduziert aber im Vergleich zur ackerbaulichen Nutzung bei Moorböden die Treibhausgas-Emissionen deutlich.

Es geht um etwa 190.000 Hektar landwirtschaftlich genutzter Moorflächen und moorähnlicher Böden (sogenannte „Anmoore“), die wieder vernässt werden können. Etwa 67 Prozent davon werden als Grünland und 15 Prozent als Äcker genutzt.[198]

Für diese Flächen müssen geeignete Programme entwickelt werden, um sie einer extensiven Nutzung zuzuführen oder gar als Naturschutzflächen ganz oder teilweise aus der Nutzung zu nehmen. Durch eine Wiederherstellung der natürlichen Wasserstände, Renaturierung oder eine veränderte extensive Nutzung ist eine vollständige Reduzierung der Emissionen erreichbar.[199] Nach einer Übergangszeit, in der die Moore sich „erholen“ dienen sie sogar als Kohlenstoff-Senke, das heißt, sie binden CO_2. Es sind auch Kompromisse möglich, damit die Moore auch in Zukunft landwirtschaftlich genutzt werden können. Mit hohen Grundwasserständen im Winter und Wasserständen von circa 30 Zentimetern unter Flur während der Vegetationsperiode wäre auch die Fortführung einer moderaten Milchviehwirtschaft in Niederungsregionen möglich.[200]

Verglichen mit Klimaschutzmaßnahmen in anderen Sektoren sind Moorschutzmaßnahmen günstige Maßnahmen um CO_2 zu vermeiden.[201]

---

[196] Das sind torfbildende naturnahe Hochmoore, Übergangsmoore, Röhrichte, Moorwälder usw.

[197] Hinsichtlich der Klimawirksamkeit von Mooren lässt sich in Abhängigkeit von ihrer Naturnähe und Nutzungsintensität eine Rangfolge bilden. Danach sind die Emissionen aus intensiv genutzten Niedermooren aufgrund der leichter abbaubaren Substanz höher als aus Hochmooren. Die geringsten Emissionen entstehen auf naturnahen Standorten, etwas schlechter sieht es in bewaldeten Mooren aus und mit Abstand am schlechtesten auf tief entwässerten Grünland- und Ackerstandorten.

[198] Siehe MELUND 2029/4

[199] Wir gehen dabei von unterschiedlichen Graden der Vernässung und Nutzung aus. Die Herstellung eines treibhausgasneutralen Zustandes kann zum Teil länger als bis 2050 dauern.

[200] Siehe Albrecht 2017

[201] Siehe Albrecht 2017

Als weitere Maßnahme sollte die Torfgewinnung gestoppt werden. Dies dient dazu die Moore künftig als natürliche Treibhausgassenken zu erhalten und weitere Freisetzungen zu vermeiden (zu einer Übersicht bisheriger Maßnahmen siehe Anlage 9).

Wald

In Deutschland bedecken die Wälder 32 Prozent der Landfläche. Damit liegt Deutschland trotz der dichten Besiedlung im europäischen Durchschnitt. In Schleswig-Holstein sind es aber nur elf Prozent. Der Wald ist zur Zeit der einzige große Bereich, der keine Treibhausgase ausstößt, sondern sogar in erheblichen Maße Kohlendioxid aus der Luft aufnimmt und als Holz und Humus im Boden speichert. Diese „negativen Emissionen" kompensieren ungefähr 0,9 TE pro Jahr in Schleswig-Holstein. Diese wichtige Rolle des Waldes muss erhalten und sogar erheblich ausgebaut werden. Allerdings gibt es Prognosen, dass die Fähigkeit der deutschen Wälder Treibhausgase aufzunehmen bis 2050 abnimmt. Grund dafür ist, dass der Wiedernachwuchs der Wälder nach der weitgehenden Zerstörung im zweiten Weltkrieg mittlerweile abgeschlossen ist.[202] In Schleswig-Holstein dominieren jedoch die zuwachsstarken jüngeren Bestände: 2002 waren fast zwei Drittel der Bestände jünger als sechzig Jahre.

Ein wichtiger Faktor zum Erhalt der negativen Emissionen ist die qualitative Verbesserung der Wälder durch nachhaltige Bewirtschaftung und standortgerechte Baumauswahl.

Erhöhung der stofflichen Nutzung

Auch wenn Holz dem Wald entnommen und langfristig verwendet wird (zum Beispiel in Form von Bauholz), verbessert dies die Bilanz.[203] Es ist aber wichtig zu berücksichtigen, dass dies das Problem nur hinauszögert und nicht dauerhaft löst. Denn wenn das Holz verbrannt wird oder vermodert, setzt es die Emissionen wieder frei.

Doch insbesondere durch eine Ausweitung der Nutzung von Holz für langlebige Produkte und als Baustoff erhöht sich die positive Speicherwirkung. Zugleich werden andere Baustoffe und Materialien durch Holz ersetzt, was zusätzliche CO_2-Einsparungen mit sich bringt.

Aufforstung und Wiederaufforstung

Wenn neue Wälder angepflanzt werden, zum Beispiel auf Flächen, die bisher Äcker waren, werden große Mengen Kohlenstoff über lange Zeiträume im Holz eingelagert.

Bislang wird nur mit geringen Aufforstungsflächen gerechnet. Wir gehen davon aus, dass fünf Prozent der landwirtschaftlichen Fläche neu aufgeforstet werden (siehe im Abschnitt „Flächennutzung für die Klimapolitik"). Ein Teil davon kann auf den wiedervernässten Böden

[202] Wesentlich optimistischer ist eine Studie des Öko-Instituts, wonach die Wälder in Deutschland noch über das Jahr 2100 hinaus fast 60 TE an Kohlendioxid aus der Luft entnehmen können. Siehe Öko-Institut 2019

[203] Zu den folgenden Darstellungen zum Wald siehe Thünen 2013

stattfinden. Das wäre eine Vergrößerung der Waldfläche in Schleswig-Holstein um dreißig Prozent. Auf diese Weise würden nach zwanzig Jahren zusätzliche negative Emissionen von bis zu 0,7 TE pro Jahr erreicht werden.[204]

Diese Effekte sind jedoch zeitlich auf etwa hundert Jahre begrenzt. Wenn der Wald ein bestimmtes Alter erreicht hat und kein Holz entnommen wird, dann wird auch wieder CO_2 durch absterbende Bäume freigesetzt und es bleibt nur noch die vergleichsweise geringe Humuseinlagerung als positiver Effekt.[205]

Flächennutzung für die Klimapolitik

Energiepflanzen (siehe hierzu auch den Abschnitt „Energie/Bioenergie“)

2019 wurde auf neun Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Schleswig-Holstein Mais für Biogas-Anlagen angebaut. Hinzu kommen etwa drei Prozent der Fläche für Raps. Weitere Energiepflanzen sind Getreide, Zuckerrübe, Grassilage und andere. Insgesamt schätzen wir, dass damit über fünfzehn Prozent der landwirtschaftlichen Fläche Schleswig-Holsteins für Energiepflanzen genutzt werden.[206]

Die Nutzung von Energiepflanzen ist ineffizient, da die Energieausbeute auf der gleichen Fläche durch eine Photovoltaikanlage mehr als den zehnfachen Ertrag in Strom erbringt. Erzeugt man mit Hilfe des Stroms E-Diesel, so kommt pro Hektar immer noch mehr als die dreifache Menge Diesel heraus als beim Rapsanbau.

Außerdem hat der Energiepflanzen-Anbau teilweise negative Folgen für die Böden.[207] Daher gehen wir davon aus, dass der Anbau von Energiepflanzen bis 2035 schrittweise eingestellt wird und durch Energieeinsparungen oder durch zusätzliche E-Brennstoffe ersetzt wird.

Für die Erzeugung von Erneuerbarem Strom werden neben den Hausdächern und anderen Flächen ein bis zwei Prozent der landwirtschaftlichen Fläche für Solar-Energie benötigt. Werden diese Photovoltaik-Anlagen hoch geständert, dann können die Flächen darunter trotzdem landwirtschaftlich genutzt werden (Agro-PV).[208] So können eine Reihe von Pflanzen wie Kartoffeln oder Zuckerrüben sowie Getreide wie Roggen, Hafer, Gerste und Weizen angebaut werden.[209] Die Einbußen liegen nach den bisherigen Forschungsergebnissen zwischen fünf bis 20 Prozent – in besonderen Fällen wurden sogar Mehrerträge erwirtschaftet. Möglich ist auch

[204] Eigene Rechnung – zu der Wirkung der Aufforstung siehe Thünen 2013. Zur Finanzierung der Aufforstung siehe im Teil 3 im Abschnitt „Finanzierung“.

[205] Siehe BMEL 2016

[206] Siehe StaNo 2019/3, StaNo 2020/2, FNR 2019; FNR 2020; es geht hier nur um die Flächen für Energiepflanzen – Mais, Raps, Sonnenblumen, Grassilage, Zuckerrüben - nicht für die Nutzung als Lebensmittel und für andere Zwecke. Wir haben für Mais (90T ha) und Raps (30T ha) jeweils die Hälfte des Gesamtanbaus gerechnet, für die anderen Energiepflanzen haben wir angenommen, dass der Anteil etwas geringer als im Bundesdurchschnitt liegt. Bundesweit entfallen 38% auf diese anderen Energiepflanzen.

[207] Siehe UBA 2013/2

[208] Siehe Goetzberger 1981, Mayr 2018, Energieagentur NRW 2018

[209] Der Anbau von Pflanzen unter Photovoltaik-Anlagen ist noch im Versuchsstadium.

die Nutzung als Weide für Schafe und Rinder, wenn die Stabilität der Anlage darauf ausgelegt ist.

In der Diskussion sind bis zu zehn Prozent der landwirtschaftlichen Flächen, die künftig wieder mehr oder weniger vernässt werden sollen (siehe im Abschnitt „Moore“). Dazu ist allerdings Flächenmanagement notwendig, um zusammenhängende Flächen zu erreichen.

Ein anderer Teil (fünf Prozent) kann zur Neuwaldbildung genutzt werden (siehe Abschnitt „Wälder“). Diese Waldflächen können zum Teil auch auf vernässten Böden anpflanzt werden. Die übrigen freiwerdenden Flächen (wir rechnen mit zwei Prozent der landwirtschaftlichen Flächen) können für die Produktion von nachwachsenden Rohstoffen für die Industrie benutzt werden (siehe nächster Abschnitt).

Nachwachsende Rohstoffe für die Industrie

Im Jahre 2018 wurden in Deutschland auf knapp zwei Prozent der Ackerflächen pflanzliche Rohstoffe für die Industrie angebaut.[210] Da heute die Rohstoffe der organischen Chemie fast ausschließlich aus fossilen Quellen stammen, wird weltweit an Alternativen geforscht. Eine stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe bezieht sich hauptsächlich auf die Verwendung der Stärke, des Zuckers, biogene Öle und Fette, Fasern, Lignocellulose bzw. Holz und Proteine.

Wir rechnen damit, dass die Fläche für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen verdoppelt wird, wenn der Anbau von Energiepflanzen eingestellt wird.

[210] Siehe FNR 2018

Industrie

Wichtigste Punkte

- Fossile Industriekraftwerke durch Erneuerbare Energie ersetzen
- Der Umbau der Grundstoffindustrie ist zum Teil auf Steuermittel oder Kompensationen angewiesen. Das muss der Bund regeln.
- Umbau der Zementindustrie auf Elektrowärme (Lägerdorf)
- Reduzierung der Nachfrage durch leichteren Beton (Kohlefasern), Umstellung auf andere Baumaterialien
- Umbau der Chemie auf Wasserstoff, E-Methan, Biomasse und Luft-CO_2 als Rohstoffe, Elektrowärme als Energie (Brunsbüttel, Hemmingstedt).
- Ersatz der Fluorverbindungen als Kühlmittel, Ersatz Lachgas in der Anästhesie (Krankenhäuser)
- Aufbau von Elektrolyseanlagen zur Verarbeitung von Spitzenstrom
- Anlandung von grünem Wasserstoff, Methan und synthetischen Flüssigbrennstoffen in den LNG-Terminals.

Ausgangslage

In Deutschland ist der Industriesektor mit 24 Prozent der Emissionen die zweitgrößte Treibhausgasquelle.[211] Etwa zwei Drittel der Emissionen der Industrie sind energiebedingt. Das heißt sie entstehen, wenn fossile Energieträger wie Kohle und Gas verbrannt werden um Strom oder Wärme zu erzeugen. Diese Emissionen können auf Null reduziert werden, indem die Wärme- und Stromherstellung auf Strom und Erneuerbare Brennstoffe umgestellt wird.

Ein Drittel der Emissionen sind sogenannte Prozessemissionen. Dabei entstehen Treibhausgase durch chemische Reaktionen während der Produktion. Hier können teilweise die Produktionsverfahren geändert werden. In einigen Bereichen ist das nicht möglich. Dann kann nur versucht werden, weniger Material zu verbrauchen oder das Produkt durch andere Produkte zu ersetzen.

[211] Vergleich BBK 2020. Der Sektor Industrie umfasst alle großen Produktionsanlagen außerhalb der Energiewirtschaft, einschließlich der Industriekraftwerke. Der Bezug von Strom und Wärme aus öffentlichen Netzen und die Gütertransporte sind dabei nicht berücksichtigt. Auch die Heizung ist nicht enthalten, sie wird im Abschnitt „Hauswärme“ thematisiert.

Besonderheiten in Schleswig-Holstein

Schleswig-Holstein hat im Vergleich zu Deutschland wenig Industrie. Der Industrie-Sektor macht nur 12% der Gesamtemissionen aus. Die Emissionen teilen sich auf einige wenige Quellen auf:

Tabelle 2: Treibhausgas-Quellen der Industrie[212]

Industriezweig	**Deutschland**	**Schleswig-Holstein**
Industrie-Kraftwerke	8 %	1 %
Metallherstellung (Stahl u. a.)	6 %	0 %
Ammoniak-Herstellung	0,4 %	4 %
Raffinerien	2 %	3 %
Sonstige Chemie	2 %	1 %
Zement-Herstellung und Glas.	4 %	2 %
Papier-Herstellung	0 %	0,4 %
Sonstige	2 %	0,5 %
Gesamt	24 %	12 %
Rohstoffe der Chemie-Industrie[213]	*(nachrichtlich 6 %)*	*(?)*

In Schleswig-Holstein fallen zwei Drittel der Emissionen auf die Chemieindustrie, ein Fünftel auf die Zementindustrie und drei Prozent auf die Papierindustrie. Die restlichen zehn Prozent fallen auf verschiedene Industriekraftwerke.

Das Ziel

In Grafik 20 ist dargestellt, wie sich die Treibhausgase entwickeln sollten. Auch die wichtigsten Maßnahmen sind dargestellt.

Wir rechnen damit, dass 2040 etwa 0,3 TE (das entspricht acht Prozent der heutigen Emissionen der Industrie) noch verbleiben, hauptsächlich für die Zement-Herstellung.

Die wichtigsten Maßnahmen betreffen die Chemie-Industrie, die Energieerzeugung und die Zement-Herstellung. Problematisch sind die hohen Kosten der Umstellung. Darauf wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

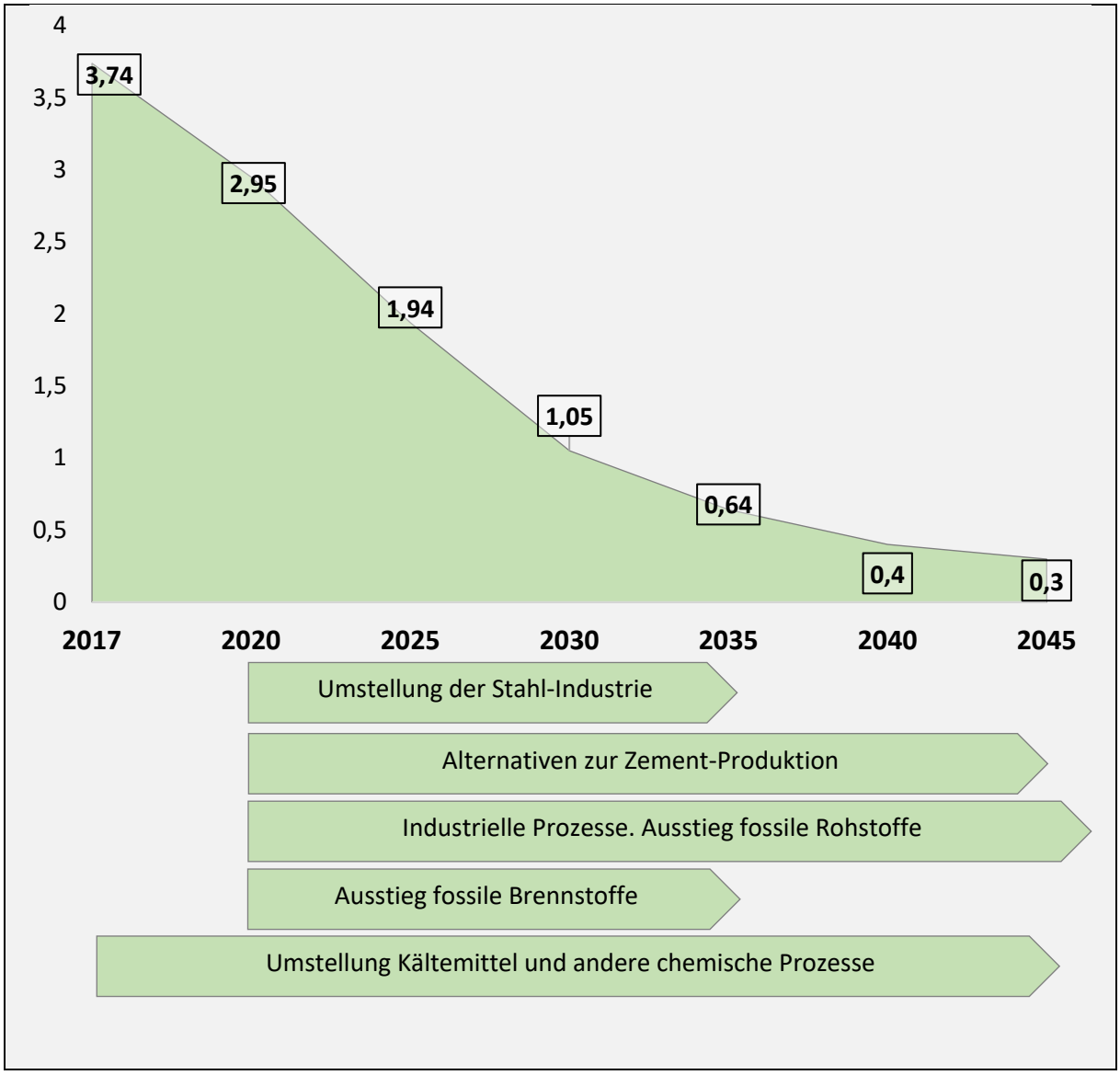
[212] Vergleiche Anlage 10.

[213] Diese Emissionen werden nicht bei der Industrie ausgewiesen, da sie erst wirksam werden, wenn der Kunststoff verrottet oder verbrannt wird. Kunststoffe, die auf einem nicht offiziellen Weg weder über die graue Tonne noch über den gelben Sack oder über eine andere Kunststoffsammlung entsorgt werden, oder exportiert werden, tauchen in der UBA-Statistik gar nicht auf. Dazu gehört auch Mikroplastik.

Kosten

Die Umstellung der Industrie erfordert in einigen Industriezweigen erhebliche Investitionen. Die Kosten dafür werden für ganz Deutschland auf bis zu 200 Milliarden Euro geschätzt.[214] Einen wesentlichen Teil davon kann die Industrie alleine tragen und sogar auf die Preise umlegen, insbesondere wenn die Klimapolitik international koordiniert wird.[215] So stellt die Chemieindustrie fest, dass die meisten neuen Verfahren nach 2030, teilweise auch erst 2040, wirtschaftlich und marktfähig sein werden. Allerdings konzentrieren sich wesentliche Investitionen auf einige wenige Industriezweige, die diese Belastungen nicht selbst tragen können. Deshalb wird dies einer der Bereiche sein, in denen der Staat die Wirtschaft mit erheblichen Mitteln bei der Umstellung unterstützen muss.

Grafik 20: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Industrie



[214] Siehe BBK 2020, Anlage 26
[215] Siehe Agora Energiewende 2019/3

Das aktuelle Dilemma

Der Löwenanteil der Emissionen wird durch die Grundstoffindustrien – insbesondere Eisen und Stahl, Zement, Kalk und Chemie – verursacht. Diese Industrien haben längst Pläne erarbeitet, wie sie treibhausgasfrei werden können. Dies erfordert allerdings erhebliche Investitionen, die sich beim gegenwärtigen CO2-Preis nicht lohnen. (Siehe im Abschnitt „Treibhausgas-Preis“).

Die Konzerne müssen in den kommenden 10 Jahren die Hälfte der Anlagen sowieso erneuern.[216] Allerdings liegt die Lebensdauer von solchen Anlagen bei 50 bis 70 Jahren. Sie rechnen sich also erst im Laufe von zwei Generationen. Daher kann ein kompletter Neubau der Grundstoffindustrien von diesen nicht alleine bewältigt werden. Hier muss der Staat helfen.

Die Konzerne stehen vor einem Dilemma: Sie wollen nicht in die alten Techniken investieren, weil diese Investitionen später bei einem höheren Treibhausgas-Preis verloren sind. Sie können aber die Umstellung nicht wirtschaftlich darstellen und finanzieren. Daher warten sie auf Entscheidungen der Bundesregierung. Um das Problem zu lösen, wurde das Modell „Carbon Contract for Difference“ (CfD) entwickelt.[217] Danach schließt die Bundesregierung mit einem Konzern einen Vertrag, in dem der Staat Zuschüsse zahlt, solange der Preis für Treibhausgase zu niedrig ist. Wenn der Preis dann höher ist, zahlt der Konzern zurück. Auf diese Weise könnte sofort mit dem Umbau der Grundstoff-Wirtschaft begonnen werden. Daher bedarf dieses Problem einer schnellen Lösung.

In den folgenden Abschnitten wird beschrieben, welche Umstellungen in den einzelnen Industrie-Bereichen notwendig sind.

Industrieeigene Kraftwerke und Wärmeverbrauch

Der Energieverbrauch der industrieeigenen Kraftwerke und der Maschinen kann vergleichsweise einfach reduziert werden. Im Prinzip gilt für die Umstellung hier das gleiche wie für die Energiewirtschaft. Die reine Stromproduktion kann künftig durch Sonne und Wind treibhausgasfrei erfolgen. Der Strom wird dann vorrangig aus dem öffentlichen Netz bezogen.

Die Erzeugung von Industriewärme (Hochtemperaturwärme) spielt nach unseren Recherchen in der schleswig-holsteinischen Industrie keine große Rolle. Zur Nutzung von Abwärme siehe Abschnitt „Wärme/Abwärme“.

Chemische Industrie

Die Chemieindustrie ist für zwei Drittel aller Industrie-Emissionen in Schleswig-Holstein verantwortlich. Nach den Studien wächst die Chemieindustrie auch in Zukunft noch leicht an. Allerdings dürfte das für die in Schleswig-Holstein dominierende Grundstoffchemie, die für

[216] Siehe BBK 2020, Anlage 25

[217] Siehe Hanke 2019, Agora Energiewende 2019/4

den Großteil der Emissionen verantwortlich ist, eher nicht gelten. Denn die Hauptabsatzmärkte für Stickstoffdünger und für fossile Kraftstoffe werden drastisch reduziert werden. Damit fällt ein Großteil der Emissionen fort. Die restlichen Emissionen müssen durch eine Umstellung auf synthetische „Rohstoffe“ beseitigt werden.

Dafür kommt die Herstellung dieser „Rohstoffe“ – also Wasserstoff, E-Methan oder flüssige E-Brennstoffe wie Kerosin, Diesel oder Methanol neu hinzu. Der Wasserstoff dafür wird künftig in Elektrolyse-Anlagen erzeugt, die zu einem großen Teil durch Stromspitzen versorgt werden.

Die Chemie-Industrie hat sich bereits intensiv auf die Umstellung für eine zukünftige Treibhausgasneutrale Produktion eingestellt.[218] Allerdings wartet sie noch auf Rahmensetzungen der Politik, die die erforderlichen Investitionen ermöglichen. Auch in Schleswig-Holstein gibt es bereits mit dem Reallabor Westküste eine Vernetzung der Betriebe, die für die Zukunft der Wasserstoffchemie plant und Informationen austauscht.[219]

Raffinerien

Hier geht es um die große Raffinerie in Hemmingstedt und zwei kleinere Anlagen in Brunsbüttel. Die Förderung des Erdöls in der Nordsee und die Produktion von fossilen Kraftstoffen in Hemmingstedt müssen bis 2035 eingestellt werden, um das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen. Dies ist auch der Grund, warum die Raffinerie Heide sich intensiv mit Alternativen wie der Wasserstoffproduktion und -weiterverarbeitung (Carbonisierung) beschäftigt.[220]

Ammoniak-Herstellung

Der größte Emittent von Treibhausgasen in Schleswig-Holstein ist die Yara Brunsbüttel GmbH, die 1,4 TE emittiert. Der Standort verfügt über zwei Produktionseinheiten: Eine Ammoniak- und eine Harnstoffanlage. Verschiedene Ammoniak- und Harnstoff-Qualitäten werden produziert. Die Produkte werden überwiegend für die Düngemittelproduktion für die Landwirtschaft und für die Produktion von AdBlue eingesetzt.[221]

Mittlerweile gibt es vielversprechende Forschungsergebnisse, die erwarten lassen, dass künftig der Stickstoff aus der Luft, anstelle mit fossilem Methan, direkt mit grünem Wasserstoff, also treibhausgasneutral zur Ammoniakherstellung eingesetzt werden kann. Erfreulicherweise wird diese Umstellung die Produktionskosten sogar um ein Viertel verringern – allerdings benötigt der großtechnische Einsatz noch eine gewisse Vorlaufzeit und große Investitionen.[222]

---

[218] Siehe dechema 2019

[219] Siehe Reallabor Westküste 2020

[220] Siehe Raffinerie Heide 2020

[221] AdBlue wird von Dieselfahrzeugen benötigt, um die Stickoxide in den Abgasen zu reduzieren.

[222] Siehe Dechema 2019. Bisher läuft der Prozess: $2N_2 + 3CH_4 + 3O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4NH_3$. Zukünftig wird daraus: $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$. Die Produktionskosten sinken einschließlich der Abschreibungen auf die Investitionen um 25%, die Grenzkosten nach Abschreibung sinken sogar um 35%. Siehe Nishibayashi (2019)

Die Umstellung der Produktion löst aber nicht das Problem der Lachgasemissionen in der Landwirtschaft. Dies wird im Abschnitt „Landwirtschaft“ behandelt.
Im Rahmen der Umstellung des Verkehrs auf Elektromobilität und der Reduzierung des Stickstoffdüngereinsatzes wird das Produktionsvolumen der Ammoniak-Industrie vermutlich erheblich zurückgehen.

Kohlenstoffbasierte Chemie[223]

Die Produktion von chemischen Erzeugnissen, sowie Gummi- und und Kunststoffwaren spielt in Schleswig-Holstein nur eine geringe Rolle. Allerdings werden Vorprodukte für Dämmstoffe (zum Beispiel für Polyurethan), Farben und Lacke hergestellt.[224] Dabei wird eine Menge Energie benötigt.

Hier stellen sich drei Aufgaben: Einmal kann der Energiebedarf durch die Umstellung auf andere Produkte reduziert werden. Zum Zweiten kann ein Teil der Brennstoffe durch den Einsatz von erneuerbarem Strom ersetzt werden. Zum Dritten können anstelle von fossilen Brennstoffen synthetische E-Brennstoffe eingesetzt werden. So wird die Energieerzeugung treibhausgasneutral.

Die Kohlenstoff-Chemie benötigt aber nicht nur Energie, sondern auch in erheblichem Umfang Rohstoffe, die aus Erdöl und Erdgas gewonnen werden. Diese fossilen Rohstoffe tauchen heute in der Energie-Statistik und in der Emissionsstatistik der Chemie-Industrie nirgends auf. Zum Teil werden sie bei der Müllverbrennung, in der Landwirtschaft und bei den Emissionen im Verkehr erfasst. Zum Teil werden die Kunststoffe exportiert. Es ist aber nicht klar, ob die Statistik wirklich vollständig ist.

Treibhausgasneutral wird die Kohlenstoff-Chemie daher erst dann, wenn die eingesetzten Rohstoffe nicht mehr aus fossilen Rohstoffen stammen, sondern synthetisch aus grünem Wasserstoff und Luftstickstoff erzeugt werden. Soweit für die chemischen Verbindungen auch Kohlenstoff benötigt wird, kann dieser direkt aus der Luft gewonnen werden. Wenn aber in Produktionsprozessen wie bei der Zementherstellung CO_2-Emissionen nicht ganz zu vermeiden sind, dann sollten die Abgase davon genutzt werden.

Weiterhin wird auch das Recycling der Kunststoffe dazu beitragen, die Emissionen auf ein Minimum zu reduzieren (siehe im Abschnitt „Rohstoffe/Kreislaufwirtschaft“).

[223] Wir verwenden im Text anstelle des richtigen Fachbegriffs „Organische Chemie“ den Begriff „Kohlenstoff-Chemie“ oder „kohlenstoffbasierte Chemie“, da dies für Laien verständlicher ist.
[224] Siehe Covestro (2020) (Auskunft von Dr. Frank Holtrup) und IHK Schleswig-Holstein 2020

Weitere chemische Verfahren

Im Übrigen hat die Chemieindustrie ihre Hausaufgaben gemacht und in einer Roadmap der deutschen chemischen Industrie gezeigt, dass eine weitgehende treibhausgasneutrale Chemieproduktion in Deutschland technologisch denkbar ist. Dabei spielt die Erzeugung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien und die Nutzung von CO_2 als Rohstoff eine zentrale Rolle.

Neben Methan gibt es weitere flüchtige organische Verbindungen, die meist als Lösungsmittel – zum Beispiel in Farben und Klebstoffen – verwendet werden. Sie wurden schon deutlich vermindert und können durch gesetzliche Regelungen noch um weitere 20 Prozent reduziert werden.[225]

Alle bei der Anästhesie verwendeten Gase sind Treibhausgase. Allerdings ist die Wirkung sehr unterschiedlich. So können durch den Ersatz von Lachgas durch Sevofluran die Emissionen auf ein Hundertstel gesenkt werden. Dies sollte gesetzlich geregelt werden, so dass die hochwirksamen Treibhausgase nur noch in begründeten Ausnahmefällen zum Einsatz kommen.[226]

Fluor-Verbindungen

Fluorverbindungen werden überwiegend als Kältemittel eingesetzt. Nach dem Verbot der Fluorkohlenwasserstoffe, die die Ozonschicht schädigen, werden nun eine Reihe andere Fluorverbindungen genutzt, obwohl sie eine sehr starke Treibhausgaswirkung haben. Die Emissionen entstehen nicht in der Produktion, sondern durch fast unvermeidliche Leckagen in der Anwendung.

Es gibt seit langem gute Alternativen wie Ammoniak oder Kohlendioxid, die aber noch nicht genügend genutzt werden. Die Umstellung sollte daher gesetzlich vorgeschrieben werden.[227]

Zement-Herstellung

Zement ist mit großem Abstand der am meisten produzierte Stoff aller Industriegesellschaften. Er wird als Baustoff, hauptsächlich für die Betonherstellung, benötigt. Das größte Zementwerk in Schleswig-Holstein liegt in Lägerdorf bei Itzehoe (Lafarge-Holcim Ltd.). Es verursacht heute fast zwanzig Prozent aller Industrie-Emissionen in Schleswig-Holstein.

Die Umstellung der Zement-Herstellung erweist sich im Bereich der Industrie am schwierigsten. Etwa die Hälfte der Kohlendioxid-Emissionen stammt aus dem Einsatz von fossilen Brenn-

[225] Siehe UBA 2019/2 – sie werden als NMVOC bezeichnet. Sie sind nicht selbst Treibhausgase, werden aber in der Atmosphäre zum Teil durch chemische Reaktionen dazu.
[226] Siehe Health Care Without Harm 2018
[227] Siehe UBA 2014/6, De Graf 2018, UBA 2019/5

stoffen bei der Herstellung und kann vollständig vermieden werden. Die andere Hälfte ist prozessbedingt und kann nicht vermieden werden.[228] Während es also für alle andern Industrien Möglichkeiten gibt, die Emissionen spätestens bis 2050 auf fast Null zu bringen, bleiben in der Mineralindustrie in Schleswig-Holstein Freisetzungen von Kohlendioxid im Umfang von 0,3 Treibhausgaseinheiten (TE) übrig, für die es bislang noch keine Lösungsvorschläge gibt[229] Diese Emissionen sollten aber möglichst als Rohstoff für die Chemieindustrie genutzt werden (siehe dort).

Allerdings kann durch den Einsatz von Holz und anderen Naturstoffen im Bausektor (zum Beispiel Lehmbau) in erheblichem Maße Zement eingespart werden. Mittlerweile sind in mehreren Städten wie London, Wien und Chicago Holzhochhäuser mit bis zu 80 Stockwerken und einer Höhe von 300 Metern in der Planung bzw. im Bau.[230]

Eine Alternative bildet auch der Ersatz der Eisenbewehrung im Beton durch Kohlefasern. Da die Betondecken dadurch leichter werden, können so Baustoffe und auch weiniger Zement eingesetzt werden (zum Baustoffrecycling siehe auch im Abschnitt „Rohstoffe/Kreislaufwirtschaft“).

Mittlerweile wird nach Alternativen für das Bindemittel Zement geforscht.[231] Aber bis heute gibt es keinen gleichwertigen Ersatz.[232] Das Umweltbundesamt geht davon aus, dass bis 2050 die Hälfte des Zements ersetzt werden kann. Auch die Rückkehr zum Bau von langlebigen Gebäuden kann die Emissionen im Neubau künftig senken. Dann lägen die Restemissionen in Schleswig-Holstein bei nur noch 0,1 TE.

Papier-Herstellung

Die Papierindustrie liegt in Schleswig-Holstein mit drei Prozent der Industrie-Emissionen an dritter Stelle. Es geht vor allem um vier Betriebe in Flensburg, Glückstadt, Uetersen und Tornesch.[233] Die Papierherstellung ist ein komplexes Verfahren mit zahlreichen Prozessstufen und verschiedenen Produkten. Die energiebedingten Emissionen können in den jeweiligen Stufen vermieden werden so dass die Emissionen auf null gesenkt werden.[234] Als Rohstoffe werden in der Regel nachwachsende Rohstoffe wie Holz oder Gräser eingesetzt. Papier und Pappe speichern sogar Kohlenstoff – wenn auch meist nur für einige Jahre.[235]

---

[228] Der Rohstoff von Zement ist Calciumcarbonat. Für die Zement-Herstellung wird das Calcium abgetrennt und verwendet. Übrig bleibt der Kohlenstoff (=Carbonat). Dieses verbindet sich mit Sauerstoff aus der Luft und wird CO_2.

[229] Siehe Carstensen (2018), Holcim 2018/1, Holcim 2018/2

[230] Siehe Buck 2017

[231] So erprobt die RTWH Aachen und das IASS Potsdam die Bindung von Kohlenstoff an die Mineralien Olivin und Basalt und ihr Einsatz als Zementbeigabe, siehe HeidelbergCement 2019/2

[232] Siehe BZE 2017, sciencedirect 2016, HeidelbergCement 2019/1

[233] Siehe Anlage 10

[234] Siehe Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft GmbH (2020)

[235] Siehe Unfolded (2019)

Zusätzlich kann der Bio-Reststoff Lignin einen erheblichen Beitrag in Höhe von 15 Terawattstunden zur Energieversorgung liefern (siehe dazu Abschnitt „Energie“).

Erzeugung von Wasserstoff und E-Brennstoffen

Schon heute wird in Schleswig-Holstein Wasserstoff und Synthesegas (also hauptsächlich E-Methan) hergestellt.[236] Das ist aber blauer Wasserstoff, kein grüner (Siehe Infobox 6). Dabei werden immerhin 0,1 TE freigesetzt.

Infobox 6: Blauer und grüner Wasserstoff

Blauer Wasserstoff: Wird aus fossilem Methan gewonnen. Nur als Übergang denkbar, da bei der Herstellung Treibhausgase freigesetzt werden.

Grüner Wasserstoff: Wird treibhausgasneutral mit erneuerbarem Strom über Elektrolyse aus Wasser gewonnen.

Wir rechnen damit, dass bereits 2035 in Schleswig-Holstein ungefähr 30 TWh pro Jahr Strom zur Herstellung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse verwendet wird.[237] Dieser Strom wird zu einem großen Teil aus Stromspitzen (PV, Offshore und Onshore) stammen. Diese entstehen, wenn sehr viel Strom produziert wird, z.B. an einem sehr windigen und/oder sonnigem Tag. Normalerweise würde dieser Strom die Netze überlasten und die Windräder würden deshalb abgeschaltet. Die Elektrolyse stellt daher einen guten Weg dar, diese Abschaltung zu verhindern. Allerdings müssen Elektrolyseure genügen Stunden im Jahr laufen, damit sie effizient sind. Deshalb muss der Spitzenstrom in Batterien oder anderen Speichern (z.B. Stahl-Speichern) zwischengespeichert werden, um dann nach und nach die Elektrolyseure zu speisen.

Ein Teil des Wasserstoffs (3,3 TWh) wird auch weiterverarbeitet zu E-Methan (0,5 TWh) und E-Diesel (1,1 TWh). Dazu wird Kohlenstoff benötigt. Dieser kann mit einem chemischen Verfahren direkt aus der Luft entnommen werden (Direct Air Capture). Dies ist allerdings teuer. Es kann auch der Kohlenstoff, der bei der Produktion von Zement und Kalk anfällt „aufgefangen“ und verwendet werden (Carbon Capture and Use). Das spart zwar keine Emissionen, aber es spart in großem Maße Energie und Kosten, die die Umstellung günstiger machen.[238] Auch bei der Müllverbrennung fällt vorläufig noch Kohlenstoff an, der verwendet werden kann.

Die E-Brennstoffe werden vor allem für den Verkehr verwendet, der nicht elektrifiziert werden kann (Siehe Abschnitt „Verkehr/Flugzeuge, Schiffe“). In Zukunft werden sie auch als Rohstoffe für die Kohlenstoff-Chemie-Industrie benötigt. Spätestens ab 2050 müssen auch diese

[236] Wasserstoff wird hergestellt durch die Firma Covestro Deutschland AG in Brunsbüttel. Covestro hat sich bereits bei der dänischen Energiegesellschaft Ørsted ab 2025 vertraglich grünen Strom für 10 Jahre gesichert. Siehe Ørsted 2019

[237] Siehe Anlage 7

[238] Siehe WWF 2019

Rohstoffe treibhausgasneutral erzeugt werden. Dies kann teilweise auch in Deutschland passieren.

Forschungsförderung

Für die Emissionen der meisten Industrieprozesse mit Ausnahme der Mineralindustrie gibt es bereits Alternativen und Lösungen. Sie wurden oben dargestellt. Bei der Vielzahl und Komplexität der Industrieprodukte in Deutschland gibt es naturgemäß trotzdem viele Bereiche, die noch nicht geklärt sind. Deshalb sollte die Energiewende durch Programme für Forschungsförderung zur Lösung solcher Probleme begleitet werden. Hier wird wegen der Vielfalt der bereits bestehenden und der notwendigen Themen auf eine Auflistung verzichtet.

Kohlenstoffspeicherung/ Negative Emissionen

Wir wissen, dass wir nach dem Erreichen der Klimaneutralität weltweit im Jahre 2050 damit beginnen müssen, wieder Kohlenstoff aus der Atmosphäre zu entnehmen und im Boden zu speichern. Diese Methoden sollten ebenfalls weiter erforscht werden (siehe im Abschnitt (Landwirtschaft/Kohle speichern“).

Weitere Maßnahmen zur Umstellung der Unternehmen

Für alle Industrieunternehmen und Wirtschaftsbetriebe ergibt sich die Notwendigkeit die Maßnahmen durch zusätzliche Projektorganisation zu begleiten. In Schleswig-Holstein wurde damit längst in einer Reihe von Firmen begonnen.[239] Dies wird auch von der IHK Schleswig-Holstein unterstützt. Allerdings fehlen noch Angebote für mittelständische Unternehmen, die eine Ökobilanzierung ihrer Produktionskette nicht betriebsintern mit eigenem, entsprechend qualifiziertem Personal durchführen können.

Sofortprogramm zur Finanzierung der Umstellung

Im Bereich der Industrie wird der Staat nur selten direkt tätig werden. Er muss aber die Umstellung begleiten. Dies gilt besonders dort, wo die Umstellungen sehr hohe Investitionen und Abschreibungen erfordern. Viele Industriezweige haben abgeschriebene Industrieanlagen und stehen vor Investitionsentscheidungen. Deswegen braucht die Industrie jetzt klare Signale und Maßnahmen, damit keine Fehlinvestitionen getätigt werden. Agora Energiewende und das Wuppertal-Institut haben dazu ein Sofortprogramm vorgelegt. [240]

[239] Die IHK Kiel unterstützt die Firmen mit Service und Netzwerken für das betriebliche Umweltmanagement. Die Sasol Germany GmbH (Brunsbüttel) haben ein umfassendes Berichtswesen über Energieverbrauch und Treibgasemissionen geschaffen (persönliche Mitteilung). Die Covestro AG Germany (Brunsbüttel) berichtet im Rahmen ihres Monitorings, dass sie die Treibhausgasemissionen bereits um 50% reduziert hat.

[240] Siehe Agora Energiewende 2019/1, Agora Energiewende 2019/4

Maßnahmen für die Industrie

- Klimaschutz muss als Unternehmenszweck im Aktienrecht verankert werden.
- Die Ausweisung der Treibhausgasemissionen im Unternehmensbericht muss vorgeschrieben und standardisiert werden. Der Bericht muss sowohl die Vorprodukte, die Produktion, wie auch die Produkte und ihre Entsorgung umfassen.
- Einführung eines Treibhausgas-Preises mit fest kalkulierbarem Wachstumskorridor (siehe Abschnitt „Treibhausgas-Preise“) – auch auf importierte Endprodukte.
- Entscheidend sind klare Signale. Danach richten sich die Finanzmärkte. Dann fließen die Investitionen sehr schnell in den Umbau der Industrie.
- Dies muss mit differenzierten Fördermaßnahmen für die erforderlichen Investitionen – insbesondere für die Stahl-, Zement- und Chemieindustrie – verbunden werden und kann darüber refinanziert werden.[241] (Siehe dazu den Vorschlag „Carbon Contract for Difference“ (CfD)[242])
- Für Industriekraftwerke gelten die gleichen Regelungen wir in der Energiewirtschaft (siehe Abschnitt „Energie“).
- Einführung einer anwachsenden Quote für grünen Wasserstoff und andere E-Brennstoffe (siehe Abschnitt „Importe“). Dies gilt auch für fossile Rohstoffe. Ab 2035 sollen keine fossilen Brenn- und Rohstoffe mehr verwendet werden.
- Das gesamte Baurecht muss so gestaltet werden, dass Bauen ohne Zement oder mit alternativen Bindemitteln ohne Treibhausgasemissionen Vorrang hat. Dazu gehört der Bau mit Holz, Lehm und anderen Naturstoffen.
- Zusätzliche Mittel für die Forschung von Alternativen für die Mineralindustrie, die keine oder weniger Treibhausgase freisetzen – insbesondere für alternative Bindemittel, die Zement ersetzen.
- Gesetzliche Regelung der Nutzung von Abwärme – Einschränkung der Einleitung von ungenutzter Wärme in Luft oder Gewässer.
- Zulassungsverpflichtung von allen Kunststoffen, die nicht natürlich abbaubar sind. Insbesondere die Chlorchemie (PVC) muss durch Alternativen ersetzt werden.
- Gesetzliche Regelung der vorrangigen Nutzung von treibhausgasfreien Kühlmitteln und Betäubungsmitteln.
- Zügiger Einstieg in die Kreislaufwirtschaft (siehe Abschnitt „Rohstoffe“)
- Sicherstellung der erforderlichen Importe (siehe Abschnitt „Importe“)

[241] Siehe Knitterscheidt 2019

[242] Siehe Agora Energiewende 2019/4

Abfälle und Abwässer[243]

Die Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft resultieren aus der Müllverbrennung, den Mülldeponien, der Abwasserentsorgung, sowie der Entsorgung der Abfälle aus den Biotonnen und der Sammlung von anderen organischen Abfällen. Insgesamt sind das drei Prozent der Emissionen in Deutschland.[244] Für Schleswig-Holstein gibt es keine Daten zur Emission der Abfallwirtschaft. Wir gehen davon aus, dass es keine großen Unterschiede zu Deutschland gibt.[245]

Fast zwei Drittel der Emissionen entstehen durch die Müllverbrennung. Sie werden in den Tabellen des Umweltbundesamtes bei der Energiewirtschaft ausgewiesen. Knapp ein Drittel sind Methan- und Lachgasfreisetzungen aus alten Mülldeponien, als noch unbehandelter Müll gelagert werden durfte. Die restlichen sieben Prozent dieser Emissionen entstehen je zur Hälfte durch die Abwasserbehandlung und durch die biologische Behandlung von organischen Abfällen aus der Biotonne und anderen organischen Abfällen.[246]

Seit 1990 wurden bereits zwei Drittel der Emissionen der Deponien eingespart – viel mehr als in anderen Sektoren. Dazu trugen Gaserfassungseinrichtungen sowie Oberflächenabdichtungen auf mehreren Deponien bei. Seit Mitte 2005 wird gar kein unbehandelter Hausmüll mehr abgelagert.

Durch die folgenden Maßnahmen können die Emissionen aus der Abfallwirtschaft bis auf einen kleinen Rest (unter fünf Prozent) bis 2050 reduziert werden.

Maßnahmen zu Abfällen und Abwässern

- Die Emissionen der Müllverbrennung werden durch besseres Recycling und das Verbot von kritischen Rohstoffen abnehmen. Mit der Umstellung der Chemieindustrie auf erneuerbare Rohstoffe wird die Müllverbrennung fast treibhausgasneutral (siehe im Abschnitt „Energie“).
- Die Emissionen aus den Altdeponien werden bis 2050 von alleine stark zurückgehen. Denn seit 2005 darf unbehandelter Müll nicht mehr gelagert werden.[247]
- Wichtigste Maßnahme bei der Abwasserbehandlung ist der Anschluss von abflusslosen Gruben im ländlichen Raum an die Kanalisation. Diese kann die Emissionen um die Hälfte reduzieren. Auch eine Änderung der Ernährung kann zu weniger Stickstoff in den Abfällen und damit zu dreißig Prozent weniger Emissionen führen.
- Die Emissionen der Abfälle aus der Biotonne und von anderen organischen Abfällen entstehen durch die Kompostierung und durch die Vergärung in Biogasanlagen. Sie

[243] Siehe UBA 2013/1

[244] Für Deutschland sind dies 18 TE Müllverbrennung, 8 TE Altdeponien, 1 TE Kompost, 1 TE Abwässer. 2050 bleiben davon nur 1 TE, hauptsächlich aus Kompost und Abwässern. Siehe BBK 2020

[245] Siehe Fraunhofer ISI 2020

[246] Siehe BBK 2020 Anlage 29, UBA 2019/12

[247] Siehe MELUND 2019/2

müssen durch technische und organisatorische Maßnahmen etwa auf die Hälfte gesenkt werden. Hier sind insbesondere die Landkreise und Städte gefordert.

Teil 5: Fragen an die Bürgerinnen und Bürger

Die folgenden Fragen umfassen eine Auswahl von Themen, die sich beim Lesen dieses Handbuch ergeben können. Sie sollen lediglich als Anregungen für diejenigen dienen, die einen Bürgerrat vorbereiten oder an ihm teilnehmen.

Befürchtungen

Die Umstellung auf eine treibhausgasneutrale Lebensweise und Wirtschaft verursacht nicht nur erhebliche Kosten. Sie stellt die Menschen auch aus anderen Gründen vor große Herausforderungen. Zu den möglichen Folgen, die Menschen mit der Umstellung befürchten, gehören zum Beispiel:

- Umstellungen der Ernährung – weniger Fleisch und Milchprodukte
- Lärm und optische Störungen durch Windkraft
- Veränderung des Landschaftsbildes durch Stromleitungen oder Windräder
- Schäden für die Natur – insbesondere für Vögel
- Reisen, insbesondere Flugreisen, werden teurer
- Einschränkungen beim Wohnkomfort
- Umständliche Pfandsysteme
- Schlechte Belüftung von isolierten Häusern
- Umweltschäden durch Rohstoffgewinnung
- Abhängigkeit vom Ausland
- Nachteile der deutschen Wirtschaft im internationalen Wettbewerb
- Überregulierung und Verbotspolitik
- Einschränkungen beim Autofahren wie Geschwindigkeitsbeschränkungen und weniger Parkplätze
- Verbot von Verbrennungsmotoren
- höhere Kosten für Mobilität
- Kosten für die Gesellschaft, Steuererhöhungen
- Auswirkungen auf die Arbeitsplätze
- Zusammenbruch des Energiesystems bei Ausstieg aus fossilen Energien

Hoffnungen und Wünsche

Auf der anderen Seite stehen die Hoffnungen und Wünsche von vielen Menschen, die sie mit der Umstellung auf eine treibhausgasneutrale Gesellschaft verbinden:

- Erhalt einer bewohnbaren Welt für die kommenden Generationen
- Vermeidung von extremen Wetterereignissen wie Dürren, Überschwemmungen, Hurrikans
- Millionen Menschen werden vor der Vertreibung aus ihrer Heimat durch die Klimafolgen gerettet
- Erhaltung der Natur – insbesondere der gefährdeten Arten von Insekten bis Eisbären
- Erhaltung der Gletscher, des Polarmeeres und der Antarktis
- Gesünderes Leben durch weniger Schadstoffe in der Luft, im Wasser und in der Nahrung
- Bessere Qualitätsstandards, die die Treibgasemissionen der Lebensmittel, Kleidung und anderer Produkte berücksichtigen
- Weniger Lärmbelästigung
- Lebenswerte Städte ohne Autos, in denen Kinder, Fußgängern und Fahrradfahrer Vorrang haben
- Geringere Kosten für Strom und Heizung
- Viele Menschen verbinden ihr Engagement für den Klimaschutz auch mit der Hoffnung, dass die Gesellschaft gerechter und sozialer wird – die betrifft auch die Beziehungen zwischen den Ländern
- Geringere Importabhängigkeit von Rohstoffländern – insbesondere von Diktaturen und ungerechten Regimes

Fragen

Wenn die Umstellung gelingen soll, müssen die Maßnahmen und Veränderungen, die Hoffnungen und Ängste mit allen Bürgern diskutiert werden. Als Ausgangspunkte für die Diskussion haben wir Fragen formuliert.

Allgemeines

- Sollte Klimaschutz oder Teibhausgasneutralität als Staatsziel ins Grundgesetz und in die Landesverfassung geschrieben werden?
- Sollte Klimaschutz einklagbar sein? Sollten z.B. bei öffentlichen Ausschreibungen die Behörden verpflichtet werden das klimafreundlichste Angebot zu nehmen?

- Sollte Deutschland verstärkt Klimaschutz im Ausland fördern – zum Beispiel Solarstrom in Indien oder Aufforstung in Sibirien? (Anmerkung: Dies könnte ein „Ausgleich“ dafür sein, dass Deutschland mehr vom Treibhausgas-Budget beansprucht, als ihm zusteht. Wichtig ist hierbei, dass die Förderung zusätzlich zum Klimaschutz in Deutschland passiert und nicht stattdessen.)

Fragen zum 1,5-Grad-Ziel

- Soll anstelle des 1,5-Grad-Ziels eine maximale Temperaturerhöhung von 1,75 oder von 2 Grad angestrebt werden, auch wenn die finanziellen, ökologischen und sozialen Folgen des Klimawandels sich dadurch erheblich verschlimmern?
- Sollten alle Deutschen pro Kopf das gleiche Restbudget für die Emission von Treibhausgasen bekommen wie alle anderen Weltbürger? (Erklärung: Das ist die Forderung der Entwicklungs- und Schwellenländer in den Klimaverhandlungen)

Fragen zur Suffizienz

- Wie stark wollen Sie auf Verhaltensänderungen setzen?
- Beispiele:
    - weniger Fleisch- und Milch-Produkte konsumieren
    - Wohnraum verkleinern, Heiztemperatur senken
    - Weniger Auto fahren; weniger Reisen, insbesondere Flugreisen
    - weniger Konsum von rohstoff- und energieintensiven Produkten, z.B. technischen Geräten oder Kleidung
    - Dinge gemeinsam nutzen (z.B. Autos, Werkzeuge)
- Wie sollen solche Verhaltensänderungen erreicht werden?
    - Durch finanzielle Anreize: z.B. Verteuerung von Flugreisen, Prämien für Umzüge in kleineren Wohnraum, Besteuerung von PKW in Abhängigkeit von der Motorleistung?
    - Durch nicht-finanzielle Vorteile: z.B. vollbesetzte Autos dürfen auf der „Bus-Spur“ fahren?
    - Durch Verbote? Zum Beispiel Fahrverbote für Autos in Städten, Verbot von Inlandsflügen?

- Was bringen Informationen wie Öko-Ampel[248], Energiepass, Gerätelabels, Kennzeichnungspflicht von Produkten und Lebensmitteln, wieviel Treibhausgase freigesetzt werden, usw.?
    - Sollten diese ausgeweitet werden?
    - Sollten Unternehmen verpflichtet werden auf jedem Produkt eine Angabe über Emissionen zu machen?

Fragen zum Energieimport

- Soll Deutschland völlig unabhängig von Importen von Brennstoffen werden, auch wenn dann fast doppelt so viele Wind- und Solarkraftwerke gebaut werden müssen?
- Sollen wir Investitionen im Ausland (z. B. in Afrika) zum Aufbau von Wind- und Solarkraftwerken oder von Anlagen für die Wasserstoffproduktion unterstützen, um dann Strom oder Wasserstoff zu importieren?
- Soll Schleswig-Holstein deutlich überproportional Windstrom erzeugen und exportieren? (Argumente: Einnahmen und Arbeitsplätze für Schleswig-Holstein, mehr Flächenausweisungen nötig, weniger Importe für Deutschland nötig.)

Fragen zur Kreislauf-Wirtschaft

- Halten Sie es für sinnvoll, dass noch mehr Mülltrennung vorgenommen wird, wenn sichergestellt wird, dass diese Trennung zum Umweltschutz beiträgt?
- Sollte die Entsorgung von Müll und die Mülltrennung stärker überwacht werden?
    - Falls ja: In welcher Form? Halten Sie Bußgelder bei Verstößen für angemessen?
- Soll ein Pfand auf alle Geräte eingeführt werden?
- Soll ein Pfand auf alle Verpackungen eingeführt werden?
- Sollen besonders umweltschädliche Produkte verboten werden?
- Sollen Einwegverpackungen und umweltschädliche Verpackungen generell verboten werden?

Fragen zum Planungsrecht

Halten Sie es für sinnvoll, die Planungsverfahren, die dem Klimaschutz dienen, zu verkürzen, indem

- das Klagerecht für Bürger oder für Verbände eingeschränkt wird?

[248] Ökoampel auf Nahrungsmitteln: Grün für Bio, Rot für industrielle Landwirtschaft, Ökoampel für Strom: Grün – Strom ist billig, weil viel Wind oder Sonne; rot – Strom teuer, da Dunkelflaute usw. (Strom-Ampeln haben bis zu 9 Lampen).

- die Bürgerbeteiligung reduziert wird?
- die Bürgerbeteiligung durch gewählte Bürgerräte neugestaltet wird?
- der Naturschutz zugunsten des Klimaschutzes etwas eingeschränkt wird und dafür mehr Naturschutzgebiete ausgewiesen werden?
- die Mindestabstände zwischen Wohngebäuden und Windkraftanlagen verringert werden?
- ländliche Gehöfte, die nicht mehr für Landwirtschaft genutzt werden, vom Staat oder von Investoren aufgekauft werden, um Flächen für Windkraft zu gewinnen? Soll es besondere Regeln für den Verkauf geben?

Fragen zu Treibhausgaspreisen

- Halten Sie eine Bepreisung von Treibhausgasen grundsätzlich für richtig, wenn es dafür einen sozialen Ausgleich gibt?
- In welchen Bereichen sollte es Preise geben? Wie bisher nur im Energie- und Industriesektor? Auch für Verkehr und Wärme? Auch für Landwirtschaft? Auch für Emissionen, die im Ausland entstehen?
- Sollen Produkte, die im Ausland produziert werden und dort Treibhausgase freisetzen, ebenfalls bepreist werden?
- Welches Modell für den sozialen Ausgleich halten Sie für gerecht (Kopfgeld – versteuert oder unversteuert, Steuererleichterungen, Reduzierung der Sozialbeiträge)? Sollen die unteren Einkommensschichten am stärksten entlastet werden?
- Soll die Pendlerpauschale abgelöst werden durch ein Mobilitätsgeld? (Mobilitätsgeld = Festbetrag pro Kilometer, der versteuert wird, so dass die unteren Einkommen entlastet werden und nicht die hohen Einkommen wie heute)
- Oder stattdessen durch eine Klimadividende (eine Ausschüttung an alle Bürger oder auch nur an die Arbeitnehmer) unabhängig von den zurück gelegten Kilometern?
- Befürworten sie einen Notfallfonds für alte Häuser, wenn die Heizkosten in alten Häusern zu hoch werden? Wie sollte er gestaltet werden?
- Befürworten Sie Ausnahmeregelungen für Exportindustrien? Unter welchen Bedingungen? (Hintergrund: Die Ausnahmeregelung würde garantieren, dass Unternehmen keine Wettbewerbsnachteile gegenüber Unternehmen haben, die in einem Land produzieren, in dem es keine CO_2-Preise gibt.)
- Wären Sie mit einer Erhöhung des Benzin-Preises einverstanden, wenn dies mit einer jährlichen Kompensation von zum Beispiel 100 Euro pro Person vergütet wird?

- Befürworten Sie die sofortige Einstellung umweltschädlicher Subventionen? (Die Subventionen machen zurzeit über 700 Euro pro Bundesbürger aus.)

Fragen zum Sektor Energiewirtschaft

Die Energie aus Wind und Sonne muss etwa auf das Vierfache ausgebaut werden:

- Wie erreicht man die Akzeptanz für den nötigen Ausbau der Windenergie, der Stromtrassen, der Solar-Freiland-Anlagen? (Die Vervierfachung der Windenergie erfordert mehr Flächen, aber nicht unbedingt mehr Windräder, da diese größer werden und länger laufen).
- Sollen die Anlieger an den Einnahmen beteiligt werden?
- Sollen die Kommunen an den Einnahmen beteiligt werden?
- Sollen Hauseigentümer zur Installation von Wärmekollektoren und Photovoltaik verpflichtet werden?
- Sollen in der Nähe von Siedlungen lieber Erdleitungen anstelle von Freileitungen gebaut werden? (Vorteil: Erdleitungen stören weniger; Nachteil: Ihr Bau ist teurer und dauert länger.)
- Wollen Sie, dass es wie in Dänemark eine Verpflichtung gibt, sich an die Fernwärme anzuschließen? Sollen Fernwärme-Netze ausgebaut werden, wenn sie den Kommunen statt Unternehmen gehören?
- Sollen Energienetze rekommunalisiert (von privaten Unternehmen zurück an die Kommunen gehen) bzw. verstaatlicht werden?
- Sind Sie dafür, dass der Strom bei viel Wind und Sonne niedriger, bei wenig Ertrag teurer wird? (Dann können Geräte wie Kühlschränke, Waschmaschinen usw. so programmiert werden, dass sie laufen, wenn es am billigsten ist und so das Netz entlasten)
- Sollten Besitzer von E-Autos verpflichtet werden, zum Beispiel ein Zehntel der Kapazität ihrer Batterien als Speicherreserve zur Verfügung zu stellen?
- Soll Fracking und der Import von Fracking-Gas verboten werden?
- Soll der Kohle-Ausstieg deutlich beschleunigt werden? (Zum Beispiel bis zum Jahr 2023 – dann läuft nur noch das Kraftwerk in Flensburg)

Fragen zum Sektor Hauswärme

- Wie soll der Staat die Sanierung aller Häuser auf Niedrigenergiestandard fördern?
- Wie soll der Staat die Umstellung auf Heizungen mit erneuerbaren Energien fördern, damit der Wechsel für möglichst viele Menschen attraktiv ist?

- Wie können insbesondere ältere Menschen und Menschen auf dem Land bei der Sanierung ihrer Häuser unterstützt werden?
- Wie sollen Beratungs- und Informationsangebote zum klimafreundlichen Heizen verbessert werden?
- Soll zusätzlich zu günstigen Finanzierungsangeboten eine Umsetzungspflicht für Maßnahmen zum Energiesparen eingeführt werden? Wann und für wen soll diese gelten?
- Wie können Vermieter angereizt werden, zu sanieren? Wie kann gleichzeitig verhindert werden, dass Mieten noch teurer werden? Was halten Sie vom Drittel-Modell (Teilung von Kosten und Nutzen von Sanierungen zwischen Mieter, Vermieter und Staat)? Was würde sie als Hausbesitzer motivieren, das Haus zu sanieren?
- Soll eine Wohnraumsteuer oder ähnliches für Personen eingeführt werden, die eine besonders große Wohnfläche nutzen? Ab welcher Fläche pro Person soll diese gelten?
- Wie kann der Umzug in eine kleinere Wohnung attraktiv gemacht werden? (Gemeinde bezahlt den Umzug, Tauschbörsen für Wohnraum, Belohnungen?)
- Sollen Firmen verpflichtend einen Energiebeauftragten benennen müssen?
- Soll es steuerliche Vorteile für energieeffiziente Unternehmen geben?

Fragen zum Sektor Verkehr

- Sollten Landbesitzer für den Neubau von Bahnstrecken leichter enteignet werden dürfen?
- Wollen Sie, dass der Flugverkehr genauso besteuert wird wie der Straßenverkehr, auch wenn dann Urlaubsreisen mit dem Flugzeug teurer werden?
- Wollen Sie, dass Diesel-Autos wie Benziner besteuert werden, statt wie bisher bevorzugt zu werden?
- Wollen Sie eine Besteuerung von Fahrzeugen in Abhängigkeit von ihrem Energieverbrauch?
- Wollen Sie eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf Autobahnen, Landstraßen und in Ortschaften (zum Beispiel Tempo 120/80/30km/h)?
- Sollen die Straßen und Parkplätze in den Städten zurückgebaut werden, um den Verkehr stärker auf Fahrrad, ÖPNV und Car-Sharing zu verlagern?
- Sind Sie damit einverstanden, dass die ICEs langsamer fahren, wenn dafür mehr Güter vom LKW auf die Schiene verlagert werden und mehr Regionalzüge fahren?
- Wie weit dürfte ein Car-Sharing-Auto entfernt sein, damit Sie es regelmäßig nutzen? Würden Sie es nutzen, wenn es vor die Tür gefahren kommt?
- Was wünschen Sie sich, um weniger Auto zu fahren, um mehr ÖPNV zu benutzen, um mehr Rad zu fahren, um mehr Bahn zu fahren?

- Wollen Sie Fahrverbote oder -Einschränkungen in Wohngebieten? Wollen Sie autofreie Wohngebiete?
- Welche Vorgaben soll die Gemeinde den autonom fahrenden Diensten machen, damit diese eine sinnvolle Ergänzung von Bahn und Bus werden, und nicht stattdessen zu einem Mehr an Autoverkehr in den Städten führen?
- Halten Sie es für akzeptabel, dass der autonome Verkehr und der ÖPNV in den Kernstädten und Siedlungen Vorrang bekommt und provate Autos eingeschränkt werden?

Fragen zum Sektor Industrie

- Sollen die Industriebetriebe verpflichtet werden, ihre Emissionen von Treibhausgasen bekanntzugeben?
- Sollen Firmen bei der Umstellung auf Prozesse mit geringeren Emissionen gefördert werden?
- Sollte Plastik für Verpackungen und Unterhaltungsprodukte verboten oder verteuert werden? (Hintergrund: Plastik wird aus fossilen Rohstoffen hergestellt und setzt bei der Verbrennung Treibhausgase frei.)

Fragen zum Sektor Ernährung, Landwirtschaft und Bodennutzung

Die Landwirtschaft muss grundlegend umgebaut werden: Einstellung des Anbaus von Energiepflanzen (Raps und Mais), nur noch ein Drittel der bisherigen Düngermittelmenge, Halbierung der Erzeugung von Rindfleisch und Milchprodukten, Neuwaldbildung auf freiwerdenden Flächen, Wiedervernässung alter Moore und Sümpfe:

- Wie kann erreicht werden, dass weniger (möglichst nur noch die Hälfte) Rindfleisch gegessen wird?
- Wie kann erreicht werden, dass weniger Milchprodukte konsumiert werden?
- Wären Sie mit einer Erhöhung der Preise für Rindfleisch und Milchprodukte einverstanden? Wie sollte das sozial ausgewogen gestaltet werden?
- Wie können diese Umstellungen durchgeführt werden? (Durch Verordnung, durch finanzielle Anreize für die Bauern, durch Abgaben auf die Produkte? Haben Sie andere Vorschläge?)
- Sollen Bund und Länder die Möglichkeit bieten, dass Bürger sich finanziell an der Wiedervernässung von Mooren oder dem Pflanzen neuer Wälder beteiligen? (Vergleich Wald-Aktie in Mecklenburg-Vorpommern)

Anlagen

Anlage 1: Die Berechnung des Restbudgets
Anlage 2: Treibhausgasbilanz Schleswig-Holstein
Anlage 3: Daten für die Grafik „Treibhausgasverteilung nach Sektoren“
Anlage 4: Der Minderungspfad für Schleswig-Holstein
Anlage 5: Energiebedarf Hamburg
Anlage 6: Energiefluss-Diagramm Schleswig-Holstein 2038
Anlage 7: Erläuterung zum Energiefluss-Bild
Anlage 8: Treibhausgas-Emissionen von Milchkühen bei unterschiedlicher Haltung
Anlage 9: Bestehende Moorschutzprogramme
Anlage 10: Die wichtigsten Industriebetriebe in Schleswig-Holstein nach Emissionen, Umsatz und Beschäftigten
Anlage 11: Die Schleswig-Holstein Studie des Fraunhofer ISI 2020

Anlage 1: Die Berechnung des Restbudgets

Das Restbudget für Deutschland hängt von 3 Faktoren ab:

1. Welches Grad-Ziel soll erreicht werden? 1,5-Grad, 1,75-Grad, 2 Grad oder mehr? Je niedriger die Grad-Zahl, desto kleiner ist das Budget.
2. Mit welcher Wahrscheinlichkeit soll das Ziel erreicht werden? 50%, 66%, 80% oder mehr? Je größer die Wahrscheinlichkeit, desto kleiner ist das Budget.
3. Welcher Anteil am Gesamtbudget der Welt steht Deutschland zu? 1% - entsprechend der Einwohneranzahl? Oder 2% - wie bisher? Oder ein anderer Anteil? Je kleiner der Anteil, desto kleiner ist das Budget.

Anhand dieser Parameter kann das verbleibende Budget für Deutschland geschätzt werden. Natürlich sind Prognosen dieser Größenordnung mit Unsicherheit behaftet. Außerdem dient der Budget-Ansatz üblicherweise nur dazu ein CO_2-Budget zu bestimmen. Die anderen Treibhausgase haben physikalisch andere Wirkungen und können nicht genauso wie CO_2 behandelt werden. Der Einfachheit halber haben wir im Handbuch aber auch die anderen Treibhausgase im Budget berücksichtigt.[249]

[249] Für weitere Erläuterungen siehe BBK 2020. Zum Budget siehe Rahmstorf 2019, SRU 2019, UBA 2019/7 und NewClimate Institute 2019

Anlage 2: Treibhausgasbilanz Schleswig-Holstein

Tabelle 3: Treibhausgasbilanz Schleswig-Holstein[250]

	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2-Äq.
Energiewirtschaft (3,89 Strom, 0,91 Fernwärme)[7]	4,47[1]	0,34[4]		4,8[4]
Wärmekraftwerke (Strom)	1,2[2]	0.09[8]		
Kohle	1,1[2]	0,08[8]		
Sonstige	0,1[2]			
Heizkraftwerke	2,43[2]	0,18[8]		
Kohle	1,7[2]	0,13[8]		
Gas	0,38[2]	0,03[8]		
Sonstige	0,34[2]	0,03[8]		
Industriekraftwerke	0,32[2]	0,02[8]		
Heizwerke (Fernwärme)	0,23[2]	0,02[8]		
Sonstige (Verluste, Eigenverbrauch)	0,3[2]	0,02[8]		
Verkehr (ohne internationale Verkehre)	5,54[1]			5,6[4]
Flug				0,014[1]
Schiff				0,046[1]
Bahn				0,14[1]
Strom	0,09[2]			
Diesel	0,05[2]			
Straßenverkehr	5,41[2]			5,44[1]
Diesel	3,79[2]			
Benzin	1,58[2]			
Wärme				5,7[9]
Haushalte	3,37[9]			
Öl	1,27[2]			
Gas	2,1[2]			
GHD	2,15[9]			
Öl	0,8[2]			
Gas	1,35[2]			
Industrie				3,4[4]
Ammoniak-Vorprodukte				1,36[6]
Raffinerie				0,96[6]
Papierherstellung				0,13[6]

[250] Zu den Quellen siehe die untenstehenden Erläuterungen zu dieser Tabelle

Herstellung von Wasserstoff und Synthesegas				0,11[6]
Organische Chemie				0,18[6]
Zementherstellung				0,7[10]
Landwirtschaft		2,88[4]	2,35[4]	5,2[4]
Viehhaltung – Wirtschaftsdünger-Management		0,46[5]	0,18[5]	
Rinder		0,33[5]		
Andere		0,14[5]		
Viehhaltung – Verdauung		2,15[5]		
Rinder		2,06[5]		
Lagerung und Vergärung von Pflanzen		0,12[5]		
Düngung			1,46[5]	
Ernterückstände			0,15[5]	
Organische Böden			0,28[5]	
Weidegang			0,17[5]	
Abfallwirtschaft		0,36[4]		0,7[4]
Gesamt ohne LULUFC und intern. Verkehre	19,3	3,6	2,5	25,4
Bodennutzung (LULUCF)				4,0[3]
Wald und Holzentnahme				-0,9[11]
Trockengelegte Moore				4,9[11]
Anteil internationaler Luft- und Schiffsverkehr				1,26[12]
Gesamt mit LULUCF und int. Verkehr				31,6

* Anmerkung: Alle Angaben in Treibhausgaseinheiten ($MtCO_2$-Äquivalente)

* Die Angaben beziehen sich, je nach Quelle, auf unterschiedliche Jahre.

Erläuterungen

[1] Siehe MELUND 2019/3

[2] Siehe MELUND 2019/1

[3] Im Bericht der Landesregierung von 2017 (Siehe MELUND 2017) wird der Wert mit 4,3 TE angegeben. Allerdings sind diese Daten als vorläufig zu betrachten bzw. gibt es Zweifel an der Korrektheit der Daten, weshalb diese im Bericht der Landesregierung von 2019 nicht mehr auftauchen. (MELUND, persönliche Mitteilung, 2020). Aktualisierte Daten werden voraussichtlich im ersten Halbjahr 2020 erscheinen. Auch wenn die Zahlen sich verändern sollten, ist davon auszugehen, dass die trockengelegten Moorflächen in Schleswig-Holstein erhebliche Emissionen verursachen. Deutschlandweit liegen die Emissionen der Moore bei ca.

45,1 TE. Der größte Teil dieser Moorflächen befindet sich in Norddeutschland, zu großen Teilen auch in Schleswig-Holstein. Wir haben vorsichtig mit 4,0 TE gerechnet.

[4] Siehe MELUND 2019/2

[5] MELUND 2019/4

[6] UBA 2019/8

[7] Stromerzeugung und Fernwärme-Erzeugung in KWK-Anlagen können nicht getrennt voneinander betrachtet werden. Die Angaben zu den Emissionen dienen dazu einen ungefähren Eindruck von den Verhältnissen zu bekommen. Fernwärme verursacht ca. 0.91 TE Emissionen. Siehe MELUND 2019/1

[8] Schätzung. Die Methan-Emissionen wurden in Ermangelung besserer Daten anteilig auf die einzelnen Posten aufgeteilt.

[9] Die Werte ergeben sich als Summe aus den bekannten Angaben im Wärmebereich

[10] Schätzung. Der Wert ergibt sich als aus der Differenz des bekannten Gesamtausstoßes der Industrie und der Summe der Angaben der ETS-Unternehmen

[11] Es wurden angenommen, dass der Wald in Schleswig-Holstein sich vergleichbar dem Wald in Deutschland verhält. Von den negativen Emissionen, die der deutsche Wald (ca. 11,4 Mio. Hektar) verursacht (ca. -60,6 TE, siehe BBK 2020) wurde Schleswig-Holstein anteilig gemäß seiner Waldfläche die negativen Emissionen zugerechnet. Dies ergibt dann ca. 0.9 TE pro Jahr.

Die Zahl für den Ausstoß der Moore ergibt sich aus den Angaben zu LULUCF (4,0) abzüglich der Waldflächen (-0,9).

[12] Schleswig-Holstein besitzt keine internationalen Flughäfen, weshalb die Emissionen, die die Schleswig-Holsteiner Bevölkerung durch Flüge verursacht, nicht in den Bilanzen des MELUND aufgeführt sind. Wir haben Schleswig-Holstein einen Anteil an den deutschen Emissionen (siehe BBK 2020) entsprechend des Anteils Schleswig-Holsteins an der Gesamtbevölkerung Deutschlands (3,5%) zugerechnet. Internationale Verkehre werden im Abschnitt „Verkehr“ diskutiert.

Anlage 3: Daten für die Grafik „Treibhausgasverteilung nach Sektoren“

Tabelle 4: Treibhausgasverteilung nach Sektoren

	Schleswig-Holstein	Deutschland	Anteil SH an D
Energie	3,57	280,2	1,3%
Verkehr	6,86	208,2	3,3%
Wärme	6,6	144,7	4,6%
Industrie	3,74	234,4	1,6%
Abfall	0,7	10,2	6,9%
Landwirtschaft	5,2	66,1	7,9%
Ehemalige Moore	4,9	45,1	10,9%
(Wald und Holzentnahme)	- 0,9	- 60,6	1,5%
Gesamt (ohne Wald)	31,6	928	3,4%

*Anmerkung: Alle Angaben in Treibhausgaseinheiten (TE)

Sofern nicht anders angemerkt, sind die Daten die gleichen wie in Anlage 2. Unterschiede sind:

- Fernwärme dem Wärmesektor, statt dem Energiesektor zugerechnet.
- Industriekraftwerke dem Industriesektor statt dem Energiesektor zugerechnet.
- Internationale Verkehre wurden dem Verkehrsteil zugerechnet.

Anlage 4: Der Minderungspfad für Schleswig-Holstein

(Dies sind die Daten zur Grafik 11)

Um den Minderungspfad für Schleswig-Holstein zu berechnen, der mit dem 1,5-Grad-Ziel kompatibel ist, haben wir angenommen, dass sich die einzelnen Sektoren verhalten wie auf Bundesebene.[251] Die Ergebnisse sind in der Tabelle dargestellt. Ausnahme ist der Energiesektor. Da Schleswig-Holstein hier ein viel bessere Ausgangslage hat, als die meisten Teile Deutschlands, soll Klimaneutralität bereits im Jahr 2030 erreicht werden.

Tabelle 5: Minderungspfade der Sektoren in Schleswig-Holstein

	Energie	Verkehr	Wärme	Industrie	Abfall[252]	Landwirtschaft	Wald	Ehemalige Moore
2017	3,55	6,86	6,6	3,74	0,7	5,2	-0,9	5,2
2020	3,16	6,86	5,01	2,95	0,6	5,2	-0,9	4,63
2025	1,63	5,28	3,89	1,94	0,5	4,11	-1,0	4,06
2030	0	2,13	2,77	1,05	0,4	2,97	-1,2	2,86
2035	0	0,48	1,12	0,64	0,3	2,24	-1,3	1,14
2040	0	0,34	0	0,4	0,2	2,24	-1,5	0,57
2045	0	0,34	0	0,3	0,1	2,24	-1,6	0
2050	0	0,34	0	0,3	0	2,24	-1,6	0

[251] Ein alternativer Weg wäre gewesen, das Rest-Budget von Schleswig-Holstein zu berechnen. Dazu böte sich z.B. an, den Anteil der Schleswig-Holsteinischen Gesamtemissionen an den Gesamtemissionen Deutschlands zu berechnen (3,4%) und einen entsprechenden Anteil des Restbudgets für Deutschland zu beanspruchen (3,4% x 6600TE = 224 TE). Dies würde jedoch nicht berücksichtigen, dass es zwischen den Sektoren Unterschiede gibt in Bezug auf Kosten, Dauer und Möglichkeit der Umstellung auf Treibhausgasneutralität. Der Sektor Landwirtschaft kann z.B. überhaupt nicht vollständig umgestellt werden. Schleswig-Holstein hat einen vergleichsweise großen Landwirtschaftssektor und hätte daher bei einer Berechnung des Restbudgets, die nicht nach Sektoren differenziert, Nachteile. Außerdem hat Schleswig-Holstein einen geringen Waldanteil (circa 11 Prozent gegenüber 32% in Deutschland), weshalb das Potential Emissionen durch „negative Emissionen“ des Waldes auszugleichen begrenzt sind.

[252] Hier wurde eine lineare Abnahme angenommen. Siehe BBK 2019, Abschnitt „Abfall“

Anlage 5: Energiebedarf Hamburg

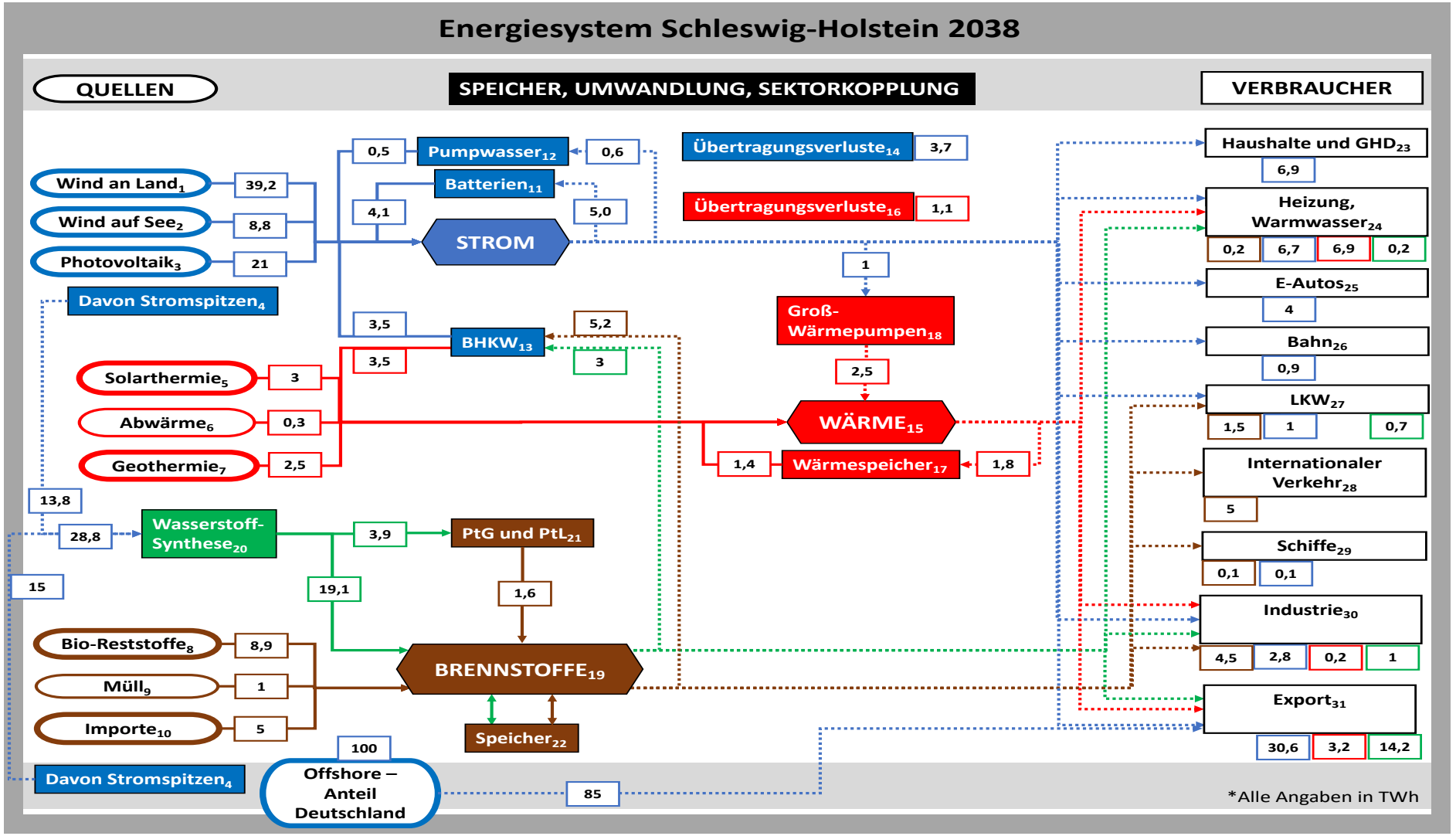
Zum Energiebedarf von Hamburg 2038 haben wir auf Grundlage der aktuellen Zahlen (StaNo, 2017) folgende Annahmen gemacht:

- Erzeugungspotential: 7,6 TWh Strom und 2,2 TWh Wärme
- 0,2 TWh Onshore (eine leichte Steigerung gegenüber heute)
- 5,4 TWh Offshore (der Anteil am deutschen Offshore-Strom gemäß Einwohneranteil)
- 2,5 TWh Photovoltaik und/oder Solarthermie (gegenüber 0,06 TWh heute)
- 0,1 TWh Abwärme
- 0,1 TWh Geothermie
- 1,5 TWh Strom und/oder Wärme durch Biomasse (Bioabfälle, Grünschnitt) und Müll
- Da Hamburg kaum Wind- und Sonnenstrom hat, findet keine Wasserstoff-Elektrolyse statt
- Energiebedarf: 21 TWh Strom, 5,4 TWh Wärme, 2,9 TWh E-Flüssigbrennstoffe, 2,8 TWh E-Methan, 2,2 TWh Wasserstoff
- 5,6 TWh Haushaltsstrom (-20% gegenüber heute)
- 4 TWh Strom und 4 TWh Fernwärme: Die Häuser werden saniert und mit Fernwärme (wird stark ausgebaut) und Wärmepumpen geheizt.
- 1,5 TWh Strom für E-Autos (Die Anzahl der Autos geht stärker zurück als in Schleswig-Holstein, da es in Städten leichter ist ÖPNV zu benutzen)
- 1 TWh Strom für LKW, 0,1 TWh E-Diesel für Baumaschinen – innerhalb der Stadt wird der LKW-Verkehr zurückgehen, kleine Nutzfahrzeuge können elektrisiert werden
- 2,5 TWh E-Flüssigbrennstoffe – der Anteil am internationalen Flug- und Schiffsverkehr. Wir teilen den deutschen Bedarf an Treibstoffen für den internationalen Verkehr gemäß Einwohneranteil auf die Bundesländer auf. Natürlich ist der Bedarf auf Grund des Flughafens und des Hafens höher.
- 0,3 TWh Strom und 0,3 TWh E-Diesel (entspricht in der Summe ungefähr dem heutigen Energiebedarf) für Binnenschifffahrt – Teile der Binnenschiffe können elektrisiert werden.
- 8,6 TWh Strom, 2,8 TWh E-Methan, 1,4 TWh Wärme, 2,2 TWh Wasserstoff (jeweils 2% des Anteils am Industriebedarf von Deutschland.)
- Importbedarf: 13,4 TWh Strom, 3,2 TWh Wärme, 2,9 TWh Flüssigbrennstoffe, 2,8 TWh E-Methan, 2,2 TWh Wasserstoff

Anmerkung: Die Angaben folgen der Logik des Energieflussdiagramms in Anlage 6 und Anlage 7. Der Wärmebedarf umfasst nur die Wärme, die in Form von Fernwärme oder Solarthermie bereitgestellt wird.

Anlage 6: Energiesystem Schleswig-Holstein

Grafik 21: Energiefluss-Diagramm Schleswig-Holstein 2038



Anlage 7: Erläuterung zum Energieflussbild

Die fetten Ovale stellen Primärenergiequellen dar. Blau dargestellt sind die Stromflüsse, rot die Wärmeflüsse, grün die Wasserstoffflüsse und braun die Flüsse für alle erneuerbaren Brennstoffe außer Wasserstoff (Bio-Brennstoffe, Müll (enthält auslaufend bis 2050 noch Bestandteile aus nicht erneuerbaren Stoffen), grünes Methan, E-Methanol, E-Diesel, E-Kerosin usw.).

Tabelle 6: Übersicht Strom

Erzeugung	**TWh**	**Verbrauch**	**TWh**
Wind an Land	39,2	Industrie	2,8
Wind auf See	8,8	Export	30,6
Photovoltaik	21	LKW	1
BHKW und andere Verbrennungsanlagen	3,5	E-Autos	4
		Bahn	0,9
		Schiffe	0,1
		Haushalte, GHD	6,9
		Hauswärme	6,7
		Verluste Übertragung	3,7
		Verluste Speicherung	1
		Groß-Wärmepumpen	1
		Elektrolyse	13,8
Gesamt	72,5	**Gesamt**	72,5

Tabelle 7: Übersicht direkte Wärme 2038
(ohne dezentrale Wärmepumpen und grüne Brennstoffe)

Erzeugung	**TWh**	**Verbrauch**	**TWh**
Solarthermie	3	Industrie	0,2
Abwärme	0,3	Hauswärme	6,9
Geothermie	2,5	Verluste Übertragung	1,1
BHKW und andere Verbrennungsanlagen	3,5	Verluste Speicherung	0,4
Groß-Wärmepumpen	2,5	Export	3,2
Gesamt	11,8	**Gesamt**	11,8

Tabelle 8: Übersicht Brennstoffe 2038

Herkunft	TWh	Verbrauch	TWh
Flüssigbrennstoffe			
PtL	1,1	LKW/Nutzfahrzeuge	1
		Schiffe	0,1
Gesamt	1,1	**Gesamt**	1,1
Wasserstoff			
Elektrolyse	11,3	Hauswärme	0,2
		LKW	0,7
		Industrie	1
		PtG	0,6
		PtL	3,3
		BHKW	3
		Export	2,2
Gesamt	11,3	**Gesamt**	11,3
Methan & sonstige Brennstoffe			
Bio-Reststoffe	8,9	Hauswärme	0,2
PtG	0,5	LKW	0,5
Müll	1	Industrie	4,5
		BHKW und andere	5,2
Gesamt	10,4	**Gesamt**	10,4

Erläuterungen

1. Wind an Land

Siehe Abschnitt „Energie“

2. Wind auf See

Für Deutschland nehmen wir an, dass 55 GW Offshore-Windräder 250 TWh Strom erzeugen. Die dafür notwendigen Flächen liegen vor allem in der Nordsee, vor der Küste von Schleswig-Holstein und Niedersachsen. Bisher wird der Strom in dem Bundesland bilanziert, in dem er angelandet wird. Zuletzt waren das in Schleswig-Holstein Windparks mit ca. 400 Anlagen und einer Leistung von 1,7 GW.[253] Allerdings befinden sich die Offshore-Flächen außerhalb der 12-Meilen-Zone und sind deshalb Bundesgebiet. Für die Bereitstellung der Flächen ist daher der Bund zuständig. Wir rechnen daher damit, dass der Offshore-Strom den Bundesländern gemäß ihrem Einwohneranteil zugerechnet wird. Damit ist Schleswig-Holsteins Anteil 8,75 TWh.

[253] Siehe Netzwerkagentur Erneuerbare Energien Schleswig-Holstein 2020

Wir schätzen, dass von den gesamten 250 TWh Strom zusätzlich zu den 8,75 TWh, die Schleswig-Holstein zugerechnet werden, 100 TWh Strom in Schleswig-Holstein angelandet werden. Ein Teil des Stroms werden Stromspitzen sein. Diese sollten in Schleswig-Holstein zur Wasserstoff-Synthese dienen, da es keinen Sinn macht diesen Strom erst über weite Strecken zu transportieren, um ihn dann zu elektrolysieren. Wir schätzen, dass dies etwa 15 TWh sein werden. Der Rest (85 TWh) kann über HGÜ-Kabel nach Süddeutschland oder NRW transportiert werden. Im Handbuch Klimaschutz Deutschland rechnen wir damit, dass in Deutschland 100 TWh Wasserstoff hergestellt werden. Die Produktion könnte sich zu jeweils einem Viertel aufteilen auf Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen sowie die restlichen Bundesländer (vor allem Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Brandenburg). Damit würden die Länder, die besonders viel Windstrom zur Verfügung haben einen großen Teil des Wasserstoffs herstellen. Nordrhein-Westfalen hat vermutlich keinen Überschussstrom, aber ein großes Interesse die bestehende industrielle Infrastruktur zu nutzen.

3. Photovoltaik

Für Deutschland gehen wir davon aus, dass 500 GW Photovoltaik-Anlagen 480 TWh Stromerzeugen (vgl. BBK 2020). Obwohl Schleswig-Holstein im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands weniger Sonnenstunden aufweist, gibt es dennoch genug Potential. Dieses ist bisher gegenüber der Windenergie vernachlässigt worden. Das Fraunhofer ISE stellt fest, dass momentan die installierte Solar-Leistung im Verhältnis zur installierten Windleistung zu klein ist.[254] Dies gilt zumal für Schleswig-Holstein.

Neben Photovoltaik-Anlagen auf Dächern und an Fassaden, sind neue Entwicklungen wie Agro-PV für Schleswig-Holstein interessant. Wir rechnen damit, dass Schleswig-Holstein, gemäß seinem Flächenanteil an Deutschland (4,4%) 22 GW Solar installieren müsste. Bei 950 Volllaststunden ergäben sich 21 TWh.

4. Stromspitzen

Im Jahr 2018 wurden 2,9 TWh Strom abgeregelt.[255] Insgesamt wurden in diesem Jahr 19,5 TWh aus PV und Windanlagen erzeugt. Damit entspricht der abgeregelte Teil 14,8% im Verhältnis zur erzeugten Menge. Die Fluktuationen werden in Zukunft noch weiter zunehmen.

Wir sind davon ausgegangen, dass diese Mengen in Zukunft besser nutzbar werden, indem die Stromspitzen im Rahmen der Sektorkopplung zu Wärme umgewandelt werden oder Wasser elektrolysieren. Die Angabe steht in Klammern, da dieser Strom bereits in den Zahlen zur Stromerzeugung oben aufgeführt ist.

5. Solarthermie

Solarthermie lässt sich grob unterteilen in Groß-Solarthermie, die der Einspeisung von Wärme in Fernwärmenetze dient und Solarthermie, die auf Dächern oder Fassaden installiert ist und

[254] Siehe Fraunhofer ISE 2020
[255] Siehe MELUND 2019/5

der Wärmeerzeugung vor Ort dient. Der größte Teil der Energie in Deutschland wird in Form von Wärme verbraucht. Solarthermie bietet eine effiziente und relativ kostengünstige Möglichkeit einen Teil dieser Wärme direkt und klimaneutral bereitzustellen. Einschränkungen ergeben sich

1.) durch die tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen in der Bereitstellung, die zudem gegenläufig sind zum Wärmebedarf.

2.) durch die Begrenzung der Temperaturen, die durch Solarthermie erreicht werden können. Temperaturen über 250 Grad, z.B. für Industrieprozesse können auf diesem Wege nicht bereitgestellt werden.

3.) durch die Flächenkonkurrenz mit Photovoltaik auf Dächern und mit Agrarflächen, Windenergie, Photovoltaik und anderem in der Freifläche. Zudem werden bei Freiflächen-Anlagen Niedertemperatur-Wärmenetze benötigt, um die Wärme zu transportieren. Das Potential wird (auch in Abhängigkeit von verfügbaren Flächen) sehr unterschiedlich eingeschätzt.

Für Deutschland rechnen wir mit 15 TWh Solarthermie zur Bereitstellung von Wärme für Industrieprozesse, 40 TWh von dezentralen Anlagen zur Bereitstellung von Hauswärme und Warmwasser und 45 TWh von zentralen Anlagen zur Einspeisung ins Fernwärmenetz, insgesamt also 100 TWh (vgl. BBK 2020).

Solarthermie hat vergleichsweise geringe CO_2-Vermeidungskosten[256] und eine gute Akzeptanz in der Bevölkerung. Außerdem bietet sie eine gute Möglichkeit Fernwärme-Netze mit klimaneutraler Wärme zu füllen. Wärmenetze werden in ihrer Bedeutung vermutlich zunehmen.[257] Damit wird auch Solarthermie eine wichtige Rolle haben. Bei Flächenkonkurrenz mit Photovoltaik-Anlagen ist im Einzelfall zu klären, welcher Technologie Vorrang eingeräumt wird. Dies hängt mit dem Vorhandensein von Netzen und Speichern zusammen. Wärme lässt sich vermutlich kostengünstiger und länger speichern als Strom. Dezentrale Solarthermie entlastet zudem die Netze.

2017 erzeugte Solarthermie in Schleswig-Holstein 0,16 TWh Wärme.[258] Damit trug Solarthermie nur 0,2% zum Endenergieverbrauch in Schleswig-Holstein bei.

Dänemark zeigt, dass auch in nördlichen Ländern große Freiflächen-Solarthermie-Anlagen möglich sind. Diese speisen Wärme in Fernwärme-Netze ein, die in Dänemark einen großen Teil der Wärmeversorgung besorgen. Andererseits ist die Frage, ob Wärmenetze bei der geringen Wärmedichte der im Handbuch unterstellten Sanierungstiefe effizienter sind als dezentrale Lösungen. Dies konnten wir nicht abschließend klären.

Gemäß seinem Flächenanteil an Deutschland (4,4%) müsste in Schleswig-Holstein 4,4 TWh Solarwärme bereitgestellt werden. Hinsichtlich der großen Bodennutzungs-Veränderungen,

[256] Siehe Prognos 2018/3
[257] Siehe Agora Energiewende 2019
[258] Siehe MELUND 2019/2

die sich durch die Wiedervernässung der Moore und die Einstellung des Energiepflanzenanbaus ergeben, stellen sich Fragen nach der Verfügbarkeit von Flächen. Außerdem ist in anderen Regionen wegen der größeren Bevölkerungsdichte der Wärmebedarf höher und aufgrund der höheren Sonnenstunden-Anzahl der Ertrag größer. Des Weiteren hat Schleswig-Holstein durch den fast ganzjährig verfügbaren Offshore-Strom keine Probleme Wärmepumpen zu versorgen. Andererseits hat Schleswig-Holstein einen relativ großen Anteil an Fernwärme, dessen Bereitstellung komplett umgestellt werden muss, da kurzfristig fossile Energieträger und mittelfristig Energiepflanzen nicht mehr genutzt werden sollten. Die durch den Wegfall des Energiepflanzenanbaus freiwerdende Fläche kann zum Teil für Groß-Solarthermie genutzt werden.

Wir rechnen vorerst nur mit 3 TWh Solarwärme, 2 TWh auf Hausdächern und 1 TWh Freiflächen-Anlagen.

Bei 450 kwh/m^2/Jahr Ausbeute auf Dächern (vgl. BBK 2020) ergibt sich eine benötigte Fläche von 4,4 Millionen m^2 auf Hausdächern und bei 150 kwh/m^2/Jahr Ausbeute auf Freifläche ergibt sich eine benötigte Fläche von 6,6 Millionen m^2 an Freiflächen.

6. Abwärme

Siehe Abschnitt „Abwärme“

7. Geothermie

Für Deutschland rechnen wir mit erschließbaren Potentialen in Höhe von 10 TWh (vgl. BKK 2020).

Schleswig-Holstein verfügt über Geothermie-Potentiale. 2017 wurden 0,41 TWh Wärme auf diese Weise gewonnen.[259]

Eine Studie[260] hat die Potentiale zum Ersatz von Fernwärme aus Kohlekraftwerken ermittelt. Sie ermitteln ein Geothermie-Potential von 0,36 TWh. Unter Einsatz von Großwärmepumpen kann die Menge um ca. 0,2 TWh erhöht werden. Dies bezieht sich jedoch nur auf mögliche Wärmequellen im 5-km-Umkreis der drei Kraftwerke Flensburg, Kiel und Wedel.

Wir konnten keine aktuellen Daten und Potentialabschätzungen für Schleswig-Holstein finden. Da innerhalb von Deutschland Schleswig-Holstein aber eines der Länder mit dem größten Potential darstellt[261] rechnen wir mit 2,5 TWh.

8. Bio-Reststoffe

Die Verwendung von pflanzlichen oder tierischen Stoffen zur Erzeugung von Wärme und Strom wird als Bioenergie bezeichnet (siehe hierzu auch Abschnitt „Bioenergie“). Grundsätzlich können diese Stoffe nach Art ihrer Herkunft in drei Gruppen eingeteilt werden:

[259] Siehe MELUND 2019/2
[260] Siehe IFEU 2019
[261] Siehe IFEU 2019

1) Energiepflanzen, die in Deutschland angebaut werden. Dies umfasst vor allem Mais und Raps, aber auch Holz aus Kurzumtriebsplantagen und andere.

2) Biomasse-Importe, z.B. Holz-Pellets aus Rumänien oder Palmöl aus Südamerika.

3) Reststoffen unterschiedlicher Herkunft, beispielsweise Stroh und Gülle als Abfallprodukte aus der Landwirtschaft, Restholz aus der Forstwirtschaft, Bio-Restmüll und Grünabfälle, Altholz, z.B. aus dem Baugewerbe, Industrie-Abfälle, z.B. aus Schlachtereien sowie Klärschlamm.

Wie viel von diesen Quellen in Zukunft genutzt werden können, hängt von vielen Faktoren und auch von politischen Richtungs-Entscheidungen ab. Ein Problem bei der Potential-Einschätzung ist auch, dass relativ wenige Studien zum Thema vorliegen und diese teilweise alt sind und mit überholten Annahmen rechnen. Aus Gründen, die unten ausgeführt werden, rechnen wir damit, dass 2038 weder Biomasse zu energetischen Zwecken importiert wird, noch in Deutschland Energiepflanzen angebaut werden. Für Deutschland rechnen wir mit einem nutzbaren Biomasse-Potential von 150 TWh, das zu 100% aus Reststoffen besteht. 5,9% der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland liegen in Schleswig-Holstein. Wir rechnen daher mit 8,9 TWh Biomasse-Potential für Schleswig-Holstein.

Kein Potential für Energiepflanzen-Anbau in Deutschland und Biomasse-Importe

Der Anbau von Energiepflanzen hat teilweise negative Auswirkungen auf die Qualität von Wasser und Böden, die Biodiversität und den Naturschutz.[262] Zudem können Anbauflächen deutlich effizienter genutzt werden, wenn sie statt zum Energiepflanzen-Anbau für Solarthermie-Anlagen oder Photovoltaik verwendet werden. Dies bringt bis je nach Schätzung 5-60-mal mehr Energie.

Außerdem muss die Flächennutzung durch Energiepflanzen in Deutschland gemeinsam betrachtet werden mit der globalen Flächennutzung. Auf Grund der steigenden Weltbevölkerung, der wachsenden Nachfrage nach tierischen Produkten, der Notwendigkeit von Aufforstungen und dem Verlust an nutzbarer Fläche durch die Folgen des Klimawandels (Meeresspiegel-Anstieg, Dürren etc.) und anderen Entwicklungen (Versalzung der Böden) muss davon ausgegangen werden, dass sich global Flächenkonkurrenzen verstärken. Deutschland ist zurzeit durch die Importe von Nahrungs- und Futtermitteln, sowie Energiepflanzen für große Flächeninanspruchnahme außerhalb Deutschlands verantwortlich. Diese sollten aus Gründen der Gerechtigkeit und auch um negative Klimaeffekte zu vermeiden (z.B. Abholzungen von Urwäldern zur Bereitstellung von Ackerfläche) minimiert werden. Es müssen deshalb in Zukunft verstärkt Futter- und Nahrungsmittel in Deutschland angebaut werden, was die Flächen für Energiepflanzen-Anbau weiter reduziert. Wenn die Anteile des Öko-Landbaus vergrößert werden sollen, steigt der Flächenbedarf in Deutschland zusätzlich. Außerdem ergeben sich Nutzungskonkurrenzen für Biomasse, da in Zukunft Baugewerbe und Industrie verstärkt biogene Roh-

[262] Siehe UBA 2013/2

stoffe verwenden werden, um fossile Rohstoffe bzw. Baustoffe wie Zement zu ersetzen. Gegen den Import von Biomasse, insbesondere von Reststoffen spricht auch, dass beim Transport große Mengen an Treibhausgasen anfallen.

Viele Studien berücksichtigen diese Argumente nicht oder nur wenig und rechnen daher damit, dass noch 2050 erhebliche Mengen an Energiepflanzen angebaut werden und genutzt werden können.

Das Umweltbundesamt rechnet dagegen mit einer vollständigen Einstellung des Anbaus von Energiepflanzen bis 2030.[263] Wir rechnen mit einer vollständigen Einstellung des Energiepflanzen-Anbaus, sowie eine Beendigung von Biomasse-Importen zu energetischen Zwecken bis 2038.

Reststoff-Potential

Auch für das Potential an Reststoffen ergeben sich Einschränkungen. In dem Maß, in dem die Tierhaltung zurückgeht, reduziert sich auch die anfallende Menge an Gülle. Wenn weniger Lebensmittel weggeworfen werden, gibt es weniger Siedlungsabfälle. Das Umweltbundesamt empfiehlt eine rückläufige Nutzung von Waldrestholz und eine gänzliche Einstellung der Nutzung bis 2050, da der Verbleib des Holzes im Wald die Kohlenstoffsenke verstärkt, sowie andere umwelt- und naturschutzfachliche Vorteile hat.

Das Reststoff-Potential wird unterschiedlich eingeschätzt. Das Umweltbundesamt rechnet (ohne Waldrestholz) mit 90 TWh in 2030 und 60 TWh in 2050.[264] Andere Studien rechnen dagegen mit großen Potentialen an bisher ungenutzten Reststoffen und kommen zu höheren Werten.[265] Öko-Institut und Fraunhofer ISI rechnen mit 236 TWh Reststoffen[266], UFZ mit 275 TWh, Klepper und Thrän mit 200-340 TWh.[267] Wir gehen davon aus, dass auf die Nutzung von Waldrestholz nicht vollständig verzichtet wird, sowie ungenutzte Potentiale erschlossen werden.

9. Müll

Da wir davon ausgehen, dass der Rohstoff-Bedarf der Industrie erst 2050 vollständig durch erneuerbare Brennstoffe gedeckt werden kann, wird bis dahin auch noch nicht-biogener Müll anfallen, der verbrannt werden muss. Damit dies möglichst klimaschonend geschieht, könnte CCU eingesetzt werden. Der Kohlenstoff kann z.B. bei der Carbonisierung von Wasserstoff eingesetzt werden. Der Export von Müll sollte verboten werden, da ansonsten die von Deutschland verursachten Treibhausgase in den Bilanzen anderer Länder auftauchen. Wie viel Müll zur Energieerzeugung zur Verfügung steht, ist schwer abschätzbar. In Schleswig-Holstein sind

[263] Siehe UBA 2019/2
[264] Siehe UBA 2019/2
[265] Siehe z.B. FNR 2015
[266] Siehe Öko-Institut 2015
[267] Siehe UFZ 2016; Klepper & Thrän 2019

lediglich 10 Anlagen in Betrieb, die nicht-biogene Abfallstoffe verfeuern und dabei Wärme- oder Stromenergie gewinnen.[268]

Uns sind keine Potentialschätzungen bekannt.

Für Deutschland orientieren uns an den Zahlen des Umweltbundesamts und gehen davon aus, dass die anfallende Menge von Müll zurückgehen wird, gleichzeitig aber alle Potentiale ausgeschöpft werden. Wir rechnen daher mit 30 TWh. Für Schleswig-Holstein rechnen wir mit 1 TWh.

10. Importe

Dies umfasst den Import von 5 TWh E-Flüssigbrennstoffen (Kerosin und Schiffsdiesel) für internationale Verkehre. Für deren Herstellung ist im Exportland 15 TWh Strom nötig.

Die Zurechnung dieser Importe zu Schleswig-Holstein dient hauptsächlich dazu, dass dieser Bedarf bei Planungen und in Diskussionen nicht vergessen wird. Für das Land Schleswig-Holstein hat er zunächst wahrscheinlich keine Auswirkungen. Das Kerosin wird hauptsächlich in Hamburg und anderen Bundesländern verbraucht. Der Schiffs-Diesel wird hauptsächlich in den großen Ostseehäfen gebraucht, erfordert aber keine Infrastruktur-Umstellungen. Die Kosten tragen in beiden Fällen die Privatwirtschaft bzw. private Haushalte.

11. Batterien

Die Berechnung der notwendigen Stromspeicher-Kapazität erfolgt in Anlehnung an eine Studie der Energy Watch Group.[269] Wir rechnen damit, dass ca. 17,5% des verbrauchten Stroms aus Speichern stammen werden. Dies sind 4,6 TWh. Davon werden ca. 85% aus Batterie-Speichern stammen. Dies ergibt 4,1 TWh. Wir rechnen mit einem Wirkungsgrad von Batteriespeichern von 90%.

12. Pumpwasser-Speicher

Die verbleibenden 15% des Stroms, der aus Speichern, aber nicht aus Batteriespeichern stammt, wird durch Pumpwasser-Speicher zu Verfügung gestellt. Damit sind sowohl inländische, als auch ausländische Speicher gemeint. Vor allem Wasserkraftwerke in Norwegen. Über HGÜ-Kabel können Teile der Überproduktion nach Norwegen transportiert und dort in den Seen gespeichert werden. In Zeiten des Bedarfs (z.B. einer Dunkelflaute) kann der Strom wieder importiert werden.

13. BHKW und andere Erzeugungssysteme

[268] Siehe UBA 2018/3
[269] Siehe LUT 2019

Diese dezentralen Anlagen laufen mit Biogas, E-Methan, Wasserstoff und Holz. Sie sind flexibel, laufen vor allem im Winter und speisen Nah- und Fernwärmenetze. Wir rechnen mit einem Wirkungsgrad von 85%.

14. Übertragungsverluste Strom

Wir gehen davon aus, dass Übertragungsverluste im Stromnetz wie bisher etwa 5% ausmachen werden.[270]

15. Wärme

Dies umfasst Fernwärme, sowie dezentral erzeugte Solarwärme, die vor Ort verbraucht wird. Die Wärme, die durch Wärmepumpen, Abwärmenutzung und Verbrennung von Brennstoffen vor Ort erzeugt und genutzt wird, ist hier nicht aufgeführt. Es wird unterstellt, dass die Industrie die Abwärme-Nutzung optimiert und die Abwärme, die nicht in Fernwärme-Netze eingespeist wird, selbst verstärkt nutzt.

16. Übertragungsverluste Wärme

Wir rechnen mit einem durchschnittlichen Wärmeverlust bei der Nutzung von Nah- und Fernwärmenetzen von ca. 13%.[271]

17. Wärmespeicher

Bei der Kalkulation des Wärmespeicher-Bedarfs haben wir uns an einer Studie des Fraunhofer ISE orientiert.[272] Das Institut rechnet bei einem Energiebedarf für Warmwasser und Raumwärme von 400 TWh mit installierten Wärmespeichern mit einer Leistung von 665 GWh, einem Wirkungsgrad von 80% und einem Output von 80 TWh. Damit liegt der Anteil der aus Speichern stammenden Wärme bei 20%. Für 7,1 TWh Wärmebedarf ergeben sich damit 1,4 TWh aus Speichern. Die Wärmespeicher hätten dann eine Leistung von 11,7 GWh.

Zum Vergleich: Die Energy Watch Group rechnet für Europa mit installierten Niedertemperatur-Wärmespeichern mit einer Größe von 967 GWh, die einen Output von 329 TWh haben.[273] Das Verhältnis von installierter Leistung und Output ist also besser, was vermutlich daran liegt, dass die Studie aktueller ist.

Wollte man die 80 TWh, die wir unterstellen mit dem gleichen Verhältnis an Leistung erzeugen, wären 235 GWh installierter Wärmespeicher notwendig. Hinzu kommen bei der Studie der Energy Watch Group für Europa 3602 GWh Hochtemperatur-Wärmespeicher mit einem Output von 637 TWh. Wir haben unterstellt, dass diese nur in der Industrie eingesetzt werden,

[270] Siehe MELUND 2019/5
[271] Siehe BDH 2016
[272] Siehe Fraunhofer ISE 2013
[273] Siehe LUT 2019

weshalb sie nicht im Energiefluss-Bild auftauchen. Die Studie der Energy Watch Group rechnet damit, dass ca. 30% der verbrauchten Wärme aus Speichern stammt.

18. Groß-Wärmepumpen

Wir rechnen mit einem Wirkungsgrad von 250%.

19. E-Brennstoffe, Bio-Brennstoffe und Müll

Hier sind alle Bio- und E-Brennstoffe in flüssiger, fester und gasförmiger Form zusammengefasst, wohlwissend, dass deren Herstellung, Lagerung und Transport sehr unterschiedlich ist. Vereinfachend haben wir angenommen, dass keine Leitungs- und Speicherverluste auftreten. Insbesondere bei den Gasnetzen ist dies entscheidend, nicht nur um Energieverluste gering zu halten, sondern auch um klimaschädlichen Methanschlupf zu vermeiden.

20. Wasserstoff-Synthese

Unter Einsatz von Strom wird Wasserstoff synthetisiert. Wir rechnen mit einem Wirkungsgrad von 80%.[274]

20. Power to Gas & Power to Liquid

Wasserstoff wird zu E-Brennstofffen raffiniert. Wir rechnen mit einem Wirkungsgrad von 80% (für PtG) bzw. 33% (für PtL).[275] Zu berücksichtigen ist, dass wenn Elektrolyse und Carbonisierung von Methan gemeinsam durchgeführt werden, was in der Praxis die in der Praxis vermutlich häufig der Fall sein wird, ein Gesamtwirkungsgrad von 75% (statt wie in diesem Schaubild 64%) erreicht werden kann.[276]

22. Brennstoff-Speicher

Hier handelt es sich zum Beispiel um ehemalige Erdgas-Kavernen und Salzstollen, die zukünftig als Speicher für Wasserstoff und E-Methan dienen.

23. Haushalte und GHD (Strom)

Der Strombedarf klassischer Verbraucher (Haushalte und GHD) lag 2017 bei 8,63 TWh.[277] Wir sind davon ausgegangen, dass Effizienzmaßnahmen und Einsparungen zu einer Minderung um 20% führen. Dann läge der Bedarf bei 6,9 TWh. Hier ist zu beachten, dass ein Verbraucher, der den Strombedarf in Zukunft in die Höhe treiben könnte, Informationstechnologien sind.

24. Heizung und Warmwasser

Der Endenergiebedarf für den Gebäudebereich hängt von zahlreichen Faktoren ab. Entscheidende Parameter sind vor allem der Dämmzustand der Häuser, der Anteil der Fernwärme, die

[274] Siehe dena 2018 und Netzwerkagentur Erneuerbare Energien Schleswig-Holstein 2019
[275] Siehe dena 2018
[276] Siehe IWR 2020
[277] Siehe MELUND 2019/2

Speicherkapazitäten und der Heizungs-Mix. Wir rechnen mit folgendem Szenario für Deutschland: Der Endenergiebedarf für Wohngebäude und GHD beträgt 330 TWh. 30% Fernwärmeanteil ergeben 100 TWh. Diese setzen sich (ungefähr) zusammen aus: 30 TWh Groß-Solarthermie, 10 TWh Geothermie, 25 TWh Abwärme, 20 TWh Großwärmepumpen und 15 TWh BHKW. Der verbleibende Bedarf von 230 TWh setzt sich zusammen aus 40 TWh Solarthermie, 150 Wärmepumpen und 40 TWh Gas-, Öl- und Wasserstoff-Heizungs-Systeme.

Der Energiebedarf zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser in GHD und Haushalten in Schleswig-Holstein betrug 2017 ca. 31 TWh.[278] Wenn sich die Reduktion des Wärmebedarfs wie in Deutschland verhält, ergibt sich eine Minderung auf ca. 14 TWh bis 2040. Wir rechnen mit einem Fernwärme-Anteil von 35%, da in Schleswig-Holstein der Fernwärme-Anteil schon vergleichsweise hoch liegt und ein Ausbau somit einfacher ist. Dies ergibt 4,9 TWh. Diese setzen sich (ungefähr) zusammen aus 0,8 TWh Groß-Solarthermie, 0,3 TWh Abwärme, 2,4 TWh Geothermie, 0,7 TWh Groß-Solarthermie und 0,7 TWh Strom aus Gaskraftwerken und BHKW.

Der verbleibende Wärmebedarf wird gedeckt durch: 2 TWh Solarthermie, 6,7 TWh Wärmepumpen und 0,4 TWh andere Heizungssysteme.

25. E-Autos

Wir gehen von einem Rückgang des Individualverkehrs und einem Rückgang der Zahl an PKWs von 1,67 Mio.[279] um 10% auf 1,52 Mio. aus. Wir unterstellen außerdem eine vollständige Umstellung von PKW auf Elektroautos. Prognos beziffert den Strombedarf von 30 Mio. E-Autos mit 63 TWh.[280] Bei gleichen Verhältnissen ergäbe sich für 1,67 Mio. E-Autos ein Bedarf von 3,5 TWh. Hinzu kommen leichte Nutzfahrzeuge. Wir rechnen insgesamt mit 4 TWh.

26. Bahn

Der Energiebedarf der Bahnen in Schleswig-Holstein lag 2017 bei 0,19 TWh Diesel und 0,18 TWh Strom.[281] Durch den Ersatz dieselbetriebener Fahrzeuge durch strombetriebene (ist bereits geplant: Nah.SH, persönliche Mitteilung), sowie die angestrebten Steigerungen in den Verkehrsanteilen bei Personen- und Güterverkehr wird der Strombedarf steigen. Wir rechnen mit 0,9 TWh Strombedarf.

27. LKW und andere Nutzfahrzeuge

Wir gehen davon aus, dass Teile der Autobahnen mit Oberleitungen ausgestattet werden. Es gibt unterschiedliche Meinungen dazu, welche zusätzliche Antriebs-Technologie zum Oberleitungs-Strom-Abnehmer die LKW haben sollten (Batterie, Brennstoffzelle, Methan, E-Diesel).

[278] Siehe MELUND 2019/1
[279] Siehe Kraftfahrt-Bundesamt 2019
[280] Siehe Prognos 2018/3
[281] Siehe MELUND 2019/2

Für Deutschland rechnet eine Studie mit einem Strombedarf von 36 TWh für den Fall der Vollelektrifizierung der Autobahnen und Umstellung aller LKW auf Oberleitungstechnologie.[282] Dies ist erst bis 2050 der Fall, wir rechnen daher mit 20 TWh Strom für Oberleitungen und zusätzlich 20 TWh Strom für Batterien, 30 TWh Wasserstoff, 20 TWh E-Methan und 20 TWh E-Diesel.

2017 betrug der Anteil der Transportleistung der LKW in Schleswig-Holstein 2,4 % der von LKW in Deutschland beförderten Transsporte.[283] Wir haben deshalb jeweils 2,4% der Bedarfe für Deutschland Schleswig-Holstein zugerechnet. Es ergeben sich 1 TWh Strom, 0,7 TWh Wasserstoff und je 0,5 TWh Methan und E-Diesel. Zusätzlich rechnen wir für land-, forst- und bauwirtschaftliche Verkehre 0,5 TWh E-Diesel.

28. Internationaler Verkehr (Flugzeuge und Schiffe)

Flugzeuge werden zukünftig mit E-Kerosin betrieben. Der Einsatz von direktelektrischen oder anderen Antrieben ist für größere Maschinen zurzeit nicht absehbar. Für Deutschland orientieren uns an den Zahlen von Prognos, die einen Bedarf von 105 TWh nennen.[284]

Kleinere Schiffe, insbesondere in der Binnenschifffahrt können elektrisch betrieben werden. Der Großteil des Schiffsverkehrs muss aber mit E-Brennstoffen versorgt werden, wobei grundsätzlich Methanol, E-Methan, grüner Wasserstoff und E-Diesel in Frage kommen. Welche Brennstoffe sich im Endeffekt als am sinnvollsten erweisen werden, können wir nicht einschätzen. Für Deutschland orientieren wir uns an der Schätzung von Prognos, die einen Energie-Bedarf für den Schiffsverkehr von 38 TWh nennen.[285] Wir rechnen mit einem Bedarf von 40 TWh Flüssigbrennstoff. Der Strombedarf, der sich zur Produktion dieser Menge ergibt, ändert sich, wenn statt Flüssigbrennstoff Schiffe hauptsächlich mit anderen Treibstoffen betrieben werden.

Energie, die für die Herstellung der Treibstoffe für den internationalen Schiffsverkehr und Flugverkehr benötigt werden, wird Schleswig-Holstein gemäß seinem Anteil an der Bevölkerung (3,5%) zugerechnet. Es ergeben sich 5 TWh.

29. Schiffe

Dies ist der Treibstoff für Binnenschiffe und die Schiffe, die nur in Küstennähe fahren. Diese können teilweise elektrisiert werden. Die anderen laufen mit E-Diesel oder Methanol. Zuletzt betrug der Energiebedarf 0,26 TWh.[286]

[282] Siehe Fraunhofer ISI 2017
[283] Eigene Berechnung aufgrund von Zahlen aus LiKi 2019, BMVI 2018
[284] Siehe Prognos 2018/3
[285] Siehe Prognos 2018/3
[286] Siehe MELUND 2019/2

30. Industrie

Der Bedarf an „klassischem“ Industriestrom lag 2017 bei 3,53 TWh.[287] Wir sind davon ausgegangen, dass durch Effizienzmaßnahmen und Einsparungen eine Minderung des Bedarfs um 20% erreicht werden kann. Der Bedarf läge dann bei 2,82 TWh.

Der Endenergiebedarf der Industrie in Schleswig-Holstein lag 2017 bei 11,64 TWh[288], in Deutschland lag er bei 750 TWh.[289] Der Anteil Schleswig-Holsteins lag damit bei 1,6%. Wir haben daher die für Deutschland angenommenen Bedarfe (vgl. BBK 2020) an Methan und Wasserstoff in der allgemeinen Industrie und der Chemieindustrie anteilmäßig für Schleswig-Holstein angenommen. Damit ergeben sich 4.48 TWh Methan, 0,24 TWh Wärme und 1 TWh Wasserstoff.

31. Export

Nach Hamburg werden Strom, Wärme und Wasserstoff exportiert (siehe Anlage 5). Der übrige Strom kann z.B. nach Nordrhein-Westfalen exportiert werden.

Allgemeine Anmerkungen:

Wenn sich auf Studien bezogen wurde, wurde jeweils das ambitionierteste Szenario betrachtet, sowie, wenn nicht anders angemerkt, das Jahr 2050.

In der Deutschland-Studie sind weitere Punkte aufgeführt. Wir haben diese ausgelassen, weil sie für Schleswig-Holstein nicht relevant sind.

[287] Siehe MELUND 2019/2
[288] Siehe MELUND 2019/2
[289] Siehe BMWi 2018

Anlage 8: Treibhausgas-Emissionen von Milchkühen bei unterschiedlicher Haltung

Bei der Milchviehhaltung kann eine hohe Effizienz je Liter Milch generell in verschiedenen Leistungsgruppen erzielt werden. Auf tragfähigen Böden mit ausreichender Wasserversorgung weisen in Schleswig-Holstein sowohl Systeme mit ganzjähriger Stallhaltung, intensivem Ackerfutterbau und hohen Einzeltierleistungen als auch intensive Vollweidesysteme mit geringer Kraftfutterzufütterung und niedrigen Milchleistungen gleichermaßen hohe Effizienzen bei den erzeugten THG-Emissionen je Produkteinheit auf. Auf Standorten mit ausgeprägter Sommertrockenheit oder Grenzstandorten sind spezialisierte Stallhaltungssysteme begünstigt. Das klimapolitisch anzustrebende Milchproduktionsverfahren und Leistungsniveau ist dabei in Abhängigkeit der Standortbedingungen zu optimieren.[290]

In der Rindfleischproduktion sollten verstärkt Minderungsmaßnahmen entwickelt werden, welche die gegebenen Potentiale am Produktionsstandort ausnutzen.

In Abhängigkeit des Mastsystems und des Managements sind Treibhausgas-Minderungen zwischen 1,7 % und 24 % in Schleswig-Holstein möglich.[291]

[290] Siehe Reinsch 2019
[291] Siehe Zutz 2019

Anlage 9: Bestehende Moorschutzprogramme

Durch das Programm des MELUND zum biologischen Klimaschutz 2030 sollen bis zu 0,7 TE in Senken gebunden werden. Dies soll durch die Wiedervernässung von 26.000 Hektar Stiftungsflächen und 8.000 Hektar zur Arrondierung dieser Flächen erreicht werden. (MELUND, persönliche Mitteilung). Zudem sieht das Programm die Bindung von 12.500 t CO_2 pro Jahr durch den Wald vor. Außerdem soll die Umwandlung von Ackerland in Grünland gefördert werden.

Es gibt seit 2002 ein Moorschutzprogramm für Niedermoore und auch ein Hochmoorschutzprogramm für eine Kulisse von 16.600 Hektar in 60 Gebieten. In einem Renaturierungskataster wurden 369 Moore mit einer Fläche von 38.385 Hektar erfasst, das entspricht einem Viertel der Moorfläche in Schleswig-Holstein. In 257 Mooren wurden Renaturierungsmaßnahmen erfasst, für 150 Moore Vernässungs-Maßnahmen. Rund 75 Prozent der Maßnahmen wurden in Hochmooren durchgeführt. Das Potential für die Emissionsersparnis von THG durch Wiedervernässung liegt zwischen 15 und 30 Tonnen Kohlendioxid pro Hektar im Jahr.[292]

Niedermoore konnten in der Vergangenheit vermehrt renaturiert werden, weil ihre Bewirtschaftung häufig aufgrund von Sackung, z.T. bis in Grundwassernähe, erschwert und damit uninteressant wurde. Bedeutende Projekte sind zum Beispiel das Obere Eidertal zwischen Schmalstede und Flintbek, die Pohnsdorfer Stauung bei Preetz oder die Dodauer Niederung bei Eutin.[293]

[292] Siehe Landtag Schleswig-Holstein 2009
[293] Siehe Landtag Schleswig-Holstein 2011

Anlage 10: Die wichtigsten Industriebetriebe in Schleswig-Holstein[294]

Tabelle 9: Die wichtigsten Industriebetriebe in Schleswig-Holstein nach Emissionen, Umsatz und Beschäftigten

Betreiber	Anlage	Standort	Emissionen VET 2018 t CO2 -Äq	Bezeichnungen	Umsatz (Mio €) 2018	Beschäftigte in SH 2018
TOTAL Bitumen Deutschland	Destillation und Nebelanlagen	Brunsbuettel	33.165	Raffinerien	-	<100
Raffinerie Heide GmbH	Produktionsanlagen und Kraftwerk	Hemmingstedt	929.680	Raffinerien	2.300	588
Yara Brunsbüttel GmbH	POX-Synthesegasanlage als Zwischenprodukt für Wasserstoff und Herstellung von Ammoniak	Büttel	1.355.296	Raffinerien	233 (2017)	239 (2017)
Ardagh Glass GmbH	Wahlstedt Wanne 5	Wahlstedt	38.221	Herstellung von Glas	-	190 (2017)
Feldmuehle GmbH	Papiermaschinenanlage	Uetersen	63.918	Herstellung von Papier	159 (2017) 2018 Insolvenzverfahren	432
Steinbeis Papier GmbH	Papiermaschinen Glückstadt	Glückstadt	7.124	Herstellung von Papier	186	231
Papierfabrik Meldorf GmbH & Co. KG	Papierfabrik Meldorf GmbH & Co. KG, Werk Tornesch, Papierfabrik mit 2 angegliederten Kesselhäusern	Tornesch	27.728	Herstellung von Papier	15 (2017)	132 (2017)

[294] Siehe UBA 2019/8, Stadtwerke Flensburg 2019/2, BMJV 2020

Mitsubishi HiTec Paper Europe GmbH	Papierfabrik MPEF	Flensburg	33.761	Herstellung von Papier	Deutschland (2 Werke) gesamt: 329	246
Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG	Motorenprüfstand Geb. 50	Kiel	0	Verbrennung	0,3	742
Gasunie Deutschland Transpo Services GmbH	Verdichterstation Ellund – Gasturbinenanlage	Handewitt (Ellund)	127	Antriebsmaschinen (Turbinen)	-	Deutschland gesamt: 250
Gasunie Deutschland Transport Services GmbH	Verdichterstation Quarnstedt – Gasturbinenanlage	Quarnstedt	275	Antriebsmaschinen (Turbinen)	-	Deutschland gesamt: 250
Covestro Deutschland AG	Reformer-Anlage Brunsbüttel	Brunsbüttel	109.033	Herstellung von Wasserstoff und Synthesegas	-	600
Sasol Germany GmbH	Produktionskomplex (Ziegler, TAM, NFA)	Brunsbüttel	182.738	Herstellung organischer Grundchemikalien	-	749
Holcim (Deutschland) GmbH		Werk Lägerdorf	714.666	Zementwerk	-	300
Jungheinrich AG			nicht gelistet	Maschinenbau	-	7.500 (2017)
ThyssenKrupp Marine Systems GmbH			nicht gelistet	Schiffbau	-	6.000 (2017)
Dräger		Lübeck	nicht gelistet	Metall, Elektro, Medizin und Sicherheitstechnik -hier: Anästhesiegeräte	2.572	4.925 (2017)
Vossloh Locomotives GmbH	Bahntechnik	Kiel	nicht gelistet		-	4.000 (2017)

Astra Zeneca GmbH	Pharmazeutische Industrie	Wedel	nicht gelistet		490	1.250 (2017)

Anlage 11: Die Schleswig-Holstein-Studie des Fraunhofer ISI 2020[295]

Die Studie des Fraunhofer ISI 2020 ist die erste umfassende Klima-Studie für Schleswig-Holstein erschienen. Sie wurde Im Auftrag der Gesellschaft für Energie und Klimaschutz Schleswig-Holstein GmbH (EKSH) und in enger Abstimmung mit dem Ministerium für Energie, Landwirtschaft, Umwelt, Naturschutz und Digitalisierung (MELUND) erstellt. Sie untersucht, was nötig ist, um eine Treibhausgas-Reduktion von 80 bzw. 95 Prozent bis 2050 zu erreichen. Im Folgenden stellen wir die wesentlichen Eckpunkte der Studie vor und gehen dabei auch auf Unterschiede zum Handbuch ein.

Rahmendaten:

- Die Studie untersucht zwei Szenarien, die sich an den Minderungszielen der Bundesregierung von 2019 orientieren: 80 und 95 Prozent Treibhausgas-Minderung gegenüber 1990 bis zum Jahr 2050. Das 80-Prozent-Szenario ist laut der Studie nicht ausreichend, um die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen. Inwiefern das 95-Prozent-Szenario dafür geeignet ist, wurde im Rahmen der Studie nicht untersucht.

  Anmerkung: Nach den Berechnungen von Professor Rahmstorf (PIK) und dem SRU lief der damals von der Bundesregierung angestrebte 95-Prozent-Pfad auf eine Erwärmung von mehr als 2,5 Grad hinaus (siehe BBK 2020). Diese Berechnung ist aber nicht auf das 95-Prozent-Szenario des Fraunhofer ISI für Schleswig-Holstein übertragbar. Denn der 95-Prozent-Pfad der Bundesregierung reduziert die Emissionen zunächst weniger als erforderlich aufgrund des späten Kohleausstiegs. Damit wird eine engagierte Klimapolitik auf die Zeit nach 2040 verschoben. Da in Schleswig-Holstein die Kohlenutzung schon heute eine untergeordnete Rolle spielt, sind die Szenarien nicht vergleichbar. Nach einer von uns erstellten groben Abschätzung führt das in der Studie vorgestellte 95-Prozent-Szenario zu einem Budget für Schleswig-Holstein, das 50% höher liegt, als das von uns angesetzte und für notwendig erachtete.

- Die vorgeschlagenen Reduktionen führen im 95%-Szenario nur zu einer Reduzierung von 91,7 Prozent (siehe S. 111). Dies Ergebnis wird nicht weiter erläutert.
- Der internationale Verkehr (Flugzeuge und Schiffe) und die Bodennutzung (Wälder, Wiesen, Moore usw.) werden nicht berücksichtigt. Das sind in Schleswig-Holstein zusammen 20% der Emissionen, die nicht berücksichtigt werden.

Im Folgenden betrachten wir nur das engagiertere 95%-Szenario. Dabei werden die Punkte dargestellt, die von den Annahmen dieses Handbuch signifikant abweichen oder die von besonderem Interesse sind.

[295] Siehe Fraunhofer ISI 2020

Allgemeines:

- Die Studie betrachtet Schleswig-Holstein im Rahmen eines Modells für ganz Europa. Sie berechnet die Pfade für die Umstellung Schleswig-Holsteins für die Modelljahre 2030, 2040 und 2050. Das zu Grunde liegende Modell ist kostenoptimiert. Das heißt, es sucht den günstigsten Weg der Reduktion. Die Autorinnen und Autoren sagen, dass der günstigste Weg nicht notwendigerweise der Beste ist und sich aus den Szenarien nicht unmittelbar politische Handlungsempfehlungen ableiten.
- Es wird für 2040 mit einem CO_2-Preis von 150 Euro pro Tonne und 2050 mit 500 Euro pro Tonne gerechnet.

Energie:

- Stromerzeugung in Schleswig-Holstein: 37 TWh onshore, 75 TWh offshore (der Teil des Nordseestroms, der in Schleswig-Holstein an Land geleitet wird), 12,5 TWh Photovoltaik, 2,5 TWh Wasserkraft, 0,6 TWh Biomasse; davon werden 70 TWh exportiert.
- Biobrennstoffe gehen nur leicht zurück und werden überwiegend in der Industrie und im Luft- und Seeverkehr eingesetzt. In der BMWi-Studie, auf die die Fraunhofer-Studie Bezug nimmt, wird sogar eine Ausweitung des Energiepflanzen-Anbaus angenommen.

  Anmerkung: Im Gegensatz dazu wird im Handbuch eine Einstellung des Energiepflanzen-Anbaus ab 2035 unterstellt – siehe dazu im Abschnitt „Energie/Bioenergie“. Die in der Fraunhofer-Studie unterstellten Biomasse-Potentiale sind daher deutlich größer als im Handbuch.
- Stromerzeugung für ganz Deutschland: 470 TWh onshore, 210 TWh offshore, 200 TWh Photovoltaik und 300 Importe. (zum Vergleich im Handbuch: 370 TWh onshore, 250 TWh offshore, 480 TWh Photovoltaik und 800 TWh Importe) – die Unterschiede im Import sind darin begründet, dass die ISI-Studie den internationalen Verkehr (Flug und Schiff) mit Bio-Brennstoffen statt mit E-Brennstoffen versorgt.
- Die Studie geht also für Deutschland von mehr Onshore-Windkraft, etwas weniger offshore und viel weniger Photovoltaik aus, als im Handbuch angenommen wird.

  Anmerkung: Dies ist durch die angenommenen höheren Kosten der Photovoltaik verursacht, während das Handbuch das Flächenproblem bei der Windkraft stärker gewichtet.
- Die ISI-Studien rechnet mit 3900 Vollaststunden für Onshore-Windkraftwerke in Schleswig-Holstein – das Handbuch setzt auf Basis der meisten anderen Studien nur 2500 Volllaststunden an.

- In Schleswig-Holstein liegt die erzeugte Strommenge für onshore sehr nahe bei denen des Handbuchs. Aufgrund der höheren Volllaststunden ist die angenommene benötigte Leistung deutlich geringer als im Handbuch. Die benötigte Fläche dafür wird nicht angegeben.
- Stromverbrauch in Schleswig-Holstein ohne Elektrolyse 23 TWh (wie im Handbuch) + 56 TWh Elektrolyse
- Wasserstoffverbrauch: 6 TWh Energie und 5 TWh als Rohstoff in Schleswig-Holstein

Industrie/Wirtschaft:

- Im 95%-Szenario wird – anders als im 80%-Szenario – CCS nicht betrachtet, da die Umstellung der Zement-Produktion auf neue treibhausgasfreie Verfahren günstiger ist.
- Die Studie nimmt für 2050 die gleiche Produktion von Ammoniak, Zement und Papier an, wie heute.

  Anmerkung: Bei einem Rückgang des Stickstoff-Dünger-Einsatzes ist unseres Erachtens mit einer erheblichen Reduzierung der Ammoniak-Produktion zu rechnen sein. Auch der in Brunsbüttel hergestellte Treibstoff-Zusatz AdBlue wird in viel geringerem Umfang benötigt, wenn die Autos auf E-Mobilität umgestellt werden. Auch im Bereich Zement rechnen wir mit einem teilweisen Ersatz von Zement durch alternative Baustoffe (Holzhochhäuser, andere Bindemittel usw.)
- Die Emissionen aus der Zementproduktion werden um 73% zurückgehen.
- Die Erzeugung von Wärme für die Nahrungsmittel- und Papierindustrie kann mit Wärmepumpen für Temperaturen bis zu 150º erfolgen.
- Die Datenzentralen verdreifachen den Strombedarf auf ein bis zwei Prozent des Stromverbrauchs.

Wohnen:

- In Schleswig-Holstein beträgt der Anteil der Wohnfläche der Einfamilienhäuser 61%, in ganz Deutschland 53%.
- Die Anzahl der Klimaanlagen pro Haushalt nimmt von 1% auf 7% zu.
- Die Sanierungsquote steigt auf 2,5% jährlich – Zielwert unter Kfw55. Der Wärmebedarf der Häuser sinkt um 55%.
- Bis 2030 Ausstieg aus den Ölheizungen und danach aus dem Erdgas. Wärmepumpen und Fernwärme setzen sich durch.
- Der Anteil der Wärme aus Wärmenetzen steigt auf 48% - das ist weit mehr als in allen uns bekannten Studien. Rest vorrangig Wärmepumpen in den Haushalten.

Verkehr:

- Bis zum Jahr 2050 wird der Luftverkehr um 54%, der bodengebundene Güterverkehr um 51% und der Schiffsverkehr um 132% zunehmen, während der bodengebundene Personenverkehr um 8% abnimmt.

  Anmerkung: Die Steigerungen sind deutlich höher als in anderen Studien, insbesondere die Steigerung des Schiffsverkehrs ist sehr hoch.

- Verlagerung auf die Schiene bleibt gering.
- Bei PKW mit einem Anteil von Hybrid-Fahrzeugen von 50% gerechnet.

  Anmerkung: Wir rechnen mit einem Anteil an E-PKW von 100% ab 2035 auf Grund der erheblichen Kostenvorteile.

- Bei LKW fahren über 80% mit Oberleitung.
- Der internationale Verkehr (Schiff und Flugzeug) fehlt in der Studie. Dafür würden bei der angenommenen Steigerung des Verkehrs über 200 TWh Kerosin, Schiffsdiesel oder Methanol benötigt – das entspricht 500 TWh Strom. Diese Menge müsste zusätzlich importiert werden.

Landwirtschaft und -nutzung:

Das Fraunhofer ISI hat keine eigenen Rechnungen vorgenommen. Es übernimmt die Zahlen aus dem „Klimaschutzszenario 2050" von Öko-Institut und ISI von 2015[296].

- Die Bodennutzung wird nicht betrachtet.
- Der Ökolandbau wächst nur auf 25% der Fläche bis 2050 (im Handbuch 30% bis 2040).
- Der Fleischkonsum sinkt um 60%, der Tierbestand der Rinder um 71% (gegenüber 2010) und der der Schweine um 61% (deutlich mehr als im Handbuch -50%).
- Keine Tierexporte mehr
- Güllevergärung: 70% (Im Handbuch 100% vorgeschrieben für Gülle und Mist).
- Reduzierung des Mineraldüngers um 40% (Im Handbuch mehr als 2/3).

Abfallwirtschaft:

Auch dieser Abschnitt in der Studie basiert auf dem „Klimaschutzszenario 2050" von Ökoinstitut und ISI.

- Hier wird pauschal eine Reduzierung der Emissionen um ¾ angenommen ohne dies im Einzelnen zu erläutern.

[296] Siehe Öko-Institut 2015

Pfadabhängigkeit:

Es wird zum Schluss der Studie ein stromorientiertes Szenario mit einem wasserstofforientierten und einem PtL-orientierten Szenario verglichen. Im Stromszenario sinken die Energiekosten gegenüber heute deutlich. Beim Vergleich von Wasserstoff und PtL liegt Wasserstoff bei den meisten Anwendungen vorne. Allerdings sind die Kosten für die Infrastruktur sehr hoch, so dass das nicht in allen Bereichen gilt.

Abbildungsverzeichnis

Grafik 1: Die größten Treibhausgas-Quellen in Schleswig-Holstein
Grafik 2: Verteilung der Treibhausgase in Schleswig-Holstein
Grafik 3: Schleswig-Holstein – Land zwischen den Meeren
Grafik 4: Weltweite Emissionen und Konzentration in der Atmosphäre
Grafik 5: Durchschnittlicher „Fußabdruck“ von ausgewählten Staaten
Grafik 6: Verschiedene Minderungspfade für Deutschland
Grafik 7: Verursacher der Treibhausgas-Emissionen in Schleswig-Holstein
Grafik 8: Moore in Schleswig-Holstein
Grafik 9: Das alte Energiesystem
Grafik 10: Das neue Energiesystem
Grafik 11: Wege zur Klimaneutralität
Grafik 12: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Energie
Grafik 13: Stromerzeugung und -verbrauch, heute und 2038
Grafik 14: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Hauswärme
Grafik 15: Fernwärmeerzeugung 2038
Grafik 16: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Verkehr
Grafik 17: Anteil von Landwirtschaft und Bodennutzung
Grafik 18: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft
Grafik 19: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Bodennutzung
Grafik 20: Zeitplan und Maßnahmen im Sektor Industrie
Grafik 21: Energieflussdiagramm Schleswig-Holstein 2038

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Treibhausgasemissionen des Verkehrs
Tabelle 2: Treibhausgas-Quellen der Industrie
Tabelle 3: Treibhausgasbilanz Schleswig-Holstein
Tabelle 4**:** Treibhausgasverteilung nach Sektoren
Tabelle 5: Minderungspfade der Sektoren in Schleswig-Holstein
Tabelle 6: Übersicht Strom 2038
Tabelle 7: Übersicht Wärme 2038
Tabelle 8: Übersicht Brennstoffe 2038
Tabelle 9: Die wichtigsten Industriebetriebe in Schleswig-Holstein

Übersicht über Infoboxen

Infobox 1: Weltklimarat – IPCC
Infobox 2: Treibhausgaseinheiten - TE
Infobox 3: E-Brennstoffe
Infobox 4: Wärmepumpe
Infobox 5: Kraftwärmekopplung (KWK) und Blockheizkraftwerk (BHKW)
Infobox 6: Blauer und grüner Wasserstoff

Quellen

- 350.org (2019): Global fossil fuel divestment. Gelesen am 25.02.2020 in: https://350.org/press-release/global-fossil-fuel-divestment-11t/
- acatech (2017), Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Federführung): Rohstoffe für die Energiewende. Gelesen am 3.11.2019 in: https://www.akademienunion.de/fileadmin/redaktion/user_upload/Publikationen/Stellungnahmen/Stellungnahme_ESYS_Rohstoffe_fuer_die_Energiewende.pdf
- ADFC (2019): Klimaschutz durch Radverkehr in Schleswig-Holstein. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.adfc-sh.de/attachments/article/389/191109-LV-Beschluss-Klimaschutzdurch-Radverkehr.pdf
- AEE (2020), Agentur für erneuerbare Energien: Landesinfo Schleswig-Holstein. Gelesen am 9.2.20 in: https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/SH/kategorie/mobilitaet/auswahl/1067-elektromobilitaet_-_/sicht/diagramm/#goto_1067
- Agentur für Erneuerbare Energien (2017) https://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/MV/kategorie/top%2010/auswahl/772-anteil_erneuerbarer_/#goto_772 Abruf: 13.01.2020
- Agora Energiewende (2018/1): Die Kosten von unterlassenem Klimaschutz für den Bundeshaushalt. Die Klimaschutzverpflichtungen Deutschlands bei Verkehr, Gebäuden und Landwirtschaft nach der EU-Effort-Sharing-Entscheidung und der EU-Climate-Action-Verordnung. Gelesen am 23.09.2019 in: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/Non-ETS/142_Nicht-ETS-Papier_WEB.pdf
- Agora Energiewende (2018/2), Agora Verkehrswende: Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. Gelesen am 27.2.2020 in: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/Non-ETS/142_Nicht-ETS-Papier_WEB.pdf
- Agora Energiewende (2019/1), Agora Verkehrswende: 15 Eckpunkte für das Klimaschutzgesetz. Gelesen am 14.8.2019 in: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/15_Eckpunkte_fuer_das_Klimaschutzgesetz/Agora_15_Eckpunkte_Klimaschutzgesetz_WEB.pdf
- Agora Energiewende (2019/2), Agora Verkehrswende: Klimaschutz auf Kurs bringen. Wie eine CO2-Bepreisung sozial ausgewogen wirkt. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Abgaben_Umlagen/CO2-Rueckverteilungsstudie/Agora-Verkehrswende_Agora-Energiewende_CO2-Bepreisung_WEB.pdf
- Agora Energiewende (2019/3), Wuppertal Institut: Investitionsdilemma der energieintensiven Industrie lösen und industriellen Klimaschutz ermöglichen. Gelesen am 25.11.2019 in: https://www.agora-energiewende.de/presse/neuigkeiten-archiv/investitionsdilemma-der-energieintensiven-industrie-loesen-und-industriellen-klimaschutz-ermoeglichen/
- Agora Energiewende (2019/4): Klimaneutrale Industrie. Gelesen am 22.02.2020 in: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/Dekarbonisierung_Industrie/164_A-EW_Klimaneutrale-Industrie_Studie_WEB.pdf

- Agora Energiewende (2019/5): Wie werden Wärmenetze grün? Gelesen am 14.03.2020 in: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Waermenetze/155_Waermenetze_WEB.pdf
- Agora Energiewende 2020: Die Energiewende im Stromsektor: Stand der Dinge https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Jahresauswertung_2019/171_A-EW_Jahresauswertung_2019_WEB.pdf
- Albrecht (2017), Ernst; Reinsch, Thorsten; Poyda, Arne; Taube, Friedhelm; Henning, Christian: Berichte über die Landwirtschaft, Klimaschutz durch Wiedervernässung von Niedermoorböden: Wohlfahrtseffekte am Beispiel der Eider-Treene-Region in Schleswig-Holstein. Gelesen am 13.3.2020 in: https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/178/pdf
- BBK (2020), (Auftraggeber: Mehr Demokratie e. V.), Hentschel, Karl-Martin: Handbuch Klimaschutz, Oekom Verlag, München 2020.
- BCG (2019), Boston Consulting Group: Die Zukunft der deutschen Landwirtschaft nachhaltig sichern. Gelesen am 3.12.2019 in: http://image-src.bcg.com/Images/Die_Zukunft_der_deutschen_Landwirtschaft_sichern_tcm108-234154.pdf
- BDEW (2019), BWE, VDMA, VKU, WWF, Greenpeace, Germanwatch, DUH: 10 Punkte für den Ausbau der Windenergie. Gelesen am 23.10.2019 in: https://www.bdew.de/media/documents/Stn_20190903_10-Punktefuer-Ausbau-Windenergie-Verbaende.pdf
- BDEW SH (2019), Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft: Regionalbericht 2019. Gelesen am 08.03.2020 in: https://www.bdew.de/media/documents/BDEW_Heizungsmarkt_Regionalbericht_Schleswig-Holstein.pdf
- BDH (2016), Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie; Winiewska, P.; Mailach, O.: Dezentrale vs. zentrale Wärmeversorgung im deutschen Wärmemarkt. Gelesen am 22.02.2020 in: https://www.freie-waerme.de/fileadmin/Freie-Waerme-DE/Downloads-Presse/Dezentrale-vs-zentrale-Waermeversorgung/Studie-Dezentrale-vs-zentrale-Waermeversorgung.pdf
- Beuth (2015), Hochschule für Technik Berlin, IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg: Ableitung eines Korridors für den Aufbau der erneuerbaren Wärme im Gebäudebereich. Kurztitel: Anlagenpotential. Gelesen am 22.02.2020 in: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/BeuthHS_ifeu_Anlagenpotenzial_Endbericht_2017.pdf
- BMEL (2016): Klimaschutz in Land- und Forstwirtschaft, Gutachten wissenschaftlicher Beirat. Gelesen am 30.10.2019 in: http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.pdf%3F__blob%3DpublicationFile
- BMEL (2019): Nationale Strategie zur Verringerung der Lebensmittelverschwendung. Gelesen am 22.11.2019 in: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/Nationale_Strategie_Lebensmittelverschwendung_2019.pdf?__blob=publicationFile
- BMJV (2020), Bundesministerium der Justiz und für den Verbraucherschutz: Bundesanzeigen – Unternehmensregister. Gelesen am 16.3.2020 in: https://www.unternehmensregister.de/ureg/
- BMU (2019/1): Umwelt in die Algorithmen! Eckpunkte für eine umweltpolitische Digitalagenda des BMU. Gelesen am 10.2.2020 in: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nachhaltige_Entwicklung/eckpunktepapier_digitalisierung_bf.pdf

- BMWi (2018): Energiedaten: Gesamtausgabe – Stand: August 2018. Gelesen am 14.03.2020 in: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=38
- BMVI (2018): Verkehr in Zahlen 2018/2019. Gelesen am 27.09.2019 in: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen_2018-pdf.pdf?__blob=publicationFile
- Brade (2016): Berichte über Landwirtschaft, Methan-Minderungspotenziale bei Wiederkäuern. Gelesen am 22.02.2020 in: https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/104/Brade_Methanmin.pdf
- Brot für die Welt (2019): Damit Unternehmen die Menschenrechte achten. Gelesen am 5.11.19 in: https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/dossier-wirtschaft-und-menschenrechte/un-treaty-prozess/
- Buck (2017), Christian: Mit Holz hoch hinaus: das höchste Holz-Hochhaus. Gelesen am 11.3.2020 in: https://www.heise.de/newsticker/meldung/Mit-Holz-hoch-hinaus-das-hoechste-Holz-Hochhaus-3918560.html
- BUND (2019): BUND-Konzept zur Einhaltung der Klimaziele 2030 im Verkehr. Gelesen am 27.02.2020 in: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/mobilitaet/mobilitaet_konzept_klimaziele_verkehr_2030.pdf
- Büro StadtVerkehr (2020); Gertz Gutsche Rümenapp GbR: Mobilitätskonzept für einen nachhaltigen Öffentlichen Nah- und Regionalverkehr in Kiel – Grundlagenstudie. Gelesen am 10.2.20 in: https://www.kiel.de/de/umwelt_verkehr/_dokumente_kiel_bewegt_sich/190809_Entwurf_Externe_Grundlagenstudie_Kiel.pdf
- Busche (2019), Holger: Klimaschutz vor der Weiche: +300%-Bahn oder eHighway. In Tagungsband der 37. Horber Schienentage 2019; demnächst abrufbar unter www.schienenfaehre.de
- BZE (2017): Beyond Zero Emissions: Rethinking Cement summary. Gelesen am 12.10.2019 in: https://bze.org.au/wp-content/uploads/rethinking-cement-bze-report-summary-2017.pdf
- Carbonbrief.org (2017): Mapped - The world's largest CO2 importers and exporters. Gelesen am 12.03.2020 in: https://www.carbonbrief.org/mapped-worlds-largest-co2-importers-exporters
- Carstensen (2018), Werner: Verbesserung der Energieeffizienz bei der Zementherstellung im Holcim-Werk in Lägerdorf. Gelesen am 11.3.2020 in: https://www.ifu.com/fileadmin/user_upload/ifu/Events/Ressourceneffizienz-Treff/2018/Energieeffizienz_Zementherstellung_Holcim_Deutschland.pdf
- Civity (2019) Management Consultants:, Das beste Angebot ist nicht der Preis. Gelesen am in: https://civity.de/de/matters/das-beste-angebot-ist-nicht-der-preis/
- co2online.de (2019): 5. BMU Fachtagung „Klimaschutz durch Abwärmenutzung". Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.co2online.de/service/news/beitrag/5-bmu-fachtagung-klimaschutz-durch-abwaermenutzung-18739/
- De Graf (2018), Daniel: Umweltfreundliche Klimatisierung im Rechenzentrum. Gelesen am 05.10.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/2018-08-29_eco_upgrade_de_graaf_klimatisierung.pdf

- Dechema (2019): FutureCamp Climate GmbH: Roadmap Chemie 2050. Gelesen am 17.11.2019 in: https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/2019_Studie_Roadmap_Chemie_2050-p-20005590.PDF
- Deloitte (2019): Urbane Mobilität und autonomes Fahren im Jahr 2035. Gelesen am 21.2.20 in: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/datenland-deutschland-autonomes-fahren.pdf
- DENA (2016): DENA-Gebäudereport – Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Gelesen am 21.02.2020 in: https://www.dena.de/fileadmin/user_upload/8162_dena-Gebaeudereport.pdf
- DENA (2018): DENA Leitstudie. Integrierte Energiewende. Gelesen am 08.03.3030 in: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9262_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_Ergebnisbericht.pdf
- DENA (2018/2): Power to X: Technologien. Gelesen am 14.03.2020 in: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/607/9264_Power_to_X_Technologien.pdf
- Destatis (2019/1): Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Direkte und indirekte CO2-Emissionen in Deutschland 2010-2015. Gelesen am 13.03.2020 in: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Materialfluesse-Energiefluesse/Publikationen/Downloads-Material-und-Energiefluesse/co2-emissionen-pdf-5851305.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Destatis (2019/2): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Flächenbelegung von Ernährungsgütern 2010-2017. Gelesen am 13.03.2020 in: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Publikationen/Querschnitt-Sonstiges/fachbericht-flaechenbelegung-pdf-5385101.pdf?__blob=publicationFile
- DIW (2018): Wärmemonitor 2017. DIW Wochenbericht 2018 – 39. Gelesen am 23.02.2020 in: https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.598873.de/18-39.pdf
- DLR (2016), BMVI (Auftraggeber): Verkehrsverlagerungspotenzial auf den Schienengüterverkehr in Deutschland. Gelesen am 27.09.2019 in: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/MKS/studie-verkehrsverlagerungspotenzial-schienengueterverkehr.pdf?__blob=publicationFile
- Dörner (2016), Fuest; Trentmann (Welt): Nach diesem Handyrohstoff buddeln Kinder metertief. Gelesen am 18.11.19 in: https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article151650363/Nach-diesem-Handyrohstoff-buddeln-Kinder-metertief.html
- Dürfeld (2018), Kai: Wie stark steigt der Meeresspiegel. Gelesen am 18.2.2020 in: https://www.helmholtz.de/erde_und_umwelt/wie-stark-steigt-der-meeresspiegel/
- Edenhofer (2019), O.; Flachsland, C.; Kalkuhl, M.; Knopf, B.; Pahle, M. (2019): Optionen für eine CO2-Preisreform, 1–106. Gelesen am 14.10.2019 in: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/Arbeitspapiere/Arbeitspapier_04_2019.pdf
- EMN (2018), Energie Manufaktur Nord PartG; Bielenberg, Peter. Gelesen am 23.03.2020 in: https://www.ib-sh.de/fileadmin/user_upload/downloads/energieagentur/eki/eki_vortrag_ff11_08_abwaermenutzung_aus_druckerei_emn.pdf

- Energieagentur NRW (2018): Doppelte Ernte mit Agrophotovoltaik. Gelesen am 22.11.2019 in:https://www.energieagentur.nrw/blogs/erneuerbare/beitraege/doppelte-ernte-agrophotovoltaik-anlage-liefert-positive-bilanz/
- EPA (2019), United States Environmental Protection Agency: Global Greenhouse Gas Emissions Data. Gelesen am 12.8.2019 in: https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data
- ESRL (2020): Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/monthly.html
- Europäische Kommission (2011): Weißbuch zum Verkehr - Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem. Gelesen am 24.09.2019 in: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_de.pdf
- European Commission (2020): Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries, 2019 report. Gelesen am 13.3.2020 in: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=booklet2019&dst=GHGpc&sort=des9
- Europol (2015): Exploring Tomorrow's Organised Crime. Gelesen am 18.11.19 in: https://www.europol.europa.eu/sites/default/files/documents/Europol_OrgCrimeReport_web-final.pdf
- Fell (2019), Hans-Joseph; Traber, Thure: Sektorale Treibhausgasemissionen weltweit. Gelesen am 19.02.2020 in: https://docplayer.org/156509203-Sektorale-treibhausgasemissionen-weltweit.html
- Fink (2020), Larry; Blackrock: A Fundamental Reshaping of Finance. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/larry-fink-ceo-letter
- FNR (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen (Status quo in Deutschland). Gelesen am 14.03.2020 in: https://mediathek.fnr.de/downloadable/download/sample/sample_id/1251/
- FNR (2018): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Gelesen am 6.7.2020 in: https://fnr.de/fileadmin/fnr/pdf/mediathek/22004416.pdf
- FNR (2019): Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe. Gelesen am 15.7.2020 in: https://mediathek.fnr.de/anbauflache-fur-nachwachsende-rohstoffe.html
- FNR (2020): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Gelesen am 15.7.2020 in: https://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf
- Forschungsgruppe Wahlen (2020): Politikbarometer – Langzeitentwicklung – Themen im Überblick – Politik II. Gelesen am 6.2.2020 in: https://www.forschungsgruppe.de/Umfragen/Politbarometer/Langzeitentwicklung_-_Themen_im_Ueberblick/Politik_II/
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (2020): Welche strombasierten Kraftstoffe sind im zukünftigen Energiesystem relevant? Gelesen am 18.2.20 in: https://www.ffe.de/publikationen/veroeffentlichungen/863-welche-strombasierten-kraftstoffe-sind-im-zukuenftigen-energiesystem-relevant

- Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft GmbH (2020): CO2-Verminderung im Papiergewerbe. Gelesen am 11.3.2020 in: https://www.ffegmbh.de/images/stories/veroeffentlichungen/720_Energiewende_in_der_Industrie/CO2-Verminderung_im_Papiergewerbe.pdf
- FÖS (2019), Zerzawy, F.; Fiedler, S.: Lenkungs- und Verteilungswirkungen einer klimaschutzorientierten Reform der Energiesteuern. Gelesen am 13.3.2020 in: http://www.foes.de/pdf/2019-07-FOES_CO2Preis_Hintergrundpapier_BMU.pdf
- Fraunhofer CML (2015), Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen: Bedarfsanalyse LNG in Brunsbüttel. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/I/industriepolitik/Downloads/bedarfsanalyse_LNG.html
- Fraunhofer IAO (2019), Braun, Steffen u.a.: Autonomes Fahren im Kontext der Stadt von morgen [AFKOS]. Gelesen am 21.2.20 in: http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5436689.pdf
- Fraunhofer ISE (2013): Energiesystem Deutschland 2050. Gelesen am 14.03.2020 in: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE_Energiesystem-Deutschland-2050.pdf
- Fraunhofer ISE (2018): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf
- Fraunhofer ISE (2019): Photovoltaics report. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf
- Fraunhofer ISE. (2020): Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2019. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/news/2019/Stromerzeugung_2019_2.pdf
- Fraunhofer ISI (2013): Industrielle Abwärmenutzung. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/Kurzstudie_Abwaermenutzung.pdf
- Fraunhofer ISI (2017), Mader, S., Fraunhofer IML, PTV Group, M Five, TUHH: Machbarkeitsstudie zur Ermittlung der Potentiale des Hybrid-Oberleitungs-LKW. Gelesen am 5.2.2020 in: https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21906.86725
- Fraunhofer ISI (2020): Integrierte Klimaschutz- und Energiewendeszenarien für Schleswig-Holstein 2030-2050. Gelesen am 14.03.2020 in: http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5787050.pdf
- Fraunhofer IWES (2014): Geschäftsmodell Energiewende. Gelesen am 8.10.2019 in: https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschungsthemen/energie/Studie_Energiewende_Fraunhofer-IWES_20140-01-21.pdf
- Fraunhofer IWES (2015) u.a.: Klimaschutzziele nur mit Wärme durch Strom aus erneuerbaren Energien erreichbar. Pressemitteilung. Gelesen am 29.11.2019 in: https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Presseinformationen/2015/PI_Strom_W%C3%A4rme_Interaktion_20150504.pdf
- FVEE (2014), ForschungsVerbund Erneuerbare Energien: Regenerative Wärmequellen für Wärmenetze. Gelesen am 29.11.2019 in: http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2014/th2014_07_03.pdf

- Global Carbon Atlas (2020): Fossil Fuels Emissions. Gelesen am 13.3.2020 in: http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions
- Goetzberger (1981): Kartoffeln unter dem Kollektor, gelesen am 22.11.2019 in: http://www.agrophotovoltaik.de/
- GPF (2016); Martens, Jens; Seitz, Karolin; Herausgeber: Global Policy Forum, Rosa-Luxemburg-Stiftung – New York Office: Auf dem Weg zu globalen Unternehmensregeln. Gelesen am 4.11.19 in: http://www.rosalux-nyc.org/wp-content/files_mf/globale_unternehmensregeln_online.pdf
- Hanke (2019), Steven: Finanzierungsmodell für klimaneutrale Industrie. In Tagesspiegel Background, 28.11.2019, gelesen am 13.3.2020 in: https://background.tagesspiegel.de/energie-klima/finanzierungsmodell-fuer-klimaneutrale-industrie
- Healthcare Without Harm Europe (2018): Leitprinzipien aus einem Pilotprojekt: Wie wird mit dem CO2-Footprint in der europäischen Gesundheitsversorgung begonnen? Gelesen am 11.3.2020 in: https://noharm-europe.org/sites/default/files/documents-files/5409/Leitprinzipien_aus_einem_Pilot_projekt_EUKI.pdf
- HeidelbergCement (2019/1): Auf eine saubere Zukunft bauen. Gelesen am 17.11.2019 in: https://www.heidelbergcement.de/de/zement/umwelt-oekologie
- HeidelbergCement (2019/2): HeidelbergCement und die RWTH Aachen forschen zur Bindung von CO2 in Mineralien. Information vom 29. Juni 2017. Gelesen am 23.02.2020 in: https://www.heidelbergcement.com/de/pi-29-06-2017
- Heinrich-Böll-Stiftung (2019/1): Plastikatlas. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.boell.de/sites/default/files/2019-11/Plastikatlas_2019_3._Auflage.pdf
- Heinrich-Böll-Stiftung (2019/2), VCD: Mobilitätsatlas – Daten und Fakten für die Verkehrswende. Gelesen am 23.02.2020 in: https://www.boell.de/sites/default/files/2019-11/mobilitaetsatlas.pdf?dimension1=ds_mobilitaetsatlas
- Henger (2017), Ralph M.; Runst, Petrik; Voigtländer, M. R.: Energiewende im Gebäudesektor: Handlungsempfehlungen für mehr Investitionen in den Klimaschutz. Gelesen am 23.02.2020 in: http://hdl.handle.net/10419/172681%0A
- Hertwich (2018), Edgar; Wood, Richard: The growing importance of scope 3 greenhouse gas emissions from industry. Gelesen am 12.03.2020 in: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aae19a/pdf
- Holcim (2018/1): Umweltdaten 2018. Gelesen am 11.3.2020 in: https://www.holcim.de/de/holcim-publiziert-umweltdaten-2018-im-internet
- Holcim (2018/2): Nachhaltigkeitsbereich 2018. Gelesen am 11.3.2020 in: https://www.holcim.de/de/nachhaltigkeitsbericht
- ICCT (2020), International Counsel on Clean Transportation; Pavlenko, Nikita; Comer, Bryan; Zhou, Yuanrong; Clark, Nigel; Rutherford, Dan: The climate implications of using LNG as a marine fuel. Gelesen am 11.2.2020 in: https://theicct.org/sites/default/files/publications/Climate_implications_LNG_marinefuel_01282020.pdf

- IFEU (2017), adelphi, ecofys, pwc, Agentur für Erneuerbare Energien, dena: Wärmenetzsysteme 4.0 Endbericht. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/W%C3%A4rmenetze-4.0-Endbericht-final.pdf
- IFEU (2019/1) Institut für Energie- und Umweltforschung); Fritz, Sara; Pehnt, Martin: Der Kohleausstieg und die Auswirkungen auf die betroffenen Wärmenetze. Gelesen am 5.2.2020 in: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/190820_Kohleausstieg_und_Fernwaerme_Bericht_v06.pdf
- IFEU (2019/2), Auftraggeber BUND: Sozialer Klimaschutz in Mietwohnungen. Gelesen am 5.12.2019 in: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Kurzstudie_BUND_ifeu_2019_Sozialer-Klimaschutz-in-Mietwohnungen.pdf
- IFEU (2019/3) u.a. GEF, indev, & geomer. EnEff : Wärme - netzgebundene Nutzung industrieller Abwärme (NENIA). Kombinierte räumlich-zeitliche Modellierung von Wärmebedarf und Abwärmeangebot in Deutschland. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Schlussbericht_EnEffWärme-NENIA.pdf
- IHK Schleswig-Holstein 2020: Chemische Industrie. Gelesen am 14.03.2020 in: https://www.ihk-schleswig-holstein.de/news/sh-2030/4-wirtschaftliche-basis/4-11-chemische-industrie-1360538
- Institut für nachhaltige Wirtschaft und Logistik (2018): Potenzialanalyse Methanol als emissionsneutraler Energieträger für Schifffahrt und Energiewirtschaft. Gelesen am 19.2.20 in: https://www.maritimes-cluster.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Studie-Potenzialanalyse-Methanol-Schifffahrt-2018.pdf
- IPCC (2014): Climate Change 2014 Synthesis Report. Gelesen am 19.02.2020 in: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf
- IPCC (2018): Special Report Global Warming of 1.5ºC. Gelesen am 19.02.2020 in: https://www.ipcc.ch/sr15/
- ISV (2018), Universität Stuttgart; Friedrich, Markus u. a.; (Auftraggeber: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V u. a.): MEGAFON - Modellergebnisse geteilter autonomer Fahrzeugflotten des oeffentlichen Nahverkehrs. Gelesen am 11.2.20 in: https://www.ptvgroup.com/de/mobilitynext/public/media/PDF/MEGAFON_Abschlussbericht.pdf
- IWR (2020), Int. Wirtschaftsforum Regenerative Energien: Forscher steigern Wirkungsgrad von Power-to-Gas Anlagen kräftig. Gelesen am 5.2.2020 in: (https://www.iwr.de/news.php?id=35044)
- KE-CONSULT (2018); Esser, Klaus u.a.; Auftraggeber: Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V. (DIHK): Autonomes Fahren - Aktueller Stand, Potentiale und Auswirkungsanalyse. Gelesen am 21.2.20 in: https://www.dihk.de/resource/blob/3924/b1d16ab3418ee25133fe2efdfa04c832/studie-autonomes-fahren-data.pdf
- Klepper (2019), Gernot; Thrän, Daniela: Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Gelesen am 5.2.2020 in: https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2019/02/ESYS_Analyse_Biomasse.pdf

- Knitterscheidt (2019), Kevin: Was Salzgitter vom Start in eine CO2-arme Stahlproduktion abhält. Gelesen am 05.102019 in: https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/stahlhersteller-was-salzgitter-vom-start-in-eine-co2-arme-stahlproduktion-abhaelt/24946074.html?ticket=ST-43832665-A4lf1fBdEHEtO5emVAfp-ap4-(14)
- Kreis Schleswig-Flensburg (2020): Integriertes Umweltprogramm. Gelesen am 13.3.2020: https://www.schleswig-flensburg.de/media/custom/2120_2410_1.PDF?1522833342
- Kulp, S. A.; Strauss, B. H. (2019): New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. In Nature Communications 10 (1), gelesen am 13.3.2020: https://doi.org/10.1038/s41467-019-12808-z
- Landesamt für Landwirtschaft Umwelt und ländliche Räume (2015): Moore in Schleswig-Holstein. Geschichte – Bedeutung – Schutz. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/moore/moorbroschuere.pdf
- Landesamt für Landwirtschaft Umwelt und ländliche Räume (2019): Genehmigungsbedürftige Windkraftanlagen in Schleswig-Holstein. Gelesen am 13.3.2020 in: https://ee-sh.de/de/dokumente/content/Berichte_Studien/2019-WKA_Tabelle.pdf
- Länderinitiative Kernindikatoren (2020): C3 – Verkehrsleistung. Gelesen am 11.2.20 in: https://www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?mode=indi&indikator=5#grafik
- Landtag Schleswig-Holstein (2009): Bericht der Landesregierung – Klimaschutzbericht 2009. Drucksache 16/2743
- Landtag Schleswig-Holstein (2011): Bericht der Landesregierung, Moorschutzprogramm für Schleswig-Holstein. Drucksache 16/2272
- Landtag Schleswig-Holstein (2018): Bericht der Landesregierung, Energiewende und Klimaschutz Schleswig-Holstein, Ziele, Maßnahmen und Monitoring 2018. Drucksache 19/818
- Lanier (2013), Jaron: Wem gehört die Zukunft? – Du bist nicht der Kunde der Internetkonzerne. Du bist Ihr Produkt. Hoffmann und Campe 2014 (englische Ausgabe: Who Owns the Future? – Simon & Schuster, New York 2013)
- Lieferkettengesetz (2019): Initiative Lieferkettengesetz. Gelesen am 18.11.2019 in: https://lieferkettengesetz.de/
- LiKi (2019), Länderinitiative Kernindikatoren: C3 – Verkehrsleistung. Gelesen am 19.12.19 in: https://www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?liki=C3
- LUT (2019/1), Lappeenranta University of Technology; Energy Watch Group (Auftraggeber): Global Energy System based on 100% Renewable Energy – Power, Heat, Transport, Desalination Sectors. Gelesen am 19.02.2020 in: http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf
- Maritimes Cluster Norddeutschland (2019): Methanol 3.0: Grüne Wertschöpfungsketten als Chance für eine nachhaltigere Schifffahrt. Gelesen am 19.2.20 in: https://www.maritimes-cluster.de/news/aktuelles/methanol-30-gruene-wertschoepfungsketten-als-chance-fuer-eine-nachhaltigere-schifffahrt/

- Matthes, Felix (2019), Tagesspiegel Background: Standpunkt – CO2-Preis jenseits der Leerformel. Gelesen am 14.8.2019 in: https://background.tagesspiegel.de/CO2-Preis-jenseits-der-Leerformel
- Mayr (2018): Photovoltaik in der Landwirtschaft. Gelesen am 23.02.2020 in: https://www.pvaustria.at/wp-content/uploads/Mayr_PV-in-der-LW.pdf
- Meadows (1972) u.a.: The Limits to Growth: A Report to The Club of Rome. Gelesen am 23.02.2020 in: http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf
- MELUND (2017): Anpassung an den Klimawandel. Fahrplan für Schleswig-Holstein. https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/K/klimaschutz/Downloads/Fahrplan.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- MELUND (2018): Bericht der Landesregierung. Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein - Ziele, Maßnahmen und Monitoring 2018. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.landtag.ltsh.de/infothek/wahl19/drucks/00800/drucksache-19-00818.pdf
- MELUND (2019/1): Energiebilanz und CO2 -Bilanzen für Schleswig-Holstein 2017. Gelesen am 13.3.2020: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Sonderver%C3%B6ffentlichungen/Energie-_und_CO2-Bilanz_Schleswig-Holstein/EB_CO2_SH_2017.pdf
- MELUND (2019/2): Energiewende und Klimaschutz in Schleswig-Holstein - Ziele, Maßnahmen und Monitoring 2019. Gelesen am 13.3.2020: https://www.landtag.ltsh.de/infothek/wahl19/drucks/01500/drucksache-19-01512.pdf
- MELUND (2019/3): Tabellen und Abbildungen zum Energiewende und Klimaschutzbericht der Landesregierung. Drucksache 19/1512. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Schwerpunkte/Energiewende/Daten/pdf/Monitoringbericht2019.pdf?__blob=publicationFile&v=11
- MELUND (2019/4): Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein auch im Vergleich zum Bundesdurchschnitt. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.topagrar.com/dl/3/2/8/1/6/1/4/1901-31_THG_Landwi_Kurzfassung_endg.pdf
- MELUND (2019/5): Bericht zum Engpassmanagement in Schleswig-Holstein. Gelesen am 14.03.2020 in: https://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/E/erneuerbareenergien/Bericht_Einspeisemanagement.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- Mikrozensus (2018): Statistische Ämter des Bundes und der Länder. Wohnen in Deutschland - Ergebnisse aus dem Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018. Gelesen am 08.03.2020 in: https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/wohnen-deutschland
- Munich Re (2020): Klimawandel – eine der größten Herausforderungen für die Menschheit – unsere Antworten. Gelesen am 06.03.2020 in: https://www.munichre.com/de/risiken/klimawandel-eine-herausforderung-fuer-die-menschheit.html
- Nah.SH (2019): Neue Triebwagen für SH: Vertrag unterzeichnet. Gelesen am 20.2.20 in: https://www.nah.sh/de/themen/neuigkeiten/vertrag-ueber-die-lieferung-neuer-triebwagen-unterzeichnet/

- Nature Communications (2018); Lawrence, M. G.; Schäfer, S.; Muri, H.; Scott, V.; Oschlies, A.; Vaughan, N. E.; Boucher, O.: Evaluating climate geoengineering proposals in the context of the Paris Agreement temperature goals. Gelesen am 13.3.2020 in: https://doi.org/10.1038/s41467-018-05938-3
- NDR (2019): Wedel: Kohlekraftwerk bleibt länger am Netz. Abgerufen am 13.01.2020 https://www.ndr.de/nachrichten/schleswig-holstein/Wedel-Kohlekraftwerk-bleibt-laenger-am-Netz,wedel416.html
- Nerem (2018), R. S.; Beckley, B. D.; Fasullo, J. T.; Hamlington, B. D.; Masters, D.; Mitchum, G. T. – in PNAS: Climate-change–driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, gelesen am 23.3.2020 in: https://doi.org/10.1073/pnas.1717312115
- Netzwerkagentur Erneuerbare Energien (2020), EESH: Zwischen zwei Meeren - Schleswig-Holsteins spezialisierte maritime Branche. Gelesen 13.3.2020 in: https://ee-sh.de/de/windenergie-auf-see.php
- Netzwerkagentur Erneuerbare Energien Schleswig-Holstein (2019): Potentialstudie Wasserstoffwirtschaft. https://ee-sh.de/de/dokumente/content/Berichte_Studien/2019-09-06-Potentialstudie-H2-NF-Endfassung-L-Web.pdf
- NEW 4.0. (2020): NEW 4.0 - Norddeutsche EnergieWende. Gelesen am 13.01.2020 in: https://www.new4-0.de/
- NewClimate Institute (2019), Campact (Auftraggeber): 1,5°C: Was Deutschland tun muss. Gelesen am 12.9.2019 in: https://newclimate.org/2019/03/14/15c-was-deutschland-tun-muss/
- Nishibayashi (2019) - Yoshiaki Nishibayashi: Transition Metal-Dinitrogen Complexes: Preparation and Reactivity. Im Verlag Wiley-VCH, Tokio 2019
- Odenwald (2019), Michael (Fokus): Klimawandel – Gefährliche Kipp-Punkte: Das passiert, wenn wir das 1,5-Grad-Ziel nicht einhalten. Gelesen am 23.02.2020 in: https://www.focus.de/wissen/klima/klimawandel-das-passiert-wenn-wir-das-1-5-grad-ziel-nicht-einhalten_id_10779382.html
- Öko-Institut (2015), Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050 – Zusammenfassung des 2. Endberichts. Gelesen am 14.03.2020 in: http://www.oeko.de/oekodoc/2019/2014-604-de.pdf
- Öko-Institut (2016), Fraunhofer ISI, Irees: Sektorale Emissionspfade in Deutschland bis 2050 – Verkehr. Gelesen am 26.02.20 in: https://www.oeko.de/oekodoc/2595/2016-603-de.pdf
- Öko-Institut (2018), Oberleitungs-Lkw im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Straßengüterfernverkehr. Gelesen am 27.09.2019 in: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/StratON-O-Lkw-Technologievergleich-2018.pdf
- Öko-Institut (2019), im Auftrag der Klima-Allianz: Quantifizierung Massnahmenvorschläge 2030 Landwirtschaft. Gelesen am 23.02.2020 in: https://www.oeko.de/publikationen/p-details/quantifizierung-von-massnahmenvorschlaegen-der-deutschen-zivilgesellschaft-zu-thg-minderungspotenzia/

- Ørsted (2019): Ørsted and Covestro sign the world's largest offshore wind PPA. Gelesen am 14.3.2020 in: https://orsted.com/en/Media/Newsroom/News/2019/12/799146415974816
- Osterburg (2009) u.a: Erfassung, Bewertung und Minderung von THG-Emissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors. Gelesen am 23.02.2020 in: https://www.econstor.eu/bitstream/10419/39359/1/608950440.pdf
- Ritchie (2019), Hannah; Roser, Max: CO_2 and Greenhouse Gas Emissions. Gelesen am 02.03.2020 in: https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions#how-have-global-co2-emissions-changed-over-time
- PIK (2019), Potsdam Institute for Climate Impact Research: Tipping Elements - the Achilles Heels of the Earth System. Gelesen am 20.8.2019 in: https://www.pik-potsdam.de/services/infodesk/tipping-elements
- PNAS (2018): Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. Gelesen am 23.02.2020 in: https://www.pnas.org/content/115/33/8252
- Port of Kiel (2020): Umschlagsergebnisse. Gelesen am 18.2.20 in: https://www.portofkiel.com/statistik.html
- Prognos (2018/1); Altenburg, Sven u. a.; Auftraggeber: ADAC - Einführung von Automatisierungsfunktionen in der Pkw-Flotte. Gelesen am 21.2.20 in: https://www.adac.de/-/media/pdf/motorwelt/prognos_automatisierungsfunktionen.pdf?la=de-de&hash=4FE03D2842A22A8F900AE176AFCA6887
- Prognos (2018/2): Status und Perspektive flüssiger Energieträger in der Energiewende. Gelesen am 6.11.19. in: https://www.zukunftsheizen.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Prognos-Endbericht_Fluessige_Energietraeger_Web-final.pdf (Zusammenfassung unter: https://www.mew-verband.de/files/3515/4988/6756/180628_MEW_Zusammenfassung_Prognos-_Studie.pdf)
- Prognos (2018/3); Auftraggeber: BDI - Klimapfade für Deutschland. Gelesen am 14.03.2020 in: https://www.prognos.com/uploads/tx_atwpubdb/20180118_BDI_Studie_Klimapfade_fuer_Deutschland_01.pdf
- Quaschning (2016), Volker: Sektorkopplung durch die Energiewende. Gelesen am 14.8. 2019 in: https://www.volker-quaschning.de/publis/studien/sektorkopplung/Sektorkopplungsstudie.pdf
- Raffinerie Heide (2020); Wollschläger, Jürgen: Der Weg für „grünen“ Wasserstoff: Hoffnung oder Hype? Gelesen am 11.3.2020 in: https://www.heiderefinery.com/fileadmin/Presse/Pressemitteilungen/20200305_RHG_Blog3_H2_GE.pdf
- Rahmstorf (2019), Stefan: Wie viel CO2 kann Deutschland noch ausstoßen? In Spektrum.de Scilogs, gelesen am 12.8.2019 in: https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/wie-viel-co2-kann-deutschland-noch-ausstossen/
- Reallabor Westküste (2020): Sektorenkopplung komplett: Grüner Wasserstoff und Decarbonisierung im industriellen Maßstab. Gelesen am 11.3.2020 in: https://www.region-heide.de/projekte/reallabor-westkueste100.html

- Rifkin, Jeremy (2019): Der globale Green New Deal. Campus Verlag GmbH, Frankfurt a. M. 2019
- RND/dpa (2019): Wie SH seine Küsten vor dem Meer schützt. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.kn-online.de/Nachrichten/Schleswig-Holstein/Wie-Schleswig-Holstein-seine-Kuesten-vor-dem-Meer-schuetzt
- Salcos-Salzgitter-AG (2020): Salzgitter Low CO2 Steel Making. Gelesen am 18.02.2020 in: https://salcos.salzgitter-ag.com/
- Searise-Correctiv.org (2020): Steigende Meere. Gelesen am 13.3.2020 on: https://searise.correctiv.org/de/explore/stations/7
- Simonds (2019), Dave: Hybrid airliners could come to dominate the skies. In The Economist, 29.06.2019. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.economist.com/science-and-technology/2019/06/29/hybrid-airliners-could-come-to-dominate-the-skies
- SimplyScience (2020): Ab aufs Wasser: Schiffsmotoren. Gelesen am 19.2.20 in: https://m.simplyscience.ch/teens-liesnach-archiv/articles/ab-aufs-wasser-schiffsmotoren.html
- Srnicek (2016), Nick: Platform Capitalism. Wiley and Sons, Cambridge [Großbritannien] 2016
- SRU (2012): Schienengüterverkehr 2050 - Szenarien für einen nachhaltigen Güterverkehr. Gelesen am 27.09.2019 in: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/ 03_Materialien/2012_2016/2013_MzU_45_Schienengueterverkehr2050.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- SRU (2017): Umsteuern erforderlich – Klimaschutz im Verkehrssektor. Gelesen am 14.8.2019 in: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2016_2020/2017_11_SG_Klimaschutz_im_Verkehrssektor.pdf?__blob=publicationFile&v=26wnloads/DE/02_Sondergutachten/2016_2020/2017_11_SG_Klimaschutz_im_Verkehrssektor.pdf?__blob=publicationFile&v=26
- SRU (2019): Für die Umsetzung ambitionierter Klimapolitik und Klimaschutzmaßnahmen (Offener Brief an das Klimakabinett). Gelesen am 4.10.2019 in: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2016_2020/2019_09_Brief_Klimakabinett.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- Stadt Kiel (2020): Klimaschutz im Sektor Mobilität. Gelesen am 10.02.20 in https://www.kiel.de/de/umwelt_verkehr/klimaschutz/mobilitaet.php:
- Stadtwerke Flensburg (2019/1): Geschäftsbericht 2018. Gelesen am 13.1.2020 in: https://www.stadtwerke-flensburg.de/fileadmin/user_upload/pdf/geschaeftsberichte/swfl-geschaeftsbericht-2018.pdf
- Stadtwerke Flensburg (2019/2): Die 100 größten Unternehmen in Schleswig-Holstein – 2018. Gelesen am 11.3.2020 in: https://www.stadtwerke-flensburg.de/fileadmin/user_upload/pdf/Unternehmen/Die-100-groessten-Unternehmen-in-SH.pdf
- StaNo (2014): Nutzung der Bodenflächen in Schleswig-Holstein 2013. Gelesen am 6.7.2020 in: https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/gebiet-flaeche/gebietsgliederung-schleswig-holstein/dokumentenansicht/nutzung-der-bodenflaechen-in-schleswig-holstein-2013-57232

- StaNo. (2017). Energiebilanz und CO2 -Bilanzen für Hamburg 2017. Retrieved from https://www.statistik-nord.de/daten/verkehr-umwelt-und-energie/energie/dokumentenansicht/energie-und-co2-bilanzen-fuer-hamburg/
- StaNo (2018): Wohnungsbestand in Schleswig-Holstein 2017. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/industrie__handel_und_dienstl/F_II_4_j_S/F_II_4_j17_SH_korr.pdf
- StaNo (2019/1): Wohnungsbestand in Schleswig-Holstein 2018. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/industrie__handel_und_dienstl/F_II_4_j_S/F_II_4_j18_SH.pdf
- StaNo (2019/2): Statistisches Jahrbuch Schleswig-Holstein 2018/2019, Kapitel 5 Bauen und Wohnen. Gelesen am 08.03.2020 in: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Jahrb%C3%BCcher/Schleswig-Holstein/JB18SH_Gesamt_korr.pdf
- StaNo (2019/3): Landwirtschaftliche Bodennutzung in Schleswig-Holstein 2019. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Presseinformationen/SI19_101.pdf
- StaNo (2019/4): Stromerzeugung in Schleswig-Holstein 2018. Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Presseinformationen/SI19_165.pdf
- StaNo (2020/1): Transport, Verkehr. Gelesen am 11.2.20 in: https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/transport-verkehr/
- StaNo (2020/2), Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein: Statistische Berichte Kennziffer: C I 1 - j 19 SH – Die Bodennutzung in Schleswig-Holstein 2019, gelesen am 15.7.2020 in: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/landwirtschaft/C_I_1_j_S%2BC_IV_Teil1/C_I_1_j_19_SH_endg.pdf
- Stena Line (2020): Supergreen – So funktionierts. Gelesen am 18.2.20 in: https://www.stenaline.de/supergreen/so-funktionierts
- Stratmann (2020), Klaus: Gasnetzbetreiber legen Plan für deutschlandweites Wasserstoffnetz vor. In Handelsblatt 28.1.2020, gelesen a, 13.3.2020 in: https://app.handelsblatt.com/ politik/deutschland/energiewende-gasnetzbetreiber-legen-plan-fuer-deutschlandweites-wasserstoffnetz-vor/25476674.html?fbclid=IwAR1QYzxQt-gUtdRzncCEbD38jGpbNW8NPrXr8-aqOmtfKcCkzt3GtvpeK5c&ticket=ST-2956579-gVkdBpJxqem4TSFxyO9j-ap6
- Tagesspiegel (2019); Ehlerding, Susanne: Fossilfreie Stahlindustrie – Schweden setzt auf Stahl aus Wasserstoff. Gelesen am 18.2.2020 in: https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/fossilfreie-stahlindustrie-schweden-setzt-auf-stahl-aus-wasserstoff/24161892.html
- Technische Universität München (2016): Industrielle Abwärme in Deutschland. Gelesen am 13.3.2020 in: https://mediatum.ub.tum.de/doc/1310042/1310042.pdf
- Thünen (2013): Report 11, Handlungsoptionen für den Klimaschutz in Agrar- und Forstwirtschaft. Gelesen am 29.9.2019 in: http://www.holzundklima.de/docs/Osterburg-e-tal_2013_dn052858.pdf

- Thünen (2019): Report 71, Lebensmittelabfälle-Baseline 2015. Gelesen am 22.11.2019 in: https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_71.pdf
- Tingle (2019, Alex): Flood Map. Gelesen am 13.3.2020 in: http://flood.firetree.net/ (Interaktive Karte mit unterschiedlichen Meeresspiegeln)
- Traywick (2020), Catherine u. a.: Gas Exports Have a Dirty Secret: A Carbon Footprint Rivaling Coal's. Gelesen am 24.1.2020 in: https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-01-23/gas-exports-have-a-dirty-secret-a-carbon-footprint-rivaling-coal-s
- UBA (1999): Umweltauswirkungen von Geschwindigkeitsbeschränkungen. Gelesen am 22.10.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3136.pdf
- UBA (2010): CO2-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland. Gelesen am 30.09.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3773.pdf
- UBA (2012): Klimawirksamkeit des Flugverkehrs. Gelesen am 20.9.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/klimawirksamkeit_des_flugverkehrs.pdf
- UBA (2013/1): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Gelesen am 5.10.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/treibhausgasneutrales_deutschland_im_jahr_2050_langfassung.pdf
- UBA (2013/2): Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen. Gelesen am 5.2.2020 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/globale_landflaechen_und_biomasse_kurz_deutsch_bf.pdf
- UBA (2014): Der Weg zum klimaneutralen Gebäudebestand. Gelesen am 21.02.2020 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hgp_gebaeudesanierung_final_04.11.2014.pdf
- UBA (2014/2): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. Retrieved from https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/treibhausgasneutrales_deutschland_im_jahr_2050_langfassung.pdf
- UBA (2016): Umweltschädliche Subventionen in Deutschland 2016. Gelesen am 24.09.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uba_fachbroschuere_umweltschaedliche-subventionen_bf.pdf
- UBA (2017): Klimaschutz im Verkehr – Neuer Handlungsbedarf nach dem Pariser Klimaschutzabkommen. Gelesen am 02.10.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-07-18_texte_45-2017_paris-papier-verkehr_v2.pdf
- UBA (2018/1): Mit Suffizienz mehr Klimaschutz modellieren. Gelesen am 3.10.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_texte_55_2018_zwischenbericht_mit_suffizienz_mehr_klimaschutz_modellieren.pdfUBA (2014/6): Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäu-

deklimatisierung und Industrie. Gelesen am 05.10.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_25_2014_nachhaltige_kaelteversorgung_in_deutschland_1.pdf

- UBA (2018/2): Geht doch! Grundzüge einer bundesweiten Fußverkehrsstrategie. Gelesen am 27.09.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-12-19_texte_75-2018_geht-doch_v5.pdf
- UBA (2018/3): Energieerzeugung aus Abfällen. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-06-26_texte_51-2018_energieerzeugung-abfaelle.pdf
- UBA (2019/1): THG-Emissionen. Gelesen am 4.11. 2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen
- UBA (2019/2): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. Gelesen am 18.11.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf
- UBA (2019/3): Rohstoffnutzung und ihre Folgen. Gelesen am 5.11.19 in: https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/rohstoffe-als-ressource/rohstoffnutzung-ihre-folgen
- UBA (2019/4): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Gelesen am 26.11.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf
- UBA (2019/5): Emissionen fluorierter Treibhausgase. Gelesen am 05.10.2019 in: https://www.kaeltemittel-info.de/informationen/allgemeine-informationen/emissionen-fluorierter-treibhausgase/
- UBA (2019/6): Projekt-Flyer Ressourceneffizienzsteigerung in der Metallindustrie – Analyse, Bewertung und Verminderung von downcycling (DownMet). Gelesen am 19.10.2019 in: https://www.resource-lab.de/documents/Flyer_Downmet_DEU.pdf:
- UBA (2019/7): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Gelesen am 12.8.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#textpart-1
- UBA (2019/8): Emissionshandelspflichtige Anlagen in Deutschland 2018 (Stand 02.05.2019). Gelesen am 13.3.2020 in: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/anlagenlisten/2018.pdf;jsessionid=F5C0BCB82AF29EE5607DEF35748855DD.1_cid284?__blob=publicationFile&v=2
- UBA (2019/9): Sensitivitäten zur Bewertung der Kosten verschiedener Energieversorgungsoptionen des Verkehrs bis zum Jahr 2050. Gelesen am 20.10.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-19_texte_114-2019_energieversorgung-verkehr.pdf

- UBA (2019/10): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. Gelesen am 23.10.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas
- UBA (2019/11): Emissionen der Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft. Gelesen am 30.9.2019 in: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-landnutzung-aenderung
- UBA (2019/12): Klimabilanz 2018. Gelesen am 28.02.2020 in: https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/klimabilanz-2018-45-prozent-weniger
- UFZ (2016), Helmholtz Zentrum für Umweltforschung. Thrän, Daniela: Potenzial der energetischen Biomassenutzung in Deutschland – Einleitung – die weltweite Situation. Gelesen am 5.2.2020 in: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/strom-2030-trend-8-praesentation-biomasse-potential-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- UNO (2020): Helping governments and stakeholders make the SDGs a reality. Gelesen am 6.3.2020 in: https://sustainabledevelopment.un.org/
- Unfolded (2019): Ausgezeichnete CO2-Bilanz von Kartonverpackungen durch neue Studie belegt. Gelesen am 11.3.2020 in: https://www.mm-karton.com/news-unfolded/2019/3/ausgezeichnete-co2-bilanz-von-kartonverpackungen-durch-neue-studie-belegt/
- VDZ (2019): Recycling von Beton. Gelesen am 21.11.2019 in: https://www.vdz-online.de/zementindustrie/nachhaltigkeit/recycling-von-beton/
- Wieczorek (2019), Niklas; Blasel, Kristian: Ziel für Stadtbahn ist 2030. Gelesen am 7.2.2020 in: https://www.kn-online.de/Kiel/Projektleiter-Christoph-Karius-im-Interview-Ziel-fuer-Stadtbahn-ist-2030
- Wochenspiegel (2018): Verkehrswende für Lübeck? Gelesen am 20.2.20 in: https://www.wochenspiegel-online.de/index.php/2018/03/06/verkehrswende-fuer-luebeck/
- Wolff (2020), Reinhard: Auf der Suche nach einem grünen Treibstoff. In Tageszeitung, 7.2.2020. Gelesen am 23.02.2020 in: https://taz.de/Neuer-Treibstoff-fuer-Schiffe/!5662280&s=Auf+der+Suche+nach+einem+gr%C3%BCnen+Treibstoff/
- World Bank Group (2019): Total greenhouse gas emissions. Gelesen am 14.8.2019 in: https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.GHGT.KT.CE
- WRI (2017), World Resource Institute: Climate Science, Explained in 10 Graphics. Gelesen am 14.8.2019 in: https://www.wri.org/blog/2017/04/climate-science-explained-10-graphics
- Wuppertal Institut (2014), Auftraggeber BMWi: KRESSE - Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems. Gelesen am 18.11.19 in: https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/5419/file/5419_KRESSE.pdf
- Wuppertal Institut (2017), Greenpeace (Auftraggeber): Verkehrswende für Deutschland - Der Weg zu CO2-freier Mobilität bis 2035. Gelesen am 13.9.2019 in: www.wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/Mobilitaetsszenario_2035_Langfassung.pdf

- WWF (2015): Das große Wegschmeißen. Gelesen am 22.11.2019 in: https://www.wwf.de/2015/juni/das-grosse-wegschmeissen/
- WWF (2019): Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie. Hintergrund und Handlungsoptionen. Gelesen am 14.10.2019 in: https://mobil.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Klimaschutz_in_der_Beton-_und_Zementindustrie_WEB.pdf
- VDA (2017): E-Fuels sind notwendig, um EU-Klimaschutzziele des Verkehrssektors zu erreichen. Gelesen am 17.10.2019 in: https://www.vda.de/de/presse/Pressemeldungen/20171108-e-fuels-sind-notwendig-um-eu-klimaschutzziele-des-verkehrssektors-zu-erreichen.html
- VDV (2019): Statistik 2018. Gelesen am 11.2.20 in: https://www.vdv.de/vdv-statistik-2018.pdfx
- Zutz (2019), M.; Reinsch, T.; Kunz, H.-J.; Taube, F.: Carbon-Footprint der Rindermast in Schleswig-Holstein. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau, Christian-Albrechts-Universität Kiel, gelesen am 14.3.2020 in: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2019_zutz_et_al.pdf