

# AKE-POSITIONSPAPIER

# ENERGIESYSTEM DER ZUKUNFT



## **AKE-POSITIONSPAPIER | ENERGIESYSTEM DER ZUKUNFT**

Der globale Klimawandel mit einem Temperaturanstieg von ca. 1,2°C seit der vorindustriellen Zeit stellt uns vor eine der größten Herausforderungen unseres Jahrhunderts. Ein Fortschreiten des Klimawandels gefährdet weltweit die Lebensgrundlagen der Menschen, trägt maßgeblich zur Zerstörung ganzer Ökosysteme bei und fördert ein rasantes Artensterben. Um dieser Entwicklung entgegenzutreten, hat sich die Weltgemeinschaft mit dem Pariser Klimaschutzabkommen von 2015 darauf verständigt, den durch den Klimawandel verursachten Temperaturanstieg auf deutlich unter 2,0°C, wenn möglich auf 1,5°C, über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

Wesentliche Ursache des Klimawandels ist die stetig zunehmende Konzentration von Treibhausgasen (THG) in der Atmosphäre. Wichtigstes Treibhausgas ist Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), welches im Wesentlichen durch die Verbrennung von Kohle, Erdöl und Erdgas in die Atmosphäre emittiert wird. Um den weiteren globalen Klimawandel auf 1,5°C bzw. 2,0°C zu begrenzen, dürfen gemäß IPCC-Bericht SR1.5 (2018) ab 2017 bei einer Wahrscheinlichkeit von 66 % bis 2050 global nur noch 420 bzw. 1170 Milliarden (Mrd.) Tonnen (t) CO<sub>2</sub> emittiert werden. Abzüglich der im Jahr 2018 und 2019 erfolgten CO<sub>2</sub>-Emissionen verbleibt ab Beginn des Jahres 2020 noch ein Budget von 340 bzw. 1090 Mrd. t CO<sub>2</sub>.

Bei einer für Deutschland großzügigen Annahme, dass jedem Menschen auf der Erde das gleiche Emissionsbudget zusteht, würde Deutschland ab Beginn des Jahres 2020 noch über ein CO<sub>2</sub>-Budget von 4 Mrd. t CO<sub>2</sub> für das 1,5°C-Ziel und von 12 Mrd. t CO<sub>2</sub> für das 2,0°C-Ziel verfügen. Bei Beibehaltung der derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 0,75 Mrd. t CO<sub>2</sub> pro Jahr wäre dieses Budget in etwa 5 bzw. 16 Jahren aufgebraucht.

Das Ziel der Bundesregierung ist die Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 zu erreichen. Ergänzt wird dieses Ziel mit einem jährlichen Minderungspfad und Etappenzielen von 65 % Emissionsminderung im Jahr 2030 und 88 % im Jahr 2040 (gegenüber dem Referenzjahr 1990) sowie einzelnen Sektorenzielen für die Jahre 2020 bis 2030.

Die Entscheidung zur Energiewende in Deutschland wurde von einem breiten Konsens aus Politik, Gesellschaft und Wirtschaft getragen. Die bisherigen Maßnahmen hin zu einer ressourcen- und umweltschonenden Energiepolitik waren im Hinblick auf nächste Generationen notwendige und richtige Entscheidungen. Auch aus wirtschaftspolitischer Sicht ist der Umbau unseres bisherigen Systems ein sinnvolles Instrument, um langfristig Kosten einzusparen. Die Entwicklung neuer Technologien im Energiesektor ermöglicht zudem klimafreundlichen und innovativen Unternehmen chancenreiche Zukunftsaussichten.

Die Energiewende ist auch mit einem steigenden Strombedarf aus erneuerbaren Energien verbunden. Zur Erhaltung regionaler Wertschöpfungsketten einschließlich der damit verbundenen Arbeitsplätze sowie zur Reduzierung der Abhängigkeit von anderen Staaten und Regionen sollten die verfügbaren Möglichkeiten zur nachhaltigen Energiegewinnung in Bayern, Deutschland und Europa möglichst ausgeschöpft und der verbleibende Energiebedarf durch Importe abgedeckt werden.

Deutschland erreicht die Pariser Klimaschutzziele durch ein sicheres, bezahlbares und dekarbonisiertes Energiesystem. Dazu ist ein „Masterplan“ mit ganzheitlichem integriertem Ansatz und iterativen Steuerungsmöglichkeiten zu entwickeln, mit dem

- die Bereitstellung von ausreichenden Mengen an erneuerbaren Energien in einem sektorgekoppelten System für Strom, Wärme und Mobilität sichergestellt wird,
- der Energieverbrauch durch Einsparung, Effizienzsteigerung und Substitution sowie konsequente Nutzung der Digitalisierung und Automatisierung von energieintensiven Prozessen reduziert wird,
- Innovationen durch zielgerichtete, technologieoffene Forschungs- und Entwicklungsförderung so wie internationalen Kooperationen vorangetrieben werden,
- Infrastruktur und Speichermöglichkeiten unter vordringlicher Berücksichtigung der Anforderungen der Energiewende ausgebaut werden,
- Effekte der Energiewende auf Wirtschaft und Arbeitsplätze durch Stärkung der Innovationsfähigkeit und Investitionen in zukunftsfähige industrielle Strukturen ausgeglichen werden,
- CO<sub>2</sub>-Restemissionen durch Abscheidung und Speicherung kompensiert werden,
- faire Wettbewerbsbedingungen durch eine verursachergerechte und zielgerichtete Bepreisung von Treibhausgasemissionen über alle Sektoren geschaffen werden und
- das System der Steuern, Umlagen und Abgaben auf Energie grundlegend reformiert und konsequent auf die Ziele der Energiewende ausgerichtet wird.

Um die gesellschaftliche Akzeptanz zu stärken, sind transparente und partizipative Prozesse voranzutreiben, faktenbasierte und verständliche Informationen bereitzustellen sowie die Bildung zu fördern.

## 1. ENERGIEEINSPARUNG / ENERGIEEFFIZIENZSTEIGERUNGEN

Die Einsparung von Energie und die Erhöhung der Energieeffizienz können einen substanziellen Beitrag zur Energiewende leisten, trotzdem rücken sie oft in den Hintergrund der politischen Debatte. Mit der Annahme, dass wir zukünftig aufgrund der Elektrifizierung in vielen Bereichen einen erhöhten Strombedarf haben werden, aber auch bereits zum jetzigen Zeitpunkt mit Blick auf den aktuellen Strombedarf müssen entsprechende Potenziale im industriellen und gewerblichen Bereich sowie auch in privaten Haushalten identifiziert und zeitnah realisiert werden. Das Ziel dabei soll aber nicht ein Verzicht auf Lebensqualität sein, sondern eine Bewusstseinserschaffung für den Verbrauch auch, um mögliche Rebound-Effekte zu vermeiden.

### Circular Economy – zyklische Ausrichtung von Produkten

Energieeinsparung ist eng verknüpft mit der generellen Art des Wirtschaftens, des Verhaltens und des Konsums. Das übergeordnete Ziel muss sein, die Wirtschaft und damit auch das Wirtschaftswachstum vom Ressourcenverbrauch zu entkoppeln und damit auch einen großen Anteil an Energie einzusparen. Dabei gilt es im Sinne einer sog. Circular Economy Produkte langlebig zu gestalten sowie eine Wiederaufbereitung und Reparatur zu ermöglichen. Ebenso muss die Nutzungsphase, z.B. durch mehrere Nutzerinnen und Nutzer intensiviert und verlängert werden. Sobald Produkte das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben, müssen die verschiedenen Wertstoffe soweit möglich getrennt und für eine erneute stoffliche Nutzung aufbereitet werden. Mit diesem Prozess sollen Produkte nicht mehr linear, sondern zyklisch ausgerichtet werden und damit einen aktiven Beitrag zur Energieeinsparung und zum Ressourcenschutz leisten.

## Prozesse und Verfahren optimieren - Energiemanagement einführen

In der Industrie sind die Optimierung und die Umstellung energieintensiver Prozesse und Verfahren mit einem hohen Investitionsvolumen verbunden, aber dies birgt auch große Potenziale für Energieeinsparungen und damit auch zur Reduktion von THG-Emissionen. Einsparungen und Effizienzsteigerungen können beispielsweise mit Sektorkopplungselementen wie Abwärmenutzung oder integrierten EE-Erzeugungsanlagen und Speichersystemen erreicht werden. Ebenso können Digitalisierung und Automatisierung Prozesse und Verfahren effizienter gestalten und damit Energie einsparen.

Unabhängig von der Energieintensität, Größe und Branche ist ein Energiemanagementsystem (z.B. gemäß der DIN EN ISO 50000er Reihe) für alle Unternehmen anzuwenden, um ungenutzte Effizienzpotenziale zu erschließen, Energiekosten zu verringern und THG-Emissionen sowie andere Umweltauswirkungen von Energieverbräuchen zu reduzieren.

## Verändertes, bewusstes Konsumverhalten schaffen

Ein verändertes, bewussteres Konsumverhalten jedes Einzelnen ist ein elementarer Bestandteil hin zu einem nachhaltigen Gesamtsystem. Einspar- und Effizienzpotenziale finden sich dabei z.B. in den Bereichen Mobilität, Ernährung, Wohnen und Haushalt, Arbeiten und Büro, Bekleidung sowie Freizeit und Tourismus (vgl. Nationales Programm für nachhaltigen Konsum der Bundesregierung). Grundsätzlich sollte jeder Bürger und jede Bürgerin ein bewusstes Konsumverhalten entwickeln, aber muss dafür auch die notwendigen Informationen zu den Folgen von Kauf, Nutzung und Entsorgung einzelner Produkte und Dienstleistungen erhalten. Dazu bedarf es eines transparenten Systems, in dem beispielsweise einheitliche, verständliche Kennzeichnungen und Labels Aufschluss darüber geben, wie nachhaltig Produkte und Dienstleistungen sind. Zugleich gilt es Second-Hand-Optionen und Sharing-Konzepte stärker zu fördern und das Angebot auszuweiten. Ebenso kann die Digitalisierung und Automatisierung auch im privaten Bereich einen großen Beitrag zu Energieeinsparungen und Energieeffizienzsteigerung leisten (z.B. Datenverkehr statt Autoverkehr). Dazu bedarf es aber weiterer intensiverer Investitionen in digitale Infrastrukturen.

## Rahmensetzung und Mechanismen

Ordnungspolitische Rahmensetzungen sollten sparsam angewendet werden und vor allem auf systemische Veränderungen abzielen und nicht auf Einschränkungen für Bürgerinnen und Bürger. Vorrangig sollten marktwirtschaftliche Mechanismen greifen, wobei hier verstärkt darauf geachtet werden muss, alle umweltrelevanten Kosten von Produkten und Dienstleistungen einzupreisen und gerechte Steuerinstrumente zu schaffen (vgl. Kapitel Energiepolitische Maßnahmen). Ferner können für nachweisbar nachhaltigere Konzepte systemische Anreize und Förderungen geschaffen werden, um die Attraktivität zu steigern. Der Staat muss zudem eine Vorbildfunktion einnehmen und öffentliche Gebäude, Fuhrparks, Strukturen und Prozesse nachhaltig, energiesparend und effizient ausrichten.

## 2. SUBSTITUTION

Zur Bewertung möglicher Technologiepfade und alternativer Einsatzstoffe zur Substitution fossiler Energieträger sind verschiedene Faktoren zu beachten. Die Verfügbarkeit von Ressourcen, wie benötigte Rohstoffe für neue Technologien, aber auch mögliche Energieträger (bzw. Energiequellen) und im Zusammenhang damit Flächen- und Nutzungspotenziale stellen eine Grundvoraussetzung dar. Ökologische, ökonomische

und soziale Faktoren sind dabei zu berücksichtigen und abzuwägen. Ebenso müssen Versorgungs- und Verteilungsstrukturen optimiert, ausgebaut oder neu geschaffen sowie im Mobilitätsbereich bedarfsge- rechte und flächendeckende Lade- und Tankinfrastrukturen bereitgestellt werden. Vor dem Hintergrund von Effizienzsteigerungen bekannter und dem Einsatz neuer innovativer Technologien (vgl. Kapitel Innovationen und Entwicklungen) müssen zudem Strategien in regelmäßigen Abständen evaluiert und neu bewertet werden.

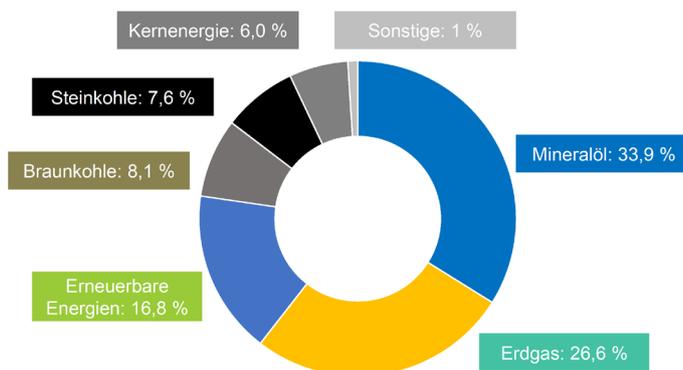
Für die Etablierung von Marktstrukturen ist die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Technolo- gien und Einsatzstoffe erforderlich. Angesichts knapper Ressourcen gilt es deswegen möglichst nachhaltig effiziente Lösungen in einem fairen Wettbewerb zu forcieren. Neben der Substitution von fossilen Ener- gieträgern muss auch ein möglichst intelligenter und effizienter Einsatz von Energie ermöglicht werden. Dafür müssen die einzelnen Bereiche, wie Strom, Wärme / Kälte und Mobilität im Rahmen einer Sektor- kopplung zusammengedacht werden. Hierbei geht es um die aktive Aussteuerung der Erzeugung und des Verbrauches in Abhängigkeit vom Nutzerverhalten. Damit können Lasten und Erzeugungen zwischen den Sektoren verschoben werden. Voraussetzung hierfür ist eine intelligente Vernetzung der jeweiligen Sektoren auf allen Ebenen vom Netz bis zu Quartieren oder Gebäuden.

### Substitution fossiler durch erneuerbare Energien

Ziel ist es, alle fossilen Energieträger schrittweise durch erneuerbare zu substituieren. In der Übergangs- phase sollte das Gesamtsystem auf minimale Treibhausgasemissionen optimiert werden. Bei dem zu erwartenden steigenden Strombedarf in der Zukunft und der begrenzten Flächenverfügbarkeit wird davon ausgegangen, dass Deutschland und vor allem auch Bayern verstärkt auf Energieimporte angewiesen sein werden. Zur Erhaltung regionaler Wertschöpfungsketten, einschließlich der damit verbundenen Arbeits- plätze, sowie zur Reduzierung der Abhängigkeit von anderen Staaten und Regionen sollten die verfügba- ren Möglichkeiten zur nachhaltigen Energiegewinnung in Bayern, Deutschland und Europa aber möglichst ausgeschöpft werden. Der verstärkte Ausbau von erneuerbaren Energien wird die zentrale Aufgabe der nächsten Jahre sein.

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland besteht aktuell nur aus 16,8 % erneuerbaren Energien. Die Substitution muss deswegen nicht nur im Strombereich vollzogen werden, sondern umfasst alle Sektoren. Neben dem viel diskutierten Ausstieg aus der Atomkraft und der Kohle muss das langfristige Ziel deswe- gen auch die Substitution der fossilen Energieträger Erdgas und Mineralöl umfassen.

**Primärenergieverbrauch in Deutschland 2020 (11.691 Petajoule)**



Eigene Abbildung

Quelle: BDEW / AG Energiebilanzen - Stand 12/2020 (vorläufige Zahlen)

## Windkraft und Solarenergie als tragende Säulen für den zukünftigen Energiemix

Windenergie leistet den größten Beitrag der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung. Deswegen wird der Ausbau der Windenergie entscheidend sein für eine erfolgreiche Energiewende. Mit Abstrichen gilt das auch für Bayern. Auch wenn viele Regionen in Bayern nicht als besonders windertragsreich gelten, zeigt die Erfahrung mit bestehenden Anlagen, dass auch hier ein wirtschaftlicher Betrieb möglich und sinnvoll ist. Der Ausbau der Windkraft in Deutschland wird auch zukünftig vor allem in den windreichen Regionen Nord- und Mitteldeutschlands und auf See erwartet. Mehr Windanlagen auch in Bayern wären aber sowohl für die regionale Wertschöpfung als auch für eine bessere Versorgung in der Fläche vorteilhaft. Der Ausbau der Windkraft in Bayern sollte daher unter Beachtung des Bevölkerungs-, Arten- und Landschaftsschutzes durch flexible Abstandsregeln gefördert werden (vgl. Kapitel Energiepolitische Maßnahmen).

Auch bei der Solarenergie gibt es noch große Potenziale, wie beispielsweise eine großflächige Nutzung von Dächern, Fassaden, Carports etc. - gerade auch im gewerblichen Bereich. Ebenso muss der Ausbau entlang Autobahnen und Schienenwegen, auf ökologisch wertlosen Restflächen sowie (unter Beachtung von Ökologie und Landschaftsschutz) auf landwirtschaftlich benachteiligten Flächen forciert und ggf. eine Kombinationslösung ermöglicht werden. Im Wärmebereich nimmt die direkte Solarnutzung über Solarthermie eine kleinere Rolle ein. Ein Ausbau wäre vor allem im Bereich des Wohnungsbaus möglich, wobei Solarthermie aber hier mit Photovoltaik (PV) um geeignete Dachflächen konkurriert. Angesichts steigender Wirkungsgrade von PV-Modulen und mittlerweile nahezu gleicher Kosten pro erzeugter Kilowattstunde (kWh) erscheint es daher langfristig sinnvoll, auf Dächern vorrangig den Ausbau von PV-Anlagen zu forcieren und (anderweitig nicht verwendbare) Stromüberschüsse neben der Stromspeicherung auch in Form von Wärme z.B. für die Warmwasser-Erzeugung zu speichern. Die Nutzung von Strom aus dem Netz in Strom-Direktheizungen kann dagegen auch langfristig nicht aus Überschüssen von Wind- und PV-Strom gedeckt werden und sollte daher (bis auf Sonderfälle) abgebaut werden. Eine weit bessere Form der (direkten oder indirekten) Nutzung von Wind- und Solarstrom im Wärmebereich ist der Einsatz elektrischer Wärmepumpen. Hier werden im Mittel aus einer eingesetzten kWh Strom 3-5 kWh Wärme erzeugt. Aus technischen Gründen können Wärmepumpen zur Heizung besonders vorteilhaft in kleineren und wärmetechnisch optimierten Gebäuden eingesetzt werden. Ziel sollte sein, vor allem den Anteil in Neubauten und energetisch sanierten Gebäuden (v.a. in Ein- und Zweifamilienhäusern) zu Lasten fossiler Heizungssysteme zu verdoppeln.

## Biomasse – ein Allroundtalent mit beschränkten Potenzialen

Biomasse zur energetischen Nutzung besteht aus tierischen und pflanzlichen Erzeugnissen, die zur Gewinnung von Heizenergie, Strom und Kraftstoffen genutzt werden können. Da es sich bei Biomasse stets um nachwachsende Rohstoffe handelt, zählt sie zu den erneuerbaren Energien. Zentral für die generelle Nutzung von Biomasse ist die Betrachtung unter Aspekten des Flächenverbrauchs, der unerwünschten Anreicherung von Nährstoffen in Ökosystemen (Eutrophierung), des Biodiversitätsverlustes und der sozialen Nachhaltigkeit. Zur Stromerzeugung werden v.a. Biogas, Biomasse und biogene Abfallstoffe genutzt. Den Spitzenplatz nimmt die Biomasse aber in der Bereitstellung von Wärme ein. In diesem Bereich wird die Nutzung bspw. für Pellet- oder Hackschnitzelheizungen oder auch Konzepte mit Biogasanlagen gefördert. Mit angeschlossenem Blockheizkraftwerk (BHKW) können Biogasanlagen Wärme und Strom erzeugen und über Nahwärmenetze sogar ganze Quartiere versorgen. Die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan (mit einem Methangehalt von rund 98 %) ermöglicht zudem eine Einspeisung in das Gasnetz.

Auch in der Mobilität kann die Nutzung von Biomasse einen Beitrag zum klimafreundlichen Verkehr leisten. Biokraftstoffe können fossile Kraftstoffe wie Diesel, Benzin oder Erdgas ersetzen. Sie können in

Reinform genutzt oder fossilen Kraftstoffen beigemischt werden. Hohe Anteile können aber einen Anpassungsbedarf am Motorsystem von Fahrzeugen nach sich ziehen. Den größten Anteil an Biomasse in der Mobilität haben aktuell Biodiesel und Bioethanol, die zu rund 70 % aus konventionellen Biokraftstoffquellen (1. Generation) stammen, wie beispielsweise Nahrungs- und Futtermittelpflanzen, und zu 30 % aus fortschrittlicheren Biokraftstoffquellen (2. Generation), meist aus Abfall- und Reststoffen. Im Jahr 2017 kamen nur rund 25 % der Ausgangsstoffe aus Deutschland - der Rest musste importiert werden. Diese Importe (hauptsächlich aus Entwicklungs- und Schwellenländern) sind äußerst kritisch zu bewerten, da Produkte wie Palmöl dort häufig unter schwersten Umweltbelastungen (Abholzung von Regenwäldern etc.) erzeugt werden. Bei der Formulierung von Vorschriften zum Einsatz oder zur Beimischung von Biokraftstoffen muss eine zu 100% nachhaltige Erzeugung bzw. Herkunft obligatorisch werden. Soweit das nicht möglich ist, können Biokraftstoffe nicht eingesetzt werden. Biomethan, welches in CNG-Fahrzeugen genutzt wird, stammt zum Großteil aus überschüssigem Stroh sowie anderen landwirtschaftlichen Reststoffen und gilt deshalb als nachhaltiger.

Langfristig sollte Biomasse primär zur Wärmeversorgung z.B. in KWK-Anlagen von Gebäuden, zur Erzeugung von Biokraftstoffen für die Mobilität sowie zur Deckung von Spitzenlasten im Stromnetz eingesetzt werden.

### Wasserkraft - ein wichtiger Baustein der Energiewende

Die Wasserkraft leistet in Deutschland nur einen kleinen Anteil an der Stromerzeugung, nimmt aber in Bayern eine weitaus wichtigere Rolle ein. Sie konnte in den letzten 20 Jahren aufgrund der politischen Restriktionen keine signifikante Steigerung der installierten Leistung realisieren, obwohl Ausbaupotenzial vorhanden ist. Für den weiteren Ausbau sind, neben der Ertüchtigung bestehender Großkraftwerke, besonders Technologien wie überströmte Schachtkraftwerke und Wasserkraftschnecken von Bedeutung. Da sich Wasserkraftwerke durch eine kaum fluktuierende Erzeugung auszeichnen und damit grundlastfähig sind, gleichzeitig eine hohe Auslastung der installierten Leistung von durchschnittlich 53 % bzw. 4600 Volllaststunden aufweisen, soll zukünftig die jährliche elektrische Arbeit um mindestens 2 TWh (theoretisches Potenzial bis ca. 20 TWh) in Bayern gesteigert werden. Das Ausbaupotenzial muss dabei unter Aspekten der Nachhaltigkeit geprüft werden.

Wasserkraftwerke tragen zu einer sicheren Stromversorgung bei, da sie meist mit Synchrongeneratoren direkt an das Stromnetz gekoppelt sind. Sie können daher umfangreiche Systemdienstleistungen anbieten. Beispielsweise sind sie in der Lage, die Netzspannung durch lastunabhängige Abgabe von sowohl induktivem als auch kapazitivem Blindstrom zu regeln und diesen zu kompensieren. Sie tragen in großem Umfang zu einem hohen Trägheitsmoment der Soll-Netzfrequenz bei und sind schwarzstartfähig. Aufgrund der Grundlastfähigkeit benötigt die Wasserkraft keine Stromspeicher.

### Netze und Speicher - Grundvoraussetzung für ein leistungsfähiges und flexibles Energiesystem

Die Optimierung, Verstärkung und auch der Ausbau von Übertragungs- und Verteilnetzstrukturen sind für die Umsetzung der Energiewende essenziell. Auch wenn grundsätzlich ein dezentralerer Ansatz mit dem Umbau des Energiesystems einhergeht, wird weiterhin ein starker Ausbau von Infrastrukturkapazitäten erforderlich sein, um Energie dort hinzubringen, wo sie gebraucht wird - national wie international. Die Integration von Erneuerbare-Energien-Anlagen, die vornehmlich in die Verteilnetze erfolgt (rund 97 %), ist dabei maßgebliche Herausforderung, die vor allem einer intelligenten Steuerung bedarf. Zur Erhaltung eines wirtschaftlichen Netzbetriebes muss eine umfängliche Netzreform in den nächsten Jahren vorgenommen werden (vgl. Kapitel Energiepolitische Maßnahmen).

Der Bedarf an Energiespeichern nimmt für kurzfristige Regelleistung zu. Mit der schrittweisen Substitution von thermischen Kraftwerken durch regenerative Energieträger verbindet sich eine tiefgreifende Veränderung bei der Erzeugung von elektrischer Energie und deren Übertragung durch Stromnetze, welche für neue Randbedingungen und Anforderungen ausgelegt werden müssen. Veränderungen sind z.B. längere Übertragungswege der elektrischen Energie oder neue Anforderungen an die Spannungsstabilisierung (Blindleistungsbedarf). Der beschlossene Ausstieg aus Kernkraft- und Kohlekraftwerken schwächt konventionelle Methoden der Netzstabilisierung (z.B. Momentanreserve aus Rotationsenergie und Primärregelleistung aus Kohlekraftwerken). Perspektivisch ist deshalb zu klären, ob ein stabiler Betrieb des deutschen Stromnetzes ohne thermische Kraftwerke möglich ist oder ob für die Erfüllung der störfallrelevanten Auslegungskriterien des Stromnetzes ein Mindestanteil an thermischen Kraftwerken erforderlich ist. Für z.B. die Ausregelung der Photovoltaik können auch hocheffiziente GuD-Kraftwerke eingesetzt werden, welche am späten Nachmittag schrittweise die nachlassende elektrische Leistung der Photovoltaik ersetzen, ab Sonnenuntergang ihren Beitrag zur Abdeckung des Grundlastbedarfs leisten und nach Sonnenaufgang schrittweise an die Photovoltaik übergeben. Auf diese Weise lässt sich auch die effiziente Bereitstellung von elektrischer Energie in den sonnenschwächeren Monaten sicherstellen. Diese hocheffizienten mit Erdgas betriebenen GuD-Kraftwerke sollen dann zu einem späteren Zeitpunkt auch mit grünem Wasserstoff betrieben werden können.

Mit einer optimalen Kombination verschiedener erneuerbarer Energieträger und ausreichender Netzkapazitäten lässt sich der Speicherbedarf minimieren. Dennoch muss zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit erneuerbare Energie verstärkt auch mittel- und langfristig speicherbar sein. Mittlerweile gibt es dazu eine Vielfalt an verschiedenen Speichertechnologien. Mechanische, elektrochemische, chemische, elektrische und thermische Speicher bieten zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten für die verschiedenen Bedarfe. Für großflächigen Einsatz müssen aber noch die entsprechenden Rahmenbedingungen geschaffen und auch in einigen Bereichen die Nutzung in Forschungs- und Entwicklungsprojekten weiterhin erprobt werden. Neben dezentralen Lösungen bedarf es auch einiger Großprojekte, wie z.B. durch Pumpspeicherkraftwerke in ausgedienten Kohletagebauen.

## Direkte Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehr - Elektromobilität

Die Elektromobilität gilt als eine der vielversprechendsten Technologien zur Substitution fossiler Kraftstoffe im Verkehrsbereich. Die Elektrifizierung im Schienenbereich ist bereits durch die Nutzung von Oberleitung weit vorangeschritten. Bis 2025 sollen insgesamt 70 % des gesamten Schienenverkehrs elektrifiziert werden, wobei der Fernverkehr bereits heute nahezu vollständig elektrifiziert ist. Oberleitungen könnten aber abseits der Schiene auch für die Straßennutzung in Kombination mit Hybridantrieben sinnvoll sein. Für den Schwerlastverkehr gibt es bereits Forschungs- und Entwicklungsprojekte die Konzepte erproben. Ein Oberleitungssystem mit Hybridantrieben ist aber vor allem im größeren, z.B. im europäischen Kontext zu betrachten. Mehrere Studien kommen zu dem Ergebnis, dass trotz der hohen Investitionskosten für die Infrastruktur die CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten solcher Systeme geringer sein könnten. Möglichkeiten in diesem Bereich gilt es zu prüfen.

Ein großes Potenzial haben batterieelektrische Antriebe, die aktuell vor allem in Pkw genutzt werden. Die steigenden Zulassungszahlen sowie die hohen Investitionen der Automobilhersteller und Zulieferer in die Elektromobilität lassen auf eine positive Trendentwicklung schließen. Ziel der Bundesregierung ist bis 2030 insgesamt 7 - 10 Mio. Elektroautos (BEV und PHEV) auf deutsche Straßen zu bringen. Im Bereich der Plug-in-Hybride werden zudem Möglichkeiten gesucht, den Nutzungsgrad des batterieelektrischen Anteils zu erhöhen, um auch hier eine bessere Klimabilanz zu erreichen. Auch im Schwerlastverkehr können batterieelektrische Antriebe eine Alternative zu konventionellen werden, sofern eine bedarfsgerechte Ladeinfra-

struktur vorhanden ist oder ggf. auch Systeme zum Batterietausch etabliert werden. Für den ÖPNV oder auch weitere Fahrzeuge des kommunalen Fuhrparks sind batterieelektrische Antriebe besonders geeignet. Sie könnten viele positive Effekte insbesondere in Großstädten erwirken. Hierfür bedarf es allerdings noch eines größeren Angebots an Fahrzeugmodellen zu erschwinglichen Kosten für Kommunen.

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur ist ein zentrales Kriterium für einen Markthochlauf. Bereits heute gibt es rund 40.000 öffentliche Ladepunkte in Deutschland (Stand Mai 2021) und die Anzahl wird in den nächsten Monaten und Jahren weiter steigen. Ebenso ist der bedarfsgerechte Aufbau einer Schnellladeinfrastruktur an Fernstraßen notwendig. Wichtig ist hierbei die Ladeinfrastruktur kundenfreundlich zu gestalten, z.B. bei Registrierungs- und Bezahlvorgängen, sowie ein System zur Flächendeckung zu entwickeln. Im Bereich der Pkw liegt der Fokus aber auf dem Ausbau der privaten Ladeinfrastruktur, da rund 85 % der Ladevorgänge zu Hause oder beim Arbeitgeber erfolgen. Dabei braucht es gezielte Förderungen und den Abbau rechtlicher Hemmnisse. Ziel muss es sein, nicht nur eine netzverträgliche, sondern eine netzdienliche Integration der Elektromobilität zu realisieren.

### Schlüsselement Wasserstoff

Sog. grüner Wasserstoff (H<sub>2</sub>) (vgl. Kapitel Innovationen und Entwicklungen) gilt aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten als ein Schlüsselement der Energiewende. Er kann als (langfristiger) Speicher und direkt eingesetzt werden. Ein großes Potenzial kann H<sub>2</sub> dabei für die Substitution von Öl oder Gas aufweisen, insbesondere in Bereichen, in denen die direkte Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien nicht möglich ist. Bisherige Studien prognostizieren jeweils sehr unterschiedliche Bedarfe für H<sub>2</sub> in den nächsten Jahrzehnten, jedoch führen alle an, dass die Treibhausgasneutralität nur mit einem großflächigen Einsatz von H<sub>2</sub> realisiert werden kann. Die heutigen Märkte für H<sub>2</sub> in Deutschland finden sich vor allem im Bereich von Raffinerien und der Industrie. Ebenso ist ein Einsatz im Mobilitätsbereich, z.B. im Schwerlast-, Zug- oder Schiffsverkehr denkbar.

## 3. INNOVATIONEN UND ENTWICKLUNGEN

Das Rückgrat der Energiewende ist die Entwicklung von innovativen Technologien, Verfahren und Steuerungssystemen, die in enger Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft verstärkt fortgesetzt werden muss, wenn die beschlossenen nationalen Klimaschutzziele erreicht werden sollen. Einen maßgeblichen Beitrag haben die Start-Up-Unternehmen geleistet, die weiterhin stark gefördert werden müssen. Besondere Schwerpunkte sind dabei die „Sektorenkopplung“, in der die Energiebereiche Strom, Wärme/Kälte und Mobilität eng und intelligent miteinander vernetzt sind sowie die zur Steuerung der zukünftigen komplexen Systeme benötigte „Künstliche Intelligenz“ weiterentwickelt wird. Nachfolgend sind einige - nach heutigem Kenntnisstand - wichtige Schwerpunkte der Technologieentwicklung aufgeführt, die auch laufend auf den Prüfstand gestellt werden müssen.

### Strom aus erneuerbaren Energien

Strom aus erneuerbaren Energien ist die wichtigste zukünftige Primärenergie und sollte - wo immer möglich - direkt zur Anwendung kommen, um Verluste bei der Umwandlung von Strom in andere Energieträger zu vermeiden. Vorrangiges Ziel muss sein, Strom aus erneuerbaren Energien in Deutschland in ausreichenden Mengen und zu vertretbaren Kosten zu erzeugen sowie ausreichende Speicherkapazitäten für eine sichere Stromversorgung bereitzustellen.

Bei der Windkraft besteht ein hohes Innovationspotenzial durch den Einsatz von schwimmenden Plattformen, die auf See auch bei großen Wassertiefen eingesetzt werden können und damit die Voraussetzung zur Nutzung der enormen Windressourcen auf See schaffen. Eine neue umweltfreundliche Technologie der Windkraft sind „Vortex Bladeless“-Anlagen, die aber erst am Anfang der Entwicklung stehen und noch beweisen müssen, dass sie hinsichtlich der Effizienz und Kosten eine Alternative zu den herkömmlichen Windkraftanlagen darstellen. Auch ist zu prüfen, ob bzw. in welchem Umfang kleine Windräder einen nennenswerten Beitrag zur Stromerzeugung leisten können.

In der Photovoltaik liegen die Innovationsschwerpunkte in der Entwicklung dünnerer und effizienterer Solarzellen mit geringeren Verlusten (u.a. Heterojunction- und Perowskitesolarzellen) und in der Entwicklung von u.a. Konzentratorzellen und organischen Solarzellen, die in Verbindung mit den großen noch verfügbaren Dachflächen und unter Einsatz effizienter Stromspeicher einen wesentlichen Anteil des privaten Stromverbrauchs abdecken können. Ein weiterer innovativer Ansatz ist die erst am Anfang ihrer Entwicklung stehende Agro- und Aquaphotovoltaik, die ein hohes Potenzial für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien aufweisen.

Bei der Wasserkraft liegt der Fokus auf der Sanierung/Nachrüstung von älteren Anlagen sowie auf der Entwicklung von Kleinwasserkraftanlagen (Schachtkraftwerk, Wasserwirbelkraftwerk), die in kleinen Fließgewässern eingesetzt werden können. Diese Anlagen sind grundlastfähig und können bei Nutzung des vorhandenen Potenzials einen wichtigen Beitrag zur dezentralen Stromversorgung leisten. Wesentliche technische Verbesserungen sind auch bei Biogasanlagen möglich, die grundlastfähigen Strom produzieren und durch die Speicherung des produzierten Methans einen wesentlichen Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes leisten. Große Forschungsaktivitäten sind auch erforderlich, wenn die angestrebte Nutzung der thermonuklearen Kernfusion zur Stromerzeugung bis Ende dieses Jahrhunderts erfolgreich sein soll. Gleiches gilt für die Spallation, die früher zur Verfügung stehen könnte und durch die CO<sub>2</sub>-freier Strom produziert sowie gleichzeitig das Problem der Endlagerung von hoch radioaktivem Atommüll entschärft werden kann.

## Transport und Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien

Strom aus Wind und Sonne ist auf Grund der fluktuierenden Erzeugung nicht grundlastdeckend. Dieses Manko kann zu einem erheblichen Teil durch den Aufbau eines europaweiten, intelligenten Starkstromnetzes (Smart Grid) ausgeglichen werden, in dem die unterschiedlichen Netzspannungsebenen intelligent untereinander angesteuert und die Spannungsebenen nach dem Subsidiaritätssystem in die Verantwortlichkeiten genommen werden. Mit diesem Netz lassen sich die enormen Potenziale der Sonnenenergie in den Mittelmeerländern stärker nutzen. Durch eine leistungsstarke Anbindung an die in Nordafrika geplanten Solarkraftwerke wird darüber hinaus die Möglichkeit geschaffen, Strom aus erneuerbaren Energien direkt nach Europa bzw. Deutschland zu leiten. Ein wichtiger Schritt ist dabei, die Effizienz der zum Einsatz kommenden Solarkraftwerke durch neue Technologien zu verbessern.

Großer Entwicklungsbedarf besteht bei der Entwicklung von wettbewerbsfähigen, netzdienlichen und leistungsstarken Speichertechnologien mit hohen Power-to-Power-Wirkungsgraden und ausreichenden Speicherkapazitäten, die bereitgestellt werden müssen, wenn die Versorgungs- und Systemsicherheit gewährleistet werden soll. Wichtige Stromspeicher sind Pumpspeicherkraftwerke, die zwar auf einer ausgereiften Technologie basieren, aber wegen der erforderlichen topografischen Voraussetzungen und ökologischer Bedenken keine signifikante Steigerung der Speicherleistung in Deutschland erwarten lassen. Große Fortschritte sind bei Entwicklung und Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien (LIB) erzielt worden. Trotzdem bestehen noch erhebliche Verbesserungspotenziale hinsichtlich Energiedichte, Sicherheit, Lebensdauer, Re-

cycling und Produktionskosten, die durch die Entwicklung neuer innovativer Technologien genutzt werden müssen. Eine zunehmend wichtigere Rolle nehmen die Feststoff-Batterien ein, die im Vergleich zu den LIBs höhere Energiedichten aufweisen sowie leichter, umweltfreundlicher und wärmeunempfindlicher sind. Neben Batterien stellen Superkondensatoren eine vielversprechende und weiterzuentwickelnde Perspektive dar.

Großes Entwicklungspotenzial besteht bei den stationär eingesetzten Redox-Flow-Batterien, u.a. durch die Verwendung von organischen Elektrolyten anstatt der üblicherweise eingesetzten Schwermetalle und seltenen Erden. Redox-Flow-Batterien haben zwar eine relativ geringe Energiedichte, sind aber sicher, kostengünstig, leicht skalierbar und vollständig recycelbar und bieten damit beste Voraussetzungen für die Entwicklung einer neuen Generation von kostengünstigen und vielfältig einsetzbaren Stromspeichern. Mit den in der Entwicklung befindlichen „Lageenergiespeichern“ mit Kapazitäten von > 10 MWh ist eine weitere Technologie verfügbar, die ökologisch unbedenklich und wegen der Lebensdauer der Anlagen von weitaus mehr als 50 Jahren nachhaltig ist.

Als langzeitige Stromspeicher, die eine gesicherte Stromversorgung bei Dunkelflauten und in Wintermonaten ermöglichen, bieten sich die bereits vorhandenen Power-to-X-Technologien an, bei denen Strom aus erneuerbaren Energien in Form von z.B. Methan, Ammoniak und Wasserstoff gespeichert werden kann. Wegen der schlechten Wirkungsgrade bei der Rückverstromung sind jedoch noch erhebliche technologische Weiterentwicklungen erforderlich. Gleiches trifft auf die sogenannten Carnot-Batterien zu, die als Strom-Wärme-Strom-Speicher eine Schlüsseltechnologie für die Speicherung großer Elektrizitätsmengen einnehmen können. Großer Entwicklungsbedarf besteht auch bei den mit flüssiger Luft als Speichermedium arbeitenden kryogenen Stromspeichern, die eine saubere, zuverlässige und kosteneffiziente Langzeitspeicherung bieten.

## Wasserstofftechnologie

Die Wasserstoffwirtschaft mit Erzeugung, Transport und Speicherung von sog. grünem Wasserstoff ist ein Eckpfeiler der Dekarbonisierung des bestehenden Energiesystems und leistet über die „Sektorenkopplung“ einen wichtigen Beitrag zur notwendigen Flexibilität im künftigen Energiesystem. Wegen der hohen Energieverluste bei einer Rückverstromung sollte grüner Wasserstoff nur für Bereiche zum Einsatz kommen, in denen Strom keine direkte Anwendung findet.

Wegen der hohen Kosten bei der Herstellung ist der grüne Wasserstoff derzeit nicht marktfähig. Um eine verlässliche, bezahlbare und nachhaltige Erzeugung von grünem Wasserstoff zu gewährleisten, sind weitere erhebliche Entwicklungen und Innovationen erforderlich, die die gesamte Wertschöpfungskette der Wasserstofftechnologie umfassen. Wichtiger Bestandteil der Wertschöpfungskette sind die Elektrolyseure, deren Wirkungsgrad durch technologische Weiterentwicklung sowie durch die Nutzung der bei der Elektrolyse entstehenden Wärme (Sektorenkopplung) auf mehr als 90 % gesteigert werden kann. Elektrolyseanlagen sollten deshalb bevorzugt dort errichtet werden, wo Wasserstoff in großen Mengen gebraucht und gleichzeitig die Abwärme genutzt werden kann. Weiteres Innovationspotenzial besteht in der Entwicklung kostengünstiger Elektrolyseure, die auch bei starken Auslastungsschwankungen (z.B. bei regenerativen Stromspitzen im Bereich von 1000-4000 Vollbetriebsstunden) eingesetzt werden können.

Bedarf besteht an der Bereitstellung einer sicheren und ausreichenden Transport- und Verteilinfrastruktur von grünem Wasserstoff, so u.a. hinsichtlich der Umrüstung der bestehenden Erdgasleitungen sowie der Entwicklung von effizienten mobilen Transportmöglichkeiten. Eine besondere Herausforderung ist die Entwicklung von sicheren Langzeitspeichersystemen, mit denen grüner Wasserstoff in ausreichenden Mengen

gespeichert werden kann. Möglichkeiten bieten heute schon die Liquid Organic Hydrogen Carrier-Träger-technologie (LOHC) und die Metallhydridspeicher aus Leichtmetallen, die weiterzuentwickeln und marktfähig zu machen sind. Zukunftsweisend für Speicherung und Transport von Wasserstoff ist die Umwandlung in Ammoniak, das schon bei Raumtemperatur und geringer Kompression flüssig wird und damit erheblich einfacher zu handhaben ist als Wasserstoff.

### Bereitstellung von Wärme/Kälte

Im Wärme-/Kältebereich kann die Energiewende nur gelingen, wenn einerseits der Wärme- und Kältebedarf reduziert und zum anderen der Restbedarf durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Die dazu benötigten Techniken sind zu einem Großteil bereits vorhanden, müssen aber noch weiterentwickelt bzw. durch neue klimaneutrale Technologien ergänzt bzw. ersetzt werden, wenn die energetische Sanierung des Gebäudebestands und die energetische Optimierung der bestehenden technischen Anlagen bzw. Verfahren (u.a. in der Industrie) erfolgreich umgesetzt werden sollen. Verbesserte Verfahren zur effizienteren Wärmenutzung sind auch in der Prozessindustrie erforderlich, in der große Mengen thermischer Energie benötigt werden. Dazu gehören verbesserte Techniken zur kaskadierten Nutzung der thermischen Energie und das Upgrading von Wärme u.a. durch hocheffiziente Wärmepumpen. Konzepte und Technologien für solche komplexen, innerbetrieblichen Wärmenutzungen müssen weiterentwickelt bzw. ausgebaut werden.

Für die Deckung des verbleibenden Wärme-Kältebedarfs ist die Entwicklung von sektorengekoppelten, intelligenten Gesamtsystemen, welche die nachhaltige Erzeugung, die Verteilung, die Speicherung und die Nutzung von Energie umfassen, erforderlich. Wichtige Elemente dieser Gesamtsysteme sind u.a. Wärmepumpen, thermische Sonnenkollektoren, Geothermie, Power-to-Heat-Technologien, Biomasseheizung, Nutzung von Abwärme, Fern- und Nahwärmenetze und insbesondere Wärmespeicher, die insgesamt eng miteinander vernetzt und an die lokalen Bedingungen und Anforderungen angepasst werden müssen. Dies gilt insbesondere für die sich stark unterscheidende Wärmeversorgung zwischen Stadt und Land sowie zwischen Gebäudebestand und Neubaugebieten, die differenzierte Lösungen notwendig machen.

Eine bedeutende, vielfach ungenutzte Wärmequelle ist die Abwärme u.a. aus Industrie-, Gewerbe-, Biogas- und Kraft-Wärmekopplungs-Anlagen, die bei hinreichender Nutzung einen großen Anteil des gesamten Heizwärmebedarfes decken kann. Dazu sind u.a. neue Konzepte und Technologien zur Wärmerückgewinnung und zur Anbindung an ein Fern- und Nahwärmenetz zu entwickeln. Die Wärmeverluste in den Fern- und Nahwärmenetzen müssen durch neue Isoliertechniken minimiert werden, um den Wärmetransport leistungsfähiger und damit auch konkurrenzfähig zu machen. Bei größerem Abstand zur Wärmequelle sind die bereits eingesetzten mobilen Latentwärmespeicher u.a. durch Einsatz neuer Speichermedien weiterzuentwickeln bzw. durch neue Technologien zu ergänzen.

Eine wichtige Rolle bei der zukünftigen Bereitstellung von Wärme spielen klimafreundliche Wärmepumpen, die ggf. mit thermischen Sonnenkollektoren oder „Kaltwärmenetzen“ gekoppelt und intelligent mit dem Stromsektor (u.a. über Power-to-heat) vernetzt sind. In Kombination mit Wärmespeichern wie z.B. der oberflächennahen Geothermie kann ein Großteil der jährlichen im privaten Bereich benötigten Wärme zur Verfügung gestellt werden. Dieses Gesamtsystem verfügt noch über große Entwicklungspotenziale, die auch zur Speicherung von Kälte genutzt werden können. Die derzeit zur Anwendung kommenden Latentwärmespeicher (mit den Speichermedien u.a. Paraffin, Eis, Salzlösungen und Zeolith) müssen hinsichtlich Effizienz und Kapazität weiterentwickelt und marktfähig gemacht werden.

Eine grundlastfähige Wärmeversorgung bietet die Tiefengeothermie, die in Verbindung mit Fernwärmenetzen einen großen Beitrag zur Wärmewende leisten kann. Tiefengeothermie wird bereits verbreitet genutzt,

weist aber noch einen erheblichen Entwicklungsbedarf auf, der gedeckt werden muss, um das vorhandene Potenzial der Geothermie möglichst umfassend zu nutzen. Eine weitere Wärmequelle ist die Verwendung von Biomasse, die aber nur begrenzt zur Verfügung steht und nicht wesentlich ausgebaut werden kann.

Eine besondere Herausforderung stellen die Klimaanlage dar, die für die nahe Zukunft in Anbetracht des Klimawandels mit zunehmenden Hitzeperioden immer stärker gefragt werden. Der Energieverbrauch der heute eingesetzten Klimatechniken bzw. Klimatisierungssysteme hat zwar in den letzten Jahren stetig abgenommen, muss aber durch neue Technologien weiter gesenkt werden.

### Klimaneutrale Mobilität

Die Mobilitätswende erfordert einen tiefgreifenden Wandel des bestehenden Verkehrssystems sowie die Anwendung alternativer Lösungen mit einem ganzheitlichen, integrierten Ansatz und mit einer auf die jeweiligen Verkehrsträger zugeschnittenen Kombination von Technologien. Ein wichtiger Baustein dieses Ansatzes ist die batteriebasierte Elektromobilität mit Strom aus erneuerbaren Energien, die heute schon einen hohen technologischen Stand erreicht hat und ihre Stellung durch den Einsatz neuer Technologien weiter ausbauen wird. Eine zentrale Rolle spielen die Batterien, die noch große Entwicklungspotenziale aufweisen. Dringender Entwicklungsbedarf wird auch bei der Erstellung der Ladeinfrastruktur mit einer intelligenten Netztechnologie und leistungsfähigen Ultraschnellladestationen vor allem im Schwerlastverkehr gesehen. Wichtig ist auch die Weiterentwicklung von mobilen Ladestationen, die u.a. bei Bedarf für Baustellen und Großveranstaltungen eingesetzt werden können.

Weil ein Großteil der Ladevorgänge zuhause stattfindet, ist der Ausbau privater, netzverträglicher und netzdienlicher Ladeinfrastruktur erforderlich. Insbesondere im Umfeld größerer Wohnanlagen sind intelligent skalierende Lademöglichkeiten bereitzustellen. Zukunftsweisend ist in diesem Zusammenhang die Technologie des „bidirektionalen Ladens“, mit der das an das Stromnetz angeschlossene Fahrzeug sowohl laden als auch entladen kann (Vehicle-to-Grid- bzw. Vehicle-to-Home-Technologie). Dadurch werden zusätzliche virtuelle Speicherkapazitäten bereitgestellt und Lastspitzen im Stromnetz kompensiert bzw. geglättet. Die dazu erforderlichen Ladestationen und Software müssen weiterentwickelt werden. Die wasserstoffbasierte Mobilität unter Einsatz von grünem Wasserstoff ist ein Eckpfeiler der Mobilitätswende, sollte aber nur zur Anwendung kommen, wenn der direkte Einsatz von Strom (so u.a. bei schweren Nutzfahrzeugen sowie bei Bahnen und Schiffen) technisch nicht machbar ist. Die in diesem Fall zum Einsatz kommenden Brennstoffzellen weisen jedoch noch einen erheblichen Entwicklungsbedarf auf und müssen effizienter, kostengünstiger und langlebiger werden.

Die Verfahren zur effizienten und kostengünstigen Erzeugung strombasierter Kraftstoffe, so z.B. von Kerosin und Methanol, sind durch neue Technologien voranzutreiben, um u.a. auch den Luftverkehr CO<sub>2</sub>-neutral gestalten zu können. Auch muss in Zukunft stärker auf neuartige Biokraftstoffe aus Abfällen und Reststoffen (z.B. aus Stroh) oder aus Algen gesetzt und die dafür erforderlichen Technologien müssen entwickelt werden. Einen wesentlichen Beitrag zur Verkehrswende leistet auch der Einsatz Intelligenter Verkehrs- und Logistiksysteme, durch die der zukünftige Straßen- und auch Güterschienenverkehr effizienter und umweltfreundlicher gestaltet werden kann. Die dabei eingesetzten Informations- und Kommunikationstechnologien sind weiterzuentwickeln und möglichst zeitnah einzuführen.

### Industrie und Wirtschaft

Um die Klimaschutzziele in der Industrie zu erreichen, ist die Energieeffizienz entlang des gesamten Lebenszyklus der Produkte, beginnend mit der Rohstoffgewinnung über die Verarbeitung bis hin zum

Recycling zu steigern, Prozesstechnologien für die Produktion von klimaneutralen Produkten und biobasierten Werkstoffen sind zu entwickeln und fossile Energieträger durch regenerative Energien zu ersetzen. Prozessübergreifende Konzepte sind derzeit in Ansätzen verfügbar, z.B. in der Stahlindustrie, erfordern aber weitere ambitionierte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, um die ökonomische und ökologische Leistungsfähigkeit derartiger Lösungen sicherzustellen.

Zentraler Rohstoff in der chemischen Industrie ist der Kohlenstoff, der bisher überwiegend aus Erdöl und Erdgas gewonnen wird, in Zukunft aber durch andere, klimaneutrale Verfahren und Technologien bereitgestellt werden muss. Ein möglicher Ansatz ist die Nutzung von CO<sub>2</sub>, das durch innovative Verfahren aus der Atmosphäre, aus Rauchgasen von Kraftwerken und aus Abgasen bei der Zementherstellung abgeschieden und anschließend mit Hilfe von grünem Wasserstoff zur Herstellung von u.a. synthetischen Kraftstoffen, chemischen Grundstoffen (z.B. Methanol) oder Polymeren genutzt wird. Die dafür erforderlichen Verfahren und Technologien stehen erst am Anfang ihrer Entwicklung und müssen durch weitere Forschung ausgebaut werden.

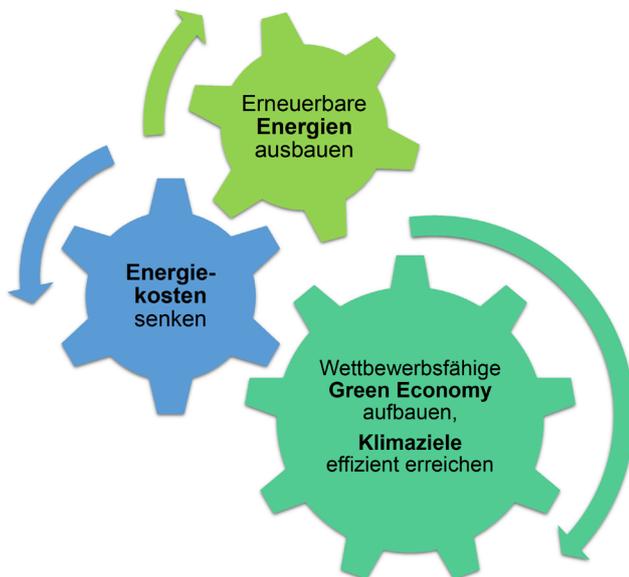
In Kombination mit einer langfristigen Speicherung des abgeschiedenen CO<sub>2</sub> (Carbon Capture and Storage CCS) können diese innovativen Anreicherungsverfahren einen wichtigen Beitrag dazu leisten, die unvermeidbaren anthropogenen Treibhausgasemissionen, so u.a. in der Landwirtschaft, auszugleichen und zusätzlich CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu binden (negative CO<sub>2</sub>-Emissionen). Diese Verfahren sind damit ein essenzieller Baustein zum Erreichen der national und international beschlossenen Klimaziele. Allerdings ist noch die Frage offen, wo und wie das gesammelte CO<sub>2</sub> dauerhaft gespeichert werden kann. Ansätze sind die Verpressung des angereicherten CO<sub>2</sub> in ausgebeutete Gas- oder Erdöllagerstätten und in Basaltgestein sowie die Einleitung in die Tiefsee, wobei sichergestellt sein muss, dass das eingelagerte CO<sub>2</sub> dauerhaft und vollständig in den Speichern verbleibt. Diese Speichertechnologien sind mit hohen Kosten und erheblichen Risiken verbunden, die vor ihrer Anwendung im Rahmen von Forschungs- und Pilotprojekten untersucht werden müssen.

Eine weitere Maßnahme zur längerfristigen CO<sub>2</sub>-Speicherung ist der Einsatz von Holz in der Bauwirtschaft, durch die atmosphärisches Kohlendioxid über lange Zeit gebunden werden kann. Um dieses Potenzial verstärkt zu nutzen, muss die Forschung für innovatives Bauen mit Holz, hier insbesondere für einen verbesserten Brandschutz, weiter ausgebaut werden.

## 4. ENERGIEPOLITISCHE MAßNAHMEN

Die erfolgreiche Durchführung von Maßnahmen zur Energieeinsparung, Erhöhung der Energieeffizienz, Substitution und Entwicklung neuer Technologien und Verfahren setzt eine zukunftsfähige Energiepolitik voraus, die Ökonomie, Ökologie und Soziales verbindet, intelligente marktwirtschaftliche Instrumente einsetzt und international abgestimmt ist. Oberste Prämisse ist dabei ein sektorgekoppeltes Energiesystem.

Die derzeitige Energiepolitik muss dementsprechend angepasst werden, um den Weg für ein zukunftsfähiges und klimaneutrales Energiesystem zu bereiten. Zukünftig soll für jeden Gesetzentwurf und für jedes öffentliche Vorhaben neben der Prüfung finanzieller Auswirkungen auch eine Nachhaltigkeitsprüfung erfolgen, um Auswirkungen auf das Klimasystem, die Ziele nachhaltiger Entwicklung sowie die Lebensbedingungen zukünftiger Generationen hinreichend zu berücksichtigen. Aktuelle Herausforderungen sowie dringend erforderliche Maßnahmen auf landes-, bundes- und europapolitischer Ebene werden im Folgenden näher beschrieben.



- Ausbau erneuerbarer Energien in allen Sektoren massiv beschleunigen, inkl. des Bedarfs für Sektorkopplung
  - Speicher und Netze ausbauen und optimieren
  - Dynamischer Strompreise und Netzentgelte einführen
- Versorgungssicherheit gewährleisten**

- Ausstieg aus fossilen Energien vorziehen
  - CO<sub>2</sub>-Preise erhöhen und auf alle Sektoren ausweiten
  - Gesetzliche Rahmenbedingungen, Abgaben und Förderungen optimieren, Verfahren beschleunigen
  - Europäische Lösungen priorisieren
  - Nationale Treibhausgas-Budgets entsprechend der Klimaziele und des Green Deal einführen
  - Carbon-Leakage ins EU-Ausland verhindern
  - Forschung und Entwicklung technologieoffen fördern
- Klimaziele effizient erreichen**

- Steuern und Umlagen auf Erneuerbare Energien schrittweise abschaffen
  - Energieeffizienz erhöhen und Einsparpotenziale nutzen
  - Marktwirtschaftliche Anreize zur Verbindung von Ökonomie, Ökologie und Sozialem schaffen
  - Kommunen stärker an Erträgen beteiligen
  - Einen Markt für negative Emissionen etablieren
- Bezahlbarkeit sicherstellen**

Eigene Abbildung: Übergeordnete Ziele

## Gesetzlicher Rahmen zum Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Die bestehenden Gesetze zum Ausbau der EE-Stromerzeugung müssen an die zukünftigen Herausforderungen angepasst werden, um die Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen. Dabei ist der energiepolitische Dreiklang aus Versorgungssicherheit, Bezahlbarkeit und Umweltverträglichkeit sicherzustellen.

Ein besonderer Schwerpunkt ist dabei das EEG, das in seiner jetzigen Form bei den Ausbauzielen den zusätzlichen Strombedarf in den Bereichen Mobilität, Wärme/Kälte und Industrie nicht berücksichtigt. Die besonderen Ausgleichsregelungen für energieintensive Unternehmen verhindern Investitionen in Energieeffizienz und führen zu übermäßig hohen EEG-Umlagen. Gleichzeitig ist aufgrund der massiven Subventionen für Energieerzeuger der Börsenstrompreis zu niedrig, um Investitionen in EE-Anlagen ohne zusätzliche Förderungen zu ermöglichen. Die EEG-Umlage orientiert sich zudem nicht am CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor der erzeugenden Kraftwerke. Sie bietet daher keine zusätzlichen Anreize zur Substitution emissionsintensiver durch emissionsarme Kraftwerke in der Übergangsphase zu einer vollständig regenerativen Energieerzeugung. Zudem bestehen zu viele steuerliche und bürokratische Hürden für Investitionen in EE-Anlagen.

- Die im EEG festgeschriebenen Ausschreibungsmengen für EE-Anlagen, insbesondere bei Windkraft und Photovoltaik, müssen mindestens verdoppelt und bis 2045 fortgeschrieben werden.
- Langfristig sind erneuerbare Energieträger von allen Steuern, Umlagen und Abgaben (mit Ausnahme der Umsatzsteuer) freizustellen. Die EEG-Umlage, die Stromsteuer sowie die sonstigen Umlagen sollen dazu stufenweise abgeschafft werden:
  - Die Stromsteuer auf EE-Strom und CO<sub>2</sub>-freien KWK-Strom ist unverzüglich auf das EU-weite Minimum abzusenken.

- EE-Strom und CO<sub>2</sub>-freier KWK-Strom soll zeitnah bei Eigenverbrauch, bei Direktvermarktung über nichtöffentliche Netze und bei Verwendung für Stromspeicher, PtX-Verfahren und Carbon-Capture-Verfahren von allen strompreisbezogenen Umlagen befreit werden.
- Die bestehenden strompreisbezogenen Umlagen sollen durch die steigenden Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Bepreisung ersetzt werden.
- Die Ausschreibungsgrenze für EE-Anlagen muss angehoben und die Ausschreibungspflicht für EE-Anlagen ohne Förderung abgeschafft werden.
- Ein Abbau der nationalen und europäischen Subventionen für fossile Kraftwerke ist dringend erforderlich, z.B. die Begünstigungen der Stein- und Braunkohlewirtschaft.

### Dynamische Strompreise als marktwirtschaftlicher Mechanismus zur Dämpfung der Divergenz von Angebot und Nachfrage

Die zunehmende Divergenz aufgrund der volatilen Verfügbarkeit von Sonne und Wind zwischen Stromangebot und -nachfrage soll soweit wie möglich durch marktwirtschaftliche Mechanismen ausgeglichen werden. Bisher sind solche Mechanismen sowohl auf der Nachfrageseite als auch auf der Angebotsseite nicht ausreichend etabliert. Dadurch fehlen auch Anreize für Investitionen in Energiespeicher. Folgende Maßnahmenvorschläge können zur Dynamisierung der Stromkosten beitragen:

- Dynamische Strompreise sind für private und gewerbliche Stromverbraucher einzuführen. Diese sollen entsprechend den aktuellen Börsenstrompreisen angepasst werden, bspw. im 15-Minuten-Takt für Smart Homes. Ein solcher dynamischer Strompreis entfaltet in Verbindung mit der Digitalisierung der Energiewende eine Lenkungswirkung für den Endkunden, um beispielsweise Elektrofahrzeuge netzdienlich zu laden. Sie erhöht zudem die Rentabilität von Energiespeichern. Mit Blick auf das gesamte Stromnetz werden dadurch Schwankungen gedämpft.
- Netzentgelte sind zu dynamisieren, um Kunden mit hohem Verbrauch in Zeiten mit hoher Netzauslastung stärker an den Netzkosten zu beteiligen und eine Lenkungswirkung für netzdienlichen Verbrauch zu erzielen:
  - Ein variabler Kostenanteil wird abhängig von der aktuellen Netzauslastung erhoben.
  - Ein Fixkostenanteil wird abhängig von der in Spitzenlastzeiten maximal bezogenen Leistung erhoben. Dadurch werden auch Prosumer mit einem hohen Anteil Eigenverbrauch verursachungsgerecht an den Netzkosten beteiligt.
  - Befreiungen von Netzentgelten z.B. für Unternehmen mit hoher Grundlast (§ 19 Abs.2 S.2 Strom-NEV) müssen abgebaut werden.

### Gewährleistung der Versorgungssicherheit durch den Ausbau von Energiespeichern und Netzen

Versorgungssicherheit und Netzstabilität müssen jederzeit sichergestellt sein. Hierzu müssen die nationalen und internationalen Stromnetze sowie die Energiespeicherkapazitäten erheblich ausgebaut werden. Dies betrifft sowohl die Überbrückung von sog. Dunkelflauten als auch die Wahrung der Netzstabilität, da mit der Abschaltung großer Atom- und Kohlekraftwerke die Momentanreserve der Generatoren entfällt. Da Energiespeicher als Letztverbraucher eingestuft werden, kommt es häufig zu einer Doppelbelastung durch Steuern und Umlagen, was den dringenden Ausbau der erforderlichen Stromspeicher erheblich behindert. Technologieoffene, innovative und sektorübergreifende Ansätze sollen dabei den Wettbewerb für besonders emissionsarme und effiziente Lösungen ermöglichen.

- Es soll eine sektorenübergreifende, umfassende Speicherstruktur aufgebaut werden:
  - Unterstützt durch die Einführung dynamischer Strompreise und Netzentgelte (s. oben) soll ein dezentraler und technologieoffener Markt für intelligente steuerbare Energiespeicher geschaffen werden.
  - Zur Einführung innovativer Lösungen für den Ersatz wegfallender Momentanreserven sind für Übertragungsnetzbetreiber und Energieversorger geeignete rechtliche Rahmenbedingungen zu schaffen.
  - Zum Ausgleich tageszeitlicher Schwankungen sind neben dezentralen Ansätzen auch Großprojekte voranzutreiben (bspw. Pumpspeicherkraftwerke in ausgedienten Tagebauen mit einer potenziellen Kapazität von bis zu 480 GWh).
  - Für den Bau langfristiger Energiespeicher sollen zukunftsweisende Rahmenbedingungen geschaffen werden.
- Energiespeicher sollen entsprechend der EU-Binnenmarktverordnung nicht als Letztverbraucher, sondern als Anlagen definiert werden, die den Verbrauch von Energie verschieben. Jegliche Doppelbelastung durch Steuern und Umlagen von netzdienlich betriebenen Speichern ist zu vermeiden.
- Zur Gewährleistung von Planungssicherheit und Flexibilitätsoptionen gilt es, internationale Kooperationen in Bezug auf Wasserstoff und synthetische Kraft-, Brenn- und Grundstoffe anzuregen.
- Zusätzlich zum Ausbau von Speichern ist ein erheblicher Netzausbau erforderlich. Hierzu zählt:
  - der Bau internationaler Stromtrassen, idealerweise durch HGÜ-Leitungen
  - der Aufbau eines europäischen Wasserstoffnetzes (Hydrogen Backbone - vgl. Vorschlag Fernleitungsnetzbetreiber), überwiegend durch Umwidmung bestehender Gasleistungen.
- Ein „Residuallastmarkt“ für hocheffiziente, grundlastfähige fossile Kraftwerke mit Carbon-Capture and Storage-Verfahren (CCS) (langfristiger Speicherung) soll geschaffen werden.
- Zum Erhalt der Netzstabilität müssen Steuerungsmöglichkeiten insbesondere für Verteilnetzbetreiber für einen netzverträglichen, im besten Fall netzdienlichen, Betrieb möglich sein. Die Netzstabilität soll zudem durch eine höhere regionale Lastabdeckung sowie durch einen höheren Grad an Digitalisierung verbessert werden.

## Nachhaltige Wärmeversorgung und Energieeffizienz bei Gebäuden

Die Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden verbraucht derzeit ein Drittel der Endenergie in Deutschland. Ziel muss daher sein, die Wärme- und Kälteversorgung von Neu- und Bestandsgebäuden – einschließlich Gewerbe und Industrie – vollständig treibhausgasneutral zu gestalten. Dies geschieht sowohl über die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden als auch durch die Einführung neuer Technologien für deren Beheizung bzw. Kühlung. Schlüssel für die Steigerung der Energieeffizienz ist die energetische Sanierung und Modernisierung des Gebäudebestandes. Die aktuelle Sanierungsrate von 1% pro Jahr ist jedoch deutlich zu niedrig, zum einen wegen bürokratischer Hindernisse und mangelnder Abstimmung der verschiedenen Förderprogramme, aber auch weil die Kosten für fossile Energieträger häufig noch keinen ausreichenden Anreiz für deren Einsparung darstellen. Dazu werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Der nationale CO<sub>2</sub>-Preis auf fossile Energieträger soll stufenweise auf einen Wert angehoben werden, der eine signifikante Lenkungswirkung verspricht. Diese ist bei einem Preiskorridor von 75 – 150 €/t zu erwarten. Entlastungen an anderer Stelle und Härtefallmaßnahmen sind ggf. vorzusehen.
- Bei der energetischen Sanierung vermieteter Immobilien soll die Miete bis zur Höhe der eingesparten Energiekosten angehoben werden können (Warmmieten-Neutralität). Dafür geeignete pauschale Berechnungsmodelle sind im Mietrecht einzuführen. Darüber hinaus muss die wirtschaftliche Attraktivität der energetischen Sanierung von Mietshäusern ggf. durch geeignete Fördermaßnah-

men erreicht werden.

- Innovative Fördermodelle für energetische Sanierungen, an denen sich Mieter finanziell beteiligen können, sind zu entwickeln.
- Die Förderinstrumente sollen - einschließlich der steuerlichen Förderung - weiter optimiert und besser untereinander abgestimmt werden. Die Zusammenführung der Förderprogramme von BAfA und KfW ist hierzu ein vielversprechender Anfang.
- In öffentlicher Hand befindliche Immobilien sollen schnellstmöglich saniert und auf erneuerbare Energieversorgung umgestellt werden.
- Die aktive oder passive Nutzung regenerativer Energie ist gegenüber lokalen Bauvorschriften als vorrangig zu behandeln, soweit dadurch ein signifikanter Klimaschutzvorteil entsteht und Dritte bzw. die Umwelt nicht wesentlich beeinträchtigt werden.
- Bei Neubauten sind mit dem Bau und der Herstellung von Baustoffen verbundene Emissionen zu berücksichtigen und der Einsatz von Holz zu unterstützen.
- Das Gebäudeenergiegesetz ist für Neubaugebiete, um einen Ansatz für Quartierslösungen zu erweitern.
- Neubaugebiete sind mit einem klimaneutralen Wärmeversorgungssystem zu planen, bspw. innovative Nahwärmenetze und Quartierslösungen (Vgl. Statement des AKE „Wärme- bzw. Kältenetze zukunftsfähig gestalten“).
- Innovative Langzeit-Energiespeicher zum saisonalen Ausgleich von Wärme- und ggf. Kältebedarf sind zu erproben und zusätzlich zu fördern.

## Verbesserungen im Baurecht für EE-Anlagen und Energieinfrastrukturen

Lang andauernde Prozesse im Bau- und Planungsrecht mit zahlreichen Möglichkeiten für Einsprüche und Gerichtsverfahren führen dazu, dass notwendige Maßnahmen im Rahmen der Energiewende teilweise um Jahrzehnte verzögert werden. Dies macht die Einhaltung der Klimaziele schwierig bis unmöglich. Das Bau- und Planungsrecht muss daher so vereinfacht werden, dass Projekte zum Bau von EE-Anlagen und Energieinfrastrukturen deutlich beschleunigt werden können. Ebenso bedarf es mehr Personals, um diese Verfahren zu bearbeiten. Zudem lässt sich die lokale Akzeptanz von Projekten verbessern, wenn die Kommunen von Planungsrisiken freigestellt werden und Bürgerinnen und Bürger sowie Kommunen in höherem Maße auch an den Vorteilen partizipieren können. Folgende Maßnahmen und Instrumente werden dazu vorgeschlagen:

- Genehmigungs- und Gerichtsverfahren zur Planung und zum Bau von dringend erforderlichen Energieinfrastrukturen wie Stromtrassen und EE-Anlagen sollen standardisiert, entbürokratisiert, digitalisiert und beschleunigt werden (bspw. indem für Kleinanlagen keine umfassende Netzsimulation gefordert wird). Klimaschutz, Naturschutz und soziale Belange sind dabei in einer fairen Güterabwägung ausgewogen zu berücksichtigen. Betroffene Personen sind in angemessenem Rahmen zu entschädigen, insbesondere bei erheblichen persönlichen Belastungen. Darüber hinaus sind Einzelinteressen (auch z.B. seitens des Naturschutzes) grundsätzlich dem Gemeinwohl unterzuordnen.
- Modelle zur Ertragsbeteiligung von Bürgerinnen und Bürgern an lokalen EE-Anlagen und EE-Infrastrukturprojekten sollen geprüft werden.
- Wenn Kommunen für die Genehmigung von EE-Anlagen einen Flächennutzungs- / Bebauungsplan erstellen möchten oder eine Konzentrationsflächenplanung anstreben, soll der Staat (bspw. Freistaat Bayern) die Planungskosten vorfinanzieren und im Fall der unverschuldeten Nichtverwirklichung z.B. wegen eines Gerichtsurteils das Risiko übernehmen.

- Die verpflichtende Ausweisung von Vorranggebieten für Freiflächen-, Parkplatz- und Agro-PV durch die Kommunen ist zu prüfen und baurechtliche Vorschriften sind ggf. anzupassen.
- Die 10H-Regelung für Windkraftanlagen soll durch eine flexible Abstandsregelung von „1000m PLUSMINUS“ ersetzt werden, die die im Umfeld wohnhaften Bürgerinnen und Bürger effektiv vor Schall und Schattenwurf schützt. Dabei soll grundsätzlich anstelle der 10H-Regelung ein Abstand von zunächst 1000m zu Wohngebieten gelten. Anhand eines 3D-Modells sind unter Berücksichtigung der lokalen Topografie, des Sonnenstands, des Anlagentyps und der Windverhältnisse für jede Anlage Schallemissionen und Schattenwurf zu berechnen. Ausgehend von den Ergebnissen muss die genehmigende Behörde ggf. den Ausgangswert von 1000m nach oben oder unten anpassen.
- Kommunen sollen zudem am Ertrag von in benachbarten Kommunen errichteten Windkraftanlagen im Umkreis von 3 km beteiligt werden.
- Das Repowering einer EE-Anlage oder einer Stromtrasse sollte baurechtlich nicht wie ein Neubau behandelt, sondern mit einem vereinfachten Genehmigungsverfahren ermöglicht werden.

## Mobilität

Der Verkehr erzeugt derzeit in Deutschland ca. 20% aller Treibhausgasemissionen. Dieser Anteil steigt stetig, weil sich Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen im Verkehrssektor (anders als in allen anderen Sektoren) seit 1990 nicht vermindert haben. Angesichts des gewaltigen Nachholbedarfs und der hohen CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten muss die Mobilitätswende besonders zügig vorangetrieben werden. Verkehrspolitische Entscheidungen mit dem Ziel der Emissionsminderung sollen sich dabei an der Gesamtbilanz der THG-Emissionen einschließlich Produktion der Fahrzeuge und des Baus von Infrastruktur orientieren. Neben der staatlichen Förderung bergen marktwirtschaftliche Instrumente das größte Potenzial für eine effiziente Mobilitätswende. Hierzu gehört insbesondere der Abbau ungerechtfertigter Subventionen und die verursachergerechte Zuordnung aller Kosten.

- Die CO<sub>2</sub>-Bepreisung im Brennstoffemissionshandelsgesetz soll auf einen Wert angehoben werden, der eine signifikante Lenkungswirkung entfaltet. Diese wird derzeit bei einem Preis von 75 – 150 €/t erwartet. Die zusätzlichen Einnahmen sind für Klimaschutzmaßnahmen zu verwenden. (s.u.)
- Die Energiesteuer auf Dieselmotorkraftstoff ist stufenweise auf den Steuersatz von Benzin anzuheben. Im Gegenzug soll die Kfz-Steuer abgeschafft (bzw. auf das EU-Minimum abgesenkt) werden.
- Im Rahmen einer europaweiten Regelung soll fossiler Flugkraftstoff für den innereuropäischen und internationalen Luftverkehr aus Gründen der Wettbewerbsgleichheit in gleicher Höhe bepreist werden wie Benzin bzw. Dieselmotorkraftstoff für Straßen- und Schienenfahrzeuge.
- Subventionen für Flughäfen sind einzustellen. Regionalförderung soll stattdessen – wo notwendig – über eine Verbesserung der Schienenanbindung erfolgen.
- Um mehr Güterverkehr auf die Schiene zu bringen, soll eine intelligente, digitalisierte und kosten effiziente Infrastruktur geschaffen werden, die Schiene und Straße verbindet, bspw. durch intelligente Verladehubs oder Logistik-Hubs in U-/S-Bahnhöfen. Die Schieneninfrastruktur soll auch in der Fläche ausgebaut bzw. reaktiviert werden, wie das bei einer Gesamtbetrachtung der Emissionen aus Bau und Betrieb und dem dadurch substituierbaren Straßenverkehr zu einer Emissionsreduzierung führt. Die Trassengebühren sind auf die Höhe der mit der Erhaltung verbundenen Kosten zu senken.
- Die LKW-Maut ist, möglichst im europäischen Kontext, auf alle Straßen auszudehnen und auf einen Betrag anzuheben, der sämtliche durch LKW verursachten Kosten (auch der Länder und Kommunen) deckt. Das betrifft insbesondere ca. 99 % der Instandhaltungs- und Reparaturkosten.
- Die staatlichen Aufwendungen für Bau, Unterhalt und Instandhaltung von Straßen sollen langfris-

tig nicht durch neue Steuern z.B. auf Ladesäulenstrom oder Wasserstoff gedeckt werden, sondern durch eine allgemeine entfernungsabhängige Maut auf allen Straßen, die sämtliche Kosten des Straßenverkehrs deckt und verursachergerecht zuordnet. Belastungen für Pendler müssen dabei ggf. durch eine Anpassung der Pendlerpauschale berücksichtigt werden.

- In der Übergangsphase zur Mobilitätswende sind Förderprogramme wie Kaufprämien für nachhaltige Antriebstechnologien sinnvoll. Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Fahrzeugproduktion und die Möglichkeit des Recyclings sollen sich auf die Förderung auswirken. Bei Plug-in-Hybridfahrzeugen ist eine Förderung einschl. der Anrechnung auf die Flottenverbrauchswerte bestenfalls vorübergehend sinnvoll und auf maximal die Hälfte der für vollelektrische Fahrzeuge geltenden Werte zu begrenzen. Bei Firmenwagen ist der Anteil der elektrisch gefahrenen Kilometer nachzuweisen.
- Zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit und Netzstabilität mit Blick auf die Entwicklungen der Mobilität müssen frühzeitig Planungssicherheit und Flexibilitätsoptionen geschaffen werden. Dazu gilt es internationale Kooperationen in Bezug auf Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe anzuregen sowie die erneuerbaren Energien in Deutschland und Europa verstärkt aufzubauen. Zum Erhalt der Netzstabilität müssen Steuerungsmöglichkeiten für Verteilnetzbetreiber für einen netzverträglichen, im besten Fall netzdienlichen, Betrieb möglich sein. Gleichzeitig gilt es aber auch Netze weiter auszubauen und zu verstärken.
- Die Lade- und Tankinfrastrukturen für alternative Antriebe und Kraftstoffe müssen bedarfsgerecht und flächendeckend ausgebaut werden. Ein Netz von Schnellladepunkten ist durch Ausschreibungs- und Fördermaßnahmen beschleunigt auszubauen. Ebenso sollen eine Erweiterung und Verlängerung der Förderung privater Ladeinfrastruktur geprüft und immer noch bestehende Umsetzungsbarrieren zum Aufbau (z.B. in Tiefgaragen von Mehrfamilienhäusern) abgebaut werden. Kommunen sollen den Infrastrukturaufbau aktiv unterstützen und mitgestalten und dafür geeignete Flächen zur Verfügung stellen sowie Genehmigungsprozesse beschleunigen. Die Errichtung von Oberleitungen für LKW auf Autobahnen ist unter betriebs- und volkswirtschaftlichen Aspekten zu prüfen.

## Zertifikathandel für Treibhausgase auf europäischer und internationaler Ebene

Langfristig muss das Ziel internationaler Klimapolitik sein, alle Treibhausgasemissionen in allen Ländern gleichmäßig entsprechend den Klimafolgekosten zu bepreisen. Die Umsetzung der europäischen Klimaziele im Rahmen des European Green Deal soll bei gleichzeitiger Stärkung der Wirtschaft durch eine europäisch und international abgestimmte Energiepolitik erfolgen. Der Handel für Emissionszertifikate (EU-ETS) hat sich als marktwirtschaftliches Instrument zur Emissionsreduzierung bewährt, wenn er für alle Wirtschaftssektoren und Wettbewerber in gleicher Weise gilt und nicht durch Privilegien und Ausnahmen verwässert wird. Derzeit deckt der EU-ETS nur einen Teil der europäischen THG-Emissionen ab und zahlreiche Emittenten erhalten zudem noch kostenlose Emissionsrechte. Manche Sektoren wie die Landwirtschaft oder der internationale Luftverkehr sowie einige Treibhausgase wie Methan und N<sub>2</sub>O werden unzureichend oder gar nicht einbezogen. Zudem liegt der durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Preis im EU-ETS derzeit noch weit unterhalb der Klimakosten bzw. Vermeidungskosten, sodass die Lenkungswirkung begrenzt bleibt. Das nationale Emissionshandelssystem (nEHS) ergänzt den EU-ETS zwar, entfaltet aber aufgrund der niedrigen CO<sub>2</sub>-Preise ebenfalls nur eine geringe Lenkungswirkung. Eine in der Höhe angemessene, aber auf die EU beschränkte CO<sub>2</sub>-Bepreisung trägt die Gefahr mit sich, dass dadurch im globalen Wettbewerb Nachteile entstehen oder energieintensive Industrien ins außereuropäische Ausland abwandern (Carbon Leakage). Soweit internationale Abkommen hierzu nicht erreicht werden können, müssen durch geeignete Mechanismen Wettbewerbsnachteile europäischer Unternehmen ausgeglichen, Carbon Leakage verhindert und eine klimafreundliche Energiewirtschaft der internationalen Handelspartner unterstützt werden. Zur Errei-

chung globaler Klimaziele sollen die Entwicklungszusammenarbeit und die Energie-/ Klimapolitik stärker koordiniert werden.

- Deutschland und die EU sollen darauf hinwirken, dass alle Länder, die das Pariser Klimaschutzabkommen unterzeichnet haben, entsprechend ihrem Anteil an der Weltbevölkerung nationale THG-Budgets mit konkreten Jahresemissionsmengen bis zur vom jeweiligen Land geplanten Klimaneutralität einführen. Die THG-Budgets aller Länder müssen sich an den Pariser Klimaschutzziele und den verbleibenden Emissionsmengen lt. IPCC (2018) orientieren und dementsprechend ab dem Jahr 2017 deutlich unter 1170 Gt CO<sub>2</sub>e (für das 2°C Ziel), idealerweise bei 420 Gt CO<sub>2</sub>e (für das 1,5°C Ziel) liegen. Um Freiheitsrechte junger Generationen zu sichern, ist darauf zu achten, dass ausreichende Emissionsmengen für die Zeit nach 2030 verbleiben.
- Ein umfassendes internationales System für den Handel mit THG-Emissionszertifikaten einschließlich negativer Emissionen soll geschaffen werden. Dadurch sollen Länder bei Unter- oder Überschreitung ihrer Jahresemissionsmenge Zertifikate untereinander handeln können. Zu dem werden Investitionen in Technologien mit negativen Emissionen auf internationaler Ebene angeregt. Wirtschaftsstarke Länder wie Deutschland sollen aber für die Einhaltung ihres THG-Budgets auf den Ankauf von Zertifikaten aus dem Ausland verzichten und stattdessen auf schnelle Emissionsreduktion sowie Technologien für negative Emissionen im eigenen Land setzen.
- Auf europäischer Ebene soll der EU-ETS alle Sektoren und THG-Emissionen einbeziehen.
  - Im Wärme- und Mobilitätssektor ist dafür die Integration nationaler Preissysteme in den EU-ETS sinnvoll.
  - Emissionen der innereuropäischen und internationalen Luftfahrt müssen entsprechend der dreifach höheren Klimawirksamkeit bepreist werden.
  - Bei Erdgaskraftwerken sind die Methanemissionen im Zusammenhang mit der Förderung, dem Transport und der Nutzung von Erdgas im EU-ETS einzupreisen. Der Import von Fracking-Gas soll untersagt werden.
  - Emissionen in der Landwirtschaft (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) sollen – wo eine direkte Bepreisung nicht möglich ist – dadurch vermindert werden, dass emissionsarme Betriebe und Landwirtschaftssektoren bei den EU-Förderprogrammen für die Landwirtschaft bevorzugt werden.
- Die Zertifikate im EU-ETS sollen stufenweise so verknappert werden (sog. Backloading), dass die Klimaziele sicher erreicht werden (eine Lenkungswirkung ist bei 75 – 150 €/t zu erwarten), beziehungsweise die Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises die Klimakosten abbildet (aus heutiger Sicht 180-240 €/t). Das Instrument der Marktstabilitätsreserve sollte überprüft und erweitert werden.
- Zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit des Technologiestandorts Deutschland und zur Vorbeugung von Carbon Leakage ist auf EU-Ebene die Einführung eines Carbon-Border-Pricing (Grenzsteuer- ausgleich) in Höhe des EU-ETS erforderlich. Im Gegenzug sind sämtliche Ausnahmen von der Bepreisung (insbesondere die Ausgabe kostenloser Zertifikate) abzuschaffen. Für Länder, die selbst eine THG-Bepreisung erheben, kann diese angerechnet bzw. über Abkommen eine Freistellung ermöglicht werden. Dadurch werden andere Länder dazu angeregt, selbst eine THG-Bepreisung einzuführen, was den Weg für einen globalen THG-Preis bereitet.

## Maßnahmen zur Abscheidung und Bindung von CO<sub>2</sub>

Um langfristige Klimafolgen abzumildern, reicht die bloße Vermeidung von Emissionen allein nicht aus. Durch Carbon-Capture-and-Usage Verfahren kann CO<sub>2</sub>, bspw. an Kraftwerken oder aus der Atmosphäre, abgetrennt und zu Produkten wie synthetischen Brennstoffen weiterverarbeitet werden (Vgl. Kapitel Innovation). Ergänzend dazu muss auch die CO<sub>2</sub>-Abscheidung (CCS mit Langzeitspeicherung, CCU) und Koh-

lenstoffbindung bspw. durch Aufforstung oder Humusaufbau verstärkt eingesetzt werden. Bisher werden zwar THG-Emissionen bepreist, die langfristige Bindung von atmosphärischem CO<sub>2</sub> durch Unternehmen (Industrie, Energieversorger, Landwirte, etc.) jedoch nicht vergütet. Dadurch werden Möglichkeiten nicht ausgeschöpft, den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre durch Kohlenstoffbindung zusätzlich zu reduzieren.

- Ein Markt für negative Emissionen soll zunächst auf nationaler, später auf internationaler Ebene geschaffen werden. Dieser darf nur CCS-Verfahren umfassen, durch die CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre oder aus Abgasen abgeschieden und langfristig gebunden wird (bspw. BECCS an Biogasanlagen oder Holzheizkraftwerken). Durch den Erwerb von negativen Emissionszertifikaten sollen Staaten unvermeidbare Restemissionen in stark begrenztem Umfang ausgleichen. Zudem sollen Einzelpersonen oder Unternehmen negative Emissionszertifikate erwerben können, die dann aber nicht auf die nationalen THG-Budgets angerechnet werden und somit eine Treibhausgasreduktion über die Klimaziele hinaus darstellen. In der Markteinführungsphase sind Förderungen notwendig.
- Parallel soll ein europäisches Fördersystem für „CO<sub>2</sub>-Recycling“ durch Carbon-Capture-and-Usage-Verfahren (CCU) entstehen. Für solche Verfahren soll der jeweilig gültige CO<sub>2</sub>-Preis des EU-ETS vergütet werden, abzüglich ggf. eingesparter Zertifikate. Auf aus CCU-Verfahren erzeugte Brenn- oder Treibstoffe soll bei der Verbrennung oder beim Export trotz der regenerativen Herstellung der übliche CO<sub>2</sub>-Preis anfallen.
- Übergangsweise zwingend benötigte fossile Kraftwerke müssen mit Carbon-Capture-Technologien ausgestattet werden. Die Möglichkeit der Umstellung moderner Gaskraftwerke auf erneuerbare Gase ist sicherzustellen. Bei bestimmten Gasen (bspw. Biomethan) kann durch solche Kraftwerke Energie mit einer negativen CO<sub>2</sub>-Bilanz erzeugt werden.
- Carbon-Capture-Verfahren sollen grundsätzlich nicht als Letztverbraucher, sondern als indirekter Bestandteil der emissionsfreien Stromerzeugung eingestuft werden. Auch wenn solche Anlagen nicht direkter Teil eines Kraftwerks sind, soll der benötigte Strom von Umlagen und Steuern befreit werden.
- Förderinstrumente für die Landwirtschaft sollten so angepasst werden, dass Land- und Forstwirte zusätzliche Mittel erhalten, wenn sie Kohlenstoff langfristig im Boden binden. Ein Nachweis der langfristigen Speicherung ist zu erbringen, bspw. durch Bodenproben bei Humusaufbau. Gleichzeitig ist sicherzustellen, dass in Böden gespeicherter Kohlenstoff (bspw. in Feuchtwiesen, Mooren) im Boden verbleibt. Betriebe, die beispielsweise durch Entwässerung von Feuchtwiesen (Torf-Oxidation) große Mengen CO<sub>2</sub> freisetzen, sollten mit den entsprechenden Abgaben belegt werden.
- Die Verwertung von Gülle und Bio-Reststoffen, die ansonsten zu klimaschädlichen Methan- oder Lachgasemissionen führen würde, soll gefördert bzw. langfristig vorgeschrieben werden. Etwaige CO<sub>2</sub>-Emissionen sind durch CCS/CCU-Verfahren zu vermeiden.

## Forschungs- und Entwicklungsförderung

Die Forschungs- und Entwicklungsförderung ist ein zentraler Baustein für den Innovationsstandort Deutschland und sichert die Wettbewerbsfähigkeit und damit auch Wertschöpfung und Beschäftigung vor Ort. Um die Energiewende zu beschleunigen, aber auch um die globale Wettbewerbsposition deutscher und europäischer Unternehmen auf dem Sektor erneuerbarer Energien zu stärken, soll die Forschung und Entwicklung innovativer Technologien ausgebaut und die Vernetzung von Forschungsprojekten intensiviert werden. Neben der grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung an Universitäten, Hochschulen und Einrichtungen gilt es diese auch in innovativen Unternehmen und Startups noch stärker zu unterstützen. Insbesondere KMU und auch kommunale Unternehmen müssen die Möglichkeit

haben sich unbürokratisch z.B. an Forschungskonsortien beteiligen zu können.

- Forschungs- und Entwicklungsprojekte in den Bereichen Energieproduktion, -verteilung und -speicherung sowie alternative Antriebs- und Kraftstoffe müssen verstärkt und technologieoffen gefördert werden (siehe Kapitel „Forschung und Entwicklung“). Dies gilt ebenso für alle Produkte, Anwendungen und Dienstleistungen entlang der gesamten Produktions- und Wertschöpfungskette im Bereich des sog. Clean-Tech-Sektors. Des Weiteren müssen Normung und Standardisierung im europäischen und internationalen Kontext beschleunigt werden.
- Die Abschätzung und Quantifizierung von Art und Kosten der Klimafolgen sowie von THG-Bilanzen von Produkten, Technologien und Wertschöpfungsketten soll durch gezielte Forschungsprojekte verbessert werden. Die Ergebnisse können als Grundlage für Förderprogramme oder THG-Bepreisungen (bspw. Carbon Border Pricing) dienen.
- Neue Technologien müssen unter realen Bedingungen erprobt und zur Schaffung der Akzeptanz von Bürgerinnen und Bürgern auch erlebbar gemacht werden können. Dazu eignen sich Pilotprojekte und Reallabore in besonderer Weise. Diese müssen verstärkt gefördert und von Kommunen und Regionen aktiv unterstützt werden. Zudem gilt es zukünftig auch Schwerpunkte in sozialwissenschaftlicher Begleitforschung und einer verständlichen Technikkommunikation im Rahmen von innovativen Technologien zu setzen.
- Deutsche und europäische Unternehmen verfügen über langjährige Entwicklungs- und Produktionserfahrung von konventionellen Kraftwerks- und Antriebstechnologien, die es auch weiterhin mit Blick auf mögliche neue Technologien und Anwendungsbereiche zu erhalten gilt.
- Neben der Forschungs- und Entwicklungsförderung müssen auch berufliche Weiterbildungsmöglichkeiten zum Kompetenzaufbau und zur Sicherung der Qualifizierung verstärkt unterstützt werden. Dies kann bspw. durch modularisierte, flexible und individualisierte Bildungsangebote für Beschäftigte in Unternehmen ermöglicht werden. Durch den Aufbau und die staatliche Förderung von regionalen Kompetenz-Hubs könnten z.B. auch KMU kostensparende und effiziente Optionen dazu eröffnet werden.
- Forschung, Entwicklung und Weiterbildung profitieren von einem intensiven Ideen- und Erfahrungsaustausch, weswegen europäische und internationale Vorhaben und Programme weiterhin finanziell unterstützt und bürokratische Barrieren abgebaut werden müssen.

## GLOSSAR

### BEGRIFF UND ERKLÄRUNG

#### Agro- und Aquaphotovoltaik

Doppelte Flächennutzung durch Photovoltaik und darunter Landwirtschaft bzw. Aquakulturen.

#### BEV

Battery Electric Vehicle.

#### Blindleistung(-bedarf)

Tritt auf, wenn elektrische Energie über Wechselstrom transportiert wird, dabei „pendelt“ die Energie zwischen Erzeuger und Verbraucher.

#### Carbon Capture and Storage

Verfahren zur Bindung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre bzw. aus Emissionen (u.a. von Kraftwerken) und „dauerhafte“ Einlagerung in unterirdische Lagerstätten.

#### Elektrische Arbeit

Gibt an, wie viel elektrische Energie in andere Energieformen umgewandelt wird.

#### Elektrolyse

Hier: Wasserelektrolyse in Bezug auf grünen Wasserstoff: Verfahren zur Zerlegung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mit Hilfe elektrischen Stroms aus erneuerbaren Energien.

#### Grundlastfähigkeit

Fähigkeit eines Kraftwerks zur dauerhaften Bereitstellung von elektrischer Energie, ohne dass es dabei zu häufigen oder längeren Unterbrechungen kommt.

#### Grüner Wasserstoff

Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse (s.o.) von Wasser hergestellt, wobei für die Elektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt.

#### GuD-Kraftwerke

Bei GuD-Kraftwerken wird die Abwärme der Gasturbine als Energiequelle für einen nachgeschalteten Dampfprozess genutzt. Hierdurch wird der elektrische Wirkungsgrad von 40% auf 60 – 65 % gesteigert, was zu einer Senkung des Erdgasverbrauchs von 33% – 38% je kWh führt. In Deutschland werden ausschließlich Kraftwerke von Siemens als GuD-Kraftwerke bezeichnet. Für Kraftwerke von Alstom oder anderen Herstellern wird der Begriff Kombikraftwerk verwendet.

#### Heterojunctionzellen

Heterojunction-Zellen sind n-leitende Siliziumwafer, auf denen beidseitig dünne Schichten aus dotiertem und intrinsischem, amorphem Silizium und transparente, leitfähige Oxidschichten (TCO) zur Aufnahme des erzeugten Stroms aufgebracht werden.

#### IPCC

Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change).

### IPCC-Bericht SR1.5 (2018)

1,5 °C globale Erwärmung - Der IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut (offizieller Titel).

### Konzentratorzellen

Bei einer Konzentratorzelle wird Sonnenlicht gebündelt und auf einen kleineren Bereich einer hocheffizienten Solarzelle (III-V-Mehrfachsolarzellen) gestrahlt.

### KWK-Anlagen

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ermöglicht die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer Energie und nutzbarer Wärme, die durch einen gemeinsamen thermodynamischen Prozess entstehen.

### Kryogene Stromspeicher

Bei der Kryogenen Stromspeicherung wird der in Schwachlastphasen preisgünstige Strom dazu benutzt, Luft mit Hilfe des Linde-Verfahrens auf  $-195\text{ °C}$  zu kühlen und somit zu verflüssigen. Flüssige Luft beansprucht nur noch ein Tausendstel des ursprünglichen Volumens und lässt sich über lange Zeit in einem großen Vakuumgefäß bei Atmosphärendruck lagern.

### Lageenergiespeicher

Lageenergiespeicherkraftwerk, ist ein Typ von Speicherkraftwerk, in dem elektrische Energie in Form von potentieller Energie (Lageenergie) eines Hubkörpers zwischengespeichert wird.

### Latentwärmespeicher

In Latentwärmespeichern wird Wärme unter Verwendung von Phasenwechselmaterialien über einen langen Zeitraum gespeichert. Als Speichermedium werden meist spezielle Salze oder Paraffine verwendet, die sehr viel Energie (Schmelzwärme) aufnehmen können.

### Liquid Organic Hydrogen Carrier-Trägertechnologie (LOHC)

Flüssige organische Wasserstoffträger, die durch chemische Reaktion Wasserstoff aufnehmen und wieder abgeben können.

### Lithium-Ionen-Batterien

Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) ist ein Sammelbegriff verschiedener lithiumbasierter Batterien zur effizienten Speicherung von Strom. LIBs werden vielseitig, so u.a. in rein batterieelektrischen Fahrzeugen und Hybridfahrzeugen eingesetzt.

### Metallhydridspeicher

Metallhydridspeicher sind Speicher für Wasserstoff, wobei der Wasserstoff in einem Metall gelöst und als Metallhydrid gespeichert wird. Durch leichte Wärmezufuhr wird der Wasserstoff wieder freigesetzt.

### Momentanreserve

Die Momentanreserve ist die Summe der kinetischen Energie aller im zusammengeschalteten Netz im Einsatz befindlichen Kraftwerke mit Synchrongeneratoren. Die Momentanreserve beträgt im europäischen Netz 2.7 GW/0.1 Hz und kann deshalb bei Netzstörungen eine hohe stabilisierende Wirkung entfalten. Durch die Abschaltung von Kernkraftwerken, Kohlekraftwerken und Gaskraftwerken verkleinert sich die Momentanreserve stetig.

### Perowskitsolarzellen

Perowskitzellen bestehen aus dem schwarzen Mineral „Perowskit“, das einen hohen Wirkungsgrad aufweist und sehr einfach und kostengünstig verarbeitet werden kann.

### PHEV

Plug-in Hybrid Electric Vehicle.

### Power-to-X

Verfahren, die Ökostrom / Grünen Strom in chemische Energieträger zur Stromspeicherung, in strombasierte Kraftstoffe zur Mobilität oder Rohstoffe für die Chemieindustrie umwandeln.

### Primärenergie

Energie, die mit den ursprünglich vorkommenden Energieformen oder Energiequellen zur Verfügung steht, etwa als Brennstoff, aber auch Energieträger wie Sonne, Wind oder Kernbrennstoffe.

### Primärregelleistung

Die Primärregelleistung (PRL) zählt neben Sekundärregelleistung (SRL) und Minutenreserveleistung (MRL) zu den drei Arten von Regelenergie, die zur Stabilisierung der Netzfrequenz dient. Die Primärregelleistung ist vorgehaltene Leistung, die innerhalb von 30 Sekunden und mindestens 15 Minuten lang verfügbar sein muss, um zum Beispiel bei ungeplanten Kraftwerksausfällen einzuspringen und einen Stromausfall zu verhindern.

### Redox-Flow-Batterien

Redox-Flow-Batterien basieren auf einem flüssigen elektrochemischen Speicher. Dieser besteht aus einem Elektrolyten, der in Tanks in unterschiedlichen Oxidationsstufen gespeichert wird. Der Strom wird ähnlich wie bei der Brennstoffzelle an einer Membran produziert.

### Rotationsenergie

Rotationsenergie ist die kinetische Energie eines starren Körpers (Beispiel: Schwungrad), der um einen festen Punkt oder seinen (beweglichen) Massenmittelpunkt rotiert.

### Schachtkraftwerk

Das Schachtkraftwerk gehört zu den Laufwasserkraftwerken, bei dem ein Teilstrom des Wassers vor einem Stauwehr in einen senkrechten Schacht abströmt und dort eine Turbine mit Generator antreibt. Schachtkraftwerke können bis zu kleinen Fallhöhen (> 1 Meter) eingesetzt werden und sind für den Einsatz in kleinen Fließgewässern geeignet.

### Schwarzstartfähigkeit

Fähigkeit eines Kraftwerks, unabhängig vom Stromnetz vom abgeschalteten Zustand ausgehend hochzufahren.

### Solarthermische Kraftwerke

In einem Solarthermiekraftwerk wird die Sonnenstrahlung durch eine Vielzahl von Spiegeln mit automatischer Ausrichtung auf einen Punkt an der Spitze eines Turms konzentriert und dort (bei Temperaturen von 300°C bis 1000°C) Dampf erzeugt, der wiederum eine Dampfturbine mit angeschlossenem Generator zur Stromerzeugung antreibt.

### Soll-Netzfrequenz

Mit Netzfrequenz wird in einem Stromnetz die Frequenz der Wechselspannung bezeichnet. Diese muss im gesamten Stromversorgungsnetz einheitlich sein und darf nur im Rahmen des regeltechnischen Umfangs vom Nennwert abweichen. Aus regelungstechnischer Sicht ist dieser Nennwert ein Sollwert und wird im vorliegenden Positionspapier als „Soll-Netzfrequenz“ bezeichnet.

### Spallation

Beschuss von hochradioaktivem Material mit Protonen, durch die CO<sub>2</sub>-freier Strom produziert und gleichzeitig auch eine Transmutation langlebiger Radionuklide erzielt werden kann. Damit kann auch das Problem der Endlagerung von hochradioaktivem Atommüll entschärft werden.

### Substitution

Substitution im Energiebereich bedeutet einen Wechsel in den Bereichen Strom, Wärme/Kälte und Mobilität zu anderen Einsatzstoffen und/oder Verfahren. Ebenso kann Substitution einen Wechsel in der Prozesstechnik anstreben.

### Superkondensatoren

Superkondensatoren sind Stromspeicher, die extrem schnell geladen und auch schnell entladen werden können.

### Thermonukleare Kernfusion

Bei einer thermonuklearen Reaktion werden zwei Atomkerne unter hohem Druck und hohen Temperaturen zu einem neuen Kern verschmolzen und dabei große Mengen an Energie freigesetzt. Diese Fusionsreaktion ist die Grundlage für die Stromerzeugung in geplanten Kernfusionsreaktoren, bei denen Kerne von Deuterium (2H) und Tritium (3H) zu einem Heliumkern (4He) verschmelzen.

### Tiefengeothermie

Nutzung der Erdwärme in Tiefen zwischen 400 und 5.000 Metern.

### Treibhausgase (THG)

Unter dem Begriff „Treibhausgase-THG“ werden atmosphärische Spurengase gebündelt, die den Strahlungshaushalt der Erdatmosphäre beeinflussen und bei zunehmender Konzentration zu steigenden Temperaturen in der Troposphäre führen. Wesentliche THGs sind u.a. Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), und Lachgas (N<sub>2</sub>O), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>).

### Vehicle-to-Grid / Vehicle-to-Home (Bidirektionales Laden)

Unter Vehicle-to-grid (V2G, zu Deutsch: Vom Fahrzeug zum Netz) versteht man ein Konzept zur Abgabe von elektrischem Strom aus den Antriebsakkus von Elektro- und Hybridautos zurück in das öffentliche Stromnetz. Im Unterschied zu reinen E-Autos können bidirektional ladefähige Fahrzeuge nicht nur elektrische Energie aus dem Netz entnehmen, sondern als Teil eines intelligenten Energiesystems in Zeiten großer Netzlast auch wieder über spezielle Ladestationen in das Netz oder das Haus einspeisen.

### Volllaststunde

Maßeinheit für den Nutzungsgrad einer technischen Anlage.

### Vortex Bladeless - Anlagen

Die Windkraftanlagen des spanischen Startups Vortex Bladeless brauchen keine Rotorblätter, um Strom zu erzeugen. Sie wiegen im Wind hin und her und nutzen stattdessen die Schwingungsenergie.

### Wasserwirbelkraftwerk

Ein Wasserwirbelkraftwerk besteht aus einem runden Becken, in das das Wasser aus einem Fluss oder Bach eingeleitet wird. In der Mitte des Beckens ist ein Loch, durch das das Wasser wieder abfließen kann. Beim Abfließen entsteht ein Wirbel, der eine Turbine zur Erzeugung von Strom antreibt.

## ARBEITSKREIS ENERGIEWENDE (AKE)

Der Arbeitskreis Energiewende (AKE) ist ein offizielles parteiliches Gremium der CSU. Die Positionen und Ergebnisse des Arbeitskreises leisten einen Beitrag zu innerparteilichen Entscheidungsprozessen der CSU und tragen zur Meinungsbildung in den Bereichen Energie, Umwelt und Klimaschutz bei.

Das Papier spiegelt den aktuellen Stand der Diskussionen in unserem Arbeitskreis wider und formuliert ein gemeinsames Verständnis sowie Positionen für die wir uns als AKE einsetzen. Dabei erhebt es nicht den Anspruch eines abschließenden Maßnahmenkataloges zur Erreichung der Klimaschutzziele, sondern möchte Impulse zur Umsetzung der Energiewende geben.

Ein herzlicher Dank geht an alle AKE-Mitglieder, die sich in den letzten Monaten aktiv in unsere virtuellen AKE-Panels eingebracht haben und damit die Grundlage für dieses Positionspapier geschaffen haben.





