



[DATUM]

Energiewende

...UND WAS DAFÜR BEDACHT WERDEN SOLLTE

JÖRG FRITZSCHE
BAG WIRTSCHAFTS- UND FINANZPOLITIK
[Firmenadresse]

Inhaltsverzeichnis

Energiewende	0
1 Warum die Gründe für die Energiewende erweitert werden müssen.....	1
2 Historie der Energiewende	1
3 Aus welchen Quellen wurde Energie bisher erzeugt?.....	1
3.1 Atomenergie	2
3.1.1 Pro:	2
3.1.2 Kontra:.....	2
3.1.3 Zusammenfassung/Wertung:.....	2
3.2 Fossile Energie.....	3
3.2.1 Pro:	3
3.2.2 Kontra:.....	3
3.2.3 Fossile Energien und Klimawandel.....	3
3.2.4 Peak Oil/Gas	4
3.2.5 Lebensstandard, Gesundheit und Energieverbrauch.....	5
3.2.6 Zusammenfassung/Wertung.....	5
3.3 Wasserstoff	5
3.3.1 Pro:	6
3.3.2 Kontra:.....	6
3.3.3 Herstellung, Transport, Verwendung und Speicherung.....	6
3.3.4 Zusammenfassung/Wertung.....	7
4 Hindernisse der Energiewende.....	8
4.1 Technologien	8
4.1.1 Energiegewinnung.....	8
4.1.2 Energietransport	9
4.1.3 Energiespeicherung	9
4.1.4 Energieverbrauch	9
4.2 Rohstoffe.....	9
4.2.1 Verfügbarkeiten.....	10
4.2.1.1 Absolute Knappheit	10
4.2.1.2 Relative Knappheit	10
4.3 Konflikte	10
4.4 Kosten.....	11
4.5 Steuern	12
4.6 Recycling.....	12
5 Ausblick.....	12

6	Anhang	13
6.1	Details zur Historie der Energiewende.....	13
6.2	Technische Details zu Elektrolyseverfahren.....	14

1 Warum die Gründe für die Energiewende erweitert werden müssen

In den letzten Monaten hat sich die Diskussion um die Notwendigkeit einer Energiewende europaweit und insbesondere in Deutschland mehr und mehr auf das Thema Klimawandel und den Anteil des Gases CO₂ daran verengt. Aus einer im Wesentlichen sachlichen und wissenschaftlich geprägten Beobachtung, dass die Durchschnittstemperatur unserer Erde unverhältnismäßig schnell ansteigt, wurde eine zunehmend aufgeheizte und in der Folge ideologisch-dogmatische Auseinandersetzung um ein Richtig oder Falsch der Konsequenzen sowie der von der Menschheit anzupackenden Maßnahmen gegen den Klimawandel – die Lager Pro und Contra Energiewende stehen sich weitgehend unversöhnlich gegenüber.

Die Folge davon ist, dass viele Menschen den Klimawandel nicht mehr ernst nehmen und sich in der Diskussion abgehängt fühlen. Die Energiewende wird von weiten Teilen der Gesellschaft derzeit nicht als ein Problem gesehen, das dringend angegangen werden muss. Handwerklich schlecht gemachte Gesetze, horrenden Kostenvorstellungen und teils tendenziöse Gutachten zum Klimawandel haben diese Meinungen immer weiter befeuert und das Vertrauen der Gesellschaft in die Seriosität der wissenschaftlichen Arbeiten zunehmend untergraben. Zudem haben weitere Ereignisse, wie der Ukrainekrieg und der steile Anstieg der Flüchtlingszahlen in Richtung Europa und den USA die Themen Klimawandel und Energiewende in den Hintergrund gerückt.

Aus diesem Grund erscheint es mir wichtig, auf weitere und vor allem zwingende Gründe hinzuweisen, warum die Energiewende auch unabhängig von der Klimawandeldiskussion notwendig ist. Der Klimawandel ist aus meiner Sicht einer von mehreren Aspekten. Zudem ist es wichtig, den Blick auf alle Teile einer Energiewende zu weiten. Stimmen die Voraussetzungen nicht und werden notwendige Vorarbeiten nicht geleistet, kann das Vorhaben auch nicht gelingen.

Ziel dieses Dokumentes ist es, die sachlich-technischen Bedingungen und Voraussetzungen heutiger und künftiger Energieversorgungssysteme in Form von Fakten zusammenzutragen sowie deren Zusammenhänge aufzuzeigen. Wie die Energiewende in den gesellschaftlichen Kontext zu setzen ist, damit wird sich ein Folgebeitrag beschäftigen.

2 Historie der Energiewende

Die Nutzbarkeit von Sonne und Wind wurde bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts mit dem Siegeszug der Elektrizität erkannt. Man vermutete und wies später nach, dass die natürlichen Energiequellen einen erheblichen, sogar vollständigen Beitrag zur Versorgung mit Strom leisten können. Dank einer starken Lobby konnte die fossile Energiegewinnung lange die Märkte dominieren, bis wissenschaftliche Erkenntnisse zum Klimawandel breite Schichten der Gesellschaft erreichten. Die wechselvolle Geschichte der Energiewende ist im Kapitel 6.1 Details zur Historie der Energiewende ausführlicher beschrieben.

3 Aus welchen Quellen wurde Energie bisher erzeugt?

Die angestrebte Energiewende als integraler Bestandteil einer sozial-ökologischen Transformation hat vier zusammenhängende „Pfeiler“:

- 41 • Energieeinsparung,
- 42 • Steigerung der Energieeffizienz,
- 43 • Ausstieg aus den atomaren und fossilen Energien,
- 44 • Übergang zur Produktion und Nutzung erneuerbarer Energien.

45 3.1 Atomenergie

46 3.1.1 Pro:

- 47 • Strom aus Atomenergie ist weitgehend CO₂-neutral.
- 48 • Aus einer relativ geringen Menge „Brennstoff“ lassen sich große Mengen Energie
- 49 gewinnen.
- 50 • Die Uranreserven sind für die zivile Nutzung noch ausreichend groß.
- 51 • Der Flächenverbrauch der Kraftwerke und der Uranproduktion ist gering.
- 52 • Liefern die projektierte Leistung stabil in einem großen Zeitraum.

53 3.1.2 Kontra:

- 54 • Die Endlagerfrage ist ungeklärt.
- 55 • Die Strahlenbelastung um ein Atomkraftwerk ist deutlich erhöht. Aber auch die Abfälle
- 56 strahlen noch viele Jahrtausende erheblich.
- 57 • Sicherheitsrisiken bei Naturereignissen (Kühlung bei Dürre), Kriege oder Terror
- 58 • Atomkraftwerke sind nur grundlastfähig, können Energieproduktion nicht ausreichend
- 59 regulieren.
- 60 • Hohe Gesamtkosten des Systems
- 61 • Umweltschäden in anderen Ländern beim Abbau
- 62 • Hohe Transportaufwände

63 3.1.3 Zusammenfassung/Wertung:

64 Zwar sind die verfügbaren Ressourcen an für zivile Zwecke spaltbarem Uran noch sehr hoch und
 65 es könnten erhebliche Mengen an fossilen Brennstoffen und damit CO₂ eingespart werden,
 66 jedoch überwiegt aus unserer Sicht der Nachteil eines fehlenden sicheren Endlagers. Keine
 67 Region in Deutschland ist bereit, ein solches Endlager zu dulden. Alleine die Andeutung, die
 68 Ansiedlung eines Zwischen- oder Endlagers in einer Region zu prüfen, hat regelmäßig zu
 69 erheblicher überparteilicher Gegenwehr in der Region geführt.

70 Ein Export von Atom Müll ist keine Lösung, da es die Probleme in andere Staaten/Regionen
 71 verschiebt. Gehen diese mit dem strahlenden Müll nicht sorgsam um, können erhebliche
 72 überregionale Umweltschäden und Schäden bei Menschen, Tieren und Pflanzen eintreten (z.B.
 73 Genmutation).

74 Und ehrlich: Warum sollen sich andere um unseren Müll kümmern?

75 Atomkraftwerke sind eher als Grundlastkraftwerke geplant, sie können kurzfristig weder
 76 herunter- oder hochgefahren werden. Im Fall eines Energieüberschusses im Netz müssten dann
 77 andere Kraftwerke gedrosselt oder vom Netz genommen werden. In der Regel sind das
 78 Wasserkraftwerke, Gaskraftwerke, Windkraftwerke und Photovoltaikanlagen. Das sind aber die
 79 Kraftwerke, die den preiswertesten Strom erzeugen.

80 Gegenwärtig in der Diskussion sind sogenannte Mini-Atomkraftwerke, SMR (Small Modular
 81 Reactors). Das sind seriell vorgefertigte Atomkraftwerke kleiner Leistung bis maximal 100 MW
 82 elektrischer Leistung. Prinzipiell unterliegen diese Kraftwerke denselben Schwierigkeiten wie

„große“ Atomkraftwerke (Sicherheit, Atommüll). In einer österreichischen Studie zur technischen Machbarkeit werden diese Kraftwerke denn auch eher als Marketinginstrument beschrieben. Die wenigsten Konzepte sind realistisch, die wenigen übriggebliebenen Ideen kollidieren mit sicherheitstechnischen und/oder regulatorischen Problemen. Eine zeitnahe Umsetzung zeichnet sich nicht ab (https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nuklearpolitik/smr.html, <https://wua-wien.at/atomschutz/positionen-und-stellungnahmen/2284-faktencheck-smr>, <https://www.grs.de/de/aktuelles/wissensdossiers/small-modular-reactors-smr-kernkraftwerke-im-kleinformat>, https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/kta-deutschland/neue_reaktoren/neue-reaktoren_node.html, https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/kta-deutschland/neue_reaktoren/neue-reaktoren.html).

3.2 Fossile Energie

Fossile Energien sind vorwiegend in Kohle (Torf), Erdöl und Gas gespeichert. Die Lagerstätten sind ungleich über die Kontinente und Länder verteilt. Öl nimmt eine Sonderstellung ein, denn es ist nicht nur Energieträger, sondern auch chemischer Rohstoff. Für viele Produkte gibt es noch keine Methode, diese unabhängig von Erdöl zu produzieren. Eigentlich ist Erdöl zu schade zum Verbrennen.

Durch den Krieg zwischen Russland und der Ukraine sind Piplinetransporte russischen Erdgases plötzlich weggefallen. Aufgrund der hohen Abhängigkeit Deutschlands von Erdgas musste schnell ein neuer Transportweg aufgebaut werden. Dazu wurden LNG-Terminals eingerichtet, allerdings in einer Dimension, deren Nutzen vor dem Hintergrund des beabsichtigten Abbaus fossiler Energie fraglich ist.

3.2.1 Pro:

- Leicht zu transportieren, auch über weite Strecken (Pipelines, Züge, Frachtschiffe)
- Leicht speicherbar
- Stehen relativ preiswert zur Verfügung
- Unkomplizierte Handhabung, auch im Privatbereich
- Angebotsverringern und -erweiterung sind relativ einfach realisierbar

3.2.2 Kontra:

- Vorräte sind endlich
- Bei Nutzung als Brennstoff kein Recycling möglich, verbrannt ist verbrannt
- Bei der Verbrennung entstehendes CO₂ führt zur Erderwärmung mit allen damit verbundenen Konsequenzen
- Der Abbau verursacht Umweltschäden

3.2.3 Fossile Energien und Klimawandel

Wissenschaftlich bekannt ist, dass verschiedene Gase (Treibhausgase – Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Stickoxide, fluoridierte Kohlenwasserstoffe) Wärmeenergie binden. Dabei wird langwellige (Wärme-) Strahlung der Sonne und von der Erdoberfläche zurückgeworfene Strahlung an den Atomen der Treibhausgase in die tiefen Schichten unserer Lufthülle reflektiert, die sich dadurch erwärmt. Je mehr Treibhausgase in der Lufthülle vorhanden sind, umso wärmer wird diese. Eine höhere Lufttemperatur bedeutet unmittelbar auch einen höheren Energiegehalt, was zu stärkeren Luftbewegungen (Stürme) führt. Zudem nimmt wärmere Luft mehr Wasser auf,

das als Treibhausgas die Erwärmung weiter anheizt. Fällt dieses Mehr an Wasserdampf aus, steigen automatisch die Regenmengen, schwere Überschwemmungen sind die Folge. Stark erwärmte Meere befeuern diesen Prozess (Hurrikane).

Durch Dürren wird der Waldbestand der Erde gefährdet. Damit ginge eine wichtige CO₂-Senke verloren.

Die Messwerte aus Eisbohrkernen und vom Mauna Kea zeigen, dass die CO₂-Konzentration aktuell über ein Drittel über der Schwankungsbreite der letzten 800.000 Jahre liegt. Im 20. Jahrhundert lag der CO₂-Anstieg über eine Größenordnung höher als in den vergangenen 20.000 Jahren. Diese Messwerte legen den Schluss nahe, dass der Mensch mit der Verbrennung fossiler Rohstoffe erheblich zur Steigerung des CO₂-Gehaltes in der Luft beiträgt

(<https://climatehomes.unibe.ch/~joos/papers/joos20promet.pdf>,
<https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/der-globale-co2-anstieg-die-fakten-und-die-bauernfaengertricks/>).

3.2.4 Peak Oil/Gas

Ab dem Jahr 1949 entwickelte der Shell-Geologe Marion King Hubbert das Konzept von Peak Oil. Es beschreibt, dass eine Lagerstätte bereits weit vor der Erschöpfung das Fördermaximum erreicht. Bis zum Erreichen der kompletten Erschöpfung kann immer weniger aus der Lagerstätte gewonnen werden.

Die weltweit gesicherten Rohölbestände lagen 2024 bei etwa 1645 Milliarden Barrel (<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36452/umfrage/oelreserven-wichtiger-laender-seit-1990/>). Etwa die Hälfte dieser Vorräte liegen in Gebieten, die für westliche Staaten zurzeit nicht oder nur eingeschränkt erreichbar sind (z.B. Venezuela, Russland, Iran). Auf den ersten Blick scheinen die noch weltweit verfügbaren Reserven für lange Zeit ausreichend zu sein, bei einem geschätzten Verbrauch von 36,5-37,6 Milliarden Barrel im Jahr 2024 (<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/40384/umfrage/welt-insgesamt-erdoelverbrauch-in-tausend-barrel-pro-tag/>) rein rechnerisch etwa noch 45 Jahre. Gas und Kohle haben ähnliche Verfügbarkeitszeiten. Die verfügbaren Jahre sind jedoch abhängig von:

- dem Verbrauch,
- den vorhanden Ressourcen,
- den verfügbaren Ressourcen
- dem Preis für den Rohstoff.

Die am wenigsten kalkulierbare Größe ist, ab wann ein Preis als zu teuer wahrgenommen wird. Das bedeutet, dass ein Rohstoff zunächst unabhängig von seinen technischen Fördermöglichkeiten und realen Förderkosten aus dem Rennen ist, wenn der Preis nicht mehr bezahlt wird oder für die Masse der Menschen in einer Gesellschaft (auch subjektiv, d.h. gefühlt) nicht mehr getragen werden kann oder will. Rohstoffe müssen also gefühlt billig sein, damit sie weiter genutzt werden.

Selbstverständlich spielen die Kosten der Förderung bei der Preisbildung eine entscheidende Rolle. In der Regel werden zuerst die am leichtesten zu fördernden Lagerstätten ausgebeutet, danach die technologisch anspruchsvolleren. Höhere technologische Anforderungen in der Förderung sind fast immer mit höheren Kosten verbunden. Auch höhere Transportaufwände schlagen sich im Preis nieder. Kostentreiber können auch Verwüstungen durch den Abbau oder Gesundheitsschäden der Menschen im Abbaubereich und/oder der Lieferstrecke sein.

169 Kaum betrachtet werden die unterschiedlichen Qualitäten der Rohstoffe. Insbesondere bei
170 Rohöl spielt die Zusammensetzung bei der Verarbeitung eine wesentliche Rolle. Will man Öl aus
171 anderen Lagerstätten verarbeiten, müssen oft die Vorstufen der Verarbeitung angepasst werden,
172 um die gleichen Verarbeitungsabläufe sicherzustellen. Dies beeinflusst den Preis nicht
173 unerheblich.

174 3.2.5 Lebensstandard, Gesundheit und Energieverbrauch

175 In den letzten Jahrzehnten hat sich der Lebensstandard vieler Menschen auf der Welt
176 verbessert, auch wenn das nicht bedeutet, dass dieser Lebensstandard nach unseren
177 Maßstäben gut ist. Trotzdem geht ein höherer Lebensstandard immer mit einem höheren
178 Energieverbrauch einher. In den meisten Volkswirtschaften wird traditionell auf fossile
179 Energieträger (oder Holz) gesetzt, da diese relativ leicht förder-, transportier- und verarbeitbar
180 sind und vor allem billig sind. Es ist damit zu rechnen, dass die vorhandenen Reserven dadurch
181 schneller zur Neige gehen, was den Handlungsdruck weiter erhöht.

182 In Gebieten der Rohstoffgewinnung wird meist ohne Rücksicht auf Natur und Mensch
183 gearbeitet. Dies führt zu Artensterben und beeinträchtigt Gesundheit und Leben der dort
184 siedelnden Menschen.

185 3.2.6 Zusammenfassung/Wertung

186 Kohle, Öl und Gas sind endliche Rohstoffe, da sie sich nicht recyceln lassen. Einmal verbrannt,
187 sind sie verbraucht. Große Unsicherheiten gibt es bei der Frage, wie lange fossile Energieträger
188 noch reichen. Oft sind die noch vorhandenen Reserven Staatsgeheimnis (Saudi-Arabien). Neue
189 Technologien der Ausbeutung (Fracking, Gewinnung aus Ölsand) können die Förderung fossiler
190 Brenn- und Rohstoffe verlängern. Aber am Ende ist schwer abzuschätzen, wie aufwändig und
191 teuer die Lagerstätten in Zukunft ausgebeutet werden können. Die heute abgeschätzten 45 Jahre
192 sind daher verantwortungsbewusst als Maximalzeitraum anzusehen.

193 In diesem Zusammenhang sollte den Industrieländern auch das Verhalten der Golfstaaten, allen
194 voran Saudi-Arabien, zu denken geben. Sowohl die Menge an Geld als auch der zeitliche Druck,
195 mit dem dieses Geld in die Zeit nach Öl und Gas investiert wird, sollte den aufmerksamen
196 Beobachter alarmieren. Offensichtlich ist die Ausbeutung der Förderstätten weiter
197 vorangeschritten, als man den Rest der Welt glauben lässt und/oder es herrscht tatsächlich
198 mehr Weitsicht als in den Industriestaaten.

199 Leider können Preise und der psychologische Wert von Preisen seriös nicht vorhergesagt
200 werden. Fakt ist allerdings, dass bei einem Kippen des Preismomentes nur noch wenig Zeit
201 bleibt, umzusteuern. Gesellschaften neigen zur Ungeduld: Wer zu diesem Zeitpunkt noch nicht
202 alle Maßnahmen einer Energiewende ergriffen und weitgehend abgeschlossen hat, verliert.
203 Zudem verteuert sich dadurch die Energiewende erheblich. Denn es müssen hohe Beträge
204 eingesetzt werden, um den sozialen Frieden zu sichern und gleichzeitig die Energieversorgung
205 umzurüsten. Aus meiner Sicht liegt hier ein sehr hohes Risiko.

206 Nicht vergessen werden darf, dass viele Länder nach wie vor auf fossile Rohstoffe als
207 Energieträger setzen, von diesen Rohstoffen also abhängig sind. Gewinnt in wenigen Jahren die
208 Erkenntnis Raum, dass die Rohstoffe knapp werden, will jeder noch möglichst große Anteile am
209 verbleibenden Rest sichern. Es ist damit zu rechnen, dass Verteilungskämpfe, auch mit
210 bewaffneten Mitteln, geführt werden.

211 3.3 Wasserstoff

Wasserstoff gilt als eine wichtige Säule für das Gelingen der Energiewende, insbesondere energieintensive Industrien sollen damit versorgt und grün werden. Im Oktober 2024 wurde das Wasserstoffkernnetz durch die Bundesnetzagentur genehmigt. Es soll bis 2032 auf etwa 9.040 km ausgebaut werden, etwa 56% der Leitungslänge werden mit vorhandenen Erdgasleitungen genutzt, der Rest neu gebaut (<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html>).

Wasserstoff ist ein leicht flüchtiges Gas. Es ist ungiftig, farb- und geruchlos, brennt aber leicht. Wird der Luft zwischen 4 und 17% Wasserstoff zugefügt, kann es mithilfe einer Zündquelle entzündet werden. Zwischen 18 und 75% Wasserstoffanteil explodiert das Wasserstoff-Luft-Gemisch, oberhalb 75% Mischungsverhältnis kann sich Wasserstoff nicht mehr entzünden (<https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/wasserstoff-eigenschaften-sicherheit-gefahren/>).

3.3.1 Pro:

- leicht zu transportieren
- dezentrale Elektrolyse und Verbrauch möglich
- Neue Elektrolyseverfahren bergen Entwicklungspotential
- Könnte als Ausgangsstoff für Synthesegas in Teilen Erdöl ersetzen
- Verbrennt umweltfreundlich, da dabei nur Wasser entsteht (Bei hohen Verbrennungstemperaturen entsteht zusätzlich schädliches Stickoxid wie bei allen Verbrennungsprozessen)

3.3.2 Kontra:

- Nahezu alle Prozesse rund um Wasserstoff sind sehr energie- und rohstoffintensiv
- Nur ein Elektrolyseverfahren ist seit über vielen Jahren technisch etabliert
- Das Ausgangsprodukt Wasser ist selbst ein knapper Rohstoff
- [Wasserstoff – Chancen und Gefahren für den Klimaschutz 230612_DUH_H2-Faktenpapier.pdf](#)

3.3.3 Herstellung, Transport, Verwendung und Speicherung

Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser gewonnen. Drei Verfahren stehen derzeit zur Auswahl, wobei jedes einzelne Verfahren Vor- und Nachteile hat.

- AEL-Elektrolyse
- PEM(EL)-Elektrolyse
- HTE-Elektrolyse

Insbesondere die Verwendung seltener und/oder kritischer Rohstoffe, Kaltstartfähigkeiten, Kosten (Anschaffung und Betrieb) sowie der aktuelle Forschungsstand spielen für die Verwendbarkeit eine Rolle und müssen abgewogen werden. Zu den technischen Details, die diese Aspekte näher betrachten siehe Kapitel 6.2 Technische Details zu Elektrolyseverfahren

<https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/herstellung/elektrolyse-von-wasser/> ,

https://www.bw-elektrolyse.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Veroeffentlichungen/20240516_Technologievergleich_AEL_PEMEL_final.pdf ,

254 https://irees.de/wp-content/uploads/2020/11/IREES_Bewertung-der-
255 [Hochtemperaturelektrolyse.pdf](https://irees.de/wp-content/uploads/2020/11/IREES_Bewertung-der-Hochtemperaturelektrolyse.pdf)

256 Grundsätzlich ist für die Elektrolyse Süßwasser erforderlich, dieses ist jedoch selbst ein
257 knappes Gut und steht nicht unbegrenzt zur Verfügung. Denkbar wäre jedoch die Gewinnung
258 von Süßwasser aus Meerwasserentsalzungsanlagen, wofür jedoch ebenfalls Energie benötigt
259 wird. Eine Ressourcenbewertung zu Wasser konnte leider nicht recherchiert werden.

260 Für den Transport von Wasserstoff sollen für Erdgas bereits benutzte und geeignete Leitungen
261 verwendet werden. Wasserstoff führt bei dafür untauglichen Leitungen zur Versprödung,
262 Korrosion sowie Veränderungen an Dichtungen. Dies muss im Vorfeld entsprechend geprüft
263 werden. Denkbar wäre jedoch auch, Wasser an dezentrale Elektrolyseure zu leiten, die dann
264 über ein kleiner dimensioniertes Wasserstoffnetz an die Großabnehmer verteilen. Wasserstoff
265 kann als Ammoniak, als Bestandteil in einem organischen Wasserstoffträger (LOHC) oder als
266 Methanol gespeichert und transportiert werden. Die Rückgewinnung des Wasserstoffs ist jedoch
267 mit hohem Energieaufwand verbunden, die meisten Transportstoffe sind giftig und/oder
268 brennbar.

269 Wasserstoff kann als Grundstoff für die Industrie (Ausgangsstoff für Synthesegas) verwendet
270 werden, als Energieträger für Gaskraftwerke und Schmelzprozesse (Metallverhüttung) sowie als
271 Stromlieferant (Brennstoffzelle) dienen.

272 Die Speicherung von Wasserstoff kann in Poren- und Kavernenspeichern erfolgen. Dafür können
273 die bisher für Erdgas verwendeten Speicher weitgehend weitergenutzt werden.

274 3.3.4 Zusammenfassung/Wertung

275 Wichtig wäre vor einem durchgreifenden Ausbau von Wasserstoffinfrastruktur,

- 276 • welche Mengen Wasserstoff in GWh erforderlich sind (die Bundesregierung sieht hier
277 einen Bedarf von 90-110 TWh -
278 <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale->
279 [wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=11](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=11) – Seite 5 . Der Bedarf ist auch
280 abhängig davon, welche Großindustrie – Stahlwerke, Chemieindustrie - in
281 Deutschland/Europa gehalten werden soll.),
- 282 • inwiefern Wasserstoff als Speichertechnologie gebraucht wird
- 283 • welche zusätzlichen elektrischen Leistungen für die Elektrolyse dieser
284 Wasserstoffmenge erforderlich wären (Durch den geplanten Zubau erneuerbarer
285 Energien ausschließlich für die Wasserstoffproduktion können bis 2030 jedoch nur 14
286 TWh grüner Wasserstoff erzeugt werden! Quelle sh. oben),
- 287 • wieviel Wasser und sonstige Rohstoffe für die Elektrolyse benötigt werden,
- 288 • wieviel Wasserstoff in Deutschland bzw. Europa produziert werden kann/soll und wieviel
289 importiert werden soll/muss,
- 290 • Die Wasserstoffproduktion in anderen Ländern muss berücksichtigen, ob die
291 Wertschöpfung dort bleiben kann und inwiefern die Menschen daran beteiligt sind
- 292 • welche Forschungsarbeiten noch erforderlich sind, um die Probleme der jeweiligen
293 Elektrolyseverfahren in den Griff zu bekommen

294 Ob eine flächige Verteilung von Wasserstoff Sinn macht oder nur Großabnehmer (Kraftwerke,
295 Stahlwerke, Chemieindustrie) beliefert werden, muss geprüft werden. Es sind Anstrengungen zu
296 intensivieren, die Nachteile der jeweiligen Elektrolyseverfahren zu eliminieren.

297 4 Hindernisse der Energiewende

298 4.1 Technologien

299 Nach heutigem Stand ist Strom als Energieform am vielfältigsten einsetzbar und am einfachsten
300 zu handhaben. Mit elektrischer Energie kann man zum Beispiel

- 301 • heizen (sowohl direkt – Stromheizung, als auch indirekt - Wärmepumpe),
- 302 • beleuchten,
- 303 • sich fortbewegen und Maschinen antreiben
- 304 • Daten verarbeiten

305 und damit nahezu alle Anwendungen des täglichen Lebens abdecken. Strom ist

- 306 • beliebig umwandelbar (Hochspannung, Niederspannung)
- 307 • leicht zu transportieren.

308 Ein entscheidender **Nachteil** ist, dass sich elektrische Energie nicht leicht speichern lässt. Es
309 existieren aktuell keine (vernünftigen) Speicherlösungen, die große Energiemengen aufnehmen
310 können. Die Forschung konzentriert sich zu stark darauf, bekannte Speicherlösungen zu
311 skalieren. Diese sind jedoch meist für kleine Energiemengen ausgelegt. Im Rahmen der
312 Energiewende müssen aber große Energiemengen gespeichert werden können. Die Forschung
313 dazu muss intensiviert werden.

314 Grundsätzlich müssen Lösungen für folgende Teilbereiche der Energieversorgung bereitgestellt
315 werden:

- 316 • Energiegewinnung
- 317 • Energietransport
- 318 • Energiespeicherung
- 319 • Energieverbrauch

320

321 4.1.1 Energiegewinnung

322 Für die Gewinnung elektrischer Energie stehen verschiedene Energieträger zur Verfügung:

- 323 • Sonne
- 324 • Wind
- 325 • Wasserkraft
- 326 • Biomasse
- 327 • Erdwärme

328 Je nach Region können und müssen die jeweils vorherrschenden Energieträger beachtet werden,
329 es stehen nicht überall in gleichem Maße alle Energieträger zur Verfügung. Standardlösungen für
330 alles und alle sind nicht möglich. Überdies ist Deutschland das bevölkerungsreichste Land in
331 Europa mit einer vergleichsweise stark entwickelten und zu Teilen energieintensiven Industrie.
332 Die Lage Deutschlands in der Mitte Europas mit vergleichsweise wenig See (Wind), einem tiefen
333 Hinterland, das wenig Wasserstau zulässt (Wasserkraft), ausgeprägten Wintern mit tiefem
334 Sonnenstand und wenig Vulkanismus macht es Deutschland unmöglich, sich auf nur wenige
335 Energieträger zu konzentrieren. Gerade im Winter, der Zeit mit dem höchsten Energieverbrauch,

steht Sonnenenergie nur in geringem Maße zur Verfügung. Windenergie wird landeinwärts mehr und mehr unrentabel. Laufwasser ist eher in den Gebirgen verbreitet, Wasserpegel können starke Schwankungen aufweisen.

Die Gewinnung von Energie ist mit dem Bau von Anlagen verbunden. Windräder, Staudämme, Solarparks, Biogasanlagen benötigen Platz, verbrauchen selbst Ressourcen und verursachen Emissionen. Manchmal stören sie auch das Landschaftsbild. In Einzelfällen schränken sie in die Artenvielfalt der Natur ein.

4.1.2 Energietransport

Energie lässt sich auf verschiedene Arten transportieren: In Pipelines, Zügen, Schiffen, Kraftfahrzeugen, Stromleitungen. Außer für Strom selbst wird für den Transport immer zusätzliche Energie benötigt. Transportsysteme greifen dazu immer in das Leben der Menschen ein. Strommasten, Schienen, Straßen, Pipelines beanspruchen Platz und sind in etlichen Fällen umstritten.

Für eine sichere Energieversorgung ist die jeweilige Transportkapazität möglichst richtig zu dimensionieren und skalierbar zu planen. Dauerhafte Überkapazitäten verursachen Kosten und binden Rohstoffe.

4.1.3 Energiespeicherung

Energie lässt sich in verschiedenen Formen speichern. Chemisch gebunden (Batterien, Stoffe), mechanisch (Pumpspeicherwerk, Rotoren), Wärme (Erdboden), Wasserstoff oder direkt elektrisch (Kondensatoren) sind Möglichkeiten. Dabei waren es in der Vergangenheit oft relativ kleine Mengen, die zu speichern waren. Im Rahmen der Energiewende sind jedoch große Speichermöglichkeiten erforderlich, da fast alle erneuerbaren Energien un stetig sind (Flaute, Tag/Nacht, Pegelschwankungen an Flüssen und Jahreszeiten mit niedrigem Sonnenstand). Die Speicherung großer Energiemengen ist zurzeit nur in geringem Maße möglich (Pumpspeicherwerke). Das Energienetz selbst kann nur geringe Schwankungen ausgleichen.

Es wäre auch zu prüfen, ob vorhandene Infrastruktur (beispielsweise alte Gasnetze) zu Energiespeichern umfunktionieren lassen.

4.1.4 Energieverbrauch

Die verschiedenen Technologien zum Energieverbrauch stellen in der Regel nur dann ein Hindernis dar, wenn Gewohnheiten in der Nutzung betroffen sind und /oder Kosten für deren Beschaffung bzw. deren Unterhalt eine Rolle spielen. Beispiele dafür sind die geringen Reichweiten und hohen Kosten in der Elektromobilität, hohe Anschaffungskosten für sparsame Energieverbraucher wie LED-Beleuchtung sowie Smart-Home-Komponenten.

Energiesparen ist unter den gegebenen Umständen weitgehend unattraktiv oder gar nicht möglich.

4.2 Rohstoffe

Die Gewinnung von Rohstoffen bedeutet im Allgemeinen einen Eingriff in die natürlichen Lebensbedingungen und den sozialen Alltag der Menschen sowie in die Biosphären. Das gilt im eigenen Land als auch global und hat daher mit internalen Beziehungen zu tun – vom Handel über Investitionsabkommen bis hin zu Konflikten und Krieg. Zwar können Förderung und Handel von Rohstoffen den Menschen in der Region Arbeit, Wohlstand und Anerkennung bringen, aber sie haben immer soziale und ökologische Folgen. Wenn die Menschen sich durch diese bedroht

sehen, werden sie sich dagegen wehren, vorausgesetzt sie sind überhaupt dazu in der Lage (beispielsweise Repression gegen indigene Völker). Energiewende darf weder Menschen und Menschenrechte noch internationales Recht verletzen oder die Biosphäre irreparabel schädigen. Gefordert sind demokratisch zu klärende Entscheidungs-, Kontroll- und Partizipationsprozesse, die Bereitschaft zur Aufgabe konkreter Vorhaben und die Suche nach neuen Lösungen, auch und insbesondere technologische.

Für die jeweiligen Technologien werden in der Regel verschiedene Rohstoffe benötigt, die ungleich über die Welt verteilt sind. Bestimmte Rohstoffe werden bereits heute intensiv genutzt (z. B. Kupfer), andere (z. B. Seltene Erden, Lithium) rücken erst aufgrund der Nachfrage durch Technologien der Energiewende verstärkt ins Blickfeld. Die folgenden Gedanken gelten nicht nur für fossile Rohstoffe, sondern für alle Rohstoffe in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft.

4.2.1 Verfügbarkeiten

Rohstoffe sind in der Regel nicht unendlich verfügbar. Durch Recycling alter oder unbrauchbar gewordener Produkte kann das Angebot gestützt werden. Rohstoffe können in ausreichender Menge zur Verfügung stehen oder knapp sein.

4.2.1.1 Absolute Knappheit

Eine absolute Knappheit liegt vor, wenn der Gesamtbedarf größer ist als das zur Verfügung stehende gesamte Angebot an allen Rohstoffen. Beispiel: Der Gesamtbedarf an Lithium beträgt 1 Mrd. Tonnen, das gesamte Angebot in den Lagerstätten beträgt jedoch nur 600 Mio. Tonnen.

Folgende Überlegungen sind dann anzustellen:

- Welche anderen Technologien sind vorhanden oder müssen gefunden werden, die nicht auf den knappen Rohstoff angewiesen sind
- Kann das vorhandene Angebot in Brückentechnologien verwendet werden, um Zeit für die Suche nach neuen Technologien zu gewinnen oder macht die Brückentechnologie keinen Sinn?
- Führt die Suche nach neuen Lagerstätten und/oder alternativen Technologien zu Verzögerungen im Zeitplan der Energiewende?

4.2.1.2 Relative Knappheit

Ein Rohstoff ist relativ knapp, wenn das zur Verfügung stehende gesamte Angebot zwar den Gesamtbedarf grundsätzlich decken kann, jedoch nicht die Nachfrage. Beispiel: Der Gesamtbedarf an Lithium beträgt 1 Mrd. Tonnen, das gesamte Angebot in den Lagerstätten beträgt 2 Mrd. Tonnen. Die Nachfrage liegt bei 30 Mill. Tonnen, lieferbar sind jedoch nur 20 Mill. Tonnen.

Hier sind die Überlegungen zum Teil andere:

- Kann die Suche und Erkundung neuer Lagerstätten beschleunigt werden?
- Kann die Produktion gesteigert werden?
- Kann auf andere Rohstoffe ausgewichen werden?
- Welche Auswirkungen haben Lieferverzögerungen auf den Zeitplan der Energiewende?
- Welche Einsparpotentiale gibt es?

4.3 Konflikte

Die Gewinnung von Rohstoffen bedeutet fast immer einen Eingriff in die Natur und/oder in gesellschaftliche Strukturen, entweder hier oder anderswo in der Welt. Zwar kann der Verkauf von Rohstoffen den Menschen der Region Arbeit, Wohlstand und Anerkennung bringen, jedoch nur, wenn die Menschen angemessen beteiligt werden. Wenn die Menschen jedoch das Gefühl haben, nicht an den Reichtümern ihrer Region teilhaben zu können, werden sie sich gegen den Rohstoffabbau wehren. Gleichzeitig darf den Menschen die natürliche Lebensgrundlage nicht entzogen werden.

Konfliktbehaftet kann jedoch auch der Weg der Energie von der Erzeugung bis zum Verbrauch werden. Windräder und Solarparks, Leitungstrassen und Speicher sowie bestimmte Energieverbraucher sind in manchen Fällen umstritten.

Nicht zuletzt sind Konflikte auf politischer Ebene möglich, die auf Wirtschaftsbeziehungen durchschlagen. Würde China zum Beispiel den Export Seltener Erden in den Westen verbieten, weil dieser Taiwan unterstützt oder China im Falle eines Angriffs sanktioniert, wäre jeder Zeitplan einer Energiewende sofort zerstört.

Selbst wenn man unterstellt, dass der stark gestiegene CO₂-Gehalt der Luft nicht menschengemacht wäre, so fallen die Konsequenzen einer steigenden Temperatur am Ende trotzdem allen Menschen zur Last und können schwere Konflikte auslösen. Fluchtbewegungen wegen Dürren, Überschwemmungen, Meeresspiegelanstieg führen zu sozialen Spannungen, die immer schwerer zu handhaben sind.

Grundsätzlich muss in jedem Konfliktfeld politisch abgewogen werden,

- welche Prioritäten im Konflikt gesetzt werden,
- ob und wie der Konflikt beigelegt werden kann,
- welche Konsequenzen (grundsätzlich und/oder zeitlich) dies für die Energiewende hätte,
- welche Alternativen gesucht werden müssen.

4.4 Kosten

Dass die Energiewende Arbeitskraft, Ressourcen, Geld, Zeit, Fläche kostet, ist für die meisten Beobachter keine Überraschung. Es muss enorm viel Infrastruktur um- und vor allem neu gebaut werden. Da sich Deutschland nicht auf nur wenige Energieträger konzentrieren kann, entsteht eine mehr oder weniger heterogene Struktur in der Energiegewinnung, die kostenintensiver ist. Je einfacher die Infrastruktur aufgebaut ist, umso günstiger wird sie.

Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien ist in Deutschland in hohem Maße Schwankungen ausgesetzt. Der Tag/Nacht-Rhythmus, die Jahreszeiten, unterschiedliche Windstärken und schwankende Pegel von Flüssen führen zu ebensolchen Schwankungen in der Energiegewinnung. Im Energienetz kann jedoch nur soviel Energie eingespeist werden, wie verbraucht wird. Stehen keine Speichermöglichkeiten zur Verfügung, muss abgeregelt werden. Einbußen der Betreiber von Energieanlagen werden aktuell ersetzt und treiben die Kosten, da die Gegenleistung „nur“ das Vorhalten der Anlagen ist.

Ein Gutteil der Kosten entsteht, weil zum Beispiel neue Stromtrassen unterirdisch verlegt werden. Das halten wir nicht in allen Fällen für nötig. Freileitungen müssten nach heutigem technischen Stand nach etwa 80 Jahren ausgetauscht werden, Erdkabel dagegen nach etwa 40 Jahren. Dabei sind Erdkabel etwa doppelt so teuer. Ein gesundes Maß für die Wahl zwischen Freileitungen und Erdkabeln fehlt derzeit.

4.5 Steuern

Der Preis für fossile Brennstoffe wird mittels der Energiesteuer (früher Mineralölsteuer) belastet. 2023 betrug das Steueraufkommen etwa 36,6 Mrd. Euro. Damit liegt diese Steuer auf dem sechsten Rang nach der Körperschaftsteuer. Die Steuer steht nach Art. 106 Abs. 1 Nr. 2 GG dem Bund zu. Sie ist eu-weit harmonisiert und wird EU-einheitlich überwacht. Sollen fossile Brennstoffe wegfallen, muss der Steuerbetrag anderweitig aufgebracht werden.

4.6 Recycling

Grundsätzlich müsste Recycling in deutlich geringerem Umfang durchgeführt werden, wenn es gelingt, Gegenstände zu reparieren und/oder einer zweiten Verwendung zuzuführen. Für die Energiewende werden zahlreiche Rohstoffe genutzt. Ein Recyclingkonzept gibt es aktuell nicht. Damit sind wertvolle Rohstoffe verloren. Forschung und Entwicklung spielen leider nur eine untergeordnete Rolle.

Aktuell bestehen die größten Recyclingprobleme in der sortenreinen Trennung der Rohstoffe. Rohstoffe werden für die jeweiligen Anwendungen maßgeschneidert aufbereitet. Der viele Jahre gängige Kohlenstoffstahl beispielsweise hat an vielen Stellen ausgedient. Stattdessen wird Stahl heutzutage mit verschiedenen anderen Rohstoffen legiert, um spezielle Anforderungen zu erfüllen. Daher existieren mehrere hundert verschiedene Stahllegierungen, die nicht ohne weiteres miteinander gemischt zu neuem Stahl verarbeitet werden können. Nötig wäre hier die Trennung von Eisen und Legierungsstoffen, damit der Kreislauf erhalten bleiben kann. Gleiches gilt für diverse Verbundverpackungen oder Mischmaterialien am Bau oder in elektronischen Geräten, die nicht oder nur schwer getrennt werden können und damit dem Recycling verloren gehen.

5 Ausblick

Der nächste Schritt in der Betrachtung ist die Zieldefinition sowie eine Bedarfsanalyse zur Energieversorgung, die sowohl den Strombedarf als auch den erforderlichen Rohstoffbedarf sowie die Lieferbarkeiten von Strom und Rohstoffen ermittelt. Anhand dieser Kennzahlen können Konsequenzen/Probleme erkannt und erforderliche Maßnahmen geplant werden. Bestandteil der Bedarfsanalyse ist eine erste grobe Kostenschätzung für Investitionen und laufenden Betrieb.

6 Anhang

6.1 Details zur Historie der Energiewende

492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530

- Erste Überlegungen durch August Bebel in seiner Schrift „Die Frau und der Sozialismus“, dass die Sonne einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung leisten könne¹.
- Erste Forschungen zum Treibhauseffekt im 19. Jahrhundert, erste Warnungen vor dem menschengemachten Klimawandel spätestens 1912².
- Abwürgen der vielversprechenden Solaransätze in den USA in den 1940er-1950er Jahren durch die fossile Industrie (In der Arte-Doku „Die Erdzerstörer“ in 4 Minuten zusammengefasst, ab der 60. Minute).
- Grenzen des Wachstums / Club of Rome 1972.
- Ölpreisschock 1973/1974. Den Industriegesellschaften wurde erstmals bewusst, in welcher Abhängigkeit sie sich befinden. Erste Überlegungen zum Ersatz von Öl und Gas wurden angestellt. Die Internationale Energieagentur (IEA) wird mit dem Ziel gegründet, im erneuten Krisenfall die Ölversorgung zu sichern und entsprechende Maßnahmen zu koordinieren.
- „Exxon knew“ Erforschung des Einflusses von Fossilien auf Klimawandel durch Exxon (1979-1982) und anschließende millionenschwere Desinformationskampagne von ExxonMobile und vielen anderen.
- Atom- und Wasserkraft wurden als Möglichkeiten verstärkt diskutiert, die Energiepotentiale von Sonne und Wind wurden detaillierter betrachtet und berechnet. Während die Wissenschaft und Technik bereits damals auf Probleme der Erneuerbaren hinwiesen (Keine Sonne bei Nacht und im Winter, Flaute, Niedrigwasser der Flüsse), sahen die Optimisten bereits das Zeitalter der regenerativen Energien im Überfluss.
- Die Diskussion um Peak Öl und Peak Gas wurde wieder geführt. Da jedoch Zahlen zu den Fördermöglichkeiten der Öl-/Gasfelder teilweise Staatsgeheimnis sind und durch neue Technologien bisher nicht ausbeutbare Lagerstätten wieder erhebliche Mengen Öl und Gas auf den Weltmarkt bringen, ist eine Abschätzung der Förderzeiten nicht sicher möglich. Aber selbst die IEA (Internationale Energieagentur) kommt zu dem Schluss, dass nur noch wenige Fördergebiete auf der Welt ihre Förderkapazitäten deutlich ausbauen können. Den Rückgang bei den anderen Fördergebieten können sie jedenfalls nicht ersetzen. Es wurde klar, dass die Vorräte an Öl, Gas und Kohle in den nächsten Jahrzehnten auf jeden Fall zu Ende gehen.
- Durch das EEG (2000) wurde erstmals eine deutliche Förderung erneuerbarer Energien in Deutschland vorgenommen, indem Erneuerbaren ein Vorrang im Stromnetz eingeräumt wurde, eine Einspeisevergütung für Strom aus regenerativen Energien gezahlt wurde und jede/jeder Strom aus erneuerbaren Energien einspeisen darf. Die Umsetzung wurde jedoch bürokratisch und politisch inkonsequent verfolgt. ~~Nahezu jedes Jahr~~ In 25 Jahren wurden an dem Gesetz 9 umfangreiche Änderungen vorgenommen³, zahlreiche Nebengesetze, Verordnungen und Festlegungen der Bundesnetzagentur führten zu einer hohen Verunsicherung von Verbrauchern und Einspeisern geführt hat. ~~Es gab viel Wildwuchs und unsinnige Projekte sowie ungeeignete Steuerelemente, die zu einer~~

¹ <https://www.derfunke.de/rubriken/oekologie/2945-august-bebel-und-die-solarenergie>

² <https://correctiv.org/faktencheck/2021/09/09/ein-artikel-aus-demjahr-1912-der-den-klimawandel-durch-kohleverbrennungvorhersagt-ist-echt/>

³ <https://www.next-kraftwerke.de/energie-blog/eeg-25-jahre>

stetigen Verteuerung von Strom führten. Ein planvoller und strukturierter sinnvoller Aufbau von Leitungs- und Speicherkapazitäten fand nicht statt. Zwar wurde festgestellt, dass die Energienetze anders aufgebaut sein müssen, da Strom nicht mehr kontinuierlich eingespeist wird. In Angriff genommen wurden die Probleme nur unzureichend und halbherzig.

- Die Wissenschaft alarmierte zunehmend (und zurecht), dass durch die steile Erhöhung der Durchschnittstemperatur auf der Erde die Menschen häufiger und stärker mit erheblichen Risiken durch die Folgen von Klimaänderungen rechnen müssen. Als Ursache wurde der hohe CO₂-Ausstoß der Menschheit identifiziert, eine deutliche Reduzierung der CO₂-Emissionen gefordert. Die Klimabewegung formierte sich, es kam zu weitreichenden politischen Entscheidungen, um die Erwärmung der Erde auf 1,5 Grad zu begrenzen. Dieses Ziel soll durch entsprechende CO₂-Einsparungen erreicht werden. Der dabei entwickelte Zeitdruck führt zu unüberlegten und aktionistischen Entscheidungen, die die Menschen nicht mehr verstehen.

6.2 Technische Details zu Elektrolyseverfahren

- AEL-Elektrolyse
 - seit einigen Jahrzehnten genutztes Verfahren; gut skalierbar; kommt mit vergleichsweise preiswerten Rohstoffen aus;
 - nur geringe Stromdichte möglich, daher relativ geringer Wirkungsgrad; Kaltstart- und Lastschwankungsverhalten verbesserungswürdig (sonst nicht als Netzpuffer verwendbar, daran wird zur Zeit gearbeitet; verschiedene Versuche waren erfolgreich); hohe Materialbelastung durch Kalilauge als Elektrolyt; erzeugter Wasserstoff muss mit relativ hohem Energieaufwand nachgereinigt und nachverdichtet werden
- PEM(EL)-Elektrolyse
 - vergleichsweise neuartiges Elektrolyseverfahren; hohe Stromdichte, damit hoher Wirkungsgrad; gutes Kaltstart- und Lastschwankungsverhalten, damit ideal als Netzpuffer verwendbar; hochdruckfähiges Verfahren, daher muss erzeugter Wasserstoff nicht nachverdichtet werden; hohe Reinheit des erzeugten Wasserstoffs;
 - hohe Materialbeanspruchung durch saures Elektrolyt; sehr hohe Kosten, da Platinmetalle (Platin, Iridium, Ruthenium) und teures Membranmaterial eingesetzt werden müssen (neuere Forschungen mit Molybdänsulfid als preiswertem Austauschstoff sind erfolgversprechend),
- HTE-Elektrolyse
 - vergleichsweise neues Verfahren, aber bereits einige kommerzielle Projekte umgesetzt (sunfire); hoher Wirkungsgrad, insbesondere wenn Prozesswärme, Solarthermie oder Geothermie genutzt werden kann (zur Wasserdampfproduktion); kommt mit vergleichsweise preiswerten Rohstoffen aus; kann im Elektrolyse- **und** Brennstoffzellenverfahren genutzt werden; kann auch zur Herstellung von Synthesegas genutzt werden und in Teilen Erdöl ersetzen,

benötigt hohe Temperaturen; befindet sich noch in der Entwicklung; es gibt noch technische Probleme beim Elektrolyt und den Elektroden bereits nach relativ kurzer Betriebszeit