

DEUTSCHLAND CO₂ - FREI ?

Daten und Fakten zur “Klimawende”

10. Auflage mit Ergänzungen

Thomas Maetzel

14.12.2025

Der Autor



- Thomas Maetzel (69) blickt als Diplomingenieur für Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen auf 40 wechselvolle Berufsjahre zurück, in denen er überwiegend im Maschinen- und Anlagenbau an der Schnittstelle zwischen Technik und Betriebswirtschaft tätig war.
- Aus früheren Positionen als Manager in der Industrie sowie aus vielen Beratungsprojekten ist er aus der praktischen Perspektive eines Ingenieurs vertraut mit fast allen Bereichen der heutigen Energiewirtschaft und ihrer ökologischen Alternativen.
- Unter anderem hat er Bauprojekte in der Windenergie und in der Solartechnik geleitet und war für Unternehmen im Bereich Elektroanlagenbau und Stromverteilung verantwortlich.
- Er betreut verschiedene Startups im Bereich Wasserstoff und CO₂ - Separierung an der TU München
- **Kontakt: 0171 6042900 oder tmaetzel@t-online.de**
- **Diese Studie ist ausschließlich in privater Eigeninitiative entstanden**

Zusammenfassung

- Politisch ist das Ziel gesetzt, bis 2045 die aktuell in 2019 ca. 810 Mio. Tonnen CO₂ - Emission pro Jahr in Deutschland vollständig zu vermeiden.
- Hierzu ist es erforderlich, vor allem die heute in den Bereichen Verkehr, Gebäude, Industrie und Stromerzeugung eingesetzten fossilen Brennstoffe durch CO₂ - freie Energie zu ersetzen und deren Verbrauch zu reduzieren.
- Für den Ersatz fossiler Brennstoffe gibt es bereits erprobte Technologien, die allerdings fast vollständig darauf beruhen, dass zu ihrer Anwendung zunächst erneuerbarer Strom in ausreichender Menge erzeugt wird.
- Vom heutigen Stromverbrauch in Höhe von ca. 550 TWh p.a. stammen ca. 60% aus erneuerbaren Quellen und 40% aus konventionellen fossilen Kraftwerken, diese sollen in den nächsten Jahren sukzessive stillgelegt werden.
- Für die vier oben genannten Bereiche wurden in dieser Studie jeweils CO₂ - freie, technische Alternativszenarien definiert, daraus errechnet sich für 2045 ein Bedarf an jährlichem Ökostrom von ca. 2.400 TWh insgesamt, d.h. die Zahl der Windenergieanlagen an Land in der üblichen Baugröße von 3,5 MW müsste z.B. rein rechnerisch künftig von 30.000 auf ca. 300.000 erhöht werden, um den notwendigen Strom erzeugen zu können.
- **Die bis 2045 zu erbringenden Gesamtinvestitionen in ökologische Energieerzeugung, Umwandlung z.B. in Wasserstoff (H₂), Synfuels (synthetisch erzeugte Kraftstoffe) Speicherung und Übertragung von Strom und Wasserstoff belaufen sich auf insgesamt ca. 8.000 Mrd. €, also ca. 340 Mrd. € p.a. bis 2045.**
- Weder Politik noch Bevölkerung sind sich heute noch auch nur ansatzweise darüber bewusst, welche Dimension an Maßnahmen, Investitionen und Kosten mit der politisch geplanten „Klimawende“ verbunden sind. Es werden nur begrenzte Einzelaspekte betrachtet.
- Durch die hohen, in künftigen Energiepreisen zu amortisierenden Investitionen und die Totalabschreibungen auf vorhandene und nicht mehr verwendbare Technik mit fossiler Basis wird die Volkswirtschaft bis 2045 und darüber hinaus extrem stark belastet und ein starker Wohlstandsverlust für die deutsche Bevölkerung hervorgerufen.
- **Ziel dieser Studie ist es, notwendigen Sachverstand bei Entscheidern zu vermitteln und zu verdeutlichen, dass wir als Bürger Deutschlands die „Klimawende“ nicht umsonst bekommen, sofern sie überhaupt technisch machbar und wirtschaftlich möglich ist.**

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. CO₂-Entstehung in der Welt
3. CO₂-Entstehung in Deutschland
4. Grundlagen der Energietechnik
5. Verfahren zur CO₂-neutralen Energieerzeugung
6. CO₂-Vermeidung im Bereich Verkehr
7. CO₂-Vermeidung im Bereich Gebäude
8. CO₂-Vermeidung im Bereich Industrie
9. CO₂-Vermeidung Im Bereich Energieerzeugung
10. Strombedarf und Investitionen
11. Schlussfolgerung

1. Einleitung

- Die aktuelle politische und gesellschaftliche Diskussion über mögliche Wege zum „Klimawandel“ lässt vielfach erkennen, dass physikalische und technische Werte, Kennzahlen und Zusammenhänge im Bereich der Möglichkeiten zur CO₂-Reduzierung nicht bekannt sind.
- Bisher werden oft nur einzelne, sehr begrenzte Teilaspekte für Maßnahmen zur CO₂-Vermeidung betrachtet, ein Überblick über das Gesamtbild fehlt. Damit wird die tatsächliche Dimension notwendiger Aktionen oft unterschätzt.
- Die folgenden Ausführungen sollen zunächst einen vollständigen Gesamtüberblick geben über die verschiedenen Aspekte und Parameter, die in der künftigen Strategie zur CO₂-Vermeidung eine Rolle spielen. Die dargestellten Annahmen, Erläuterungen und Daten stellen eine Momentaufnahme aus dem letzten „Normaljahr“ 2019 vor der Corona - Belastung dar.
- Alle Daten und Berechnungen basieren auf dem heutigen Zustand der Technologie und des Verbraucherverhaltens. Künftige zusätzliche Effekte zur CO₂-Reduzierung aus denkbaren starken Einschränkungen und Verhaltensänderungen der Bevölkerung sind unberücksichtigt.
- Sämtliche den Berechnungen zugrunde liegenden Werte sind allgemein zugänglichen Veröffentlichungen entnommen und basieren auf dem derzeitigen Entwicklungsstand, Effizienzsteigerungen aus künftiger technischer Entwicklung sind allerdings im Rahmen physikalischer Gesetze nur in begrenztem Rahmen denkbar.
- Es werden zu allen heutigen „CO₂-Quellen“ jeweils geeignete und verfügbare Methoden zur Energieerzeugung und -umwandlung angenommen, mit denen der CO₂-Ausstoß vermieden werden kann.
- **Insgesamt errechnen sich Werte für den künftigen Bedarf an erneuerbarer Elektroenergie sowie für die Vermeidung von CO₂ notwendige Investitionsbeträge für Verbraucher und Erzeugungsseite.**

2. CO2 - Entstehung in der Welt

- Allein 5 Länder erzeugen derzeit bereits 60% des weltweit pro Jahr freigesetzten Kohlendioxids CO2:

	%
China	31
USA	14
Indien	7
Russland	5
Japan	3
Summe top 5	60
Iran	2
Deutschland	2
Saudi Arabien	2
Korea	2
Rest der Welt	32

2. CO2 - Entstehung in der Welt

- Die hier aufgeführten Länder haben **pro Kopf** die größte CO2-Erzeugung:

	CO2 - Erzeugung pro Kopf p.a. in to in 2018	Wohlstandsnivea u BIP pro Kopf p.a. USD
Katar	31.72	63000
Arab. Emirate	19.99	39000
Australien	15.32	54000
Kanada	15.25	46000
USA	15.03	65000
Saudi Arabien	14.59	23000
Südkorea	11,74	32000
Russland	10.98	11000
Niederlande	8.76	53000
Japan	8.55	40000
Deutschland	8.40	46000
zum Vergleich:		
Mexiko	3.60	10000
Indonesien	2.03	4000
Brasilien	1.94	9000
Indien	1.71	2000

- Ein relativ hoher Wohlstand ist eindeutig vor allem über einen hohen Energieverbrauch mit einer höheren CO2-Erzeugung verbunden. Das politisch noch immer propagierte Ziel des weiteren Wirtschaftswachstums und der materiellen „Wohlstandsmehrung“ ist damit für das Ziel der CO2 - Reduzierung extrem kontraproduktiv.

2. CO₂ - Entstehung in der Welt

- Die allseits angestrebte Erhöhung des Wohlstandsniveaus in den “Nicht-Industrie-Ländern” mit weltweit 4-5 Mrd. Einwohnern wirkt einer globalen CO₂-Reduzierung stark entgegen.
- Bis 2045 kann die Weltbevölkerung mit der aktuellen Wachstumsrate um weitere ca. 2 Mrd. Menschen zunehmen. Alle diese Menschen werden zusätzliches CO₂ produzieren, weil sie ihren Wohlstand teilweise von extrem niedrigen Ausgangsniveau steigern wollen und dabei vor allem Energie verbrauchen werden.
- Nur als Beispiel: Burundi hat ein am Bruttoinlandsprodukt gemessenes Wohlstandsniveau von unter einem Prozent des deutschen. Die Menschen dort werden sich zunehmend Kühlschränke, Klimaanlage und Fahrzeuge als Verbrenner zulegen und haben dabei keine Mittel und keine Chance, irgendwie auf unsere anspruchsvollen CO₂ - Kriterien zu achten.
- Ein weltweit koordiniertes Vorgehen in der CO₂-Politik ist dringend erforderlich. Verfügbare Investitionsmittel zur CO₂-Reduzierung müssen global dort eingesetzt werden, wo sie die größte Wirkung auf den weltweiten CO₂ - Ausstoß erzielen, und nicht für „kosmetische“ Aktionen im reichen Industrieland mit geringem Effekt.
- Selbst wenn die reichen Industrieländer mit ihren ca. 1,5 Mrd. Bürgern sich teure Maßnahmen zur CO₂-Vermeidung auf ihrem extrem hohen Wohlstandsniveau leisten können, sollten wir nicht erwarten, dass der Rest der Welt dies auch kann, denn CO₂-Vermeidung erfordert hohe Investitionen und hohe laufende Betriebskosten für die notwendigen Anlagen und ist kontraproduktiv für das Wohlstandswachstum eines Landes, insbesondere ausgehend von einem niedrigen Niveau.

3. CO2 - Entstehung in Deutschland

- **2019 fielen in Deutschland ca. 810 Mio. Tonnen CO2 an mit der folgenden Verteilung auf die verschiedenen Verursachungsbereiche:**

1.0 Verkehr	160 Mio. t	20% Anteil
2.0 Gebäude	120 Mio. t	15%
3.0 Industrie	170 Mio. t	21%
4.0 Stromerzeugung	305 Mio. t	37%
5.0 Landwirtschaft	55 Mio. t	7%

- Die CO2-Emissionen in der Landwirtschaft entstehen zu 50% aus Verdauungsprozessen in der Tierhaltung und zu weiteren 50% aus Emissionen von Naturdünger und sonstigen biologischen Anwendungen. Dieses relativ kleine Segment wurde aus dieser Analyse ausgenommen, da es im Gegensatz zu den anderen oben genannten Bereichen nicht durch geänderte Technologien zur Energieerzeugung und Umwandlung beeinflusst werden kann, sondern überwiegend durch Verhaltensänderungen und Reduzierung der Intensität der Landwirtschaft.
- Ziel der aktuellen Regierung ist es, die CO2-Entstehung in Deutschland zum Schutz des Weltklimas bis 2045, also innerhalb der nächsten 21 Jahre, vollständig zu vermeiden.
- Hierzu wurde bereits beschlossen, in den nächsten Jahren sämtliche mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kohlekraftwerke stillzulegen - zusätzlich zu dem aus anderer Veranlassung erfolgten Ausstieg aus allen verbliebenen, CO2 - freien Kernkraftwerken.

4. Grundlagen der Energietechnik

- Das landes- und EU - weite Stromnetz muss bis auf sehr geringe Schwankungstoleranzen immer „im Gleichgewicht sein“, also die eingespeiste Strommenge (Leistung in KW) muss **jederzeit** genauso groß sein wie die zeitgleich verbrauchte Menge.
- Arbeit, gemessen in Kilowattstunden (KWh) und Leistung, gemessen in Kilowatt (KW), sind unterschiedliche physikalische Größen der Elektrotechnik und dürfen nicht verwechselt werden.
- Meldungen beispielsweise, dass die heutige Leistung erneuerbarer Stromproduktion die der konventionellen Kraftwerke überschreitet, sind zwar richtig, aber entscheidend ist die in einem Jahr abgelieferte Arbeit in KWh eines Stromerzeugers, also die erzeugte „Energienmenge“.
- Elektrische Leistung wird in Kilowatt-, Megawatt-, Gigawatt- und Terawatt gemessen, die entsprechenden Größen für die Arbeit sind Kilowattstunde (KWh), Megawattstunde (MWh), Gigawattstunde (GWh) und Terawattstunde (TWh).
- Der Faktor zwischen den Einheiten Kilo-, Mega-, Giga- und Tera- ist jeweils 1.000 bei Leistung und Arbeit.
- Bei jeder Umwandlung von Energie geht ein Anteil der eingesetzten Energiemenge verloren, der Wirkungsgrad bezeichnet in % den nach Umwandlung verbleibenden Anteil der eingesetzten Energie. Auch Energieübertragung verursacht Energieverluste.
- „Stromüberschuss“ aus erneuerbaren Quellen kann kurzzeitig entstehen, ist aber mit unter 1 TWh p.a. gemessen am heutigen Gesamtstromverbrauch von 500 TWh vernachlässigbar.
- Der Anteil aller Privathaushalte am heutigen Gesamtstromverbrauch von ca. 500 TWh liegt nur bei ca. 25%, dieses Segment wird in der Politik stark überbewertet, da für den Bürger sichtbar.

4. Grundlagen der Energietechnik

- Erneuerbare Stromerzeugung ist volatil, Erzeugungslücken und Überproduktion wechseln sich ab
- Elektrische Energie kann nur sehr schwer und fast nur in umgewandelter Energie - Form mit entsprechenden Verlusten gespeichert werden.
- Die Möglichkeiten zur direkten Speicherung von Strom in Batterien sind gemessen an den hohen und bei Umsetzung künftiger CO₂-Maßnahmen noch stark zunehmenden Verbrauchswerten sehr begrenzt und für das Gesamtnetz vernachlässigbar.
- Indirekte Speicherung in Form von durch Strom erzeugtem Wasserstoff oder durch die potenzielle Energie von Wasserspeichern verursacht hohe Umwandlungsverluste bezogen auf den ursprünglichen Stromeinsatz. Vorhandene Pumpwasserspeicher decken den heutigen durchschnittlichen Strombedarf nur für ca. 40 Minuten.
- Wasserstoff ("H₂") gilt als "CO₂-freundlicher" Energieträger, Wasserstoffherzeugung aus Strom und Wasser durch Elektrolyse zum Beispiel hat einen Wirkungsgrad von nur 70%, eine Rückumwandlung von Wasserstoff (H₂) in Strom in Brennstoffzelle oder Gasturbine ist wiederum mit hohen Wirkungsgradverlusten verbunden.
- Synthetisch erzeugte, CO₂-neutrale Kraftstoffe, sog. "Synfuels", sind geeigneter Ersatz für heutige Kraftstoffsorten auf Ölbasis und werden chemisch u.a. aus Wasserstoff und CO₂ erzeugt - allerdings erfordert auch dies sehr viel Energie in Form von Strom.
- Außerdem wird das bei der Verbrennung von Synfuels vorher zu ihrer Herstellung verwendete CO₂ wieder in die Luft freigesetzt, so dass CO₂ - Neutralität nur über eine Verwendungsstufe gegeben ist.

4. Grundlagen der Energietechnik

- Die kritische Größe der künftigen CO₂-Vermeidung ist die möglichst schnelle Schaffung ausreichender Kapazitäten für die Stromerzeugung aus “erneuerbaren” Quellen, für die schnellstmöglich auch die notwendige Akzeptanz zu schaffen ist.
- Ohne diese Voraussetzung können die nachgelagerten neuen Energieanwendungen zur CO₂-Vermeidung nicht eingeführt werden.
- Wasserstoffprojekte im Bereich Verkehr machen nur Sinn, wenn die erforderliche Kapazität an erneuerbarem Strom dafür gesichert ist.
- Die bereits installierte Kapazität an erneuerbarer Stromerzeugung in Höhe von ca. 275 TWh p.a. ist aber schon heute unzureichend zur Deckung der vielen “Ökostromangebote”.
- Da fast das gesamte Potenzial an erneuerbarer Stromerzeugung von “Wind und Wetter” bestimmt wird und damit nicht planbar ist, kann eine sichere Stromversorgung künftig nur durch ausreichend zu dimensionierende Speicherkapazitäten oder konventionelle “Reservekraftwerke” sichergestellt werden. Alle heute bekannten Speichermethoden decken nur einen kleinen Bruchteil der benötigten Kapazität ab. Zur Speicherung einer 14 - täglichen Unterbrechung der künftigen erneuerbaren Erzeugung von ca. 100 TWH würde man ca. 600 Millionen Tonnen Batterien benötigen.
- Die technisch beste und schon immer vom Risiko her vertretbare Stromerzeugung ist die durch Kernenergie, die CO₂ - frei ist. Insofern ist der Einsatz von Kernkraftwerken bei Ausfall der Erzeugung aus Wind- und Solartechnik oder zu deren Ergänzung sinnvoll und notwendig.

5. Verfahren zur CO₂ - neutralen Stromerzeugung

5.1 Windenergie

- Das schon seit Jahrtausenden bewährte Prinzip, Windströmungen zu nutzen und in mechanische Bewegung umzusetzen, stellt heute den weitaus größten Anteil an der erneuerbaren Stromerzeugung. Das Windrad treibt unmittelbar einen Generator zur Stromerzeugung.
- Zu schwacher und zu starker Wind begrenzen die Zeitspanne, in der Strom erzeugt werden kann. Windturbinen an Land („Onshore“) erzielen daher Normlaufzeiten von ca. 2.200 Stunden, auf See („Offshore“) liegt dieser Wert bei ca. 4.500 Stunden pro Jahr.
- Das Jahr hat insgesamt 8760 Stunden, damit steht die Erzeugungsleistung aus der ansonsten technisch wirkungsvollen Windkraft nur zu einem geringen Teil zur Verfügung.
- Es ist davon auszugehen, dass die Windenergie in Zukunft weiterhin die Hauptlast trägt beim Ausbau der Kapazitäten für Ökostrom.

5. Verfahren zur CO₂ - neutralen Stromerzeugung

5.2 Solarenergie - Photovoltaik

- Diese Methode zur Gewinnung von Strom ist die gebräuchlichste Form der direkten Stromgewinnung aus Sonnenstrahlen. Technisch einfach, da ohne bewegte Teile auskommend, können mit einer Kollektorfläche von ca. 6 qm bei idealen Strahlungsverhältnissen (u.a. 90° Einfallswinkel) 1 KW Leistung als Strom ins Netz gegeben werden.
- Nachteil ist die Tatsache, dass in Deutschland nur Strahlung vorhanden ist, die Normlaufzeiten von ca. 1000 Stunden p.a. für Solarkraftwerke ermöglicht, in denen Strom erzeugt werden kann. Damit liegt die Jahreserzeugung auf 6 qm Solarkollektorfläche bei 1.000 KWh.
- Zum Vergleich: In Südspanien und Nordafrika werden statt 1.000 ca. 2.200 Stunden erreicht - eigentlich macht es daher im Rahmen einer internationalen Strategie zur Erzeugung von Ökostrom zum Zwecke der globalen CO₂-Reduzierung wenig Sinn, diese Erzeugungstechnik in Deutschland und nicht an besseren internationalen Standorten zu subventionieren.
- Rechnerisch kann mit einer ideal ausgerichteten Kollektorfläche von ca. 20 qm der Jahresbedarf eines Normalhaushaltes von 4.000 KWh gedeckt werden, dies setzt wegen der großen Schwankungen der Sonneneinstrahlung - kurzfristig, aber vor allem zwischen Sommer und Winter - einen sehr großen Speicher voraus - oder einen öffentlichen Netzanschluss als Reserve.

5. Verfahren zur CO₂ - neutralen Stromerzeugung

5.2 Solarenergie - Photovoltaik

- Zum Vergleich: Um dieselbe Strommenge im Jahr von 7.700 MWh zu erzeugen wie ein Standard-Windrad an Land mit einer Leistung von 3,5 MW, müssten ca. 38.000 qm Solaranlagenfläche installiert werden.
- Will man ein aktuelles Standard-Kohlekraftwerk mit einer Leistung von 1.000 MW und einer jährlichen Laufzeit von 8.000 Stunden mit einer Gesamterzeugung von 8 Mio. MWh p.a. durch Photovoltaik ersetzen, so hätte diese eine Fläche von ca. 40 Mio. qm, d.h. 40 Quadratkilometer oder 4.000 Hektar.
- Diese Beispiele zeigen, dass Photovoltaik zwar technisch einfach zu installieren und zu betreiben ist, die im Vergleich zur Windenergie sehr geringe Leistungsdichte pro benötigter Fläche ist aber ein großer Nachteil.
- Für den im Vergleich zu anderen Bereichen wie Industrie und Verkehr sehr geringen Stromverbrauch privater Haushalte ist die Nutzung von eigener Photovoltaik bereits seit vielen Jahren etabliert und sinnvoll einsetzbar. Allerdings ist nur ein Teil der Dachflächen geeignet.
- Ergänzend zur Windenergieerzeugung wird Photovoltaik zur Erreichung der CO₂- Ziele weiterhin eine wichtige Rolle spielen.

5. Verfahren zur CO₂ - neutralen Stromerzeugung

5.3 Solarenergie - thermische Verfahren

- Dieses Verfahren nutzt die Wärme der über Spiegel fokussierten Sonnenstrahlen, um Dampf zu erzeugen, mit dem dann eine normale Dampfturbine zur Stromerzeugung betrieben wird.
- Aufgrund verschiedener technischer Nachteile, vor allem dem hohen Kühlwasserbedarf zur Kühlung des entspannten Wasserdampfes nach der konventionellen Dampfturbine, hat sich diese Technologie bisher nicht über einige wenige Pilotanlagen hinaus etabliert.
- Da an besonders sonnenreichen Standorten für Solarkraftwerke meist auch akuter Wassermangel herrscht, dürfte allein dies ein kritisches Ausschlusskriterium sein.
- Der Bau dieser Art von Solar- Anlagen in Deutschland ist wegen der geringen Sonnenstundenzahl auch grundsätzlich nicht sinnvoll.
- Für das Thema CO₂-Reduzierung dürften thermische Solaranlagen keine große Rolle spielen.

5. Verfahren zur CO₂ - neutralen Stromerzeugung

5.4 Wasserkraft

- Stromerzeugungspotenzial aus Wasserkraft setzt prinzipiell zunächst hohe und kontinuierliche Niederschlagsmengen in möglichst großer geographischer Höhe über Meeresniveau voraus, dann ist sie aber extrem umweltfreundlich und kontinuierlich verfügbar.
- Allein die durchschnittliche Regenmenge in Deutschland von ca. 750 mm p.a. begrenzt die möglichen Wasserkraft - Anwendungen. Zum Vergleich: Norwegen mit über 2.000 mm.
- Die zum Meer abfließenden Wassermassen müssen ihr potenzielles, also durch die Schwerkraft bedingtes Energiepotenzial möglichst an hohen Geländeniveaustufen abgeben können oder an Flusskraftwerken mit sehr hohen Durchflussmengen.
- In Deutschland fehlen diese geographischen Voraussetzungen fast völlig - im Gegensatz z.B. zu den Alpen oder zur norwegischen Westküste. Eine nennenswerte Steigerung der Stromerzeugung aus Wasserkraft in Deutschland ist daher nicht möglich, bestehendes Potenzial ist bereits weitgehend ausgeschöpft, z.B. beim bayerischen Walchenseekraftwerk oder den Lech-Staustufen, und es wird unverändert möglichst umfassend genutzt.
- Theoretisch möglich ist der Import von Wasserkraft-Strom aus Norwegen über eine bestehende Leitung, die bestehende Kapazität an Wasserkrafterzeugung in Norwegen in Höhe von derzeit ca. 150 TWh p.a. benötigt Norwegen allerdings zunächst selbst, das mögliche Exportvolumen ist daher mit ca. 30 TWh pro Jahr sehr begrenzt, aber gelegentlich hilfreich zur Ausgleich von Spitzen in der Netzbelastung bei uns.

5. Verfahren zur CO₂ - neutralen Stromerzeugung

5.5 Verstromung von Biogas

- Dieses Verfahren verwendet biologische Substanzen verschiedener Art, die in einem Reaktionsbehälter durch Mikroorganismen unter Freisetzung von Gas zersetzt werden.
- Dieses Gas wird entweder direkt für Heizzwecke ins Gasleitungsnetz eingespeist, kann aber stattdessen auch einen Verbrennungsmotor antreiben, der Strom über einen Generator erzeugt.
- Der Mangel an verfügbarer und geeigneter pflanzlicher Substanz hat inzwischen dazu geführt, dass Biogasanlagen z.B. auch mit essbarem Getreide befüllt werden.
- Allein dieser ethische Aspekt sollte dazu führen, diese Technologie, die ohnehin in der Erzeugung erneuerbaren Stroms mit einem Anteil von ca. 10 % nur eine Rolle begrenzte Rolle spielt, zumindest nicht weiter zu subventionieren.
- Für die Lösung der CO₂-Frage hat Biogas in Zukunft nur eine untergeordnete Bedeutung, da auch mit ca. 10.000 bereits vorhandenen Biogasreaktoren das vorhandene Potenzial weitgehend ausgeschöpft ist.

5. Verfahren zur CO₂ - neutralen Stromerzeugung

5.6 Geothermie

- Dieses Verfahren nutzt die geologische Wärme im Erdinneren für die Erzeugung von Strom und als Heizenergie. Es wird Wasser in große Tiefen geleitet, das erhitzt oder als Dampf zurückströmt.
- Der erzeugte Dampf kann zur konventionellen Stromgewinnung genutzt werden.
- Bisher hat diese Technologie in Europa nur Experimentierstadium in Form einiger Pilotprojekte, an geeigneten Standorten wie Island oder Neuseeland erfolgt eine Nutzung in größeren Maßstäben, vor allem für Heizenergie.
- Aufgrund der sehr hohen Kosten der benötigten Tiefenbohrungen und des Betriebes ist es fraglich, ob diese Technologie in Deutschland wirtschaftlich gestaltet werden kann, so dass sie zur Erzeugung von Ökostrom in nennenswertem Umfang geeignet ist.
- Als Beitrag für die erforderliche CO₂-Reduzierung in Europa bis 2045 wird das Verfahren voraussichtlich unbedeutend bleiben, wenn nicht neue und wirtschaftliche Verfahren zur geologischen Erschließung hoher Temperaturen im Erdinneren gefunden werden.

5. Verfahren zur CO₂ - neutralen Stromerzeugung

5.7 Gezeitenkraftwerke

- Diese Art der Stromerzeugung kann man als eine besondere Form der Wasserkraft bezeichnen, indem die Energie der durch die Gezeiten entstehenden Meeresströmungen und Niveauunterschiede des Wasserspiegels an geeigneten Küstenstandorten über Turbinen zur Stromerzeugung verwendet wird.
- Da aus technischen Gründen für den Einsatz von Turbinen eine Differenz zwischen Hoch- und Niedrigwasser von mindestens 5 Metern zum Betrieb eines derartigen Kraftwerkes benötigt wird, gibt es in Deutschland keinen einzigen geeigneten Standort.
- Nur ein größeres (240 MW) Gezeitenkraftwerk wird in Frankreich seit 1966 betrieben mit einer Differenz des Wasserspiegels von bis zu 16 Metern und einer Staumauer, die einen Meeresarm abriegelt.
- Unter Berücksichtigung einer durch den Gezeitenwechsel gegebenen Laufzeit von ca. 4.000 Stunden pro Jahr erzeugt die Anlage nur ca. 1 TWh p.a.
- Gezeitenkraftwerke werden für die CO₂-Reduzierung in Deutschland keinen Beitrag leisten.

5. Verfahren zur CO2 - neutralen Stromerzeugung

- Die wesentlichen, realistisch in Zukunft einsetzbaren Verfahren zur CO2-freien Stromerzeugung haben bezogen auf typische Anlagengrößen folgende Kennzahlen:

Erzeugungstechnik / Referenzanlage	Investition Mio. €	Leistung MW	Invest pro MW Mio. €	Stunden Betriebszeit p.a.	Erzeugung Mwh p.a.	Invest pro MWh p.a. €	Laufzeit Jahre	Erzeugung Mwh gesamt	Abschrei- bung Je Mwh €
Wind Onshore Einzelaggregat	7	3,5	2	2.200	7.700	909	25	192.500	36
Wind Offshore Park Globaltech 1	1800	400	5	4.500	1.800.000	1.000	30	54.000.000	33
Solar Photo Park 6000 qm in D	2	1	2	1.000	1.000	2.000	30	30.000	50
Solar Thermo Park Andasol 3	400	50	8	2.200	110.000	3.636	40	4.400.000	91
nur Zum Vergleich: Kernkraftwerksblock	20.000	1.000	20	8.000	8.000.000	2.500	40	320.000.000	63

- Es gibt große Unterschiede zwischen den erneuerbaren Erzeugungsarten bei der Abschreibung der Investitionen pro in der Lebensdauer erzeugter Strommenge.

6. CO2 - Vermeidung im Bereich Verkehr

6.1 PKW und Kleintransporter

- Eine vollständige Umstellung auf batteriegetriebene Elektroantriebe wird angenommen, Bestand wie bisher ca. 50 Mio. Fahrzeuge
- Durchschnittliche Fahrleistung wie bisher ca. 15.000 km p.a., Ladestromverbrauch für Batterien inkl. Umwandlungs- und Übertragungsverlusten 20 KWh / 100 km Fahrstrecke, das sind je Fahrzeug = 3000 KWh p.a. - mal 50 Mio. Fahrzeuge

Zusätzlicher Bedarf an jährlicher Ökostromerzeugung:

150 TWh

- Annahme: Verbraucher zahlen einen jeweils um 10.000 € höheren Fahrzeugpreis für E-KFZ als für einen vergleichbaren Verbrenner x 50 Mio. Neufahrzeuge plus den Bau von 10 Mio. privaten Ladeeinrichtungen incl. Zuleitungen mit je 5.000 €

Investitionsvolumen direkt zu Lasten der Verbraucher für Kfz und Ladestation:

550 Mrd. €

- Investitionen für den Aufbau eines öffentlichen Ladenetzes für 40 Mio. Fahrzeuge ohne privaten Ladeanschluss
- 1 Station für 2 Fahrzeuge angenommen, damit 20 Mio. benötigte öffentliche Stationen. Investition je Ladestation inklusive Netzanschluss angenommen mit jeweils 20.000 €
- Ca. 80% aller PKW sind auf eine öffentliche Ladestation angewiesen. Die Investitionen in ein öffentliches Ladenetz müssen durch deren Nutzer amortisiert werden, die Ladestrompreise enthalten hierfür einen entsprechenden Zuschlag

Investitionsvolumen indirekt zu Lasten der Verbraucher:

400 Mrd. €

6. CO₂ - Vermeidung im Bereich Verkehr

6.1 PKW und Kleintransporter - weitere Annahmen

- Eine komplette Umstellung des PKW-Bestandes bis 2045 bedeutet, dass jährlich im Schnitt ca. 2 Mio. Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor durch Fahrzeuge mit Elektroantrieb ersetzt werden müssen. Zum Vergleich: 2019 gab es insgesamt ca. 3,6 Mio. Neuzulassungen. Im November 2023 sind insgesamt erst ca. 1.300.000 Elektro-PKW in Betrieb.
- Die Deckung des Ladestrombedarfes ist eine wesentliche Voraussetzung für die Steigerung des E – PKW – Anteiles. **Bei einer Ladeleistung von 22 KW pro Fahrzeug können mit der heute insgesamt installierten Kraftwerksleistung von ca. 90 GW nur ca. 4 Mio. PKW gleichzeitig geladen werden ! Schnellladen erfordert über 300 KW je Fahrzeug mit extremen Anforderungen an das Netz !**
- Als alternativ denkbarer Fahrzeugantrieb wird über eine Brennstoffzelle diskutiert, die aus Wasserstoffgas Strom zum Antrieb des Kfz erzeugt.
- Wasserstoff wird mit geringem Wirkungsgrad aus Strom und Wasser gewonnen, die Rückumwandlung in Strom in der technisch anspruchsvollen Brennstoffzelle im Fahrzeug mit erneut niedrigem Wirkungsgrad erscheint technisch aus Prinzip nicht sinnvoll.
- Hinzu kommt die Frage, ob es Sinn macht, neben einem landesweiten Ladestationsnetz für Batterie-Kfz auch noch ein sehr teures Netz für Wasserstofftankstellen aufzubauen.
- Die mit erneuerbarem Strom insgesamt künftig mögliche Wasserstoffproduktionsmenge sollte bevorzugt für technisch sinnvolle und mit höherem Wirkungsgrad versehene Anwendungen zur CO₂-Vermeidung verwendet werden und nicht als PKW-Antrieb mit schlechtem Wirkungsgrad.

6. CO₂ - Vermeidung im Bereich Verkehr

6.1 PKW und Kleintransporter - weitere Maßnahmen

- Zusätzlich zu den oben geschilderten technischen Möglichkeiten zur CO₂-Reduzierung im PKW-Verkehrsbereich müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden, um die heutige Mobilität grundsätzlich neu zu organisieren.
- Zunächst sollten sich die Menschen stärker mit bekannten Methoden zur Reduzierung des Mobilitätsbedarfes auseinandersetzen, wie der Bildung von Fahrgemeinschaften oder der einfachen Frage, welche Fahrten überhaupt und zwingend notwendig sind. Heute liegt die durchschnittliche Nutzung der üblichen 5 Sitzplätze in einem PKW im Stadtverkehr bei 1,1 und auf Langstrecken bei 1,4. Über 35% aller gefahrenen Kilometer fallen unter „Freizeit“.
- Der Trend zu großen Fahrzeugen mit hohem Energieverbrauch muss beendet werden - und es ist ökologisch vor allem auch nicht sinnvoll, wenn das heute angebotene Elektro-SUV wieder wie sein Benzin-Vorgänger viel zu groß und - auch ohne Batterie - viel zu schwer ist.
- Da Ökostrom im Rahmen der CO₂-Reduzierung der kritische Engpass ist, muss auch der Strombedarf von Elektrofahrzeugen im Betrieb weiter minimiert werden.
- Die drastische Treibstoffpreiserhöhung seit Ende 2021 um bis zu 50% hat nicht zu einer starken Reduzierung der PKW-Nutzung geführt. Eine Verteuerung von fossilen Brennstoffen, auch durch eine CO₂-Steuer, führt scheinbar allein nicht zu CO₂-Einsparungen durch geändertes Verbraucherverhalten.
- Die Nutzung von PKWs muss weitest möglich ersetzt werden durch einfachere Verkehrsmittel für Kurzstrecken und durch intensivere Nutzung des öffentlichen Personentransports.

6. CO₂ - Vermeidung im Bereich Verkehr:

6.2 LKW und sonstige Nutzfahrzeuge

- 5,7 Mio. Fahrzeuge Inlandsbestand gibt es in dieser Kategorie, davon sind 3,6 Mio. LKW.
- LKW: Fahrleistung im Durchschnitt 45.000 km p.a., Verbrauch 40 Liter Treibstoff je 100 km .
- Annahme: Antriebe werden umgestellt auf CO₂-neutralen synthetischen Kraftstoff („Synfuel“) mit vorhandenem Verbrennungsmotor. Synfuelbedarf p.a. insgesamt $45.000/100 \times 40$ Liter je Fahrzeug \times 3,6 Mio. Fahrzeuge = ca. 65 Mrd. Liter
- Strombedarf für die Synfuelproduktion: 10 KWh pro Liter insgesamt für die drei benötigten Produktionsstufen Wasserstoffproduktion, Methanisierung und Umwandlung.

Zusätzlicher Bedarf an jährlicher Ökostromerzeugung:

650 TWh

- Die Umstellung heutiger Dieselantriebe auf Synfuels in den 3,6 Mio. LKW wird einmalig mit 10.000 € je Fahrzeug geschätzt.

Investitionsvolumen direkt zu Lasten der Wirtschaft:

36 Mrd. €

Nur LKW werden umgestellt, sonstige Geräte, z.B. Traktoren und Baumaschinen etc. verwenden künftig die verfügbaren geringen Mengen an Biodiesel und notfalls weiterhin Diesel aus fossilen Quellen. E - Antriebe für Landmaschinen oder Bagger dürften kaum realistisch sein.

6. CO2 - Vermeidung im Bereich Verkehr

6.2 LKW - weitere Maßnahmen

- Seit 2000 hat sich der LKW-Verkehr gemessen an „Tonnenkilometern“ in unserem Land verdoppelt mit entsprechender Klimabelastung. Weltweit erzeugen LKW allein schon 15% des gesamten CO2-Ausstoßes.
- Eine wesentliche Ursache für das hohe LKW-Verkehrsaufkommen bei uns sind die sogenannten Lieferketten, nach denen Endprodukte wie z.B. ein Auto aus eine Vielzahl von Teilen aus unterschiedlichen Quellen produziert werden, die über mehrere Stufen in verschiedenen Werken in der Welt entstehen und mehrfach dazwischen transportiert werden.
- Heute ist es trotz LKW-Maut z.B. immer noch normal und scheinbar wirtschaftlich, z.B. ein in Deutschland gegossenes Aluminiumteil nur für einen weiteren Arbeitsgang in das 1.000 km entfernte Zweigwerk in Rumänien zu fahren und zurück - oder gläserne, schwere Mineralwasserflaschen aus Deutschland nach Südeuropa zu fahren und als Leergut zurück.
- Eine weitere Belastung des Klimas ist der unsinnige Trend in vielen Transportsystemen, maximal kurzfristig („Overnight“) am Zielort auszuliefern. Dieser Trend reduziert die Möglichkeiten, Ladekapazitäten geplant voll auszunutzen. LKW fahren dann auch mal „halbvoll“, um die schnellste Zustellung zu erreichen.
- Die CO2-freundlichste Methode für Gütertransporte ist die Bahn, die dafür aber erst mit extrem sehr hohen Investitionen fit gemacht werden muss.
- Da jeglicher Netzausbau für Schienen in Deutschland lange Planungszeiten und intensive Blockaden von „Betroffenen“ mit sich bringt, brauchen wir völlig neue Regeln und ein Umdenken im LKW-Einsatz.
- Die hohen Investitionen zum Ausbau CO2-freundlicher Personen- und Gütertransportsysteme werden von den Verbrauchern zu tragen sein - direkt über höhere Fahrpreise oder indirekt über höhere Steuern.

6. CO2 - Vermeidung im Bereich Verkehr

6.3 Busse

- Es sind 75.000 Busse im Inland im Bestand, durchschnittliche Fahrleistung 50.000 km p.a. bei 40 l / 100 km Verbrauch
- Annahme: Vorhandene Diesel-Antriebe werden umgestellt auf „Synfuels“, d.h. Synthetische Kraftstoffe mit Nutzung des vorhandenen Verbrennungsmotors
- Synfuelbedarf: $50.000/100 \times 40 \times 75.000 = 1,5$ Mrd. Liter p.a. - Strombedarf für die Synfuelproduktion: 10 KWh pro Liter.

Zusätzlicher Bedarf an jährlicher Ökostromerzeugung:

15 TWh

- Die Umstellung heutiger Dieselantriebe auf Synfuels in den 75.000 Bussen wird einmalig mit 10.000 € je Fahrzeug geschätzt.

Investitionsvolumen direkt zu Lasten der Wirtschaft:

750 Mio. €

6. CO2 - Vermeidung im Bereich Verkehr

6.4 Binnenschiffe

- Ca. 4000 Binnenschiffe sind im Inlands-Bestand, Seeschiffe sind hier nicht erfasst, Antriebe werden umgestellt auf Synfuels mit dem vorhandenen Verbrennungsmotor.
- Bei angenommenen 3000 Betriebsstunden p.a. und einem geschätzten Verbrauch von durchschnittlich 200 Liter pro Stunde ergibt sich ein künftiger Synfuelbedarf von ca. 2,4 Mrd. Litern mit einem Strombedarf zur Erzeugung von 10 KWh pro Liter.

Zusätzlicher Bedarf an jährlicher Ökostromerzeugung:

24 TWh

- Die Umstellung heutiger Dieselantriebe auf Synfuels in den 4000 Schiffen wird mit jeweils 10.000 € geschätzt.

Investitionsvolumen direkt zu Lasten der Wirtschaft:

400 Mio. €

6. CO2 - Vermeidung im Bereich Verkehr

6.5 Flugzeuge

- Verbrauch 2019 der Deutschen Fluggesellschaften insgesamt: Ca. 12 Mrd. Liter Kerosin für den Bestand von 1.000 kommerziellen Flugzeugen.
- Synfuel kann das verwendete Kerosin zu 100% technisch ersetzen, geeigneter Kraftstoff ist bereits verfügbar, wird aber bisher meist nur als Beimischung eingesetzt.
- Mit dem Strombedarf von 10 KWh zur Erzeugung je Liter Synfuel ergibt sich ein Strombedarf von 120 Mrd. KWh p.a..

Zusätzlicher Bedarf an jährlicher Ökostromerzeugung:

120 TWh

- Elektroantriebe für kommerzielle Flugzeuge sind technisch nur in Sonderanwendungen möglich, die Entwicklung von H2 - Triebwerken dürfte bis 2045 ebenfalls nicht gelingen.
- Die Umstellung heutiger Triebwerke auf 100% Einsatz von Synfuels in den 1000 Flugzeugen wird einmalig mit jeweils 2 Mio. € pro Flugzeug geschätzt.

Investitionsvolumen direkt zu Lasten der Wirtschaft:

2 Mrd. €

7. CO2 - Vermeidung im Bereich Gebäude

7.1 Wohngebäude

- Es wird angenommen, dass sämtliche Wohngebäude mit einer Luftwärmepumpe zur Heizung ausgestattet werden.
- Wärmepumpen mit Nutzung von Grundwasser oder Erdwärme mit einer Wärmeausbeute von ca. 4-6 KWh je KWh Stromeinsatz dürften nur in sehr wenigen Fällen zur Anwendung kommen.
- Es werden 150 KWh pro qm Heizenergiebedarf p.a. im durchschnittlichen Gebäudebestand angenommen.
- Deutschland hat 83 Mio. Einwohner mit einer durchschnittlichen Wohnfläche pro Kopf von 48 qm, das sind insgesamt ca. 4.000 Mio. qm Wohnfläche x 150 KWh p.a. Energiebedarf, dies erfordert 600 Mrd. KWh Heizenergiebedarf p.a. .
- Eine Luft-Wärmepumpe erzeugt im Durchschnitt 3 KWh Heizenergie aus 1 KWh Stromverbrauch

Zusätzlicher Bedarf an jährlicher Ökostromerzeugung:

200 TWh.

- Für die ca. 43 Mio. Wohneinheiten im Lande wird jeweils für die Installation (ggf. anteilig bei MFH) einer Wärmepumpe ein Betrag in Höhe von 40.000 € angenommen: 1.720 Mrd. €
- Zusätzlich werden je qm Wohnfläche 300 € angesetzt für den Einbau von Fußbodenheizungen und Dämmmaßnahmen: 1.200 Mrd. €

Investitionsvolumen indirekt insgesamt zu Lasten der Verbraucher:

2.920 Mrd. €

7. CO2 - Vermeidung im Bereich Gebäude

7.2 Büro- und Verwaltungsgebäude

- Der Gebäudebestand umfasst 380 Mio. qm x 110 KWh pro qm Heiz-Energiebedarf, insgesamt also 42 Mrd. KWh p.a.
- Annahme: Erzeugung des Wärme - Energiebedarfes über elektrische Wärmepumpe mit 2 KWh Heizenergie für 1 KWh eingesetzter elektrischer Energie wie bei Wohngebäuden

Zusätzlicher Bedarf an jährlicher Ökostromerzeugung:

21 TWh

- Für die gesamte Fläche im Land werden die bestehenden Heizungen ersetzt durch eine Luft - Wärmepumpe, dazu werden pauschal Investition jeweils mit 500 € je Quadratmeter Fläche für die Wärmepumpe und den Austausch der Wärmeverteilung angenommen.

Investitionsvolumen indirekt zu Lasten der Verbraucher:

190 Mrd. €

- Daten über weitere Gebäudekategorien, z.B. Einzelhandel, Läger und Verteilzentren, Freizeiteinrichtungen, Bildungseinrichtungen und Krankenhäuser konnten nicht ermittelt werden.
- Der Strom- und Investitionsbedarf für diese Gebäudekategorien bleibt daher unberücksichtigt.

7. CO2 - Vermeidung im Bereich Gebäude

7.3 Gebäude - weitere Maßnahmen

- Der CO2-Anfall in Gebäuden wird in erster Linie bestimmt durch benötigte Heizung im Winter, in zweiter Linie ggf. durch Klimatisierung im Sommer. Der Heizenergiebedarf und damit die CO2-Erzeugung hängt von der Fläche der Gebäude und von deren Dämmung ab.
- Deutschland verfügt mit ca. 48 qm Wohnfläche pro Kopf der Bevölkerung in Europa über einen sehr hohen, komfortablen Wert.
- Es gibt Hinweise, dass Reduzierungen der Flächen pro Kopf durchaus möglich sind und über einen geringeren Heizenergiebedarf zur CO2 - Einsparung beitragen können.

	qm
USA	75
Deutschland	48
Großbritannien	33
Frankreich	33
Italien	31
China	30
Türkei	18
Nigeria	6

7. CO₂ - Vermeidung im Bereich Gebäude

7.3 Gebäude - weitere Maßnahmen

- Die Architektur ist gefordert, sich der notwendigen CO₂-Vermeidung bei Neubauten künftig besser anzupassen. Design und Gestaltung von Gebäuden müssen sich der Energieoptimierung unterordnen, auch hier gibt es noch ein großes Potenzial.
- Wärmedämmung der Außenflächen und Fenster / Türen ist eine weitere Möglichkeit, den Energiebedarf von Gebäuden und damit deren CO₂-Erzeugung zu verringern, darüber hinaus der Ersatz von alten Heizungs- und Kühlaggregaten durch modernere Geräte.
- Nur die ca. 250.000 jährlich neu errichteten Wohneinheiten können bezüglich ihres Energiebedarfes und damit der CO₂ - Erzeugung mit modernster Technik optimiert werden.
- Für die insgesamt ca. 43 Mio. Wohneinheiten im Bestand sind technische Umbauten zur CO₂-Reduzierung wie der Einbau von Fußbodenheizungen mit Wärmepumpe und andere Maßnahmen nur schwer oder teilweise gar nicht möglich oder überfordern die finanziellen Möglichkeiten der Eigentümer.

8. CO₂ - Vermeidung im Bereich Industrie

- Wesentliche CO₂-Erzeuger im industriellen Segment sind Stahl- und Metallindustrie, Zementherstellung und Chemieproduktion
- In der Zementindustrie entstehen 2/3 des erzeugten CO₂ nicht aus dem Verbrauch an fossilen Energieträgern, sondern aus der bei der Umwandlung von Kalkstein in Zement ablaufenden chemischen Reaktion. Dieser Anteil ist durch energietechnische Maßnahmen nicht beeinflussbar, sondern nur indirekt durch Reduzierung der Verwendung von Beton.
- Der aktuelle Energiebedarf der deutschen Industrie, heute erzeugt mit CO₂-verursachenden fossilen Energieträgern, beträgt 660 TWh p.a.
- Es wird vereinfachend angenommen, dass dieser heute aus fossilen Quellen gedeckte Energiebedarf vollständig durch den Einsatz von Wasserstoff (H₂) ersetzt werden kann..
- Der Energiegehalt je Tonne H₂ als Heizwert beträgt 40.000 KWh, damit ergibt sich ein jährlicher H₂-Bedarf in Höhe von 16,5 Mio. Tonnen zur Deckung des gesamten heutigen fossilen Energiebedarfes der Industrie.
- Eine Tonne H₂ enthält 11.890 Normkubikmeter Wasserstoff, für die Erzeugung eines Normkubikmeters H₂ benötigt die Elektrolyse 4,3 KWh, damit erfordert die Erzeugung einer Tonne Wasserstoff ca. 51.100 KWh.
- Aus dem Bedarf von 16,5 Mio. Tonnen und dem o.a. Strombedarf pro Tonne ergibt sich:

Zusätzlicher Bedarf an jährlicher Ökostromerzeugung:

840 TWh

8. CO2 - Vermeidung im Bereich Industrie

- Erforderlich ist der Umbau oder der Ersatz der bestehenden Produktionsanlagen auf den Einsatz von H2 anstelle von fossilen Brennstoffen:

Investitionsvolumen direkt zu Lasten der Wirtschaft, grob geschätzt: 300 Mrd. €

- Zusätzlich erfordert die Umstellung auf H2 Sonderabschreibung auf die jeweils bestehenden, langlebigen Altanlagen, die nicht mehr CO2-neutral umgerüstet werden können

Sonderabschreibungen zu Lasten der Wirtschaft, grob geschätzt: 200 Mrd. €

Konkrete Daten über die notwendigen Investitionen in CO2 - compatible Industrieanlagen und den Abschreibungsbedarf nicht mehr verwendbarer „Altanlagen“ konnten nicht ermittelt werden.

9. CO2 - Vermeidung im Bereich Energieerzeugung

9.1 Direkter Stromverbrauch

- Die derzeitige Stromerzeugung in Deutschland p.a. beträgt ca. 550 TWh, sie wird bereits zu einem Anteil von ca. 50% mit erneuerbaren Erzeugungsmethoden erbracht, entsprechend ca. 275 TWh.
- Die Kraftwerke im nicht erneuerbaren Segment werden in den nächsten Jahren vollständig stillgelegt.
- Bevor auch nur daran gedacht wird, zusätzliche Ökostromkapazität für Wasserstoff und andere Ersatztechnologien zu bauen, um die CO2-Einsparungsziele zu erreichen, müssen daher mit erster Priorität insgesamt 275 TWh erneuerbare Strom - Erzeugung p.a. als Ersatz für künftig stillgelegten konventionellen Kraftwerke neu geschaffen werden, um nur den heutigen direkten Stromverbrauch zu sichern.
- **Die Abschaltungstermine der bestehenden Kraftwerke wurden offensichtlich bisher ohne jegliche Berücksichtigung des machbaren Kapazitätswachses an Ökostromerzeugung geplant.**
- Nur zum Vergleich: Für 2022 ist der Neubau von 1.500 Onshore-Windrädern geplant. Mit üblicher Baugröße für ein Windrad von 3,5 MW und 2.200 Stunden Laufzeit bei Wind erzeugen diese künftig nur insgesamt ca. 12 TWh pro Jahr - also nur einen sehr geringen Teil der festgelegten Stilllegungskapazität. Ein einziges Atom- oder Kohlekraftwerk von 1.000 MW erzeugt 8 TWh p.a.

Zusätzlicher Bedarf an jährlicher Ökostromerzeugung:

275 TWh

10. Strombedarf und Investitionen

10.1 Strombedarf und Investitionen Verbraucher

- Die vorstehend erläuterten Annahmen für notwendige Stromerzeugungskapazität und Investitionen zur CO₂-Vermeidung ergeben folgendes Gesamtbild:

Bereich CO ₂ -Entstehung	Art der CO ₂ -freien Energieversorgung	Strombedarf in TWh p.a.	Investitionen gesamt Mrd. €
Verkehr PKW	Ladestrom	150	950
Verkehr LKW	Strom zur Synfuelproduktion	650	36
Verkehr Busse	Strom zur Synfuelproduktion	45	1
Verkehr Schiffe	Strom zur Synfuelproduktion	24	1
Verkehr Flugzeuge	Strom zur Synfuelproduktion	120	2
Gebäude Wohnen	Strom für Wärmepumpe	200	2.920
Gebäude Büro	Strom für Wärmepumpe	21	190
Industrie	Strom für H ₂ - Einsatz	840	500
Energieerzeugung	Strom direkte Versorgung	275	0
GESAMT:		2.325	4.600

10. Strombedarf und Investitionen

10.1 Strombedarf und Investitionen Verbraucher

- In Summe ergibt sich für eine CO₂-Reduzierung in den Bereichen Verkehr, Gebäude, Industrie und Energie ein Stromerzeugungsbedarf aus erneuerbaren Technologien von ca. 2.400 TWh.
- Zusätzlich benötigt wird eine ausreichende Kapazität an Stromerzeugungskapazität dafür, in Phasen hoher Produktion die notwendigen Speicher zu füllen. Da bisher keine geeignete Speichertechnologie existiert, kann diese Zusatzkapazität nicht ermittelt werden und wird nicht weiter betrachtet unter der Annahme, dass Reservekraftwerke zum Einsatz kommen müssen.
- Die heute vorhandenen erneuerbaren Kapazitäten in Höhe von ca. 300 TWh p.a. müssen somit bis 2045 um ca. 2.100 TWh p.a. ausgebaut werden, das sind rechnerisch ca. 95 TWh p.a. Neubaukapazität pro Jahr, dies entspricht dem Neubau von ca. jährlich 12.000 Windrädern an Land oder entsprechender Kapazität an Offshore-Windanlagen oder Solarkraftwerken.
- Verbraucher aus Industrie, Verkehr und Privathaushalten müssen zur künftigen Nutzung CO₂-freier Technologien bis 2045 Investitionen in Höhe von ca. 4.600 Mrd. € aufbringen, rechnerisch sind dies jährlich ca. 200 Mrd. € - etwa die Hälfte des aktuellen Bundehaushaltes ohne Sondervermögen.

Hohe Investitionen für die notwendigen Anlagen zur Stromspeicherung, Stromerzeugung, H₂-Produktion und Synfuellerzeugung sind zusätzlich auf der Erzeugungsseite erforderlich, wie im folgenden Abschnitt dargestellt.

10. Strombedarf und Investitionen

10.2 Investition in Stromnetze

- Fast alle aufgezeigten technologischen Alternativen zur CO₂-Vermeidung sind darauf angewiesen, dass die benötigten, großen Strommengen erzeugt werden und so zur Verfügung stehen, dass die jeweiligen Verbrauchs-Bereiche weiterhin funktionieren.
- Neben der Herausforderung, die riesigen Strommengen künftig ökologisch zu erzeugen, muss auch schnell und umfassend der notwendige Netzausbau umgesetzt werden. Nur für Hochspannungsnetze sind bis 2035 ca. **150 Mrd. €** geplant, bis 2045 dürften nach einer Studie des Energiewirtschaftlichen Institutes Köln weitere **150 Mrd. €** dazukommen.
- Unsere Hochspannungsnetze haben heute schon große Lücken, die zu schließen sind, um u.a. den Windstrom aus dem Norden zu den industriellen Verbrauchern im Süden zu bringen oder unterschiedliche Windgeschwindigkeiten weiträumig zwischen Landesteilen auszugleichen. Die Genehmigung für eine einzige Nord - Süd - Leitung dauert z.B. schon allein 10 Jahre.
- Umfassende Erweiterungen der Mittel- und Niederspannungsnetze sind ebenfalls zu erwarten, allein schon, um die jährlichen 150 TWh Ladestrom (s.o.) zu den vielen neuen Ladestationen an fast jeder Innenstadtstraße und zu den Wärmepumpen zu bringen. Hierfür wird ein Betrag von **450 Mrd. €** bis 2045 vom o.a. Institut ermittelt.
- Es ist davon auszugehen, dass alle notwendigen Investitionen in die Stromnetze als Abschreibung über die Strompreise an die Verbraucher und vor allem an die Wirtschaft über den Strompreis weitergegeben werden müssen. Die Strompreise werden daher auf Dauer weit über dem Niveau von 2022 liegen müssen.

Investitionsvolumen für Netzausbau direkt zu Lasten der Wirtschaft

750 Mrd. €

10. Strombedarf und Investitionen

10.3 Investition in Speicherung

- Ungelöst ist nach den bisherigen Planungen die Frage, wie die wetterabhängige und damit völlig unzuverlässige erneuerbare Stromerzeugung aus Wind und Solarenergie bei „Dunkelflaute“ ergänzt werden kann - durch Speicherung oder konventionelle Ersatzkraftwerke.
- Nimmt man den künftigen jährlichen Bedarf an erneuerbarer Stromerzeugung von ca. 2.400 TWh als Basis, so muss bei einem angenommenen 2-wöchiger Ausfall der erneuerbare Stromerzeugung (z.B. bei Windstille und Wolken im Winter) ein Ausfall an erneuerbarer Erzeugung in Höhe von bis zu ca. 100 TWh überbrückt werden.
- Theoretisch sind auch erheblich längere Phasen als 2 Wochen ohne ausreichende Sonneneinstrahlung und Wind denkbar, besonders im Winter bei einem gleichzeitig künftig hohen Strombedarf für die laufenden Wärmepumpen.
- Um Strom in diesen benötigten, riesigen Mengen für die Zeiten zu speichern, in denen die erneuerbaren Methoden nicht liefern können, gibt es prinzipiell die folgenden Verfahren:
- **Pumpwasserspeicherung**, bei der in Zeiten hoher Stromverfügbarkeit Wasser aus einem Speichersee in einen Behälter auf höherem Geländeniveau gepumpt wird. Bei Bedarf wird dieses Wasser durch die jetzt als Turbinen agierenden Pumpen zurückgeführt und erzeugt dabei Strom.
- Die Speicherkapazität für Strom in Pumpwasserkraftwerken reicht heute nur für ca. 40 Minuten Stromversorgung., es wurden von allen bestehenden Anlagen in Deutschland im Jahr 2015 insgesamt nur 5,9 TWh erzeugt. Der geplante Ausbau ist ohnehin begrenzt durch fehlende geologisch geeignete Standorte und mangelnde Akzeptanz der Bevölkerung.

10. Strombedarf und Investitionen

10.3 Investition in Speicherung

- **Speicherung als Wasserstoff:** Verfügbarer Strom betreibt zusätzlich zum normalen Bedarf installierte H₂-Elektrolyseanlagen, die Wasserstoff erzeugen, der komprimiert in Tanks gelagert wird, aus denen er bei Strommangel wieder entnommen werden kann z.B. zum Betrieb einer Gasturbine, die wieder Strom erzeugt.
- Speicherung durch Wasserstoff ist durch die extrem hohen Wirkungsgradverluste von 70 bis 80% sinnlos und unwirtschaftlich.
- **Alle anderen Verfahren** sind für die benötigten Speicherkapazitäten nicht geeignet, auch Tausende Tonnen von Batterien erzielen nur Bruchteile der notwendigen Strommengen, hinzu kommen die bei verschiedenen Batterietechnologien vorgegebenen maximalen Entladezeiten als Grenze ihrer Einsatzfähigkeit.
- Alternativ dazu, Zeiten ohne Wind und Sonne mit gespeicherter Energie zu überbrücken, wird gelegentlich vorgeschlagen, den fehlenden Strom bei einzelnen Verbrauchern einzusparen, indem man diese durch die Netzwerksteuerung von der Versorgung trennt.
- Auch wenn Kleinverbraucher wie Privathaushalte dies als lästig hinnehmen sollten - für die Industrie, den Verkehr und die künftige Beheizung über Wärmepumpen dürfte diese Methode völlig inakzeptabel sein.

.

10. Strombedarf und Investitionen

10.3 Investition in Speicherung

- Vorschläge dahingehend, künftig die Batterien von an Ladestationen angeschlossenen PKW kurzfristig als Speicher für das Gesamtnetz zu verwenden, dürften an der Akzeptanz der Verbraucher scheitern. Wer will schon morgens vor der Fahrt zur Arbeit feststellen müssen, dass der Netzbetreiber nachts die Batterie des E-Autos entladen musste?
- Eine E - Autobatterie enthält geladen ca. 100 kWh. Damit ist die Gesamtkapazität von 50 Mio. voll geladenen E - Pkw nur 5 TWh, also nur ein geringer Bruchteil des in einer „Dunkelflaute“ benötigten Stroms.
- Auf dem derzeitigen Kostenniveau von 200 T€ je 1 MWh Batteriespeicher müssten für 100 TWh (entsprechend einer Dunkelflaute von 14 Tagen bei 2.400 TWh Jahresstromverbrauch) ca. 2 Billionen EURO in Batterien investiert werden.
- Eine Kombination aus Speichern und fossil betriebenen Standby - Kraftwerken dürfte die realistische Lösung sein.
- **Die Speicherung von Energie für die Überbrückung der natürlichen Unterbrechungen der Ökostromversorgung ist die wesentliche, bei Verzicht auf jegliche Reservekraftwerke und AKW ungelöste Problematik für das Gelingen der „Energiewende“.**
- **Leider wird dieser Aspekt in der laufenden politischen Diskussion völlig ignoriert oder mit technisch unbrauchbaren Ansätzen vertagt.**

10. Strombedarf und Investitionen

10.4 Investition in Stromerzeugung

- Es ist anzunehmen, dass der benötigte Zubau an erneuerbarer Kapazität bis 2045 fast vollständig sowohl aus Windenergie Onshore und Offshore als auch aus Photovoltaik dargestellt wird.
- Um den gesamten zusätzlichen Stromerzeugungsbedarf aus erneuerbaren Quellen von 2.100 TWh p.a. sicherzustellen, werden rechnerisch ungefähr folgende Investitionen benötigt:

- **Wind Onshore:**

- 3,5 MW Leistung je Anlage mit 2200 Stunden Laufzeit p.a. = 7.700 MWh p.a.
- Anzahl der Anlagen: ca. **310.000**, Investition pro Stück jeweils: 7 Mio. €

gesamt: ca. 2.170 Mrd. €

- **Wind Offshore:**

- 400 MW Leistung je Park mit 4.500 Stunden Laufzeit p.a. = 1.800.000 MWh p.a.
- Anzahl der Parks: ca. **1.200**, Investition pro Stück jeweils: 1,8 Mrd. €

gesamt: ca. 2.160 Mrd. €

- **Photovoltaik:**

- 100 MW Leistung für Park 600.000 qm mit 1200 Stunden Laufzeit p.a. = 120.000 MWh p.a.
- Anzahl der Parks: ca. **18.000**, Investition jeweils: 200 Mio. €

gesamt: ca. 3.600 Mrd. €

10. Strombedarf und Investitionen

10.4 Investition in Stromerzeugung

- Eine Gesamtrealisierung der zusätzlich erforderlichen Stromerzeugung durch Photovoltaik auf Bodenflächen ergibt einen Kollektorflächenbedarf von ca. 11.000 Quadratkilometern, mit Nebenflächen sind dies ca. 15.000 Quadratkilometer, das sind ca. 70% des Landes Hessen.
- Es ist anzunehmen, dass der nötige Flächenbedarf für Photovoltaik auf Freiflächen in Deutschland in dieser Größenordnung und zu Lasten von Anbau und Ökologieflächen nicht mehr realisiert werden kann.
- Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung in das öffentliche Netz sollten daher bevorzugt auf vorhandenen Dachflächen realisiert werden.
- Wirtschaftlich günstigste und technisch leicht zu realisierende Erzeugungsart dürfte Onshore Wind sein.
- Offshore Wind erbringt die höchste spezifische Erzeugung, verbunden mit höheren Investitionen.
- Es wird zur Berechnung der erforderlichen Gesamtinvestitionen von folgendem Mix zur Erzeugung der Zusatzkapazität von 2.100 TWh ausgegangen:

• 50% Onshore Wind ca.	1.080 Mrd. €
• 30% Photovoltaik ca.	1.100 Mrd. €
• 20% Offshore Wind ca.	430 Mrd. €

gesamt: ca. 2.610 Mrd. €

10. Strombedarf und Investitionen

10.5 Investition in Wasserstoffherzeugung

- Neben den oben dargestellten Investitionen in Stromerzeugungsanlagen werden noch die notwendigen Anlagen zur Wasserstoffherzeugung in den folgenden Bereichen benötigt:
 - 16,5 Mio. Tonnen H₂ p.a. für die Umstellung des fossilen Energiebedarfes der Industrie
 - Eine übliche Elektrolyseanlage hat ca. 400 MW Leistung, bei 8000 Betriebsstunden p.a. verbraucht die Anlage somit ca. 3,2 Mio. MWh im Jahr.
 - Für die Produktion einer Tonne H₂ werden ca. 51 MWh Strom benötigt (s.o. unter 8.)
 - Mit diesen Parametern ergibt sich eine jährliche Produktionskapazität in Höhe von ca. 64.000 Tonnen H₂ für eine derartige Elektrolyseanlage üblicher Größe.
- Die benötigte Jahresmenge an H₂ in Höhe von 16,5 Mio. Tonnen erfordert somit den Bau von ca. 260 Elektrolyseanlagen mit einer jeweiligen Investitionssumme von 1000 Mio. - insgesamt also:

eine Investition in Höhe von: ca. 260 Mrd. €

10. Strombedarf und Investitionen

10.6 Investition in Synfuellerzeugung

- Die aufzubauende Anlagenkapazität zur Produktion von Synfuels muss die folgende Bedarfe abdecken:
 - 65 Mrd. Liter für LKW und Nutzfahrzeuge
 - 12 Mrd. Liter für Flugzeuge
 - 9 Mrd. Liter für Schiffe und Busse

insgesamt: ca. 85 Mrd. Liter p.a.

- Die aufzubauende Anlagenkapazität zur Produktion von Synfuels muss die folgende Bedarfe abdecken:
 - Erzeugung von Wasserstoff (H_2) in der oben beschriebenen Weise aus Strom und Wasser
 - Umwandlung von H_2 und verfügbarem CO_2 aus Industrieprozessen (z.B. Zementindustrie), das aus deren Abgasen gewonnen werden muss, in Methangas.
 - Umwandlung des Methangases in flüssige Kraftstoffe, z.B. Benzin, Kerosin oder Diesel

10. Strombedarf und Investitionen

10.6 Investition in Synfuellerzeugung

- Die benötigte Anlagen- und Prozesstechnik für die 3 Umwandlungsstufen ist bereits prinzipiell vorhanden, Erfahrungswerte für benötigte Investitionen in derartige Anlagen im industriellen Maßstab für die Produktion synthetischer Kraftstoffe lassen sich nur retrograd wie folgt abschätzen.
- Bei einem Energiegehalt pro Liter Synfuel von 10 KWh, einer Anlagenlaufzeit von 8500 Stunden p.a. ist zur Erzeugung der benötigten 85 Mrd. Liter Synfuel eine Anlagenleistung von 100 Mio. KW gemessen am Energiegehalt des jeweiligen Produktes erforderlich.
- In einer Studie von Frontier Economics wird der Investitionsbetrag pro KW Anlagenleistung mit ca. 700 € je Produktionsstufe angegeben.
- Damit beträgt die Investitionssumme in Anlagen zur Synfuelproduktion $3 \times 700 = 2100 \text{ €} \times 100 \text{ Mio. KW}$

Investition insgesamt: 210 Mrd. €

10. Strombedarf und Investitionen

Gesamtüberblick der notwendigen Investitionen auf der Erzeugungsseite:

Anlagen zur CO2-Vermeidung	Annahme	Investitionen gesamt Mrd. €
Aufbau Speicherung	Batterielösung und Reservekraftwerke	offen
Ausbau Stromnetze	Netzausbau HV und Ortsnetze	750
Anlagenbau Strom-Erzeugung	Mix Onshore, Offshore und Photovoltaik	2.610
Anlagenbau H2-Elektrolyse	H2-Bedarf gesamt, Daten heutiger Anlage	260
Anlagenbau Synfuelproduktion	Synfuelbedarf gesamt, Daten Musteranlage	210
GESAMT:		3.830

- Insgesamt belaufen sich die Investitionen für eine CO2 - Eliminierung auf ca. 4.600 Mrd. € auf der Verbraucherseite plus ca. 3.800 Mrd. € auf der Erzeugerseite, also insgesamt auf ca. 8.400 Mrd. €, entsprechend durchschnittlich ca. 340 Mrd. € pro Jahr bis zum „Zieljahr“ 2045.

11. Schlussfolgerungen

- **Die Erreichung des Zieles einer vollständigen CO₂-Vermeidung bis 2045 in Deutschland ist bereits jetzt als völlig unmöglich anzusehen, sowohl wegen der hohen Investitionen als auch der nicht im gesetzten Zeitrahmen möglichen Umsetzung von Anlagenbauprojekten.**
- Das Ziel einer vollständigen CO₂-Vermeidung sollte aufgegeben werden, es ist unrealistisch und allein schon angesichts des Naturgesetzes des abnehmenden Grenznutzens unsinnig: Mit dem Aufwand und den Kosten, die die letzten 10% CO₂ - Vermeidung bei uns erfordern würden, könnte man die mehrfache Menge an CO₂ an anderer geeigneter Stelle in der Welt verhindern.
- Der mögliche Ausbau CO₂-freier, erneuerbarer Energieerzeugung wird bei weitem nicht ausreichen, es muss zusätzlich ein starker Ausbau der Kernenergie oder künftiger neuer Verfahren erfolgen, die die kontinuierliche Energieversorgung sicherstellen können.
- Der heute hilfreiche Bezug von Strom bei Bedarf aus dem Ausland ist begrenzt und wird zunehmend unsicher, da andere Länder ihr Ziele zur CO₂-Senkung auch nur durch höheren Stromeinsatz im eigenen Land sicherstellen können.
- Da vor allem eine technische Lösung für die wetterbedingten Unterbrechungen der erneuerbaren Stromversorgung durch Speicherung mit ausreichender Kapazität nicht in Aussicht ist, sollten vorhandene konventionelle Kraftwerke weiter betrieben und langfristig für einen fallweisen „Ersatzbetrieb“ zur Ergänzung der „Erneuerbaren“ vorgehalten werden.
- Genehmigungsverfahren für jedwede Energieanlagen, die heute oft auf „Luxusinteressen“ Rücksicht nehmen, müssen um den Faktor 10 beschleunigt werden.

11. Schlussfolgerungen

- Die ambitionierten „Klimaziele“ wurden bisher weitgehend ohne Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher und physikalischer Grundlagen politisch verabschiedet in der Hoffnung, dass die Realisierung schon irgendwie folgen werde. Das ist völlig unrealistisch.
- Damit wurde in der Bevölkerung der falsche Eindruck erweckt, das Klima sei mit wenig Aufwand ohne eigenen, persönlichen Beitrag zu „retten“. Statements einzelner Politiker in diesem Zusammenhang, „der Klimawandel bezahle sich selber“, sind völlig unverantwortlich.
- Die Bevölkerung zumindest in den reichen Staaten muss aber wissen, dass alle Maßnahmen zur CO₂-Eliminierung sehr hohe Investitionen und Kosten sowie gravierende Verhaltensänderungen von ihr erfordern, die gleichzeitig den Wohlstand der Menschen erheblich reduzieren.
- Es ist vorrangige Aufgabe der Politik, den Bürgern ehrlich und unverblümt die Wahrheit über den von ihnen zu erbringenden Beitrag zu vermitteln, auch wenn diese unbequem ist. Dabei steht nicht nur unser teilweise dekadenter Konsum auf dem Prüfstand, da Wohlstand CO₂ erzeugt.
- Es muss davon ausgegangen werden, dass sich ein großer Teil der Welt nicht konsequent der CO₂-Reduzierung anschließen will oder vor allem kann - unsere erfolgreichen Maßnahmen verlieren damit im Weltmaßstab schnell ihre Wirkung, denn CO₂ kennt keine Ländergrenzen.
- Allein die noch stark wachsende Gesamtbevölkerung des Planeten wirkt auch künftig allen erfolgreichen Aktionen zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes entgegen.