

# Klima 2030. Nachhaltige Innovationen.

Handlungsempfehlungen  
des Zukunftsrats  
der Bayerischen Wirtschaft

# **Klima 2030. Nachhaltige Innovationen.**

Handlungsempfehlungen  
des Zukunftsrats  
der Bayerischen Wirtschaft



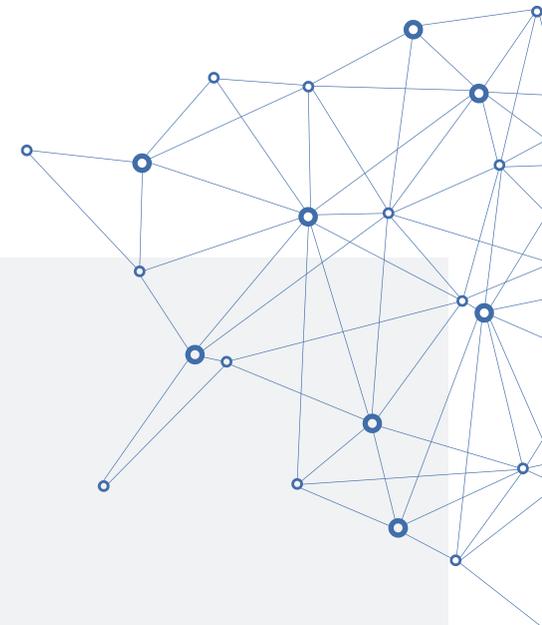
Vorwort

## Alfred Gaffal

Wenn wir die Erderwärmung auf ein erträgliches Maß begrenzen wollen, brauchen wir einen ganzheitlichen Ansatz. Die Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* zeigt auf, welche Handlungsmöglichkeiten wir haben, wie groß ihr Beitrag zum Klimaschutz ist und welche wirtschaftlichen Konsequenzen zu erwarten sind. Klar ist, dass Bayern, Deutschland oder auch Europa allein den Klimawandel nicht stoppen können. Umso wichtiger ist es, dass wir Lösungen entwickeln, die so attraktiv sind, dass sie international viele Nachahmer finden. Verzicht und Einsparungen werden eine derartige Sogwirkung nicht entfalten können.

In den Handlungsempfehlungen des Zukunftsrats der Bayerischen Wirtschaft setzen wir deshalb auf Technologien als Schlüssel zu einem Klimaschutz, der ökologisch wirksam sowie ökonomisch erfolgreich ist und von der Gesellschaft mitgetragen wird. Das ist unser Verständnis von Nachhaltigkeit.

Mit technologischen Innovationen werden wir nicht nur Wohlstand, Wertschöpfung und Beschäftigung für die Zukunft sichern – wir können auch dazu beitragen, dass weltweit ein Vielfaches unserer heutigen Emissionen eingespart wird.



Dazu müssen wir faktenbasiert und vorausschauend vorgehen, mutig investieren und bereit sein, jederzeit neue Erkenntnisse aufzugreifen und die Strategie daran anzupassen. Wichtig ist vor allem eine ganzheitliche und ideologiefreie Sicht, die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen wesentlich umfassender berücksichtigt, als das heute der Fall ist. Das Bewusstsein für die Notwendigkeit und den Nutzen neuer Technologien muss auf allen Ebenen der Gesellschaft verankert werden.

Wir haben dazu die besten Voraussetzungen: ein technologiefreundliches politisches Umfeld, eine starke Forschungslandschaft und innovative Unternehmen, die Teil der Lösung beim Klimaschutz sind, weil sie wettbewerbsfähige, attraktive Produkte entwickeln und auf die Weltmärkte bringen. Um diese Vorteile zu nutzen, brauchen wir die richtigen Rahmenbedingungen. Was konkret zu tun ist, zeigen wir in den vorliegenden Handlungsempfehlungen auf.

Alfred Gaffal

Vorsitzender Zukunftsrat der Bayerischen Wirtschaft  
Ehrenpräsident der vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V.



## Vorwort

# Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang A. Herrmann

Das Pariser Klimaschutzabkommen 2015, auf das sich fast alle Nationen rund um den Globus verständigt haben, ist in der Umsetzung ganz wesentlich auf nachhaltige Innovationen angewiesen. Diese müssen gesamtgesellschaftlich verankert und akzeptiert sein: Innovationen aus dem technischen Fortschritt, Innovationen aus dem zivilgesellschaftlichen Engagement, Innovationen aus den politischen Weichenstellungen und Schwerpunktsetzungen. Tatsächlich betrifft der Klimawandel uns alle, mit seinen direkten Auswirkungen (z. B. Extremwetter-Ereignisse) wie auch mit den daran gebundenen indirekten Folgen (z. B. Störungen von transnationalen Lieferketten in Landwirtschaft und Industrie).

Nachdem die Klimaveränderungen spätestens durch die IPCC-Studie 2018\* wissenschaftlich unwiderlegbar dokumentiert sind, hat das öffentliche Bewusstsein für anhaltend wirksame Gegenmaßnahmen den gebührenden Stellenwert gewonnen, und zwar in Politik, Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft gleichermaßen.

\* Intergovernmental Panel on Climate Change (Nobelpreis 2007, gemeinsam mit dem ehemaligen US-Vizepräsidenten Al Gore)

Der Zukunftsrat der Bayerischen Wirtschaft befasst sich seit geraumer Zeit mit Themen des nachhaltigen Wirtschaftens. Zwar ist ihm bewusst, dass in multifunktional-komplexen Systemen das Ruder nicht schlagartig herumgerissen werden kann. Genauso klar ist es aber, dass zahlreiche Maßnahmen auf den Weg gebracht werden müssen, die uns möglichst widerstandsfähig gegen katastrophenartige Situationen machen (z. B. Corona und andere Pandemien) und dennoch unser – organisch gewachsenes – Wirtschaftssystem in einem handlungsfähigen Gleichgewicht halten. Dabei offenbart sich der wissenschaftlich-technische Fortschritt immer wieder aufs Neue als umfassender, wenngleich nicht ausschließlicher und ständig zu hinterfragender Resilienz- und Gestaltungsfaktor für eine bessere Zukunft.

Ganz offensichtlich ist jede zukunftsgerichtete Klimapolitik zwingend auf Technologieoffenheit und einen marktbasierten Politikansatz angewiesen. Hierfür ist das Mobilitätsgeschehen ein wichtiges Beispiel, wo es speziell auf dem Automobilsektor entscheidend darauf ankommt, dass der europäische Binnenmarkt durch klimapolitische Maßnahmen nicht fragmentiert wird, sondern im Gegenteil eine vermehrte Marktdurchdringung alternativer Technologien erfährt.

Weil die fortschreitende Klimaveränderung wesentliche Ökosystemleistungen in Mitleidenschaft zieht (v. a. Kohlenstoff-Speicherung, Wachstum gesunder Bäume und Feldfrüchte), rückt die Landnutzung in den Fokus der politischen Agenda. Gerade auf diesem Sektor liegt ein hohes Chancenpotenzial für Bayern – sei es durch die technologische Durchdringung der landschaftsprägenden kleinteiligen Landwirtschaft oder durch avantgardistische Ansätze, die als geistiges Eigentum global vermarktbar sind (z. B. Indoor Vertical Farming, Produktion und industrielle Nutzung biogener Rohstoffe).



Heute legen wir die Handlungsempfehlungen *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* vor. Sie beziehen sich an erster Stelle auf das Potenzial, das in unserem eigenen Land für Lösungsbeiträge zu den international erkannten Problemstellungen vorhanden ist. Dieses Potenzial gilt es mit allen Kräften zu nutzen. Als Hochtechnologie-Nation ersten Ranges kommt uns, eingedenk unserer großen Forschungs- und Wirtschaftstradition, eine besondere Verantwortung zu. Hatten wir bereits in allen vorangegangenen Handlungsempfehlungen die Bedeutung der digitalen Technologien herausgearbeitet, so fließen diese nunmehr prominent in die aktuellen klimarelevanten Betrachtungen ein.

Der Zukunftsrat ist sich durchaus dessen bewusst, dass die in seinen Handlungsempfehlungen adressierten Industrien weit überwiegend einem tiefgreifenden Wandel unterliegen, ebenso wie die gesellschaftlichen Strömungen und politischen Schwerpunktsetzungen von morgen momentan nicht absehbar sind. Andererseits wollen wir praktische Hilfestellungen in der Ära des rapiden Strukturwandels an die Hand geben. Hier kommt der vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. abermals das große Verdienst zu, mithilfe exzellenter Fachexpertise die drängenden Probleme aufgegriffen und in nutzbare Handlungsempfehlungen umgemünzt zu haben, auch wenn diese bisweilen mit herkömmlichen Konventionen brechen. Der Mut, die Gewohnheiten des Denkens täglich neu zu überwinden, wird den Erfolg von morgen bestimmen.

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang A. Herrmann  
Vorsitzender Zukunftsrat der Bayerischen Wirtschaft  
Präsident Emeritus der Technischen Universität München

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	2
<b>Die Mitglieder des Zukunftsrats</b>	12
<b>A Zusammenfassung der wesentlichen Studienergebnisse</b>	14
01 <b>Bedeutung des Klimawandels und Handlungsbedarf</b>	16
02 <b>Folgen des Klimawandels</b>	18
03 <b>Verursachungsbeiträge (Treibhausgas-Emissionen)</b>	20
04 <b>Klimaschutzziele und -maßnahmen</b>	24
05 <b>Einflussmöglichkeiten Bayerns und Deutschlands auf den Klimawandel</b>	29
06 <b>Effekte auf Branchen, Wertschöpfungsketten bis 2030/40</b>	30
07 <b>Handlungsoptionen: Was hat welchen Effekt?</b>	36
07.1 Veränderung von Verhaltens- und Konsummustern	36
07.2 Kreislaufwirtschaft	39
07.3 Anpassung an den Klimawandel	40
07.4 Zwischenfazit: Ansätze stoßen an Grenzen – ohne Technologien wird es nicht gehen	41
07.5 Game Changer	45
07.6 Leuchtturmtechnologien für Bayern	46
07.7 Digitalisierung	50
07.8 Zwischenfazit: Technologien	52
08 <b>Klima-Innovationsbranche</b>	54

<b>B Handlungsempfehlungen</b>	56
<b>01 Analyse und grundsätzliche Schlussfolgerungen daraus</b>	58
01.1 Übergreifende Schlussfolgerungen	63
01.2 Klimaschutz auf internationaler Ebene	66
01.3 Klimaschutz auf der EU-Ebene	70
01.4 Klimaschutz auf nationaler Ebene	74
<b>02 Information</b>	78
02.1 Wissenschaft	79
02.2 Staat	81
02.3 Wirtschaft	83
02.4 Gesellschaft	83
<b>03 Aktion</b>	84
03.1 Übergreifender Handlungsbedarf	85
03.1.1 Unternehmen	85
03.1.2 Staat	86
03.1.3 Wissenschaft	94
03.1.4 Gesellschaft	95
03.2 Schwerpunkt Technologien	96
03.2.1 Übergreifende Aspekte	96
03.2.2 Technologiespezifischer Handlungsbedarf: Querschnittstechnologien	98
03.2.3 Technologiespezifischer Handlungsbedarf: Leuchtturmtechnologien für Bayern	122

## Leuchtturmtechnologien für Bayern

### Mobilität

Verkehrseffizienz, Verkehrsleitsysteme und vernetzter Verkehr	124
Urbane Logistik	126
Elektrofahrzeuge	128
Ladeinfrastruktur Fahrzeuge	130
Elektrisches/hybrides Fliegen	132
Effizientere Verbrennungsmotoren	134

### Industrie

Vernetzte Fabrikation	136
3D-Druck	138
THG-Managementsysteme	140
CO <sub>2</sub> -Filter, -Abscheidung	142
Nachhaltige Verpackungen	145
Recycling	147

### Energieproduktion und Infrastruktur, synthetische Energieträger

Wasserstoff-Herstellung	150
Brennstoffzelle	153
Synthetische Treibstoffe	156
Intelligente Stromnetze	158
HGÜ-Leitungen	161
Organische Solarzellen, Perovskitzellen	163
Solarthermie, Geothermie	165

### Haushalte, Dienstleistungssektor

Intelligentes, vernetztes Haus	170
Energieeffiziente Gebäudetechnik	172
Energieeffiziente Haushaltsgeräte	174
Anpassungstechnologien Bau/Infrastruktur	176

### Gesundheit, Landwirtschaft und Ernährung

Anpassungstechnologien Gesundheit	178
Präzisionslandwirtschaft	181
Anpassungstechnologien Landwirtschaft	183
Fleischalternativen	185

## Die Mitglieder des Zukunftsrats



**Prof. Hans-Jörg Bullinger**  
Vorstandsvorsitzender der  
Fraunhofer-Zukunftsstiftung



**StM Judith Gerlach**  
Bayerische Staatsministerin  
für Digitales



**Prof. Wolfgang  
A. Herrmann**  
Präsident Emeritus der  
Technischen Universität  
München



**Dr. Thomas Gruber**  
Ministerialdirektor,  
Bayerische Staatskanzlei



**StM Hubert Aiwanger**  
Bayerischer Staatsminister  
für Wirtschaft, Landesent-  
wicklung und Energie  
und stellvertretender  
Ministerpräsident



**Prof. Sami Haddadin**  
Direktor der Munich School  
of Robotics and Machine  
Intelligence, TU München  
Lehrstuhl für Robotik und  
Systemintelligenz,  
TU München



**Prof. Manfred Broy**  
Emeritus of Excellence,  
Informatik TU München



**Prof. Thomas Hamacher**  
Lehrstuhl für  
Erneuerbare und  
Nachhaltige  
Energiesysteme  
TU München



**Wolfram Hatz**  
Präsident der  
vbw – Vereinigung der  
Bayerischen Wirtschaft e. V.



**Prof. Wolfgang Peukert**  
Lehrstuhl für Feststoff- und  
Grenzflächenverfahrens-  
technik an der Friedrich-  
Alexander Universität  
Erlangen-Nürnberg



**Prof. Gerd Hirzinger**  
Ehem. Direktor  
(jetzt Berater) des DLR  
Robotik und Mechatronik  
Zentrums RMC



**Prof. Birgit  
Spanner-Ulmer**  
Direktorin Produktion  
und Technik  
Bayerischer Rundfunk



**Prof. Udo Lindemann**  
Emeritus of Excellence,  
Ordinarius i. R. für  
Produktentwicklung,  
TU München



**Prof. Dieter Spath**  
Präsident acatech,  
Deutsche Akademie der  
Technikwissenschaften



**Dr. Norbert Lütke-Entrup**  
Head of Technology and  
Innovation Management,  
Corporate Technology,  
Siemens AG



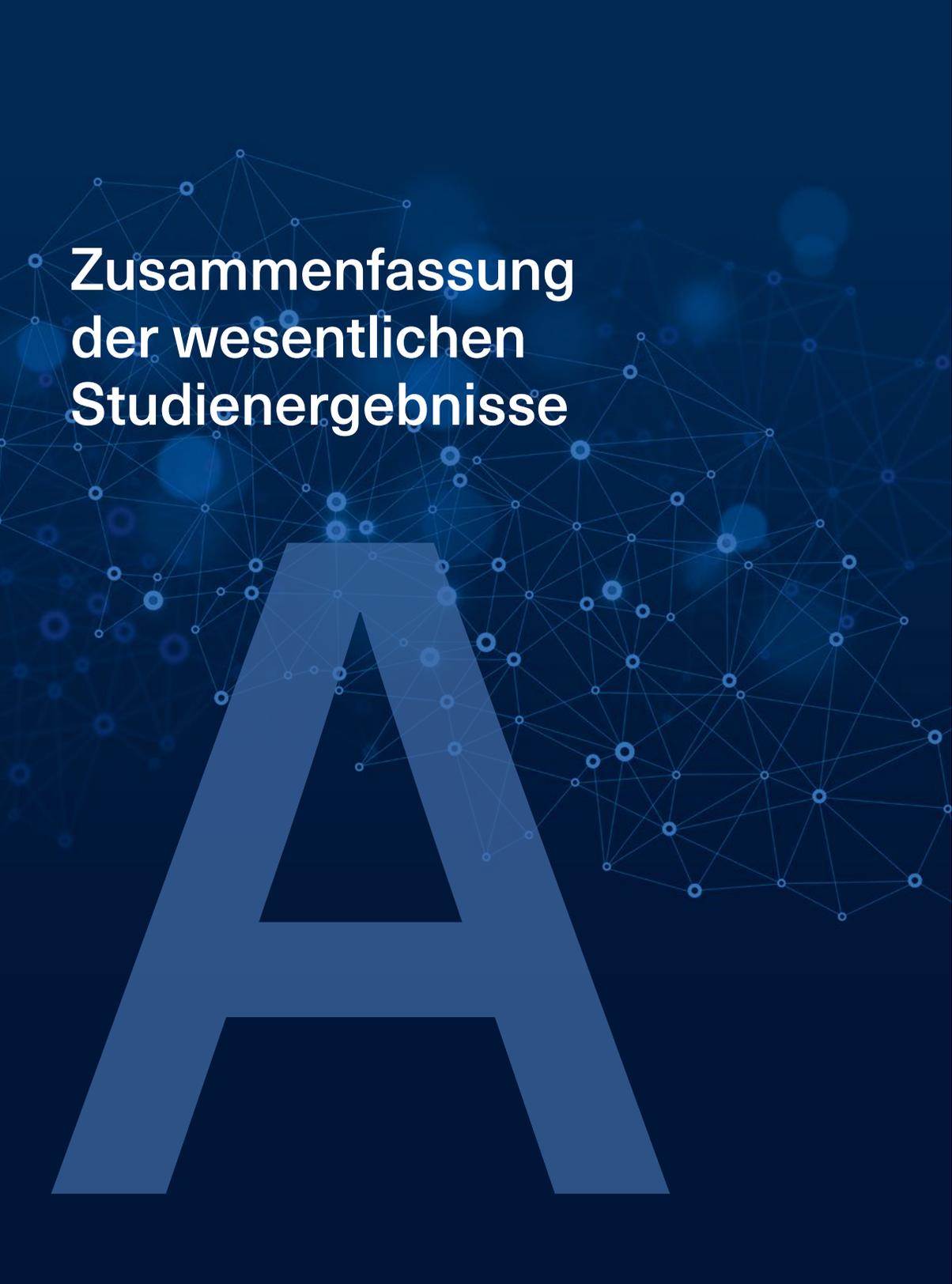
**Prof. Günther Wess**  
Pharma, Biotech,  
Life Sciences



**Prof. Reimund  
Neugebauer**  
Präsident  
Fraunhofer-Gesellschaft



**Prof. Michael F. Zäh**  
Lehrstuhl für  
Werkzeugmaschinen und  
Fertigungstechnik  
im iwv der TU München



# Zusammenfassung der wesentlichen Studienergebnisse

Der Klimawandel betrifft uns alle. Deutschland und Bayern sind dabei besonders wegen ihrer starken globalen Verflechtungen betroffen. Klimabedingte Veränderungen, die andernorts auftreten, können sich deshalb bis vor unsere Haustüren auswirken. Umgekehrt können regionale Innovationen entwickelt werden, die das Potenzial haben, weltweit einen erheblichen Impact zu entfalten. Aus diesem Grund haben sich Europa, Deutschland und Bayern ambitionierte Klimaziele gesetzt. Entscheidend ist, dass der Weg hin zu weitgehender Treibhausgasneutralität auch als solcher nachhaltig gestaltet wird: Neben ökologischen müssen auch ökonomische und soziale Aspekte gleichermaßen adressiert werden, basierend auf Fakten.

Ziel der vbw Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen*. ist es deshalb aufzuzeigen, auf welchen Wegen die bayerische Wirtschaft auf globalen Märkten mit bayerischen Produkten positive Beiträge zum Klimaschutz leisten kann. Dies trägt nicht nur zur Reduzierung der Treibhausgas-Emissionen bei, sondern gleichzeitig auch zur Sicherung von Wertschöpfung und Beschäftigung am Standort. Die Studie ermöglicht es auch, vergleichbare Schlüsse für die deutsche und europäische Wirtschaft zu ziehen.

Da Unsicherheiten über die weltweite Entwicklung beim Klimaschutz bestehen, wurden in der Studie vier Szenarien analysiert, die verschiedene Entwicklungspfade hinsichtlich ihrer Auswirkungen beleuchten. Weiter steht ein Bündel an Klima- und Nachhaltigkeitstechnologien im Mittelpunkt, die nicht nur das Potenzial haben, der Klimaerwärmung entgegenzuwirken, sondern auch neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten für den Standort eröffnen können.

Die Studie und die vorliegenden darauf basierenden Handlungsempfehlungen richten sich an Akteure aus Wirtschaft, Politik, Wissenschaft und Bildung, aber auch an die breite Öffentlichkeit und zeigen auf, welche Möglichkeiten in neuen Technologien, innovativen Ansätzen oder Geschäftsmodellen liegen, die einen Beitrag zu Klimaschutz, Klimaanpassung und Nachhaltigkeit leisten.

## Studienergebnisse

# Bedeutung des Klimawandels und Handlungsbedarf

Der Klimawandel gehört zu den größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Die untere Atmosphäre und die Ozeane erwärmen sich, Permafrostböden tauen, Gletscher und Eisschilde schmelzen und der Meeresspiegel steigt. Die Fakten sind wissenschaftlich belegt.\*



Die bodennahe Lufttemperatur ist seit Ende des 19. Jahrhunderts weltweit deutlich gestiegen.



Jedes der letzten drei Jahrzehnte war sukzessiv wärmer als alle vorangehenden Jahrzehnte seit 1850.



Bis heute hat sich die globale Lufttemperatur insgesamt um etwa 1° C gegenüber vorindustriellen Werten erhöht.

Natürliche Faktoren, wie Schwankungen in der Sonnenaktivität oder Vulkanismus, können den gemessenen Anstieg der globalen Oberflächentemperatur nicht ausreichend erklären.

\* unter anderem IPCC 2018; für zahlreiche Hinweise auf die wissenschaftlichen Grundlagen der folgenden Aussagen, vgl. die Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen*.

## A

## 01

Die aktuellen Entwicklungen des Klimasystems weisen darauf hin, dass sehr bald einige „Kipppunkte“ wie das Tauen der Permafrostböden sowie der Verlust des grönländischen Eisschildes und des arktischen Eises erreicht werden. Dies kann zu abrupten, drastischen und irreversiblen Änderungen im Klimasystem führen, mit gravierenden nachteiligen Auswirkungen für die Menschheit. Unter anderem sind durch Stürme und Meeresspiegelanstieg weltweit die küstennahen Siedlungs- und Wirtschaftsstrukturen bedroht, in denen mehrere Milliarden Menschen leben. Hochwasser gefährden flussnahe Infrastrukturen und gleichzeitig führen Trockenperioden dazu, dass Flüsse zeitweise nicht mehr zum Transport oder zur Kühlung von Großkraftwerken oder sonstigen Industrieanlagen genutzt werden können.

Der Einfluss des Menschen ist ein erheblicher Faktor für die Erwärmung, die in erster Linie auf den Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre seit der Industrialisierung zurückzuführen ist. Dabei sind die anthropogenen Treibhausgas-Emissionen Haupttreiber des Klimawandels und der globalen Erwärmung, denn die beobachtete Erderwärmung lässt sich ohne den Einfluss des Menschen seit Beginn der Industrialisierung nicht erklären. Die heutigen Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre sind höher als jemals zuvor in den letzten 800.000 Jahren und der durchschnittliche Anstieg der Konzentrationen im vergangenen Jahrhundert ist einzigartig in den letzten 22.000 Jahren. Seit Beginn der Industrialisierung im Jahr 1750 sind die Konzentrationen von CO<sub>2</sub>, Methan und Lachgas deutlich gestiegen.

Der Fokus internationaler und nationaler Klimaziele und -schutzmaßnahmen liegt deshalb vor allem auf der Einsparung von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen. Allerdings wird der Klimawandel selbst beim Erreichen der gesetzten Klimaschutzziele weiter voranschreiten und ist auch langfristig nicht mehr umkehrbar. Aus diesem Grund müssen parallel Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel ergriffen werden.

Sowohl Klimaschutz als auch Klimaanpassung sind nur dann möglich, wenn klimafreundliche Technologien, die die Folgen des Klimawandels abfedern und die Emissionsreduktion einfacher, effektiver und kostengünstiger machen, eingesetzt werden. Dabei sind Deutschland und Bayern im weltweiten Innovationsrennen der wichtigsten Klimaschutz- und Klimaanpassungstechnologien sehr gut positioniert. Die vbw Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* zeigt auf, welche Chancen für die bayerische und deutsche Wirtschaft in neuen Technologien, innovativen Ansätzen oder Geschäftsmodellen liegen.

Studienergebnisse

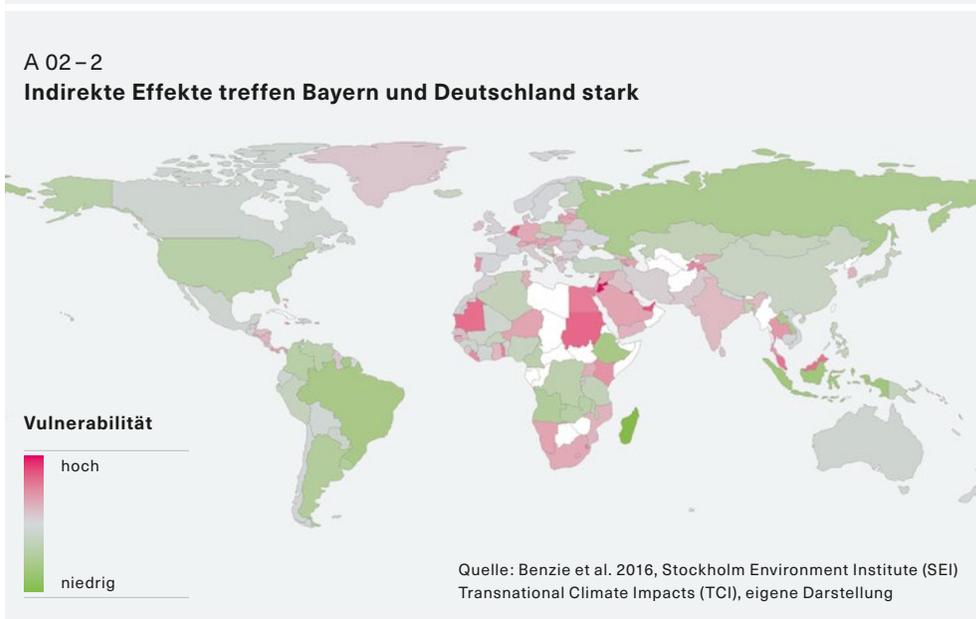
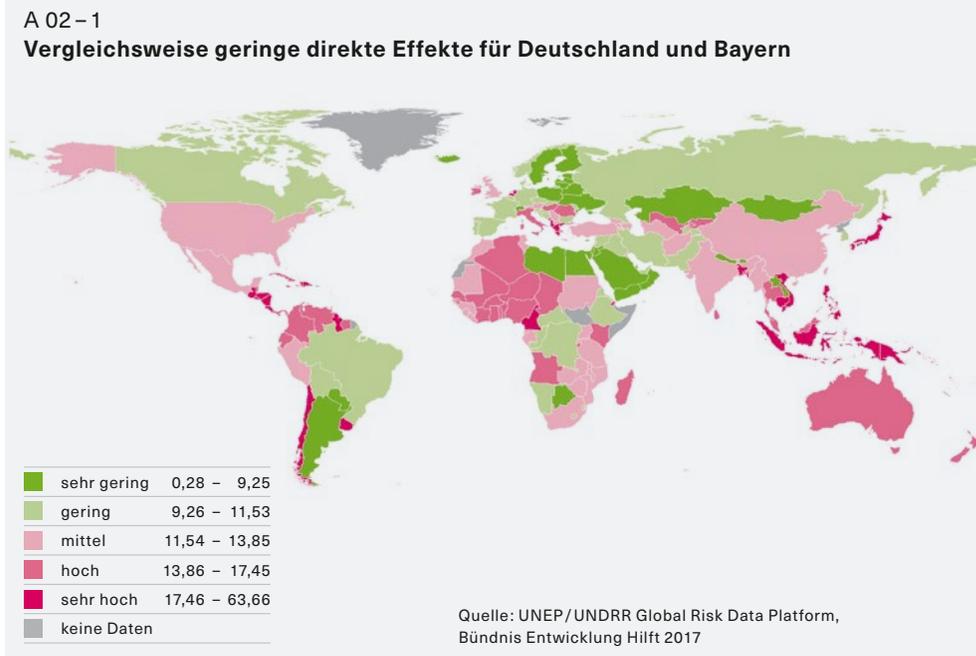
# Folgen des Klimawandels

Die Auswirkungen des Klimawandels können in direkte und indirekte Folgen unterteilt werden. Direkte Folgen des Klimawandels werden unmittelbar durch die globale Erwärmung hervorgerufen. Dazu zählen u.a. die allmähliche Veränderung der Durchschnittstemperaturen und die Zunahme von Extremwetterereignissen und deren Folgen wie Dürren, Stürme, Überschwemmungen oder Erdbeben (siehe Abbildung A 02 – 1).

Prognosen für Bayern gehen davon aus, dass die Anzahl heißer Tage in den Sommermonaten deutlich zunimmt und vor allem in Siedlungsbereichen ausgeprägte urbane Hitzeinseln entstehen. Insbesondere in Unterfranken ist mit längeren Trockenzeiten und Hitzewellen zu rechnen. Im Gegensatz dazu geht die Anzahl der Eistage oder Tage mit geschlossener Schneedecke weiter zurück, im Alpenraum steigt die Schneefallgrenze und die Schneeschmelze setzt früher ein. Was die Niederschläge betrifft, kommt es zu einer zunehmenden Ungleichverteilung über das Jahr. Vor allem im Winter nehmen die Niederschlagsmengen zu, in den Sommermonaten gehen sie zurück. Die Gefahr von Überschwemmungen infolge von Starkregenereignissen oder Hochwasserabflüssen steigt insgesamt an.

Im Vergleich mit anderen Weltregionen (Afrika, Asien und Ozeanien) sind Bayern, Deutschland und Mitteleuropa zwar weniger stark von den direkten Auswirkungen des Klimawandels betroffen, dafür treffen sie die indirekten Folgen des Klimawandels deutlich empfindlicher. Diese ergeben sich insbesondere aus Verflechtungen bzw. Abhängigkeiten mit anderen Ländern und den dortigen klimatischen Veränderungen (z.B. Störungen in Zulieferketten und auf Absatzmärkten). Andernorts auftretende Klimarisiken können sich somit bis in unseren Wirtschaftsstandort hinein auswirken (siehe Abbildung A 02 – 2).

A  
02



## Studienergebnisse

## Verursachungsbeiträge (Treibhausgas-Emissionen)

Die größten CO<sub>2</sub>-Emittenten sind China, die USA, Indien, Russland, Japan und Deutschland. Auf sie entfielen 2018 zusammen etwa 61 Prozent der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen (entspricht 22.850 Mio. Tonnen) (siehe Tabelle A 03–1). In den letzten knapp 30 Jahren lag der durchschnittliche Anteil Bayerns an den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschlands bei rund zehn Prozent.

Im Bundesländervergleich liegt Bayern damit auf Platz zwei der bedeutendsten Emittenten. Mehr als Bayern emittierte nur Nordrhein-Westfalen, das in 2016 für rund ein Drittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland verantwortlich war. Ursachen für den hohen Anteil Nordrhein-Westfalens sind neben der Einwohnerzahl die große Bedeutung energieintensiver Industrien sowie zahlreiche dort angesiedelte Braunkohle- und Steinkohlekraftwerke. Aufgrund des großen Emissionsanteils von Kraftwerken, die auch der überregionalen Stromversorgung dienen, lässt ein statischer Vergleich einzelner Bundesländer a priori keine direkten Rückschlüsse auf deren Klimaschutzambitionen zu.

A

## 03

A 03–1

CO<sub>2</sub>-Emissionen in den bedeutendsten Emittentenländern 2018

Länder	CO <sub>2</sub> -Emissionen	Anteil
6 bedeutendste Emittentenländer	22.850 Mio. Tonnen	61 %
China	11.260 Mio. Tonnen	30 %
USA	5.280 Mio. Tonnen	14 %
Indien	2.620 Mio. Tonnen	7 %
Russland	1.750 Mio. Tonnen	5 %
Japan	1.200 Mio. Tonnen	3 %
Deutschland	750 Mio. Tonnen	2 %
Rest der Welt	15.030 Mio. Tonnen	39 %
<b>Gesamt</b>	<b>37.890 Mio. Tonnen</b>	<b>100 %</b>

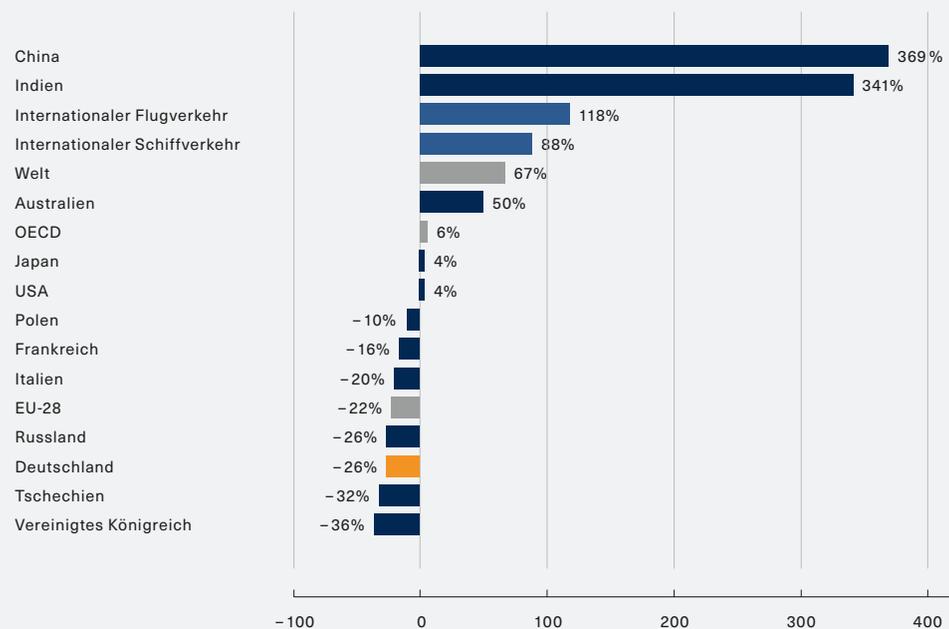
Quelle: EDGAR-Datensatz; eigene Darstellung Prognos, 2020

Bis Anfang des 19. Jahrhunderts waren Europa und die USA die mit Abstand bedeutendsten Emittenten, wobei der Anteil der USA in diesem Zeitraum nahezu kontinuierlich gestiegen ist. Ab Mitte des 20. Jahrhunderts gewann der Anstieg der Emissionen deutlich an Dynamik. Während die globalen Emissionen in den 100 Jahren zwischen 1850 und 1950 um rund 225 Mrd. Tonnen zugenommen haben, stiegen die Emissionen in den darauffolgenden rund 70 Jahren bis heute um etwa 1.338 Mrd. Tonnen. Der Anstieg der Emissionen in den vergangenen Dekaden steht in engem Zusammenhang mit neuen bedeutenden Emittenten in Asien und hier v. a. China. Die afrikanischen Staaten verzeichneten hingegen bis zuletzt nur geringe Zuwächse.

Die weltweit steigenden Emissionen verdecken, dass einzelne Länder ihre Emissionen in den vergangenen Jahren deutlich reduzieren konnten. Zwischen 1990 bis 2018 sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen über alle Länder hinweg zwar um etwa zwei Drittel gewachsen, gleichzeitig gingen die Emissionen vieler bedeutender Emittentenländer jedoch zurück. Besonders starke prozentuale Rückgänge sind vor allem im Gebiet der ehemaligen Sowjetunion (z. B. Ukraine –75 Prozent, Russland –26 Prozent) und in einigen europäischen Staaten (z. B. Vereinigtes Königreich –36 Prozent, Deutschland –26 Prozent, Italien –20 Prozent, Frankreich –16 Prozent, Polen –10 Prozent) zu verzeichnen (siehe Abbildung A 03–2).

**A 03–2  
Veränderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in ausgewählten Ländern zwischen 1990 und 2018**

Fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe, aus industriellen Prozessen sowie aus der Produktverwendung.

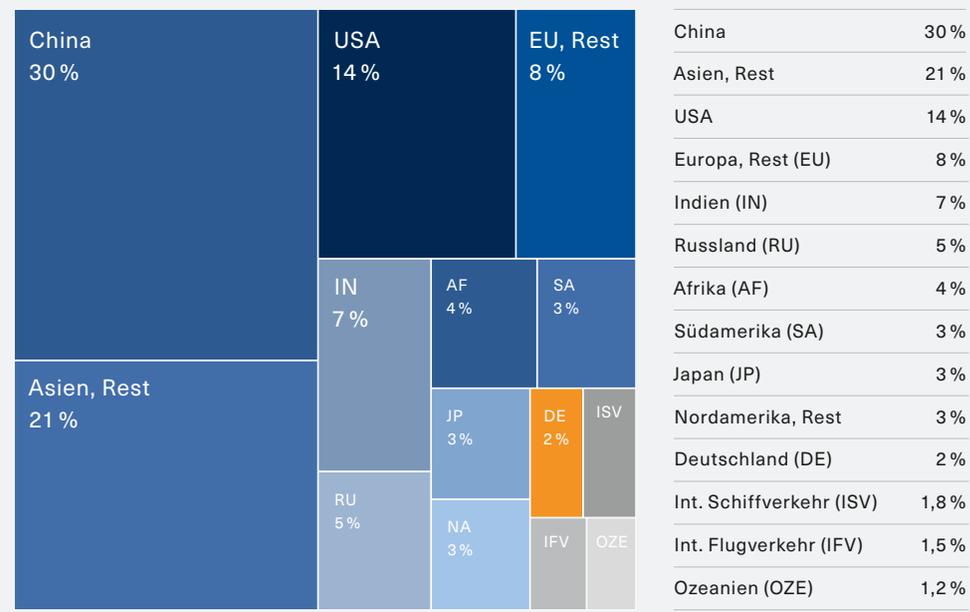


Quelle: EDGAR Datensatz; eigene Darstellung Prognos, 2020

Gegenwärtig liegt der Anteil Deutschlands an den weltweiten Treibhausgas-Emissionen bei unter zwei Prozent (siehe Abbildung A 03–3 und Tabelle A 03–1). Damit sind die Möglichkeiten Deutschlands, den Klimawandel durch Reduktion der eigenen Treibhausgas-Emissionen direkt zu beeinflussen, gering. Gleichzeitig kann Deutschland aber zeigen, wie eine Transformation erfolgreich gelingen kann und die Rolle eines Vorbilds und Multiplikators einnehmen. Hier gilt es, für den Klimaschutz relevante Technologiefelder zu besetzen und neue Schlüsselkompetenzen zu erschließen. Diese eröffnen bei fortschreitendem Klimawandel neue Export- und Wachstumsmöglichkeiten.

**A 03–3  
CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Ländern und Regionen 2018**

Fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe, aus industriellen Prozessen sowie aus der Produktverwendung.



Quelle: EDGAR-Datensatz; eigene Darstellung Prognos, 2020

Werte gerundet

Studienergebnisse

# Klimaschutzziele und -maßnahmen

Die deutschen Klimaschutzziele sind eingebettet in ein Gerüst internationaler und europäischer Vereinbarungen (siehe Abbildung A 04 – 1).

## International

Im Dezember 2015 haben sich im Paris-Abkommen erstmals (fast) alle Staaten der Erde auf ein rechtsverbindliches Klimaschutzübereinkommen geeinigt. Kern des Paris Abkommens bildet das globale Ziel, die Erderwärmung gegenüber vorindustriellen Werten langfristig auf „deutlich unter“ zwei Grad Celsius zu begrenzen. Um dieses Ziel zu erreichen, verpflichtet der Vertrag alle Staaten, nationale Klimaschutzbeiträge zu beschließen und umzusetzen.

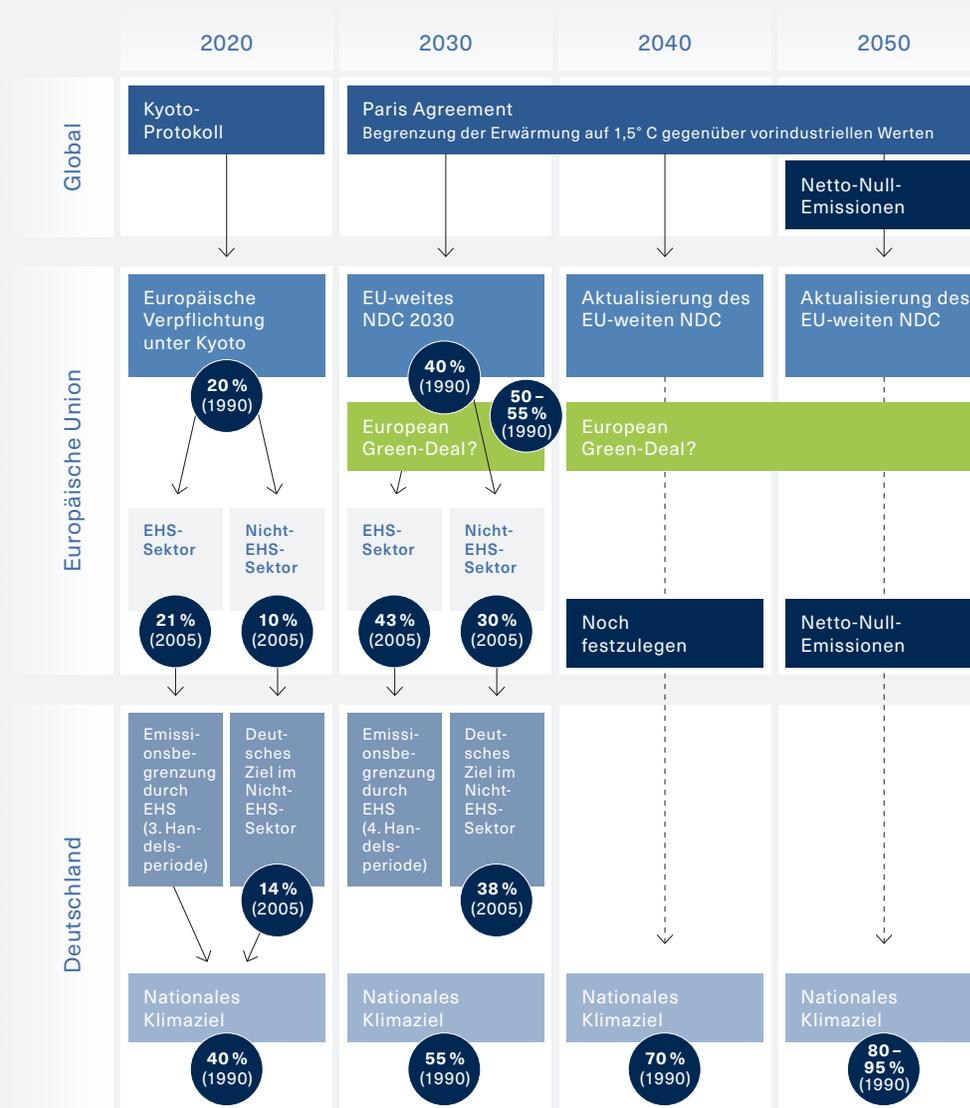
## Europa

Auf europäischer Ebene hat die EU-Kommission mit dem Green Deal einen Fahrplan vorgelegt, wie sie mit den Herausforderungen von Klimawandel und Umweltschutz umgehen will. Das Wirtschaftswachstum in der EU soll weitestgehend von der Ressourcennutzung abgekoppelt und bis zum Jahr 2050 sollen keine Netto-Treibhausgas-Emissionen mehr freigesetzt werden. Zwischen 1990 und 2018 konnte die Europäische Union ihre Treibhausgas-Emissionen um 23 Prozent reduzieren. Ihr Reduktionsziel für 2020 in Höhe von 20 Prozent gegenüber 1990 wird sie somit insgesamt übererfüllen.

Ein Kernbestandteil der Klimapolitik ist das Europäische Emissionshandels-system (EHS). Das Handelssystem begrenzt die Emissionen von mehr als 11.000 energieintensiven Anlagen (in der Stromerzeugungs- und verarbeitenden Industrie) sowie von Luftfahrzeugbetreibern, die Verkehrsdienste zwischen diesen Staaten anbieten. Im EHS-Sektor besteht das Ziel, die Treibhausgas-Emissionen der EU bis zum Jahr 2020 um 21 Prozent im Ver-

A  
04

A 04 – 1  
Zielarchitektur der internationalen, europäischen und deutschen Klimaziele



Quelle: Eigene Darstellung Prognos, 2020

● Reduktion der THG-Emissionen gegenüber dem in Klammern angegebenen Referenzjahr

gleich zu 2005 zu reduzieren. Im Nicht-EHS-Sektor (u. a. Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, kleine Industrieanlagen und Abfall) ist Deutschland nach europäischen Entscheidungen und Verordnungen verpflichtet, die Treibhausgase im Nicht-EHS-Sektor im Vergleich zu 2005 bis 2020 um 14 Prozent zu senken. Aktuelle Projektionen gehen von einer Verringerung um ca. neun Prozent aus. Damit würde Deutschland sein Klimaschutzziel deutlich verfehlen und müsste überschüssige Emissionsrechte anderer Mitgliedstaaten, die ihre nationalen Reduktionsziele übererfüllen, erwerben. Auch für das Jahr 2030 bleibt die auf Grundlage der bereits beschlossenen Maßnahmen projizierte Emissionsreduktion im Nicht-EHS-Bereich mit etwa 22 Prozent im Vergleich zu 2005 deutlich unter den anvisierten 38 Prozent zurück. Nicht berücksichtigt sind die Auswirkungen der Corona-Krise auf die Klimabilanz.

## Deutschland

Auf nationaler Ebene hat Deutschland sich mit dem Klimaschutzplan 2050 und dem 2019 verabschiedeten Klimaschutzgesetz das Ziel gesetzt, die nationalen Treibhausgas-Emissionen bis 2020 im Vergleich zu 1990 um 40 Prozent zu reduzieren. Mittelfristig sollen die Emissionen im Vergleich zu 1990 bis 2030 um mindestens 55 Prozent und bis 2040 um 70 Prozent reduziert werden. Für das Jahr 2050 wird das Ziel einer weitgehenden Treibhausgas-Neutralität verfolgt.

Durch die Corona-Krise wird Deutschland sein Reduktionsziel für 2020 entgegen früherer Erwartungen doch noch erreichen. Dieses Ziel würde Deutschland ohne die Corona-Krise voraussichtlich verfehlen (Reduktion ohne die Corona-Auswirkungen Schätzungen zufolge bei 35 Prozent). Der deutlichste Rückgang der Emissionen wird – u. a. infolge von Produktionsausfällen und Werksschließungen – im Stromsektor erwartet. Die Krise bewirkt allerdings nur einen einmaligen Effekt, der auf den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Beschränkungen beruht. Langfristig jedoch können sich die bereitgestellten Konjunkturprogramme positiv auf klimaschutzrelevante Maßnahmen und Projekte auswirken.

## Ziele 2030

Für 2030 zeigen neue Szenarienberechnungen\*, dass Deutschland seine Ziele nahezu, jedoch nicht vollständig erreicht. Der Gesamt-Zielerreichungsgrad beträgt 95 Prozent. In jedem Sektor bis auf den Abfallsektor bleiben die berechneten Reduktionen unter denjenigen, die im Zielsystem festgelegt wurden. Ein relativ geringer Zielerreichungsgrad ist im Verkehr und in der Landwirtschaft zu verzeichnen (siehe Tabelle A 02 – 1). In diesen Bereichen sind noch erhebliche zusätzliche Anstrengungen erforderlich, um die für 2030 angestrebten Ziele zu erreichen. Aufgrund der nicht vollständigen Zielerreichung ist es wahrscheinlich, dass in den nächsten Jahren noch weitere Maßnahmen beschlossen werden müssen, und/oder die Preise im nationalen Emissionshandelssystem ab 2026 mit einer dann umgesetzten strikten Mengensteuerung sehr schnell stark ansteigen werden und somit weitere Emissionsreduktionen anreizen.

Sollten die Ziele – wie es sich in den Diskussionen zum European Green Deal bereits stark abzeichnet – für 2030 weiter verschärft und die Klimaneutralität bis 2050 festgeschrieben werden, sind ohnehin für die Umsetzung der dann erforderlichen technischen Maßnahmen (z. B. Einsatz von Negativ-Emissionstechnologien, verstärkter Einsatz strombasierter synthetischer Energieträger) neue politische Instrumente sowie eine kohärente neue Rahmensetzung erforderlich.

\* Vgl. Studie *Klimaneutrales Deutschland* (im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität)

## A 02 – 1

**Klimaschutzziele 2030 und Zielerreichung nach Sektoren**

	Sektorziele 2030	Szenario 2030	Abweichung 2030	Zielerreichungsgrad 2030
<b>Sektoren</b>	Jahresemissionsmengen in Mt CO <sub>2</sub> -Äq.			
Energiewirtschaft	175	183	8	 97 %
Industrie	140	143	3	 98 %
Gebäude	70	78	8	 94 %
Verkehr	95	125	30	 96 %
Landwirtschaft	58	64	6	 82 %
Abfälle	5	5	0	 100 %
<b>Summe</b>	<b>543</b>	<b>598</b>	<b>55</b>	 92 %
<b>Gesamtziel</b>	<b>562</b> (– 55 %)	<b>598</b> (– 52,5 %)	<b>66</b>	 95 %

Sektorziele und Gesamtziel gemäß Klimaschutzgesetz (KSG).  
Zielerreichungsgrad in Bezug auf die zwischen 1990 und 2030 angestrebte Minderung gemäß KSG.

Quelle: Prognos et al., 2020.

Auch in Bayern hat die Staatsregierung eine bayerische Klimaschutzoffensive auf den Weg gebracht. Teil der Initiative ist das erste bayerische Klimaschutzgesetz sowie ein Zehn-Punkte-Plan mit rund 100 Einzelmaßnahmen.

## Studienergebnisse

A

## Einflussmöglichkeiten Bayerns und Deutschlands auf den Klimawandel

05

Mit der Verfolgung der Klimaschutzziele können Deutschland und Bayern im Wesentlichen durch zwei Kanäle auf den globalen Klimawandel Einfluss nehmen.

Bei Erfüllung des Ziels der Klimaneutralität würde Deutschland seine gesamten (Netto-)Treibhausgas-Emissionen auf null reduzieren. Mit einem Anteil von rund zwei Prozent an den globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen würde die alleinige Emissionsreduktion Deutschlands für das Weltklima jedoch keinen spürbaren Effekt erzielen. Für Bayern gilt das umso mehr.

Deutschland und Bayern können aber die Rolle eines Vorbildes und Multiplikators einnehmen, wenn es gelingt zu zeigen, dass die Verfolgung und Erfüllung ambitionierter Klimaschutzziele – ohne gesellschaftliche Verwerfungen – technisch und wirtschaftlich möglich sind. Dies umfasst u. a. die Möglichkeit Deutschlands und Bayerns, technologische Lösungen zur Treibhausgasreduktion zu verbessern oder neue zu entwickeln und diese international zu vermarkten. Dadurch können Nachahmer motiviert werden, ihre Treibhausgas-Emissionen ebenfalls zu reduzieren bzw. sich internationalen Klimaschutzvereinbarungen anzuschließen. Wir könnten so indirekt einen substanziellen Einfluss auf den Klimawandel nehmen.

## Studienergebnisse

## Effekte auf Branchen, Wertschöpfungsketten bis 2030/40

Im Paris-Abkommen wurde zwar das Zwei-Grad-Ziel festgelegt, eine Umsetzung in abgestimmte nationale und internationale verbindliche Politiken steht jedoch noch aus. Das führt zu großen Unsicherheiten darüber, wie sich die Rahmenbedingungen weiterentwickeln werden. Aus diesem Grund untersucht die vbw Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* anhand vier verschiedener Szenarien, wie sich unterschiedliche Zielsetzungen auf den Technologieeinsatz, die erreichbaren Emissionsreduktionen und damit verbundene Temperaturregimes sowie die volkswirtschaftlichen Veränderungen auswirken.

A

## 06

## Szenario 1

**Business as Usual (BaU)**

Dieses Szenario dient als Referenz für die anderen Szenarien. Hier wird angenommen, dass es keine zusätzlichen Einsparungen bzw. Klimaschutzmaßnahmen geben wird und lediglich die bis 2016 beschlossenen Maßnahmen weitergeführt werden.

## Szenario 2

**Einheitliches Vorgehen**

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass die führenden Industrienationen ihre Treibhausgas-Emissionen in Einklang mit den Zielen des Abkommens von Paris reduzieren.

## Szenario 3

**Europa geht voran**

Hier orientiert sich Europa weiter an der Zielvereinbarung von Paris und begibt sich auf den dafür notwendigen Zielpfad. Es kommt jedoch kurzfristig nicht zu internationalen oder multilateralen verbindlichen Abstimmungen für die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen.

## Szenario 4

**Deutschland geht voran**

Dieses Szenario nimmt an, dass nur Deutschland sich ambitionierte Ziele in Sachen Klimaschutz setzt und diese auch konsequent mit politischen Instrumenten und technischen Maßnahmen umsetzt. Die anderen Länder ziehen jedoch deutlich langsamer nach.

Weiter unterscheiden sich alle vier Szenarien auch hinsichtlich des Einsatzes neuer technologischer Entwicklungen in Sachen Klimaschutz und Nachhaltigkeit sowie der globalen Erwärmung und damit der Folgen des Klimawandels sowie des Anpassungsbedarfs an die Folgen.

### Volkswirtschaftliche Auswirkungen

Abgesehen von den Kosten des Klimawandels sind die wirtschaftlichen Effekte des Klimaschutzes unter den verschiedenen Szenarien gut in plausiblen Berechnungen quantifizierbar. Für die Industrieländer sind die volkswirtschaftlichen Auswirkungen in allen Szenarien positiv; das Ausmaß variiert jedoch:

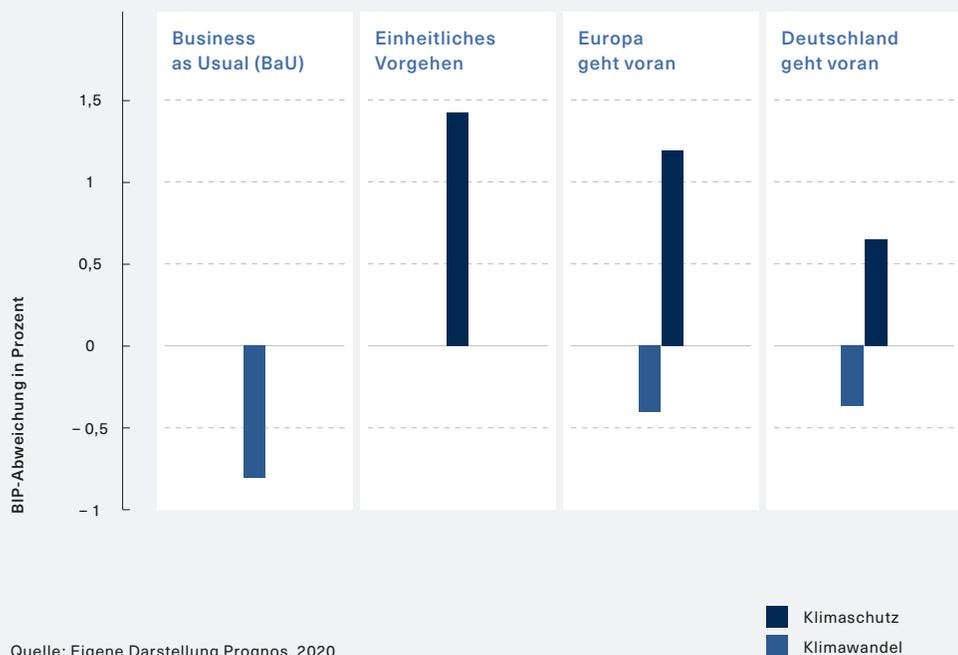
- Bei einem weltweit einheitlichen Vorgehen sind die volkswirtschaftlichen Auswirkungen (auf Wertschöpfung und Beschäftigung) am stärksten positiv, da alle ein einheitliches Konkurrenzumfeld bzw. „Level Playing Field“ haben.
- Wenn der Klimaschutz „nur“ in europäischer Abstimmung erfolgt oder Deutschland allein vorangeht (und der Rest der Welt ein langsames Vorgehen wählt), sind die volkswirtschaftlichen Auswirkungen weiterhin positiv, aber weniger stark.
- Wenn Deutschland bzw. Europa voran gehen, kommen die positiven volkswirtschaftlichen Wirkungen vor allem aus dem inländischen Klimaschutz. Hierbei wurde vorausgesetzt, dass die am stärksten betroffenen Branchen (v. a. die energieintensiven Industrien: Metall, Glas, Keramik, Zement) im internationalen Wettbewerb bei der Transformation unterstützt werden.
- Wenn bereits heute mit der (Weiter-)Entwicklung emissionsarmer oder -freier Technologien begonnen wird, sinken deren Kosten im Zeitablauf (Lernkurven). Bei etlichen technologieorientierten Lösungen zum Klimaschutz verzeichnet die bayerische und deutsche Wirtschaft Stärken, z. B. im Bereich der Effizienztechnologien, der Elektrifizierung von Verkehr, der (Niedertemperatur-)Wärme und veränderter Industrieprozesse.
- Der positive Effekt resultiert insgesamt daraus, dass der größte Teil der Investitionen im Inland produziert wird.
- Verlierer sind in den Szenarien mit besonders ambitioniertem Klimaschutz Energieexporteure wie Russland und Saudi-Arabien.

Seit Oktober 2020 liegt mit der von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität beauftragten Studie *Klimaneutrales Deutschland* auch ein vollständiges Szenario zu einem klimaneutralen Deutschland vor. Hier wird davon ausgegangen, dass eine durchgängige, konsequente Ausschöpfung der vorhandenen und zumeist kostengünstigen Effizienzpotenziale erfolgt, beispielsweise im Gebäudebereich.

Für den Verkehrssektor wird ein schnellerer Anstieg des Anteils der alternativen Antriebe angenommen und im Industriesektor werden Biomasse, Strom und Wasserstoff als Energieträger eingesetzt. Der Strom wird bis 2050 vollständig erneuerbar produziert. Importe synthetisch erzeugter Energieträger und Stromhandel sind ebenfalls berücksichtigt. Unvermeidbare Restemissionen, etwa aus der Landwirtschaft, werden mit Negativ-Emissionstechnologien kompensiert. In der Landwirtschaft und Ernährung werden die sich heute abzeichnenden Trends moderat fortgeschrieben – leicht verringerter Milchkonsum sowie eine Verschiebung des Fleischverzehrs hin zum Geflügel. Bilanziell werden in diesem Szenario bis 2050 in Deutschland keine Treibhausgas-Emissionen mehr ausgestoßen bzw. die Restemissionen an anderer Stelle kompensiert. Da keine Referenz für dieses Szenario berechnet wurde, kann es nicht analog zu den anderen Szenarien der Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* ökonomisch bewertet werden. Das Szenario „Einheitliches Vorgehen“ ist jedoch ein guter Anhaltspunkt. Die Unterschiede liegen vor allem im stärkeren Ausbau der Erneuerbaren Energien, in der verstärkten Wasserstoffnutzung sowie den Negativemissionen. Alle drei Faktoren führen zu zusätzlichen inländischen Investitionen in Technologien, die idealerweise in großen Teilen auch im Inland entwickelt und produziert werden. Somit sollten die ökonomischen Auswirkungen angesichts der unterstellten international abgestimmten Rahmenbedingungen und Technologieentwicklungen in eine ähnliche Richtung weisen wie bei einem weltweit einheitlichen Vorgehen.

## A 06-1

## BIP-Effekte von Klimawandel und Klimaschutz

**Kosten des Klimawandels**

Die Szenarien berücksichtigen allerdings nicht die „negativen“ Kosten des Klimawandels. Diese könnten die positiven BIP-Effekte deutlich schmälern, besonders in den Szenarien mit Erwärmung über zwei Grad Celsius („Business as Usual“, „Europa geht voran“, „Deutschland geht voran“). Die Kosten resultieren insbesondere daraus, dass die fortschreitende Erderwärmung voraussichtlich erhebliche Risiken, Schäden (sowohl an Infrastruktur als auch hinsichtlich negativer Auswirkungen auf

die menschliche Gesundheit) und Anpassungserfordernisse mit sich bringt. Europa und damit Deutschland und Bayern weisen im Durchschnitt Verluste durch Klimawandelfolgen von deutlich unter einem Prozent des BIP auf. Allerdings sind diese Folgen viel stärker ein regionales Phänomen als der Ausstoß von Treibhausgasen, der ortsunabhängig zur globalen Erwärmung beiträgt. Aufgrund der hochgradig regionalspezifischen Ausprägungen sind die Kosten des Klimawandels von großer Unsicherheit

geprägt. In einer Region, die von Dürre, Starkregen, Sturm oder Hochwasser betroffen ist, können die Schäden zeitweise auf ein Vielfaches des genannten Werts anwachsen. Im Rahmen der verschiedenen Szenarien kann deshalb nur die erwartete direkte Minderung des BIP durch Klimawandelschäden den prognostizierten Gesamteffekten durch Klimaschutzmaßnahmen in den Szenarien gegenübergestellt werden (siehe Abbildung A 06-1).

Ein Vergleich zeigt, dass die energie- bzw. CO<sub>2</sub>-intensiven Branchen (insbesondere Metall, Glas, Keramik, Zement) in allen Szenarien mit Einbußen und Konkurrenz zu kämpfen haben, da ein Umstieg auf treibhausgasfreie Technologien erfolgen muss und die relative Verteuerung der Produkte Konkurrenz durch neue, weniger energieintensive Werkstoffe bedingt. Die betroffenen Branchen machen aber nur einen kleinen Teil der Wertschöpfung aus.

**Gewinnerbranchen**

Die Gewinnerbranchen sind diejenigen, die Effizienztechnologien anbieten (Maschinen-, Anlagenbau, Elektroindustrie), die Bauwirtschaft, manche Kunststoffe (z. B. Dämmstoffe), Anlagen der erneuerbaren Energien, innovative und vernetzte Prozesstechnologien sowie zahlreiche industriennahe und andere Dienstleistungen.

Für Bayern ergeben sich aufgrund struktureller wirtschaftlicher Unterschiede zu Gesamtdeutschland in den vier Szenarien graduelle Abweichungen, im Wesentlichen ähneln sich jedoch die Ergebnisse.

**Zwischenfazit**

Insgesamt zeigen die Szenarien, dass sich die Entwicklung und ambitionierte Anwendung von Klimaschutztechnologien für Deutschland und deutsche Unternehmen in jedem Fall lohnt. Die anbietenden Unternehmen erschließen weitere Märkte bzw. können sich an ihren angestammten Märkten behaupten. Die meisten Unternehmen werden durch Effizienzmaßnahmen und Nutzung erneuerbarer Energien wettbewerbsfähiger, wenn sich die weltweiten Rahmenbedingungen infolge der Klimaschutzziele ändern. Gleichzeitig können CO<sub>2</sub>-Vermeidungspotenziale umso effizienter und kostengünstiger realisiert werden, je größer der regionale Wirkungskreis der intendierten CO<sub>2</sub>-Minderungen ist. Internationale Kooperation ist folglich entscheidend für den weltweiten Klimaschutz und ist gleichzeitig eine zentrale Voraussetzung für den Erfolg der notwendigen Technologieentwicklung und Transformation der Systeme.

## Studienergebnisse

## Handlungsoptionen: Was hat welchen Effekt?

Neben der breiten Anwendung von Klimaschutztechnologien müssen auch nicht-technologische Lösungen als Teil der Treibhausgas-Minderungsstrategie mitgedacht werden. Neben der Veränderung gewohnter Verhaltens- und Konsummuster sind das vor allem die Kreislaufwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel.

### 07.1 Veränderung von Verhaltens- und Konsummustern

Eine Studie des UBA\* liefert erste Ergebnisse zur quantitativen Einordnung der Wirkung von Verhaltens- und Konsumänderungen auf die Energie- und Treibhausgasbilanz. So können Veränderungen bei der Verkehrsmittelwahl und den Ernährungsgewohnheiten zu einer Verbesserung der allgemeinen Gesundheit durch bessere Luftqualität, mehr Bewegung und ggf. einer gesünderen Ernährung führen. Veränderte Konsummuster können in weiteren Bereichen des Umweltschutzes zu positiven Effekten führen, bspw. reduzierter Flächenverbrauch, Verbesserung des Tierwohls, Reduzierung von Ressourcenverbrauch und Abfall.

Im Rahmen der vbw Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* wurde eine Reihe von Einzelmaßnahmen betrachtet und analysiert, welchen Beitrag sie zum Klimaschutz leisten können. Zu beachten ist, dass dabei keine Gesamtsystembetrachtungen erfolgen, sondern ausgewählte Aspekte nur punktuell, also ohne ihre Auswirkungen auf andere Bereiche, beleuchtet werden. Weiter liegen den Berechnungen bestimmte Annahmen zugrunde. Die Details können in der Studie nachgeschlagen werden.

\* Vgl. Studie *Konzept zur absoluten Verminderung des Energiebedarfs: Potenziale, Rahmenbedingungen und Instrumente zur Erreichung der Energieverbrauchsziele des Energiekonzepts* (UBA 2016)

A

07

#### Was wäre, wenn wir dauerhaft deutlich weniger fliegen oder pendeln würden (Dienstreisen/Urlaub)?

Durch Pendeln und Dienstreisen mit dem Pkw entstehen 47,5 Megatonnen CO<sub>2</sub>Äq., 23,3 Megatonnen CO<sub>2</sub>Äq. entstehen durch freizeitorientierte Fahrten.

Personenflüge kommen auf 6,9 Megatonnen CO<sub>2</sub>Äq. für Dienstreisen sowie 12,4 Megatonnen CO<sub>2</sub>Äq. für freizeitorientierte Flüge.

Die Einschränkung der dienstlichen und freizeitorientierten Reiseaktivitäten um etwa die Hälfte könnte zu einer Einsparung von insgesamt ca. 45,2 Megatonnen CO<sub>2</sub>Äq. führen, was etwa fünf Prozent der gesamten Treibhausgas-Emissionen Deutschlands entspricht.

#### Was wäre, wenn die Raumtemperatur in Wohngebäuden im Winter auf 19 Grad Celsius begrenzt würde?

Die mit der Raumwärmeerzeugung in privaten Haushalten verbundenen Treibhausgas-Emissionen betragen derzeit 69 Megatonnen CO<sub>2</sub>Äq.

Die winterlichen Heiztemperaturen liegen im Mittel bei 20 Grad Celsius

Die Maßnahme könnte unter den getroffenen Annahmen zu einer Einsparung von ca. 5,5 Megatonnen CO<sub>2</sub>Äq. führen, was etwa 0,6 Prozent der gesamten Emissionen Deutschlands und acht Prozent der mit der Raumwärme in Wohngebäuden verbundenen Emissionen entspricht. (Annahme eines durchschnittlichen Gebäudeparks mit heutiger energie-technischer Ausstattung)

A 07-1

### Mögliche Chancen und Herausforderungen durch Änderungen von Konsummustern

Bereich	Chancen	Herausforderungen
<b>Gebäude und Wohnen</b> 	Für Städte mit einem begrenzten Wohnraumangebot  Reduzierung Flächenverbrauch	Negative Auswirkung auf Bauwirtschaft möglich
<b>Verkehr</b> 	Weniger Stau  Bessere Luftqualität  Mehr Zeit (durch weniger Pendeln/Dienstreisen)  Verbesserungen der Gesundheit (Radfahren, Zufußgehen)  Zunahme Tourismus in Deutschland und Bayern	Infrastrukturausbau nötig  Rückgang Pkw-Nachfrage möglich  Verwerfungen in der Luftfahrtindustrie möglich
<b>Landwirtschaft und Ernährung</b> 	Unter Umständen gesündere Ernährung  Eher Umstellung von Gewohnheiten und Alltagspraktiken als Verzicht  Verbesserung des Tierwohls	Ernährung als sehr emotionales und wissenschaftlich noch nicht abschließend geklärtes Thema  Regionale und Bio-Produkte oft schlechter verfügbar und teurer
<b>Konsumgüter</b> 	Ressourcensparend  Reduzierung von Abfall  Gegebenenfalls kostensparend	Höhere Anfangsinvestitionen für langlebigere Produkte  Volkswirtschaftliche Gesamtnachfrage könnte sinken

Quelle: Eigene Darstellung Prognos, 2020

Die Umsetzung solcher Maßnahmen ist mit diversen Herausforderungen verbunden (siehe Tabelle A 07-1). Beispielsweise könnte ein in Summe niedrigeres Konsumniveau zu geringerer wirtschaftlicher Aktivität und langsamerem Wirtschaftswachstum führen mit negativen Konsequenzen für den Arbeitsmarkt und die sozialen Sicherungssysteme. Hinzu kommen Hemmnisse auf der individuellen Ebene.

Wie die oben angeführten Einzelbeispiele zeigen, reichen die jeweiligen CO<sub>2</sub>-Einsparungen nicht aus, um Klimaneutralität zu erreichen – unabhängig davon, wie scharf das Ordnungsrecht eingreifen müsste, um tiefgreifende Verhaltensänderungen in der Breite durchzusetzen. Nur im Zusammenspiel mit technologischen Lösungen können substantielle Beiträge erzielt werden; das bedeutet nicht, dass auf Verhaltensänderungen gänzlich verzichtet werden kann. Erfolgreicher Klimaschutz ist nur in Summe und durch ein Ineinandergreifen der verschiedensten Maßnahmen möglich. Aus diesem Grund ist es wichtig, unterschiedliche Lösungsansätze zu erproben und Erfahrungen zu sammeln. Zusätzliche Informationen, monetäre Anreize, Anpassungen der Infrastruktur sowie neue Angebote und Geschäftsmodelle sind nötig, um die entsprechenden Grundlagen zu schaffen.

## 07.2 Kreislaufwirtschaft

Die Kreislaufwirtschaft kann durch die Reduktion des Verbrauchs, die Verlängerung der Lebenszyklen und das Recycling in vielfältiger Art und Weise zur Vermeidung von Treibhausgas-Emissionen beitragen. Außerdem bestehen Überschneidungen mit technologischen Lösungen. So kann beispielsweise der 3D-Druck die Kreislaufwirtschaft unterstützen, indem aus Plastikabfällen neue Komponenten oder Produkte hergestellt werden. Der Klimaschutzbeitrag eines verringerten spezifischen Energie-, Material- und Rohstoffverbrauchs hängt wesentlich davon ab, inwiefern realisierte Effizienzsteigerungen durch einen höheren Konsum kompensiert werden (Rebound-Effekt). Da mehr als die Hälfte der globalen Treibhausgas-Emissionen in direktem oder indirektem Zusammenhang mit der Materialwirtschaft stehen, bietet der Umstieg auf die Kreislaufwirtschaft ein erhebliches Einsparungspotenzial (OECD, 2018). Schätzungen gehen davon aus, dass die Treibhausgas-Emissionen in der EU in den Sektoren Mobilität, Ernährung und bebauter Umwelt durch die Umstellung des Systems vom linearen hin zum zirkulären Wirtschaften bis zum Jahr 2030 um rund die Hälfte gegenüber 2012 reduziert werden könnten (Ellen MacArthur Foundation und McKinsey Center for Business and Environment, 2015).

### 07.3 Anpassung an den Klimawandel

Selbst bei Erreichen der gesetzten Klimaschutzziele schreitet der Klimawandel weiter voran und ist langfristig nicht mehr umkehrbar. Die Anpassung an die Folgen ist somit eine gesamtgesellschaftliche Querschnittsaufgabe. Entscheidend ist, dass sie parallel zum Klimaschutz notwendig ist und diesen auch nicht ersetzen kann und soll. Präventive Maßnahmen zur Klimaanpassung und Abfederung der Klimafolgen sind sowohl auf staatlicher als auch unternehmerischer Ebene zu ergreifen. Anpassungen an die globale Erwärmung sind allerdings nur teilweise möglich und in der Regel wesentlich teurer als verpasste Vermeidungsoptionen. Zudem ist eine Anpassung mit vertretbarem Aufwand nicht immer möglich (z. B. an zunehmende Sturmhäufigkeit), sodass auch bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Klimaanpassung von zunehmenden Klimafolgekosten auszugehen ist. Gleichwohl kann eine erfolgreiche Anpassung an den Klimawandel wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen und als positiver Standort- und Unternehmensfaktor gelten. Aus diesem Grund wurden Anpassungstechnologien im Rahmen der Technologiebetrachtung ebenfalls mit

einbezogen. Ein Scheitern der Anpassung wird als eines der wahrscheinlichsten und wirkungsmächtigsten globalen Risiken eingestuft. Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung im Dezember 2008 die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) und 2011 den damit zusammenhängenden Aktionsplan Anpassung (APA) beschlossen. Die Bayerische Klimaanpassungsstrategie (BayKlas) wurde im Jahr 2017 verabschiedet.

Neben dem Staat sind auch Unternehmen gefordert, Maßnahmen zur Klimaanpassung zu ergreifen. So sollten Unternehmen auf Grundlage ihres physischen Unternehmensstandorts, der Abhängigkeit von kritischer Infrastruktur und der Abhängigkeit ihrer spezifischen Liefer- und Wertschöpfungsketten ein aktives Risikomanagement hinsichtlich der Folgen des Klimawandels betreiben. Dies betrifft die Identifikation von Risiken des Klimawandels für das eigene Unternehmen sowie die Prüfung von Versicherungsmöglichkeiten gegen bestimmte Klimarisiken (z. B. Betriebsunterbrechung, Ernteausfall) und die Entwicklung von Anpassungsstrategien.

### 07.4 Zwischenfazit: Ansätze stoßen an Grenzen – ohne Technologien wird es nicht gehen

Insgesamt stoßen die nicht-technologischen Ansätze an ihre Grenzen, was den Beitrag zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen betrifft. Um Klimaneutralität zu erreichen, müssen zwingend technologische Lösungen hinzugezogen werden. Diese reichen von Technologien im Bereich der Erneuerbaren Energien über Technologien zur Minderung des Energiebedarfs bis hin zum Einsatz von Negativ-Emissionstechnologien.

#### Nutzung zentraler Technologien

Die Technologien, die für eine klimaschonende Zukunft erforderlich sind, sind im Großen und Ganzen bereits bekannt und weitgehend ausgereift bzw. auf einem deutlichen Weg zur Marktreife. Hierbei geht es vor allem um Technologien, die die Umsetzung von Treibhausgas-Reduktionsmaßnahmen einfacher, effektiver oder kostengünstiger machen. In den vergangenen Jahrzehnten wurden in vielen Bereichen deutliche technologische Fortschritte erzielt. Zudem sind teilweise erhebliche Preisrückgänge („Lernkurven“) zu verzeichnen, was die Rentabilität und folglich die Diffusion der Technologien grundsätzlich verbessert.

Neben Erneuerbare-Energien-Technologien zur klimafreundlichen Bereitstellung von Energie (Windenergie, Solarenergie, Wärmepumpen, Bioenergie, Geothermie, Wasserkraft) sind auch Technologien zur Minderung des Energiebedarfs eine notwendige Voraussetzung, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Zusätzlich zur Emissionseinsparung muss auch an das aktive Entziehen von CO<sub>2</sub> aus der Luft gedacht werden. CO<sub>2</sub>-Abscheidung, -Speicherung und -Nut-

zung (CCU, CCS, NET) zielen darauf ab und speichern oder verwerten das entzogene Gas. Die technologischen Möglichkeiten zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung, -Speicherung und -Nutzung sind jedoch relativ aufwendig und mit hohen Kosten verbunden. Außerdem bestehen teilweise noch erhebliche Forschungs- und Entwicklungsnotwendigkeiten. Europa verfügt aufgrund der gut entwickelten Pipeline-Transportinfrastruktur sowie der Erfahrungen in Bohraktivitäten und Seismik grundsätzlich über gute Voraussetzungen, um die großskalige Umsetzung voranzutreiben. Die natürlichen Optionen zur CO<sub>2</sub>-Entnahme und -Speicherung (verbesserte Waldbewirtschaftung, Renaturierung von Feuchtgebieten, Erhöhung des Kohlenstoffgehalts von Böden, Einlagerung von Pflanzenkohle im Boden, Speicherung von Kohlenstoff in langlebigen Holzprodukten) lassen sich i. d. R. schneller und zu geringeren Kosten umsetzen. Hier besteht jedoch ein erhöhtes Risiko, dass das gespeicherte CO<sub>2</sub> infolge von Umwelteinflüssen wieder zurück in die Atmosphäre gelangt.

Aus heutiger Sicht ist außerdem eine großtechnische Nutzung sog. Power-to-X-Tech-

nologien notwendig, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Power-to-X (PtX) steht für verschiedene Verfahren der Produktion von synthetischen gasförmigen oder flüssigen chemischen Energieträgern bzw. Brenn-, Kraft- und (chemischen) Grundstoffen unter Einsatz von elektrischem Strom, der idealerweise aus erneuerbaren Quellen stammen sollte. Diese Technologien vereinen zwei zentrale Vorteile. Zum einen wird die Energie durch die Umwandlung transport- und lagerfähig. Zum anderen bieten PtX-Technologien die Perspektive, treibhausgasneutrale chemische Energieträger und Chemierohstoffe auf Basis erneuerbarer Energiequellen, wie z. B. Wind- und Solarenergie, bereitzustellen.

### Klimaschutz- und Nachhaltigkeitstechnologien – Technologische Positionierung

Wie die unterschiedlichen Szenarien gezeigt haben, lohnen sich die Entwicklung und ambitionierte Anwendung von Klimaschutztechnologien für deutsche und bayerische Unternehmen in jedem Fall. Im Rahmen der vbw Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* wurden insgesamt 62 Technologien identifiziert, die dem Klimawandel und seinen Auswirkungen entgegenwirken können, und einer Patentanalyse unterzogen. Die Studie legt den Schwerpunkt der Analyse auf die sogenannten Weltklassepatente: die besten zehn Prozent aller Patente innerhalb einer definierten Technologie, gemessen an der individuellen Patentstärke.

Da bei der Auswertung von Technologien immer in Systemen gedacht werden sollte, werden die 62 Klimaschutz- und Nachhaltigkeitstechnologien, angelehnt an die Sektoren der Energie- bzw. Treibhausgas-Bilanz, neun Clustern zugeordnet. Da die Digitalisierung die Entwicklungen in anderen Sektoren zunehmend prägt und so als zusätzlicher Technologietreiber wirkt, bildet sie einen Querschnittscluster (siehe Abbildung 07 – 2).

In Bayern (und in Deutschland) wird in allen erforderlichen Technologiefeldern im Bereich der Klima- und Nachhaltigkeitstechnologien geforscht. Über alle Cluster stellt Bayern ca. 25 Prozent der deutschen und zehn Prozent der europäischen Forschungsaktivitäten. Besonders signifikante Beiträge leistet Bayern in den Clustern Verkehr und Industrie. Im Detail zeigt sich, dass Bayern den absolut höchsten Weltanteil mit 4,6 Prozent im Verkehrscluster erreicht, gefolgt vom Industriecluster mit 2,6 Prozent. Damit erbringt Bayern mehr als 20 Prozent der gesamten klimarelevanten Forschung im Verkehrsbereich in Europa (EU 27) und mehr als 40 Prozent der entsprechenden Forschung in Deutschland. Der Anteil im Verkehrscluster

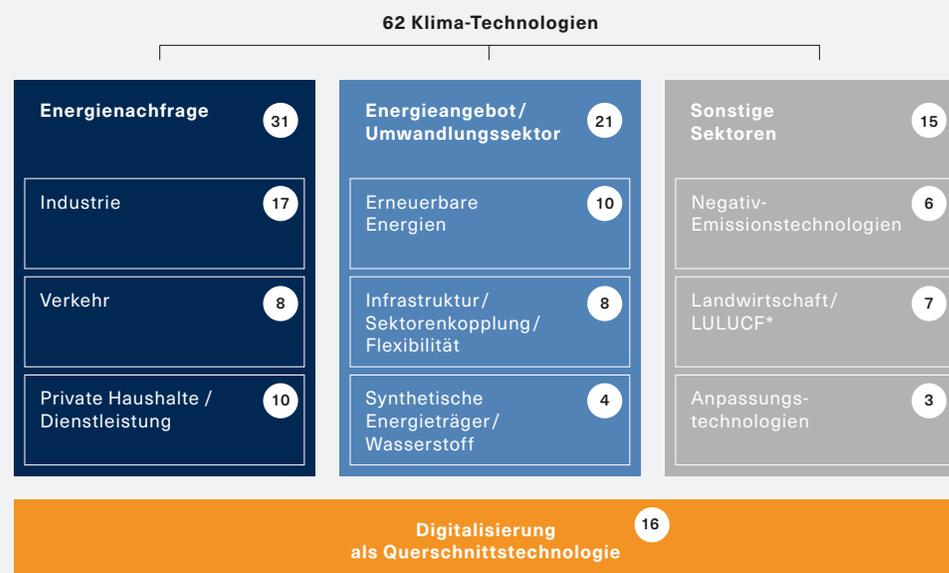
ist jedoch leicht rückläufig, was mit der globalen Zunahme dieser Technologien zu begründen ist. Die bedeutendsten Einzeltechnologien in den Clustern sind das elektrische/hybride Fliegen mit einem Weltanteil von 10,4 Prozent, der 3D-Druck mit 6,4 Prozent, Stickoxidfilter mit fünf Prozent, Verkehrseffizienz/Platooning mit 4,6 Prozent, die vernetzte Fabrikation mit 4,3 Prozent und effizientere Verbrennungsmotoren mit 4,2 Prozent.

Im Bereich Energieangebot zeigt sich, dass der bayerische Weltanteil der Cluster in den letzten fünf Jahren gesunken ist und

aktuell (2019) zwischen 1,5 Prozent und zwei Prozent liegt. In den Energienachfrageclustern ist in den letzten fünf Jahren eine deutlich positivere Dynamik zu verzeichnen und auch die Weltanteile liegen zum Teil deutlich über den Clustern des Bereichs Energieangebot. Die sonstigen Technologien liegen bezogen auf den Weltanteil unter zwei Prozent. Im Cluster der digital getriebenen Technologien kann Bayern die stärkste Zunahme des Weltanteils verzeichnen. Neben ihrem Beitrag zum Klimaschutz ist die Digitalisierung aber auch ein bedeutender Energieverbraucher.

#### A 07 – 2

### Clustering der Klima-Technologien nach Sektoren der Treibhausgas-Bilanz



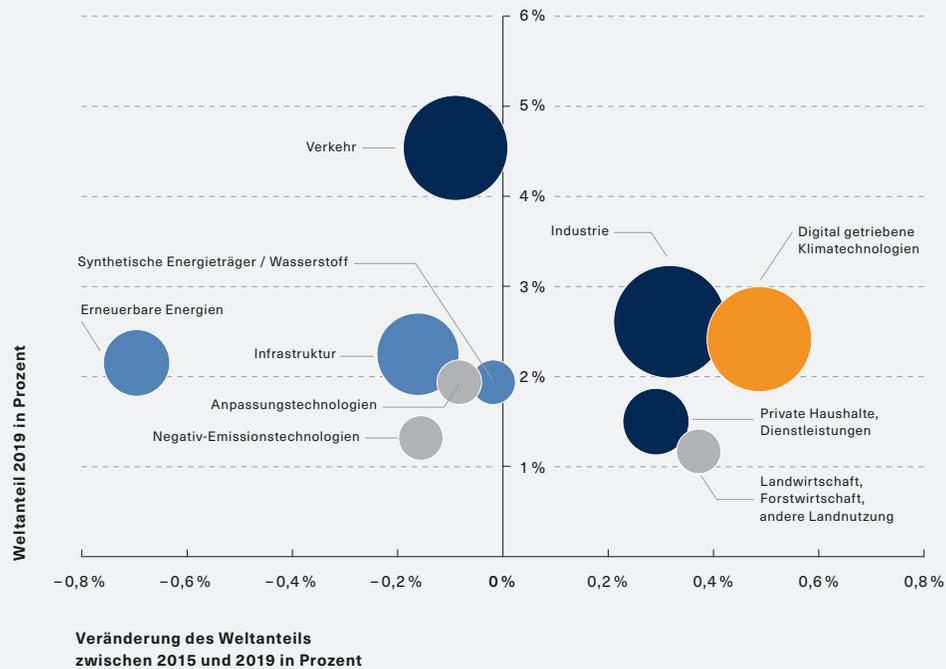
Quelle: Prognos, 2020

X

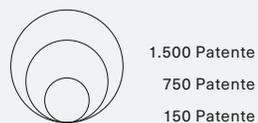
Anzahl der Einzeltechnologien (einige Klima-Technologien sind mehreren Clustern zugeordnet.)

\* Land Use, Land Use Change and Forestry

### A 07-3 Cluster-Struktur Bayerns



Veränderung des Weltanteils  
zwischen 2015 und 2019 in Prozent



- digital getriebene Technologien
- Energienachfragetechnologien
- Energieangebotstechnologien
- sonstige Technologien

Quelle: EconSight, 2020

### 07.5 Game Changer

Grundsätzlich ist es mit den heute zur Verfügung stehenden Technologien möglich, die globale Erwärmung im voraussichtlich beherrschbaren Temperaturbereich von unter zwei Grad Celsius zu halten. Sogenannte Game-Changer-Technologien können schnellere, einfachere oder kostengünstigere Fortschritte ermöglichen; sie haben das Potenzial, das gesamte System sehr stark zu verändern, neue Märkte und Strukturen zu schaffen und deutliche Fortschritte bei Klimaschutz und Klimaanpassung zu erzielen. Die Potenziale dieser Technologien lassen sich aber nur spekulativ abschätzen. Die technologischen Ausprägungen können aus heutiger Sicht noch in verschiedene Richtungen erfolgen, und ob sie konkurrenzfähig werden und ein Durchbruch erfolgt, hängt von zahlreichen externen Einflussfaktoren ab (z. B. Konkurrenztechnologien, Konsumentenpräferenzen oder politischen Rahmenbedingungen). Interessante Kandidaten sind insbesondere die folgenden:

#### Künstliche Intelligenz

KI hat das Potenzial, den Energieverbrauch signifikant zu senken sowie die Flexibilität zu erhöhen. In einer Smart-Home-Umgebung oder im industriellen Umfeld kann KI lernen, wann welche Energieverbräuche anfallen, diese optimieren und „unnötige“ Verbräuche reduzieren. So kann auch der Bedarf an Energiespeichern verringert werden. Gegenwärtig ist noch nicht vollumfänglich abzusehen, wie hoch die Fortschritte sein werden, die durch den Einsatz von KI erreicht werden können.

#### Neuartige Dämmstoffe

Im Gebäudesektor lassen sich durch Wärmedämmung der Außenhüllen erhebliche Einsparungen bei Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen erreichen. Sprühbare Nanoschäume mit verbesserter Wärmedämmleistung und einfacherer Anwendung könnten hier einen Durchbruch bewirken und innerhalb relativ kurzer Frist einen signifikanten Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten.

#### Wasserstoff-Direktproduktion

Anstatt den Wasserstoff per Elektrolyse mit erneuerbarem Strom herzustellen oder Methanreformierung mit CCS zu betreiben, kann bei der Direktproduktion Wasserstoff CO<sub>2</sub>-frei und mit geringeren Verlusten an technischer Energie mithilfe von Sonnenenergie erzeugt werden.

#### Neuartige/verbesserte Energiespeicher

Die Entwicklung solcher Stromspeicher könnte, insbesondere bei sinkenden Preisen und erhöhtem Wirkungsgrad der Speicherung, die Fluktuationen von Stromerzeugung und Stromverbrauch besser ausgleichen und so einen Nachteil bei der Nutzung erneuerbarer Energiequellen kompensieren.

#### Photovoltaik / Organische Photovoltaik

Unter anderem mit der Entdeckung neuer Materialkombinationen (Perovskite) mit überraschend hohem Wirkungsgrad werden große Erwartungen an Wirtschaftlichkeit und neue Einsatzbereiche verknüpft.

**Kernfusion**

Während bei der Kernspaltung Energie aus der Spaltung von schweren Atomkernen gewonnen wird, soll bei der Kernfusion Energie durch die Fusion leichter Atomkerne produziert werden. Für Atomkerne, die leichter sind als Eisen, ist die Kernfusion exotherm. Um die Fusion dauerhaft aufrechtzuerhalten, muss sich die fusionierende Materie in einem Vakuum befinden und extrem hoch erhitzt werden, um ein Plasma zu bilden. Der hohe Energieaufwand, um die ersten Teilchen zu fusionieren, sowie die Umwandlung der freigesetzten Fusionsenergie in nutzbare Energie wie Strom erfordern einen enormen technischen Aufwand.

**Schwimmende Windkraftanlagen**

Die Entwicklung schwimmender Plattformen, die die Windkraftanlagen tragen und mit Ketten an Bodenankern befestigt sind, erlaubt Windparks in größeren Wassertiefen. Dadurch vergrößert sich das wirtschaftliche Ausbaupotenzial.

**Fleischersatz**

Durch den Ersatz von Fleisch durch Substitute nicht-tierischen Ursprungs sinken die Methan- und Lachgasemissionen sowie der Wasser- und der Sojaverbrauch.

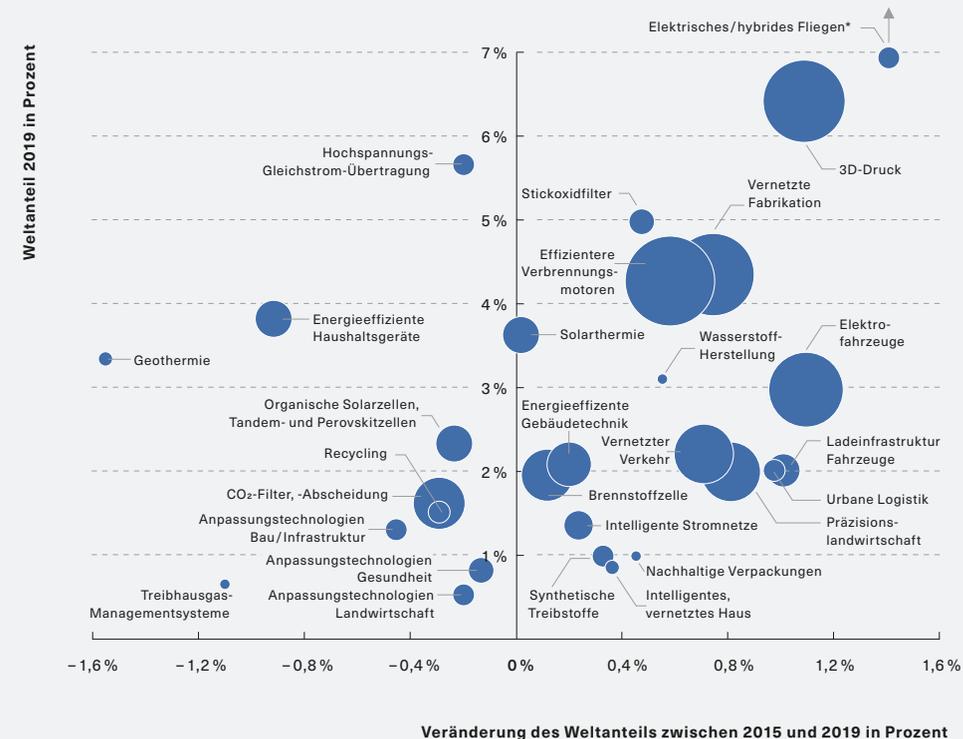
**Emissionsarme Reisproduktion**

Durch alternierendes Trockenlegen und Fluten der Felder können Methan-Emissionen reduziert werden. Limitierende Faktoren sind bis jetzt technische Maßnahmen, aber vor allem auch soziale Faktoren wie Kommunikation und Information.

**07.6 Leuchtturmtechnologien für Bayern**

Innerhalb der Cluster wurden sog. Leuchtturmtechnologien identifiziert, die sich als wesentlich sowohl für die Transformation zu einem klimaschonenden Wirtschaftssystem als auch für die Anpassung an den Klimawandel erweisen. Sie bedienen in praktisch allen Bereichen perspektivisch weltweite Märkte und Märkte mit regionalen Ausprägungen (siehe Abbildung A 07-4). Die Position Bayerns hinsichtlich seines Anteils an Weltklassepatenten in den Leuchtturmtechnologien ist in Tabelle A 07-5 dargestellt.

A 07-4  
**Globale Positionierung der bayerischen Leuchtturmtechnologien**



400 Patente  
100 Patente  
50 Patente

\* Die Technologie Elektrisches/hybrides Fliegen hat einen Weltanteil von 10,4% und konnte diesen Anteil in den letzten fünf Jahren um 6,5 Prozentpunkte steigern. Zur besseren Lesbarkeit wurde diese Technologie oben rechts mit anderen Koordinaten manuell positioniert.

Zur vereinfachten Orientierung kann die Abbildung gedanklich in Quadranten unterteilt werden, sodass oben rechts in der Regel gut positionierte und wachsende Technologien stehen, während unten links weniger gut positionierte Technologien mit rückläufiger Dynamik stehen.

Quelle: EconSight, 2020

## A 07-5

**Bayerns Position in den Leuchtturmtechnologien  
als Anteil an den Weltklassepatenten der Welt, EU und Deutschland,  
2019**

Technologie/Anteile	Bayern an Welt	Bayern an EU-27	Bayern an Deutschland
Elektrisches/hybrides Fliegen	10,4 %	33,0 %	76,9 %
3D-Druck	6,4 %	23,9 %	43,9 %
Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	5,6 %	17,8 %	65,3 %
Vernetzte Fabrikation	4,3 %	25,4 %	45,1 %
Effizientere Verbrennungsmotoren	4,2 %	16,9 %	26,7 %
Solarthermie	3,6 %	15,9 %	37,6 %
Energieeffiziente Haushaltsgeräte	3,8 %	18,3 %	40,4 %
Geothermie	3,3 %	17,3 %	68,4 %
Wasserstoff-Herstellung	3,1 %	19,0 %	30,8 %
Elektrofahrzeuge	2,9 %	19,1 %	30,1 %
Vernetzter Verkehr	2,2 %	13,6 %	27,4 %
Organische Solarzellen, Perovskitzellen	2,3 %	9,3 %	15,8 %
Energieeffiziente Gebäudetechnik	2,1 %	9,0 %	24,0 %
Ladeinfrastruktur Fahrzeuge	2,0 %	15,1 %	27,5 %
Urbane Logistik	2,0 %	14,6 %	31,3 %
Präzisionslandwirtschaft	1,9 %	8,0 %	19,7 %
Brennstoffzelle	1,9 %	11,6 %	24,8 %
Recycling	1,6 %	7,4 %	21,6 %
CO <sub>2</sub> -Filter, -Abscheidung	1,5 %	8,2 %	23,4 %
Intelligente Stromnetze	1,3 %	7,2 %	15,8 %
Anpassungstechnologie Bau/Infrastruktur	1,3 %	9,4 %	24,5 %
Nachhaltige Verpackungen	1,0 %	3,0 %	9,6 %
Intelligentes, vernetztes Haus	1,0 %	8,2 %	27,0 %
Synthetische Treibstoffe	0,9 %	3,7 %	17,2 %
Anpassungstechnologien Gesundheit	0,8 %	4,0 %	12,5 %
Treibhausgas-Managementsysteme	0,7 %	7,0 %	27,3 %
Anpassungstechnologien Landwirtschaft	0,5 %	4,5 %	17,7 %
Fleischalternativen	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Quelle: EconSight, 2020

**Die einzelnen Technologiefelder stehen vor folgenden  
Entwicklungen und Herausforderungen:**
**Technologien auf der Nachfrageseite**

Bei diesen wird sich vor allem der Umbau des Verkehrssystems auf einer ambitionierten Zeitskala abspielen. Als Herausforderung kommt hinzu, dass in diesem Zusammenhang sowohl die Transformation auf der Energieseite als auch die „digitale Durchdringung“ gleichzeitig zu bewältigen sind (autonomes Fahren und vernetzte Verkehrssysteme). Für ein stark von der Automobilproduktion bestimmtes Wirtschaftssystem wie das bayerische – und in etwas geringerem Maße auch das deutsche – ist es existenziell wichtig, dass diese Transformationen nicht nur mitvollzogen, sondern auch mitgestaltet werden, auch weil es sich dabei schon heute um weltweite Märkte für Personen- und Güterverkehr handelt. Die ersten tiefgreifenden Veränderungen zeigen sich bereits deutlich in der Organisation sowohl der Automobilproduktion (Gewicht der großen digitalen Player in der Entwicklung) als auch in der Verkehrsorganisation, hier besonders im urbanen Verkehr. Die in Bayern sichtbaren „besten“ Technologien bei Elektrofahrzeugen, Ladeinfrastruktur, urbaner Logistik, Verkehrseffizienz dienen allesamt der Gestaltung künftiger Verkehrsaspekte. Beim elektrischen/hybriden Fliegen und in Magnet-schwebetechnologien (inklusive Hyperloop) verzeichnet Bayern weltweit hohe Anteile, wengleich es sich mit weniger als 50 in Bayern angemeldeten Patenten bis jetzt noch um ein vergleichsweise kleines Technologiefeld handelt.

**Industrielle Technologien**

Hier stechen vor allem die digitalen Querschnittstechnologien wie 3D-Druck, die vernetzte Fabrikation und das Recycling hervor, die alle eher branchenübergreifend eingesetzt werden. Wenn deren dynamische Position aufrechterhalten werden kann, werden die jeweiligen Player an großen und diversen Weltmärkten partizipieren können. Hier eröffnen sich auch über den Klimaschutz hinaus deutliche Chancen.

**Technologien im Stromsystem**

Diese sind erforderlich, um das System innerhalb der nächsten wenigen Jahre umzubauen und es dabei effizient, leistungsfähig und robust zu machen – bei stetig wachsenden Anteilen einer fluktuierenden erneuerbaren Produktion. Die Einbindung neuer Verbrauchssysteme in großem Stil wie Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen führen zu einem Handlungsdruck, um die Versorgung sowie das Netz gleichzeitig flexibel und sicher auszugestalten. Hier spielen auch digitale Lösungen zur Nahezu-Echtzeit-Steuerung und zur Kurzfristprognose von Verbrauch und Angebot eine Rolle. Das betrifft zunächst die deutschen und europäischen Teilmärkte, perspektivisch handelt es sich aber um weltweite Märkte mit „regionalen“ geografischen Spezifika, vor allem durch die jeweils vorherrschenden klimatischen Bedingungen für das Energieangebot.

### Technologien zur Wasserstofferzeugung, zur Produktion synthetischer Energieträger sowie zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung

Diese basieren zwar vielfach auf erprobten Prozessen, konnten aber bisher nur teilweise im größeren Maßstab erprobt werden – die entsprechenden Märkte werden sich im Laufe der nächsten beiden Jahrzehnte entwickeln.

### Anpassungstechnologien

Dieser Bereich ist sowohl in der Gesundheit als auch in der Landwirtschaft ist zwar noch „klein“, bildet also wenige Patente ab. Das spiegelt aber v.a. die Tatsache wider, dass diese Technologien eher noch am Anfang einer Marktorientierung stehen. Gleichwohl sind die zu erwartenden Märkte und damit ihre ökonomische Bedeutung groß. Eine Weiterführung ihrer Entwicklung ist daher bei begrenztem Risiko durchaus sinnvoll – insbesondere da in Bayern entsprechende Cluster und Organisationen sowohl für Gesundheits- und Medizintechnologien als auch für die Landwirtschaft bestehen.

### Zur fortgeschrittenen Digitalisierung werden die folgenden zwanzig Technologien gezählt:

- 3D-Bildanalyse
- 5G
- Big Data
- Blockchain
- Cloud Computing
- Digital Twin
- Digitale Sensoren
- Fintech
- Gestikanalyse
- Halbleiterproduktion
- Künstliche Intelligenz
- Machine-to-Machine-Kommunikation
- Prozessautomatisierung
- Quantencomputer
- Sprachanalysetechnologien
- Streamingtechnologien
- Touch-Technologie
- Verschlüsselungstechnologien
- Virtual Reality / Augmented Reality
- Wireless Communication Hardware

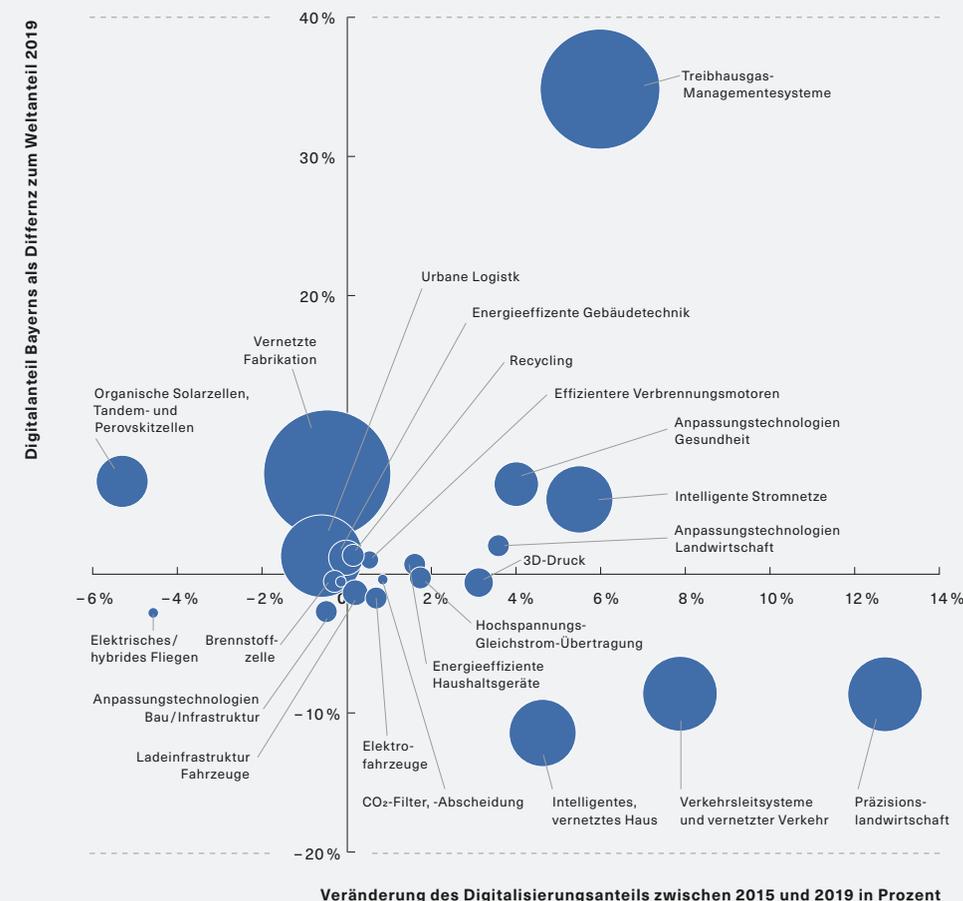
## 07.7 Digitalisierung

Da die Digitalisierung zentraler technologischer Treiber ist, wurde auch die digitale Durchdringung der Klima- und Nachhaltigkeitstechnologien analysiert. Dazu wurden alle Patente identifiziert, die sowohl einer Klima- oder Nachhaltigkeitstechnologie als auch einer digitalen Technologie zugeordnet werden können. Die Anzahl der digitalen klimarelevanten Patente wird ins Verhältnis zur Gesamtanzahl aller Patente gesetzt, woraus sich der Digitalisierungsgrad ableiten lässt.

Im globalen Vergleich ist Bayern bei den intelligenten, vernetzten Häusern, im Abfallmanagement, bei den Supraleitern und den Mobilitätstechnologien eher unterdurchschnittlich digitalisiert.

Betrachtet man die sog. fortgeschrittene Digitalisierung in den Leuchtturmtechnologien, zeigt sich eine überdurchschnittlich gute Positionierung Bayerns (siehe Abbildung A 07–6).

### A 07–6 Fortgeschrittene Digitalisierung in den bayerischen Leuchtturmtechnologien



**Digitalisierungsgrad**  
100 Prozent  
50 Prozent  
25 Prozent  
10 Prozent



Es ergeben sich vier Quadranten: Technologien im Quadranten oben rechts zeigen Technologien mit einem überdurchschnittlichen und zunehmenden Digitalisierungsgrad. Unten links stehen Technologien mit einem unterdurchschnittlichen Digitalisierungsgrad, der zudem in den letzten Jahren abgenommen hat.

Quelle: EconSight, 2020

Neben den Treibhausgas-Managementsystemen haben die Anpassungstechnologien in der Gesundheitsvorsorge und die intelligenten Stromnetze ein überdurchschnittliches digitales Niveau erreicht und in den letzten fünf Jahren zudem stark zugelegt. Ebenfalls überdurchschnittlich digitalisiert ist die vernetzte Fabrikation, wobei der Digitalisierungsgrad leicht abgenommen hat. Die Präzisionslandwirtschaft, die Smart-Home-Technologien und die Mobilitäts-technologien (Elektrofahrzeuge, Ladeinfrastruktur, vernetzter Verkehr) weisen einen geringeren Digitalisierungsgrad auf, konn-

ten aber seit 2015 wieder aufholen. Die restlichen Leuchtturmtechnologien unterscheiden sich hinsichtlich des Digitalisierungsgrads nicht stark von den globalen Werten. Betrachtet man die Digitalisierungsstruktur der vernetzten Fabrikation, der Verkehrsleitsysteme und des vernetzten Verkehrs sowie der intelligenten Stromnetze zeigen sich gute Positionen in Bezug auf die Technologien der fortgeschrittenen Digitalisierung bei der Prozessautomatisierung und den digitalen Sensoren, Schwächen liegen im Cloud Computing und der Künstlichen Intelligenz.

## 07.8 Zwischenfazit: Technologien

Alle diese Technologien werden in einem klimaschonenden Energie- und Wirtschaftssystem an wichtigen Teilmärkten benötigt – die entsprechenden Produzenten haben damit solide Geschäftsaussichten sowohl in spezialisierten als auch zum Teil in riesigen Weltmärkten, wenn die Rahmenbedingungen für die entsprechende Transformation bereitgestellt werden (z. B. angemessener CO<sub>2</sub>-Preis). Mit den hohen Anteilen an der deutschen und europäischen Forschung in diesen Bereichen spielen die entsprechenden bayerischen und deutschen Technologieentwickler (Unternehmen wie Forschungseinrichtungen) schon heute eine entscheidende Rolle im Zusammenspiel der internationalen Veränderungs-Agenten.

Hinsichtlich der heutigen Emissionsanteile bieten sich für die einzelnen Sektoren die in Abbildung A 07–7 aufgelisteten Handlungsoptionen.

A 07–7

### Überblick Treibhausgas-Emissionen/Technologien nach Sektoren

(Anteile der THG-Emissionen an der deutschen THG-Bilanz 2018)

Treibhausgas-Emissionen nach Sektoren	Technologische Handlungsoptionen
<b>Energiewirtschaft</b> <b>42%</b>	 Erneuerbare-Energien-Technologien
<b>Verkehr</b> <b>22%</b>	 Elektrifizierung Effiziente Antriebssysteme Wasserstoff Synthetische Kraftstoffe
<b>Industrie</b> <b>18%</b>	 Effizienztechnologien (überall) Prozessumstellungen CCS NET (Grundstoffindustrie)
<b>Private Haushalte</b> <b>13%</b>	 Effizienztechnologien Erneuerbare Wärmeproduktion Erneuerbare Fernwärme
<b>Gewerbe, Handel, Dienstleistung</b> <b>6%</b>	
<b>Landwirtschaft</b> <b>8%</b>	 Dünger- und Flächenmanagement „Methanpille“ Fleischalternativen

verantwortlich für  
60% der Methangas-Emissionen  
80% der Lachgas-Emissionen

## Studienergebnisse

## Klima- Innovationsbranche

Fasst man Unternehmen mit Sitz in Bayern zusammen, die mindestens ein Patent in den oben genannten 62 klimarelevanten Technologien besitzen, lässt sich daraus eine bayerische „Klima-Innovationsbranche“ modellieren. Dazu wurden rund 750 Unternehmen recherchiert. Für jedes einzelne wurde aus dem Verhältnis der klimarelevanten Patente zu den Gesamtpatenten der Anteil klimarelevanter Aktivitäten berechnet. Durch einen Abgleich mit einer Unternehmensdatenbank konnten Daten zu Umsatz und Beschäftigtenzahlen, Wirtschaftszweigen und weiteren Strukturmerkmalen zugeordnet werden. Daraus wurde in einem nächsten Schritt die Größe der „Klima-Innovationsbranche“ in Bayern sowie ihr Beitrag zu Wertschöpfung und Beschäftigung bestimmt. Basierend auf diesen Berechnungen käme eine „Klima-Innovationsbranche“ heute auf einen Wertschöpfungsbeitrag in Bayern in Höhe von 17,4 Mrd. Euro und rund 129.000 Beschäftigte. Damit wäre sie die drittgrößte Industriebranche Bayerns hinter dem Maschinenbau und der Automobilindustrie.

In der „Klima-Innovationsbranche“ befinden sich vor allem Unternehmen mit überdurchschnittlichen Forschungs- und Entwicklungsausgaben und hoher Innovationsaktivität. Daraus ergibt sich eine Produktivität von durchschnittlich 135.000 Euro Wertschöpfung je Erwerbstätigen, also fast doppelt so viel wie in der bayerischen Wirtschaft im Durchschnitt (rund 74.000 Euro Wertschöpfung je Erwerbstätigen).

Die Berechnung ist mit Annahmen und Einschränkungen behaftet, denn es werden nur Unternehmen identifiziert, die in klimarelevanten Technologien patentieren. Reine Anwendungsunternehmen ohne geistiges Eigentum werden nicht gezählt. Aus diesem Grund wird die Größe der Branche sogar etwas unterschätzt und ihre Produktivität überschätzt.

A

08

## Fazit

Der entscheidende Ansatz, um eine klimaschonende und weitgehend treibhausneutrale Zukunft sicherzustellen, sind technologische Lösungen und insbesondere Innovationen, die einerseits Wertschöpfung am Standort sichern und gleichzeitig auch in einem globalen Umfeld so attraktiv sind, dass sie zu einer wirksamen Begrenzung der Erderwärmung beitragen. Nur so können Wohlstand, Beschäftigung und sozialer Frieden gesichert werden – Werte, die durch eine ungehindert fortschreitende Erwärmung der Erde in großer Gefahr sind.

Die bayerische Wirtschaft und Wissenschaftslandschaft ist in Klimatechnologien ein starker Player in Deutschland und Europa. Das bietet erhebliche Chancen für die produzierenden Unternehmen, sowohl auf dem inländischen Markt als auch auf den Weltmärkten. Genutzt werden können diese Chancen nur mit den richtigen Rahmenbedingungen, die in den folgenden Kapiteln skizziert werden.

# Handlungsempfehlungen

## Was muss getan werden, um das Zielbild zu erreichen?



Klimaschutz und generell ein Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit sind die wohl größten Herausforderungen unserer Zeit. Die Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen*. belegt eindeutig, dass Klimaschutzmaßnahmen notwendig sind, um den menschengemachten Beitrag zu den Treibhausgasen so weit wie möglich zu reduzieren und den Klimawandel zu begrenzen, wie es die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens zu Recht auf wissenschaftlicher Basis formulieren. Unser Beitrag an den globalen Emissionen macht nur einen kleinen Anteil aus, ob man nun auf Bayern, Deutschland oder Europa schaut. Wir können also mit Einsparungen in unserem Verantwortungsbereich dem Klimawandel nur wenig entgegenzusetzen. Eine sehr große Rolle können wir allerdings spielen, auch aus Bayern heraus, wenn wir Lösungen anbieten.

Es geht dabei nicht nur um die Abwehr von Bedrohungen für unsere Lebensgrundlagen, sondern vor allem um das Gestalten einer tragfähigen Grundlage für eine gute Zukunft. Die entscheidende Aufgabe besteht darin, die verschiedenen Facetten der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Soziales – so auszubalancieren, dass der Klimaschutz zu einem erfolgreichen gesamtgesellschaftlichen Projekt wird.

Das Vorgehen muss unideologisch, faktenbasiert und so vorausschauend wie möglich sein, gleichzeitig aber jederzeit flexibel an neue Erkenntnisse angepasst werden können. Damit neue Technologien entwickelt werden und in der Breite zum Einsatz kommen, muss auch ein Bewusstsein für ihre Notwendigkeit und ihren Nutzen geschaffen werden. Dazu gehört natürlich eine realistische Darstellung des Klimawandels und seiner Auswirkungen, denen entgegengewirkt werden soll, mehr aber noch eine Vermittlung positiver Effekte. Panikmache wäre genau der falsche Weg, Vermittlung der Dringlichkeit des Handelns und der damit verbundenen Vorteile sind eine Notwendigkeit. Industrie sollte als Teil der Lösung verstanden werden, technologische Innovationen als Schlüssel dazu. Die Rolle des Einzelnen und der Gesellschaft muss reflektiert und kommuniziert werden – ebenfalls mit einem Fokus auf Chancen statt Einschränkungen.

Kurz gesagt: Auf Basis einer präzisen Analyse muss eine fundierte, fortlaufende Information sichergestellt werden, an der sich das Handeln (Aktion) auf allen Ebenen ausrichten kann. Dessen Ergebnisse müssen evaluiert werden, womit der Prozess immer wieder neu angestoßen wird.

Kapitel

01

## Analyse und grundsätzliche Schlussfolgerungen daraus

Studien sind eine wesentliche Grundlage für die faktenbasierte Arbeit. Sie laufend fortzuschreiben, zu aktualisieren und zu detaillieren (zum Beispiel für bestimmte Einzeltechnologien), ist letztlich Aufgabe des Staates, gegebenenfalls flankiert von Branchenverbänden für detailliertere bzw. speziellere Analysen.

Teil

B

### Weiterer Analysebedarf

Für Bayern haben wir mit der Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen*, die grundlegende Analyse vorgelegt. Auf der Bundesebene und der EU-Ebene gibt es ähnliche Ansätze und zusätzlich neue Erkenntnisse aus den aktuellen patentgestützten Technologieanalysen.

Allerdings fehlen auch noch viele Erkenntnisse. Ein Beispiel sind fundierte und mit volkswirtschaftlichen Kennzahlen hinterlegte szenariobasierte Analysen für eine tatsächlich klimaneutrale Zukunft, die aber schon Gegenstand zentraler politischer Festlegungen sind, geschweige denn für „Klimanegativität“, wie teilweise darüber hinaus gefordert. Bevor die Auswirkungen der zum Erreichen dieser weitergehenden Ziele notwendigen Maßnahmen nicht seriös berechnet sind, können die Ziele auf Dauer nicht Grundlage politischen Handelns und konkreter Umsetzungsmaßnahmen sein, sondern bleiben Visionen. Hier besteht also weiterer Forschungsbedarf, begleitend zu den auf Basis der bisherigen Erkenntnisse eingeleiteten Maßnahmen.

Weiterer Analysebedarf besteht umso mehr, als das Wechselspiel und die Abhängigkeiten zwischen den vielen Einflussfaktoren auf den Klimawandel und den Maßnahmen zum Klimaschutz so vielfältig sind. Auch nicht vorrangig auf das Klima abzielende neue Technologien wie insbesondere die Digitalisierung verändern Wirtschaft und Gesellschaft massiv, mit erheblichen Auswirkungen auf Fragen des Klimas, ohne dass dies bereits in der Tiefe untersucht und verstanden wäre.

### Erkenntnislücken: Beispiel Online-Handel

Eine vielfach angeführte These besagt beispielsweise, dass der Online-Handel inklusive der notwendigen Logistik zu einem Anstieg der Emissionen führe, nicht zuletzt aufgrund der hohen Retourenquote und der für den Versand notwendigen Verpackung. Zum gegenwärtigen Stand lässt sich die Aussage aber weder eindeutig belegen noch falsifizieren. So zeigen bestehende Studien,

- dass ein Anstieg des Online-Handels mit einem höheren Energieverbrauch einhergeht, der allerdings nicht in der Logistik entsteht – wo Vorteile eingesparter privater Fahrten und einer besseren Auslastung überwiegen –, sondern im privaten Bereich, also zum Beispiel durch alternative Freizeitaktivitäten, die anstelle der Shopping-Tour unternommen werden (u.a. Streaming). Zusätzlich führten bestehende Doppelstrukturen (stationärer Handel, der ggf. bei dem Versuch, seine Attraktivität zu steigern, sogar mehr Energie verbraucht, und Online-Handel) zu einem Mehrverbrauch. Zu beachten ist dabei allerdings, dass der Online-Handel und insbesondere die Logistik in den letzten Jahren erhebliche Effizienzfortschritte gemacht haben, insbesondere aufgrund des Einsatzes digitaler Technologien. Die Forschungsarbeit E-Commerce Effects on Energy Consumption von Florian Dost (Lancaster University) und Erik Maier (HHL Leipzig Graduate School of Management) basiert auf Daten aus den USA und ist daher nicht 1:1 übertragbar, zumal in Deutschland die Datenlage wesentlich lückenhafter ist.

- dass der Online-Kauf etwa eines Paares Schuhe klimafreundlicher sein kann, auch wenn für die Fahrt zum Geschäft ein Fahrrad genutzt würde. Die Autoren dieser Untersuchung des Öko-Instituts (Online shoppen oder beim lokalen Händler?, Dezember 2015) betonen allerdings auch, dass das Ergebnis stark von Art und Wert der Ware abhängt, die unterschiedlich viel Platz in Lager und Transporter benötige bzw. mit sehr unterschiedlichem Energieaufwand stationär präsentiert werde. Der Trend zur stabileren (und aufwendigeren) Verpackung sei inzwischen auch im stationären Handel zu beobachten. Zahlreiche offene Fragen gebe es auch im Hinblick auf das Verbraucherverhalten und dessen Auswirkungen auf die Bilanz. Eine umfassende Studie zum Onlinehandel hat das Institut auch 2020 noch nicht durchgeführt.

- dass die Beurteilung der Emissionen im Verkehrsbereich in erheblichem Maße von der betrachteten Region und ihrer Struktur (z. B. Siedlungsdichte, Pkw-Besatz etc.) abhängt. Weitere relevante Aspekte können beispielsweise die zugesagten Lieferfristen und die daraus resultierenden Anforderungen an Lagerung und Transport sein. Auch die durchschnittliche Warenkorbgröße beeinflusst viele weitere Faktoren.

Diese Untersuchungen zeigen, wie unterschiedlich die klimatischen und energetischen Auswirkungen unterschiedlicher Konzepte des Einzelhandels sind. Nicht explizit ausgewiesen sind vielfach Emissionen aufgrund zusätzlicher Verpackung oder Abfall (Retourenware) sowie für Server etc.,

die auch an einem ganz anderen Ort stehen können; umgekehrt lassen sich beim stationären Handel die Emissionen durch die Arbeitswege des Personals kaum klar zuordnen und vieles mehr. Zusätzlich verändert sich die klimapolitische Bewertung parallel zum Strommix, was die meisten Modelle nicht befriedigend abbilden können. Noch gar nicht berücksichtigt sind in diesen Überlegungen die Verschiebungen in den Wertschöpfungsketten und die Zuordnung des entstehenden Mehrwerts, auch global betrachtet. Einen Überblick zu den Umweltwirkungen vieler einzelner Faktoren gibt die Kurzanalyse E-Commerce vs. stationärer Handel: Die Umwelt- und Ressourcenwirkungen im Vergleich von Postpischil/Jacob aus dem Jahr 2019. Woran es nach wie vor fehlt, ist ein ganzheitliches Bild.

Viele einzelne Zusammenhänge sind eindeutig und müssen weiterverfolgt werden, weil sie in jedem Fall einen positiven Effekt auf die Emissionen versprechen, online wie offline: Beispiele sind etwa die Optimierung von Routen und Ladung, der Verzicht auf unnötige Verpackung oder die Nutzung des Fahrrads für kürzere Strecken. Ein besseres Verständnis der Gesamtzusammenhänge bleibt aber elementar. Auf Basis unvollständiger Erkenntnisse können sinnvollerweise weder zielführende Regulierungsentscheidungen (Verpackungsabgabe, Förderung des Online- oder des stationären Handels) getroffen noch einfache Empfehlungen für Verbraucher im Hinblick auf die Grundsatzentscheidung online oder stationär abgegeben werden. Auch für die Förderung einer echten Kreislaufwirtschaft ist eine bessere Erfassung der einzelnen Beiträge und der Gesamteffekte wesentlich.

Notwendig sind einerseits eine deutlich bessere Datengrundlage, andererseits vertiefende und ganzheitliche Forschungsarbeiten (siehe auch Seite 99 ff.). Dabei muss ausdrücklich auch die zunehmende Automatisierung durch autonome Systeme, intelligente Roboter und Maschinen sowie der Programmier-, Trainings- und Bereitstellungsaufwand für Algorithmen und die Einflüsse von Cloud- bzw. Edge-Lösungen berücksichtigt werden. Erst auf dieser Basis kann geprüft werden, ob und inwieweit eine staatliche Einflussnahme auf bestimmte Ausprägungen des Handels im Sinne des Klimaschutzes angezeigt ist. Davon unabhängig sind grundsätzliche Erwägungen zur Funktion von Städten beziehungsweise Innenstädten und den prägenden Nutzungen anzustellen.

### Verantwortung des Einzelnen

Klar wird allerdings in allen Untersuchungen, dass die Ergebnisse sehr stark vom individuellen Verhalten abhängen, also beispielsweise der Frage, was anstelle einer Einkaufstour unternommen wird, oder ob in einer der beiden Alternativen signifikant mehr gekauft und damit auch mehr Ware produziert wird. Dieser Verantwortung muss sich der Verbraucher bewusst werden, unterstützt durch die Bereitstellung entsprechender Informationen durch Staat und Wissenschaft, weil die Effekte nicht unmittelbar sichtbar sind. Das gilt auch für den Online-Handel selbst und dessen „Backend“. (Erst) Wenn umfassendere Erkenntnisse vorliegen, kann auch über eine Beteiligung an den „Klimakosten“ des emissionsintensiveren Verhaltens gemäß der Verursachungsbeiträge nachgedacht werden. Auch die Bezüge zum Bildungsbereich sind zu berücksichtigen.

### Neue Wege in der Systemanalyse gehen

Um diese Erkenntnislücken zu schließen und echte Gesamtbetrachtungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg anstellen zu können, auch unter Berücksichtigung unterschiedlicher und sich gegebenenfalls während der Lebensdauer des Produkts ändernder Nutzungsoptionen (zum Beispiel Beimischung synthetisch hergestellter Kraftstoffe, unterschiedlicher Strommix bei der Elektromobilität, neue Funktionalitäten aufgrund digitaler Updates etc.), muss das Systemdenken mutig forciert werden. Die bisherigen Methoden müssen auf den Prüfstand gestellt und neue Herangehensweisen entwickelt werden. Notwendig ist ein gesicherter Zugang zu qualitativ hochwertigen Daten. Mit Pilotprojekten – beispielsweise dem gesamten Campus Garching – ist der Prozess voranzutreiben (siehe auch Seite 99 ff.).

### Klimaschäden erforschen

Ein weiteres sehr wichtiges Feld sind die sogenannten negativen Klimakosten, also die ökonomischen Folgen des Klimawandels. Damit kann nicht nur verdeutlicht werden, wie teuer unterlassener Klimaschutz werden kann und worauf sich Staaten, Regionen, Wirtschaft und Bürger einstellen müssen, weil die Auswirkungen trotz der Bemühungen nicht vermieden werden können. Eine Quantifizierung würde es auch ermöglichen, qualifiziertere Nutzen-Kosten-Abwägungen für die Auswahl zwischen verschiedenen Handlungsoptionen anzustellen.

### Besseres Verständnis von regionalen Effekten entwickeln

Um die richtigen Anpassungsmaßnahmen zum passenden Zeitpunkt zu ergreifen, sind bessere Erkenntnisse über die regionalen Auswirkungen des Klimawandels erforderlich, die deutlich vom landesweiten oder gar kontinentalen Durchschnitt abweichen können. Die regionale Klimamodellierung muss dazu konsequent genutzt, weiter verfeinert und einem breiteren Publikum zugänglich gemacht werden. Für ein regionales Monitoring der Effekte hätte eine Zusammenarbeit mit der Versicherungswirtschaft, die am Standort München sehr stark ist, großes Potenzial.

### Erkenntnisse zur Entwicklung von Klimatechnologien

Patentanalysen, wie sie auch den Aussagen zu den einzelnen Technologien in der Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen*. zugrunde liegen, sind ein wertvoller Indikator für die Relevanz einzelner Technologien, deren Verbindungen und die Portfolios von Ländern und Regionen. Sie müssen für weitere Teilbereiche vertieft werden. Trotz der Fokussierung auf besonders werthaltige Patente können sie allerdings nicht vollumfänglich die dahinterliegenden Strategien abbilden und zeigen naturgemäß auch nicht, was tatsächlich in Wertschöpfung am Standort umgesetzt werden kann. Nur ein Beispiel sind Patente, die von Tech-Konzernen vor allem deshalb zugekauft werden, um die eigene Entwicklung über die Börse zu finanzieren und potenzielle Märkte steuern zu können. Es müssen also Wege gefunden werden, diese Aspekte in einem Gesamtbild zusammenzuführen.

### Handlungsempfehlungen

B

## Übergreifende Schlussfolgerungen

01.1

### 360-Grad-Monitoring

Um einen erfolgreichen Klimaschutz zu betreiben und gleichzeitig Wertschöpfung und Beschäftigung zu steigern, ist ein fortlaufendes Monitoring notwendig, das nicht nur eingetretene Effekte misst, sondern als Frühwarnsystem auch sich abzeichnende Veränderungen erfasst. Zentral ist, dass keine ausschließliche Fokussierung auf Einsparziele erfolgt, sondern eine 360-Grad-Sicht eingenommen wird, die u. a. Wertschöpfungseffekte, Beschäftigung, Forschungsergebnisse, technologische Durchdringung, Außenpolitik und -wirtschaft beinhaltet.

### Anreize statt Verbote als Leitlinie staatlichen Handelns

Nachhaltig ist auch Klimaschutz nur, wenn er nicht lediglich ökologisch effektiv ist, sondern auch ökonomisch erfolgreich und sozial akzeptiert ist. Schon im Hinblick auf die (weltweite) Akzeptanz müssen wir vorrangig auf Anreize statt Verbote setzen. Es muss attraktiver sein, klimafreundliche Technologien zu nutzen. Das beinhaltet auch finanzielle Anreize, die jedoch nicht gegenüber einzelnen Technologien oder Verhaltensweisen prohibitiv wirken dürfen. Im Einzelfall können selbstverständlich klare Vorgaben der bessere Weg sein. Das setzt aber voraus, dass im Vorfeld die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen sorgfältig abgewogen werden, realistische Maßstäbe angelegt werden – beispielsweise kein „Null-Risiko-Ansatz“ bei bestimmten Stoffen – und parallel notwendige Rahmenbedingungen geschaffen werden.

### Technologieoffenheit als oberste Maxime

Technologieoffenheit ist dabei nicht als Neutralität oder als Verzicht auf staatliche Eingriffe zu verstehen, sondern als das Gewährleisten eines „Level Playing Field“ für verschiedene Technologien. Das kann nicht nur durch Regulierung verzerrt werden, sondern auch durch starke positive Anreize nur zugunsten einer bestimmten Technologie.

Angesichts der verschiedenen Technologiepfade (z. B. Wasserstoff, Strom, (synthetische) Kohlenwasserstoffe) und der Unsicherheiten über die langfristige Entwicklung ist Technologieoffenheit entscheidend. Notwendige Folge ist ein steigender Bedarf an Infrastruktur. Das – jedenfalls in einigen Bereichen voraussichtlich jahrzehntelange – Nebeneinander von Bestand und neuen Infrastrukturen ist Teil einer gelebten Technologieoffenheit. Anderenfalls entstünden schwerwiegendere Pfadabhängigkeiten. Wir können es uns zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht leisten, alles auf eine Karte zu setzen.

Bei jeder einzelnen Technologie muss erwogen werden, wann die Situation eindeutig genug ist, um nur noch eine bestimmte Infrastruktur staatlich weiter zu fördern. Ein Beispiel sind die Antriebstechnologien: Neben der bestehenden Tankinfrastruktur, die künftig auch für synthetische Kraftstoffe genutzt werden kann, sind sowohl Ladevorrichtungen für Elektromobilität als auch Wasserstofftankstellen notwendig. Weitere Elemente wie Oberleitungen für den straßengebundenen Güterverkehr können dazukommen. Daneben sind neue Erzeugungsanlagen (Wasserstoff, andere PtX-Anwendungen, Erneuerbare Energien) und Leitungen (HGÜ, Verteilnetze) erforderlich. Das gilt allerdings nur solange, bis sich die jeweiligen Lösungen herauskristallisieren, und nur soweit es als Grundlage für die Markteinführung notwendig ist. Der Fokus muss vor allem auf denjenigen Infrastrukturen liegen, die für verschiedene Anwendungen wichtig sind, etwa den Leitungen, während die Schnittstellen zum Endabnehmer (z. B. Tankstellen und Ladepunkte) nach Anschubinvestitionen bereits früher dem Markt überlassen werden können (siehe Seite 111 f.); hinzukommen muss eine regulativ faire Behandlung der entsprechenden Fahrzeuge, also insbesondere eine Berücksichtigung in den Förderprogrammen für emissionsarme Mobilität und eine Anrechnung auf die Erfüllung von klimapolitisch motivierten Vorgaben. Auch die Erzeugung von Wasserstoff ist unabhängig vom Mobilitätsbereich notwendig, beispielsweise für die Produktion bestimmter Basischemikalien (siehe Seite 111 f.), für die Dekarbonisierung bestimmter Industrien (z. B. Stahlherstellung) oder im Energiesektor, um Schwankungen im Energienetz auszugleichen und Nutzungsspitzen abzufedern.

### CO<sub>2</sub>-Bepreisung

Eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung ist ein sinnvolles marktwirtschaftliches Instrument und hat sich auf der europäischen Ebene (EU-ETS) grundsätzlich bewährt. Es kann aber schon aufgrund der sozialen Auswirkungen durch die Verteuerung der entsprechenden Produkte und Prozesse nicht das einzige Instrument sein. Zudem werden darüber faktisch nur Kosten für den Klimaschutz umgelegt (beispielsweise Investitionen in neue Infrastrukturen) und diese auch nach den Vorstellungen der die Bepreisung steuernden Einheit, sodass damit allein noch kein international ausbalanciertes System geschaffen wird. Kosten des Klimawandels (beispielsweise Schäden an Infrastrukturen durch Extremwetterereignisse) lassen sich dagegen bisher kaum quantitativ erfassen und entstehen geografisch unabhängig vom Ort der Emissionen. Je besser die Kosten des Klimawandels erfasst werden können und je umfassender das System angelegt ist, desto besser gelingt die angestrebte Internalisierung der externen Kosten (Klimaschäden) und desto relevanter wird der Zertifikatspreis als Instrument.

In jedem Fall gilt: Je großräumiger eine CO<sub>2</sub>-Bepreisung angelegt ist, desto effizienter und effektiver wirkt sie sich aus. Gleichzeitig sind die Verwerfungen geringer, die es ansonsten auszugleichen gilt. Zu kleinräumige Ansätze – nur auf der EU-Ebene, besonders aber rein nationale Systeme – lösen erheblichen Ausgleichsbedarf aus, um die negativen Auswirkungen auf die eigene Wirtschaft zu begrenzen. Keiner dieser Mechanismen (wie zum Beispiel der auf EU-Ebene diskutierte Carbon Border Adjustment Mechanism) ist ohne weitere Nebenwirkungen, gleichzeitig sind die positiven Klimaeffekte der Bepreisung von vornherein stark begrenzt. Übergeordnetes Ziel bleibt daher ein international möglichst einheitlicher CO<sub>2</sub>-Preis. Etwas anderes kann nur dort gelten, wo es ganz konkret um lokales Handeln der Endverbraucher geht und Fragen der internationalen Wettbewerbsfähigkeit nicht betroffen sind.

## Handlungsempfehlungen

## Klimaschutz auf internationaler Ebene

Die Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* ist ein weiterer Beleg dafür, dass für ein globales Problem auch globale Lösungen und Vereinbarungen angestrebt werden müssen. Unterschiedliche Umweltstandards führen bei Unternehmen, die auf internationalen Märkten konkurrieren, zu Wettbewerbsverzerrungen. Oberstes Ziel muss also sein, Instrumente, Sanktions- und Ausgleichsmechanismen auf der internationalen Ebene – jedenfalls unter Beteiligung der größten Treibhausgasemittenten – zu verabreden.

Für das Hinwirken auf eine international abgestimmte Lösung ist es unerlässlich, die Klimafolgekosten besser zu erforschen und zu beziffern (siehe Seite 62), da viele Verhandlungspartner voraussichtlich stärker von den direkten Folgen betroffen sein werden. Gerade Schwellenländern wird man im Gegenzug ggf. kurzfristig mindestens sehr gute – auch finanzielle – Argumente bieten müssen, während man mittel- bis langfristig auf die Überzeugungskraft technologischer Lösungen setzen kann. Aus der Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* lassen sich beispielsweise weltweite Potenziale und länderspezifische Perspektiven (individuelle Chancen- und Risikoprofile für Länder) ableiten, die Grundlage für eine präzisere Entwicklungszusammenarbeit und geopolitische Überlegungen sein können.

Im Zentrum steht die Frage, welche (technologischen) Optionen sich einerseits für Schwellenländer mit einem erheblichen „Nachholbedarf“ und andererseits für Energieexporteure wie Russland und Saudi-Arabien ergeben, damit die fossilen Rohstoffe nicht lediglich in anderen Weltregionen eingesetzt werden.

## B

## 01.2

### Potenziale und Risiken für bestimmte Regionen weltweit

#### Herausforderungen

Teilweise massive direkte Klimaeffekte (u. a. in Afrika), unter anderem mit der Folge einer Gefährdung der Nahrungsmittelproduktion. Gleichzeitig lebt dort eine im Vergleich extrem junge Bevölkerung, der tragfähige Perspektiven aufgezeigt werden müssen.

Indirekte Effekte/Szenarien: In hochindustrialisierten Ländern sind die Rückwirkungen auf das Wirtschaftssystem vergleichsweise klein. Größere Unterschiede entstehen in den Erzeugerländern von Kohle, Erdöl und Erdgas, die eine sehr starke Exportabhängigkeit von diesen Ressourcen haben. Dazu gehören insbesondere Saudi-Arabien und Russland.

Je größer die weltweiten Treibhausgas-Minderungen sind, desto mehr verlieren diese Länder. Umgekehrt könnte Russland von den – teilweise zum jetzigen Zeitpunkt schon unvermeidbaren – Klimaveränderungen auch profitieren, weil im Norden des Landes neue Regionen bewirtschaftbar werden. Ein solcher Effekt lässt sich derzeit aber nicht quantifizieren.

#### Chancen und Empfehlungen

Zur Erzeugung von PtX-Produkten kommen vor allem Weltregionen mit sehr guten Bedingungen für die Erzeugung von Wind- und Solarstrom sowie der Verfügbarkeit von Wasser (ggf. über entsprechende Technologien, siehe Seite 115f.) und konzentriertem CO<sub>2</sub> infrage, bspw. der Mittlere Osten oder Australien.

Viele dieser Regionen sind damit zugleich Zielregionen für Anpassungstechnologien in der Landwirtschaft (siehe Seite 116 ff.).

Technologieprofile einzelner Länder/Regionen können Ansatzpunkt für Kooperationen oder Projekte sein. Hier sollte man die Zusammenarbeit über Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und

insbesondere junge Menschen stark fördern. Die Internationalisierung unserer Wissenslandschaft ist gerade auch über Klimaprojekte voranzutreiben.

Berücksichtigung bei Kompensationsmodellen (z. B. technische Unterstützung und Förderung für EE-Anlagen, Umstellung fossiler Lösungen in Schwellen- und Entwicklungsländern, wo die Bedingungen dafür oftmals besser als bei uns sind, als Ausgleich für derzeit bei uns noch nicht wirtschaftlich realisierbare CO<sub>2</sub>-Einsparmaßnahmen) und im Rahmen staatlicher Entwicklungshilfe (z. B. Technologien zur Wasseraufbereitung)

Technologische Lösungen vorantreiben. Bedarf besteht daran unter anderem im Hinblick auf urbane Hitzeinseln, für die Wasseraufbereitung, um die Gefährdung der Nahrungsmittelproduktion / das Einbrechen des Ertrags durch den Klimawandel zu verhindern oder zu verringern etc.

Berücksichtigung sozialer und kultureller Faktoren im Rahmen der technologischen Entwicklungshilfe

Berücksichtigung demografischer und Migrationsaspekte, die durch klimatische Veränderungen entstehen können

Aus vergangenen Technologieprojekten lernen (z. B. Desertec) und Themen wie Akzeptanz und die politische Situation stärker berücksichtigen

Kooperationen sind im Bereich PtX wohl unabdingbar. Eine aktuelle Studie (*Klimaneutrales Deutschland*, Agora 2020) geht für das Jahr 2050 von einem Importbedarf synthetisch erzeugter Energieträger in Höhe von 1.035 PJ aus, was 16 Prozent des für diesen Zeitpunkt angenommenen Primärenergieverbrauchs in Deutschland entspricht. Das kann jedenfalls als Orientierung für die Dimensionierung von Projekten genutzt werden. Im Jahr 2025 wird noch ein sehr geringer Import von einem PJ unterstellt, der dann aber kontinuierlich ansteigen soll. Damit das gelingen kann, muss im Prinzip unmittelbar mit dem Aufbau entsprechender Partnerschaften und Anlagen begonnen werden.

In jedem Fall muss die Entwicklungszusammenarbeit stärker auf diese Nachhaltigkeits- beziehungsweise Klimaaspekte ausgerichtet und größer gedacht werden. Gerade Projekte im Bereich der Wasserwirtschaft sind sowohl für Entwicklungsländer als auch für wirtschaftlich stärkere Regionen von großer Relevanz. Hier sind neue technologische Lösungen erforderlich, an denen gemeinsam gearbeitet werden muss. Daraus kann sich auch für unsere Wirtschaft eine echte Chance ergeben.

Über die oben genannten Regionen hinaus besteht auch im Hinblick auf andere große Emittenten wie China oder Indien eine zwingende Notwendigkeit, Lösungen zu entwickeln, die es für sie auch wirtschaftlich attraktiver machen, auf Nachhaltigkeit und Erneuerbare Energien zu setzen. Anderenfalls werden beispielweise weiter neue Kohlekraftwerke gebaut und – möglicherweise mittelfristig sogar preisgünstigere – fossile Brennstoffe in großem Stil genutzt, mit den entsprechenden Auswirkungen auf die weltweiten Emissionen und den Klimawandel.

### Gesamtbudget für Emissionen

Während ein Budgetansatz grundsätzlich wissenschaftlich gut begründet ist, können daraus keine einfachen Schlussfolgerungen für die internationale Verteilung gezogen werden. Insbesondere würden reine Pro-Kopf-Betrachtungen deutlich zu kurz greifen, weil sie den technologischen Beitrag der Industrieländer für die Emissionsminderung nicht berücksichtigen. Zudem drohen auch Fehlanreize und eine verzerrte Wahrnehmung in Schwellen- und Entwicklungsländern, denen vermeintlich noch ein „Anspruch“ auf Emissionen in einem ähnlichen Umfang wie von den Industrienationen bereits verursacht zustünde. Das gilt umso mehr für Ansätze, die auf den „historischen“ Emissionen aufbauen. Diese einfachen Lösungen müssen also mit guten Argumenten klar abgelehnt werden, wo immer es um daraus abgeleitete verbindliche Zielvorgaben geht. Richtig sind Budgets dort verortet, wo es nicht um eine geografische Zuteilung, sondern um den Emissionshandel und die entsprechenden Caps geht. Damit stehen die Industrieländer allerdings umso mehr in der Pflicht, attraktive und weltweit einsetzbare technologische Alternativen zu entwickeln und die Schwellen- und Entwicklungsländer auf dem Weg in eine treibhausgasneutrale Zukunft zu unterstützen.

## Handlungsempfehlungen

# Klimaschutz auf der EU-Ebene

Die Szenarien lassen die Schlussfolgerung zu, dass die wirtschaftlichen Effekte im Durchschnitt auch dann noch positiv sind, wenn die EU ein höheres Ambitionsniveau verfolgt als der Rest der Welt. Allerdings muss in diesem Fall ganz besonders darauf geachtet werden, keine Branchen im Transformationsprozess bei gleichzeitig starkem internationalen Wettbewerb zu überfordern.

Mit dem Green Deal hebt die EU ihre Klimaziele noch einmal deutlich an. Es ist nun von entscheidender Bedeutung, dass die Europäische Kommission ihre ambitionierten Vorgaben schnellstmöglich mit realistischen Maßnahmen hinterlegt. Ohne konkrete Vorschläge, wie das neue Ziel erreicht werden soll, können die Auswirkungen auf die Bürger und die Wirtschaft in den EU-Mitgliedstaaten nicht abgeschätzt werden.

## Sustainable Finance

Teil des Green Deals ist die Sustainable Finance-Regulierung, die auf eine stärkere Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten bei der Finanzierung abzielt. In einem ersten Schritt werden vor allem CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Wirtschaftsaktivitäten und Produkte berücksichtigt. Die Regulierung setzt zwar von der Grundidee auf Transparenz und Freiwilligkeit, führt in der konkreten Ausgestaltung aber zu faktischem Zwang und erheblichen Auswirkungen auf die gesamte Realwirtschaft. Insbesondere ist mit einer Verteuerung von Krediten und Versicherungen in Geschäftsfeldern zu rechnen, die unter Klimaschutz-

gesichtspunkten als nicht nachhaltig bewertet werden. Sustainable Finance ist per se ein richtiges Prinzip, zumal Nachhaltigkeit bei richtigem Verständnis immer Grundlage von Anlage- und Vermögensentscheidungen sein muss. Um hier nicht eine zusätzliche Bürokratie- und Regulierungsebene einzuziehen, die gerade in der Realwirtschaft zu erheblichen Belastungen führen kann, muss es bei freiwilligen Lösungen bleiben. Anreize beispielsweise für Kleinanleger, eher auf nachhaltige Fonds zu setzen, können auch ohne einen so schwerwiegenden Eingriff gesetzt werden.

B

## 01.3

Die Auswirkungen dieser Regulierung müssten deshalb von Anfang an genau analysiert werden. Wo sie sich als Hemmnis für die laufende Transformation in den Unternehmen erweist, statt sie zu fördern, ist umgehend gegenzusteuern.

## EU-ETS

Auf der Europäischen Ebene hat sich das Emissionshandelssystem EU-ETS grundsätzlich bewährt. Immerhin werden damit im Binnenmarkt vergleichbare Bedingungen für die davon erfassten Bereiche hergestellt.

- Weitere Verschärfungen der Zielpfade im ETS wie auch beim sogenannten Effort Sharing müssen stärker als bisher berücksichtigen, welche Auswirkungen sie voraussichtlich auf die Wirtschaftsbereiche haben werden, aus denen heraus gerade die notwendigen Klimatechnologien entwickelt werden (sollen). Es wäre fahrlässig, sich für die Wahrung der Wettbewerbsfähigkeit der Industrie lediglich auf Grenzausgleichsmechanismen zu verlassen. Effektiver Carbon-Leakage Schutz wird noch wichtiger als bisher und muss gestärkt werden.
- Für die Verhandlungen darüber, inwieweit die neuen europäischen Minderungsziele durch eine Absenkung der festen Obergrenzen für das Gesamtvolumen der Emissionen (Cap) im ETS einerseits und die Anpassung der nationalen Beiträge beim Effort Sharing andererseits umgesetzt werden, müssen die Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit insbesondere der Industrie sorgfältig analysiert werden. Die Ausgangslage (z.B. Industrieanteil, hohe bestehende Zielvorgaben) sowie Sondereffekte wie der deutsche Ausstieg aus der Kohleverstromung sollten künftig stärker berücksichtigt werden. Der Kohleausstieg beispielsweise wird bisher auf die deutschen Zusagen im Rahmen der Lastenteilung kaum angerechnet, weil der weitaus größere Teil unter dem EU-ETS reguliert ist. Dort gibt es jedoch keine „Länderanteile“, sondern lediglich eine Gesamtmenge. Die freiwerdenden Zertifikate müssen letztlich vom Markt genommen werden, wenn es einen Klimaeffekt geben soll. Dann trägt der Kohleausstieg zwar deutlich zum Erreichen der europäischen Ziele bei, zahlt aber kaum auf den deutschen Anteil daran ein. Besser wäre es fraglos gewesen, wenn der Kohleausstieg nicht unabhängig vom EU-ETS betrieben worden wäre, sondern sich als dessen Folge ergeben hätte.

- Grundsätzlich ist eine Ausweitung des EU-ETS auf die bisher nicht davon erfassten Bereiche richtig und ein logischer Schritt auf dem Weg zu international einheitlichen CO<sub>2</sub>-Preisen. Bei den Sektoren Gebäude und insbesondere Verkehr wird allerdings angenommen, dass erst bei sehr hohen CO<sub>2</sub>-Preisen eine Lenkungswirkung erzielt wird und für diese Sektoren der Zertifikatekauf gegenwärtig im Vergleich zu entsprechenden Reduktionsmaßnahmen die Alternative der Wahl darstellen würde. Zudem wären im Rahmen einer Integration in das ETS die in diesen Sektoren bereits bestehenden Belastungen (CO<sub>2</sub>-bezogene Steuern und Maut etc.) aufzulösen beziehungsweise in eine Gesamtbeurteilung einzustellen. Insbesondere für die energieintensive Industrie müssen daher wirkungsvolle und zuverlässige Maßnahmen zum Carbon-Leakage-Schutz (zum Beispiel Ausweitung der kostenlosen Zuteilung von Zertifikaten) und zur Vermeidung von Marktverwerfungen getroffen werden. Es kann sich anbieten, bei der Integration schrittweise vorzugehen, um den unterschiedlichen Gegebenheiten in den Sektoren insbesondere bei den Preiselastizitäten Rechnung zu tragen. Vor diesem Hintergrund wird die vorläufige Errichtung eines parallelen zweiten Systems für die neuen Sektoren diskutiert, das allerdings von vornherein auf eine schnellstmögliche Integration ausgerichtet sein müsste.
- Weitere Optimierungsmöglichkeiten innerhalb des Systems müssen laufend geprüft werden. Das betrifft beispielsweise die Frage der Zuteilung von Zertifikaten.

Werden gleichzeitig CO<sub>2</sub>-Emissionen weiter verteuert und wirkt zusätzliche Regulierung (z. B. Reduzierungsvorgaben, Flottengrenzwerte bei Kraftfahrzeugen, Verteuerung fossiler Kraftstoffe durch nationales Emissionshandelssystem, Sustainable Finance) auf eine Branche ein, dann kann das Zusammenspiel leicht zu so starken Belastungen führen, dass es nicht zu der erwünschten Anpassung des Portfolios oder des Produktionsverfahrens kommt, sondern schlicht zu einer Einstellung des Betriebs. Die konkreten Auswirkungen der verschiedenen Regulierungsansätze müssen ganzheitlich analysiert und vom Bund transparent dargestellt werden. Auf dieser

Basis sind eine Vereinheitlichung und Vereinfachung der Regulierung anzustreben, um klare Signale zu setzen. In diesem Rahmen muss auch eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus – auf wissenschaftlich fundierter, neutraler Basis (siehe auch Seite 99 ff.) – einerseits und der aktuellen Randbedingungen (z. B. Strommix) andererseits angestellt werden. Wenn dagegen die Regulierung in der bisher zu beobachtenden Weise fortgesetzt wird, müssen deutlich höhere staatliche Unterstützungsleistungen gewährt werden, weil die Umstellungszeit für viele Unternehmen nicht mehr ausreicht, um die erforderlichen Investitionsmittel zu erwirtschaften.

### Ausgewählte weitere Elemente des Green Deals

Die Kreislaufwirtschaft hat insbesondere in Verbindung mit technologischen Innovationen im Produktdesign und beim Recycling ein großes emissionsminderndes Potenzial. Gegenwärtig liegt dazu nur ein Aktionsplan vor. Bei der konkreten weiteren Ausgestaltung ist entscheidend, dass auf die Kohärenz mit geltendem Recht (beispielsweise der REACH-Regulierung) geachtet wird, gemeinsame Standards und Anreize für ein nachhaltiges Produktdesign sowie für Recyclate geschaffen werden und die Förderung von Innovationen klar im Fokus steht (z. B. neue Recyclingverfahren, bessere Recyclat-Qualität). Pauschale Materialdiskriminierungen etwa im Bereich Kunststoffe müssen vermieden werden, während es für recycelte Rohstoffe bessere Marktchancen zu schaffen gilt.

Darüber hinaus arbeitet die Kommission an einer Null-Schadstoff-Strategie. Angesichts des bestehenden hohen Schutzniveaus nach europäischem Recht sollte der Fokus stärker auf der Umsetzung der bestehenden Regelungen und der Ermöglichung neuer Anwendungen liegen. Absolute Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden lässt sich niemals erreichen, völlig unabhängig von menschlichen Einflüssen, und ist letztlich nur eine Frage der Definition beziehungsweise der Perspektive. Ziel muss daher die Bestimmung eines vertretbaren Risikos und – wo ausnahmsweise noch nicht vorhanden – eines wissenschaftlich fundierten Grenzwerts sein. Ganz generell ist eine stärkere Ausrichtung auf Chancen und Nutzen von technologischen Lösungen notwendig.

Die Industriestrategie ist bislang wenig mit den Klimaschutzaktivitäten verzahnt, beispielsweise im Hinblick auf den Ausbau Erneuerbarer Energien und die Bezahlbarkeit von Strompreisen am Standort. Wenn der Green Deal seinem Namen gerecht werden soll, müssen industriepolitische Ansätze künftig mit demselben Engagement vorangetrieben werden wie die Klimaschutzaspekte. Nur mit einer wettbewerbsfähigen Industrie können aber die klimaschützenden Innovationen entwickelt und (weltweit) verbreitet werden, die für eine Begrenzung der globalen Erwärmung unabdingbar sind.

In jedem Fall ist der Ausbau des transeuropäischen Energiesystems zu forcieren, unter anderem auch als Vorbereitung für den Import von grünem Wasserstoff, und es sind einheitliche Kommunikationsstandards für das (digitale) Energiesystem der Zukunft zu entwickeln. Die Wasserstoffstrategie der EU-Kommission will klimafreundlichen Wasserstoff bis 2030 wettbewerbsfähig für den Einsatz in allen schwer zu dekarbonisierenden Sektoren machen und dazu übergangsweise – aus Sicht vieler aktueller Anwender zu Recht – auch blauen beziehungsweise türkisen Wasserstoff nutzen. Bis 2030 soll die Produktion von grünem Wasserstoff in der EU auf zehn Millionen Tonnen anwachsen (siehe Seite 111 f.) zum Thema Wasserstoff). Dazu müssen die politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen (Normung, Infrastrukturentwicklung, Investitionssicherheit und -unterstützung) gestaltet und etabliert werden. Die Europäische Allianz für sauberen Wasserstoff bietet einen geeigneten Hebel für die Ausweitung der Produktion sowie zur Erhöhung der Nachfrage.

## Handlungsempfehlungen

## Klimaschutz auf nationaler Ebene

Auf der nationalen Ebene sind Anreize für die Entwicklung neuer Technologien und die Stärkung der Absatzmärkte wesentlich zielführender als zusätzliche Belastungen. Bei den Zielen muss es um eine optimale Umsetzung europäischer und internationaler Verpflichtungen gehen. Nationale Systeme beispielsweise zur CO<sub>2</sub>-Bepreisung können nur eine Übergangslösung auf dem Weg zu europäischen und internationalen Instrumenten sein. Ziel muss es sein, das deutsche System zügig in ein europäisches – oder besser noch globales – zu überführen (siehe auch Seite 65 f.).

Die Studie belegt, dass ein national höheres Ambitionsniveau einerseits an Grenzen stößt: Wenn nicht genug andere Staaten mitziehen, werden die notwendigen Technologien nicht (rechtzeitig) zur Verfügung stehen, um in Deutschland Klimaneutralität zu erreichen. Andererseits zeigt sie, dass wir in so einem Szenario gesamtwirtschaftlich schlechtere Ergebnisse erzielen werden als in den beiden Szenarien mit einem europaweit oder international abgestimmten Vorgehen, auch ungeachtet der höheren Folgekosten des Klimawandels. Gegenwärtig kann allerdings nicht die Rede davon sein, dass nur Deutschland alleine vorwginge, auch wenn die Ambitionsniveaus in den einzelnen Mitgliedstaaten nicht ein-

heitlich sind. Auch andere Staaten oder Regionen haben sich hohe Reduktionsziele gesetzt. Klimatechnologien werden also aller Voraussicht nach auf gute bis sehr gute Marktchancen treffen und von verschiedenen Akteuren weltweit vorangetrieben. Wir sollten uns daher an ambitionierten Zielen orientieren, um technologisch vorne dabei zu sein, die Umsetzung aber allenfalls dann mit zusätzlichen Sanktionen oder vergleichbar wirkenden Maßnahmen flankieren, wenn die Kombination aus einer Förderung des technologischen Wandels und Anreizsystemen für die Nutzung der neuen Technologien sich als unzureichend erweist. Auch dazu sind belastbare Analysen erforderlich: Die ökonomischen Effekte verschiedener Instrumente müssen möglichst konkret ermittelt werden, um daraus den optimalen Mix zu ermitteln.

Das zuvor Gesagte gilt analog für die Anstrengungen auf der Landesebene.

Neben Klimaschutztechnologien werden auch Anpassungstechnologien notwendig, da bestimmte Effekte heute schon sichtbar sind und sich ungeachtet der Anstrengungen weiter verstärken werden.

## B

## 01.4

### Schlussfolgerungen aus der Corona-Pandemie

In der Studie konnten die Effekte der Corona-Pandemie auf den Klimaschutz nur sehr cursorisch berücksichtigt werden, weil die Datenlage noch keine belastbareren Aussagen ermöglicht, zumal die Pandemie weiter andauert. Insgesamt wird erwartet, dass der aktuell zu beobachtende Rückgang des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes keine nachhaltigen Effekte zeigt und mit der wirtschaftlichen Erholung eine Rückkehr zum bisherigen Pfad wahrscheinlich ist.

Klimaschutz muss auch (und gerade) angesichts der Corona-Pandemie fortgeführt werden. Anderenfalls drohen mindestens ebenso gravierende Gesundheitsfolgen und wirtschaftliche Schäden. Dem tragen bisherige konjunkturstärkende Maßnahmen auf nationaler und europäischer Ebene auch recht umfassend Rechnung. Klimaschutz muss aber jetzt umso mehr mit Wirtschafts-, Standort- und Gesundheitsfragen zusammen betrachtet werden.

Andere Effekte der Pandemie werden möglicherweise auch mittel- bis langfristig noch spürbare Folgen auch im Hinblick auf das Klima haben. Dazu zählen Veränderungen bei den Wertschöpfungsketten (neue Bezugsquellen, dadurch bei einer stärkeren Ausrichtung auf Deutschland oder EU-Länder unter anderem kürzere Transportwege) und eine schnellere Durchdringung mit digitalen Technologien. Insbesondere das Arbeiten im (teilweisen) Lockdown war nur durch die deutlich gestiegene Nutzung von Videokonferenztechnik, Fernwartung und ähnlichen Anwendungen möglich.

Noch offen sind die Auswirkungen auf Protektionismus- und Nationalisierungstendenzen, die durch Corona leider noch einmal verschärft wurden, mit allen negativen Folgen für den Welthandel und damit letztlich auch unseren Wohlstand. Gleiches gilt für die gesellschaftlichen Folgen, wo gegenwärtig die Reaktionen zwischen einer breiten Akzeptanz auch sehr einschneidender ordnungspolitischer Maßnahmen (Lockdown) und einer wachsenden Auflehnung gegen vergleichsweise minimale Eingriffe (Maskenpflicht in bestimmten Situationen) oszillieren, während Persönlichkeitsrechte (Datenschutz) jedenfalls in der staatlichen Auslegung offenbar grundsätzlich unantastbar bleiben sollen, unabhängig von der Schwere des Eingriffs.

Gewachsen sind jedenfalls das Bewusstsein für bestehende Abhängigkeiten – ob von asiatischen Herstellern bei medizinischen Produkten oder amerikanischen Anbietern bei Videokonferenztechnik – und für die Bedeutung der eigenen Resilienz. Zentral ist dabei die Frage, was wir aus der Corona-Pandemie für andere Krisen lernen können, zum Beispiel im Hinblick auf Prävention, Datennutzung, Zusammenarbeit, Kommunikation und Monitoring eingesetzter Instrumente. Gerade bei den datengetriebenen digitalen Anwendungen hat die Pandemie vor Augen geführt, wie schwer wir uns mit dem sinnvollen Ausfüllen des selbst gesteckten Rahmens tun, beispielsweise bei der Nachverfolgung von Infektionsketten.

Die Auswirkungen in allen genannten Bereichen müssen weiter analysiert werden, um sie in die strategischen Überlegungen auf staatlicher wie auf unternehmerischer Ebene einstellen zu können. Welcher Bedarf sich heute schon abzeichnet, führen die Handlungsempfehlungen *Resilienz. Schlussfolgerungen aus der Corona-Pandemie* von Juni 2020 aus, auf die vollumfänglich auch für Klimaschutzfragen verwiesen werden kann. Das gilt beispielsweise für die Rolle der Wissenschaft. Sie erstellt nicht nur die dringend notwendigen Analysen, sondern trägt auch Verantwortung im Rahmen der Kommunikation (siehe Seite 79 f.).

### Weitere relevante Aspekte sind unter anderem

- Risikovorsorge erhöhen: belastbare Strategien und Pläne für Krisenszenarien verschiedenster Art (Extremwetter, neue Gesundheitsbedrohungen, Kampf um Ressourcen, Migrationswellen, Veränderungen der internationalen Sicherheitslage etc.), die auch parallel auftreten können, entwickeln und trainieren; dabei wesentlich stärker als bisher das Potenzial von Datenanalysen nutzen.
- Vorsorge dort besonders entschlossen treffen, wo positive Effekte unzweifelhaft belegt sind; beim Klimaschutz sind das beispielsweise Erhalt und Renaturierung von Moorlandschaften, Aufforstungsprogramme oder die Verhinderung großflächiger Waldbrände.
- Strukturen rechtzeitig stärken, um Krisensituationen zu vermeiden (Beispiel Energienetze).
- Richtige Balance finden zwischen Autarkie und Vernetzung.
- Technologische Lösungen und Innovationen als Schlüssel begreifen und entschieden fördern; Potenziale der Digitalisierung endlich konsequent ausschöpfen.
- Nachhaltiger und mehrdimensionaler planen: keine einseitige Priorisierung mehr, anders als bisher (bei NOX-Thematik oder Kernenergieausstieg gar keine Berücksichtigung von Klimaschutzfragen, dann Klimaschutzpolitik ohne Rücksicht auf andere Anliegen).

### Datenbereitstellung durch Private

Noch ein Gedanke lässt sich übertragen: die Idee der Datenspende. In der Corona-Pandemie ermöglicht das freiwillige Zurverfügungstellen persönlicher Daten einen Erkenntnisgewinn beispielsweise über den Infektionsverlauf. Im Klimabereich ist das Erkenntnisdefizit sicher nicht geringer. Der Einzelne kann also einen wichtigen Beitrag zu den oben genannten Systemanalysen leisten, wenn er der Wissenschaft oder auch spezialisierten Unternehmen Zugang zu bestimmten Daten gewährt. Die Bereitschaft dafür ist grundsätzlich da, wie zahllose erfolgreiche (in der Regel außereuropäische) privatwirtschaftliche Angebote belegen – offensichtlich muss der Nutzen der Datenbereitstellung für den Einzelnen besser vermittelt werden.

Kapitel

02

Information

Teil

B

Auf Grundlage der künftig noch deutlich fundierteren Analyse muss eine stets aktuelle Wissensbasis bereitgestellt und zielgruppengerecht kommuniziert werden. Jeder sollte die Möglichkeit haben, seine Entscheidungen an den besten derzeit verfügbaren Erkenntnissen auszurichten.

Handlungsempfehlungen

B

## Wissenschaft

02.1

### Klima-Radar

Um ein faktenbasiertes Vorgehen zu stützen und Informationen widerspruchsfrei zu kommunizieren, ist ein gemeinsamer Klima-Radar mit unstrittigen Fakten als einheitliche Wissensbasis notwendig. Dabei müssen Kriterien und Indikatoren klar begründet und verbleibende Unsicherheiten offen angesprochen werden. Der Klima-Radar muss dabei auf einer einheitlichen und laufend aktualisierten Datenbasis alle Ebenen adressieren: die internationale, europäische und nationale Situation, gegebenenfalls ergänzt durch weitere regionale Untergliederungen. Die verschiedenen etablierten Lösungen sollten in dieses System integriert werden können. So analysiert beispielsweise das Barometer der Energiewende (Fraunhofer IEE) jährlich den Stand der Transformation des Energiesystems einschließlich etwa des Mobilitätssektors und zeigt Zielpfade für eine vollständige Versorgung mit erneuerbaren Energien im Jahr 2050 auf. Für die vbw erstellt die Prognos AG seit vielen Jahren ein Monitoring der Energiewende und weist den Stand in Bayern und Deutschland aus. Beides kann nicht alle relevanten Parameter für eine klimaneutrale Zukunft erfassen. Eine große Herausforderung stellt auch die Aktualität der (von staatlicher Seite bereitgestellten) Datengrundlagen dar, die deutlich verbessert und künftig auch unterjährig im Radar angepasst werden muss.

### Rolle der Wissenschaft

In der Wissenschaft muss das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer konstruktiven Beteiligung an der Meinungsbildung und an einer verantwortungsvollen, geordneten Kommunikation gestärkt werden, wie schon in den Handlungsempfehlungen *Resilienz – Schlussfolgerungen aus der Corona-Pandemie* betont.

Für den Wissenstransfer in die Wirtschaft – insbesondere auch den Mittelstand – müssen neue niedrighschwellige Austauschformate installiert werden. Die für die Studie *TechCheck 2019. Erfolgsfaktor Mensch.* durch-

geführten qualitativen Befragungen haben gezeigt, dass kleinere Unternehmen Forschungseinrichtungen in der Regel gar nicht als mögliche Ansprechpartner wahrnehmen. Wissenschaftliche Erkenntnisse – insbesondere sehr anwendungsorientierte, etwa im Hinblick auf die Effekte, Chancen und Herausforderungen bestimmter technologischer Lösungen – sind aber eine wesentliche Grundlage für gute unternehmerische Entscheidungen. Ein Ansatz können staatlich geförderte Institutionen (Thinktanks, Begegnungsstätten, Plattformen, „Haus der ...“, Transferreallabore, vgl. Seite 94, 03.1.3) zum Thema Wirtschaft und Klima sein. Umgekehrt können es sich auch Wissenschaftseinrichtungen noch stärker zur Aufgabe machen, zusätzliche Mittelständler über eine gezielte Ansprache neu in die Netzwerke zu integrieren (beispielsweise mit monatlichen Zielen) – vor dem Hintergrund der oben angesprochenen Ergebnisse eventuell der erfolgversprechendere Ansatz. Organisationen der Wirtschaft und der Staat müssen flankierend die Vernetzung unterstützen (siehe auch Seite 89).

### Wissensmanagementsysteme

Die Erkenntnisse mindestens aus allen von der öffentlichen Hand finanzierten Forschungs- und Entwicklungsprojekten müssen systematisch und standardisiert über eine einheitliche Schnittstelle oder Plattform zur Verfügung gestellt werden, wenn nicht aus wettbewerblichen Gründen etwas anderes angezeigt ist – das wäre aber bereits im Rahmen der Antragstellung zu klären. Dazu gehören neben verständlichen Zusammenfassungen auch eine Vorschlagwortung und Verknüpfung mit anderen Themen und Begriffen, die sukzessive fortgeschrieben wird. Rückwirkend sollte jedenfalls das Wissen der letzten zehn Jahre erfasst werden. In Zukunft muss es zu den Anforderungen jedes entsprechenden Vorhabens schon im Rahmen der Ausschreibung gehören, dass diese Angaben erfasst werden.

Die im Aufbau befindliche gemeinsame Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) von Bund und Ländern geht insoweit in die richtige Richtung, da sie die derzeit oft dezentral, projektförmig und temporär gelagerten Datenbestände von Wissenschaft und Forschung für das gesamte deutsche Wissenschaftssystem systematisch erschließen will.

Perspektivisch ist eine Integration in eine europäische Wissensbasis anzustreben. Die Europäische Kommission stellt bereits vergleichbare Anforderungen an aus EU-Mitteln finanzierte Förderprojekte und stellt dazu mit der European Open Science Cloud eine Dateninfrastruktur zur Verfügung, die ebenfalls weiter ausgebaut werden muss.

### Handlungsempfehlungen

B

## Staat

02.2

### Cockpit für Monitoring-Ergebnisse

Die Erkenntnisse aus dem 360-Grad-Monitoring (siehe Seite 63 oben) müssen laufend auf eine verständliche Weise kommuniziert werden: im Sinne eines verdichteten Cockpits mit wesentlichen Fakten und der Möglichkeit, auf dahinterliegende vertiefende Informationen zuzugreifen.

### Handreichungen und Leitlinien

Vielfach wird vom Staat als neutraler Instanz erwartet, dass er den Bürgern und damit auch den Unternehmen Orientierung gibt. Das ist richtig, soweit es darum geht, Wissen über die Zusammenhänge sowie die Beiträge eigener (Konsum-)Entscheidungen zu Treibhausgas-Emissionen zu vermitteln. Denkbar sind insbesondere Leitlinien mit Empfehlungscharakter für individuelles Verhalten, an denen sich jeder Einzelne in seinem Handeln – beispielsweise bei seinen Konsumententscheidungen – ausrichten kann. Dabei muss allerdings mit viel Augenmaß vorgegangen werden, um keine Produkte zu Unrecht zu diskriminieren. Zentral ist, dass es sich um umfassende Betrachtungen unter Berücksichtigung wenigstens der wichtigsten Wechselwirkungen handelt, auf Basis gesicherter Analyseergebnisse. Bei Produkten ist beispielsweise grundsätzlich eine Lebenszyklusbetrachtung anzustellen, es sollten aber auch Vorleistungen, Lieferketten und die damit verbundenen Emissionen etc. einbezogen werden (Bei-

spiel: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Elektromobilität). Da eine Absicherung zentral ist, können solche Handreichungen nur sukzessive erstellt werden und müssen bei neueren Erkenntnissen auch wieder angepasst werden können.

### Überzeugungsarbeit und Marketing

Emissionsarme oder emissionsneutrale Produkte und Anwendungen werden jedenfalls zunächst in aller Regel teurer sein als die weniger klimaschonenden Äquivalente. Wenn die Umstellung gelingen soll, möglichst ohne dauerhafte Subventionierung, dann muss neben den Unternehmen auch der Staat die unternehmerischen Leistungen anerkennen und vor allem auf der internationalen Ebene für nachhaltige Innovationen aus Deutschland und Bayern werben, sei es auf Messen, mit Unternehmerrreisen, in Kooperationsprojekten oder auf anderem Weg.

Die Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* zeigt, wie bedeutend die „Klima-Innovationsbranche“ in Bayern heute schon für Wohlstand und Beschäftigung ist. Rund 1,7 Prozent der Erwerbstätigen in Bayern und 3,0 Prozent der Wertschöpfung des Freistaates ließen sich ihr 2019 schon zuordnen, bei einem voraussichtlich weiter sehr dynamischen Wachstum. Gerade in der Industrie sind die Klima-Innovationen stark verankert. Botschaften wie diese können und sollten genutzt werden, um ein positives gesellschaftliches Klima zu schaffen und gleichzeitig Anknüpfungspunkt für Standortmarketing sein.

#### Freiwilliges Siegel/Zertifikat

In Zusammenarbeit mit der Wirtschaft sollte ein freiwilliges Siegel oder Zertifikat für besondere Klimafreundlichkeit und für Klimaneutralität entwickelt werden. Erforderlich ist ein klares, transparentes, nachprüfbares und ohne großen Aufwand einzurichtendes System für die Bestimmung des produktbezogenen Fußabdrucks. Angesichts der Schwierigkeiten bei der Erfassung der Vorleistungen beziehungsweise der gesamten Wertschöpfungskette besteht hier noch ein erheblicher Erkenntnis- und Abstimmungsbedarf. Wichtig ist, dass nicht eine Vielzahl verschiedener Siegel parallel entwickelt, sondern ein einheitliches etabliert wird. Richtig wäre eine Verständigung auf der internationalen Ebene auf die maßgeblichen Kriterien und eine Anknüpfung an bestehende Rahmenwerke, insbesondere die Ökodesign-Direktive der EU, die gemäß dem „Circular Economy Action Plan“ in ihrem Umfang deutlich ausgeweitet werden soll. Bis dahin ist jedenfalls auf Konvergenz und Anschlussfähigkeit hinzuwirken.

Unternehmens- beziehungsweise standortbezogene Aussagen müssen ebenfalls weiterentwickelt werden. Dabei ist auf die bestehenden Lösungen für die freiwillige Zertifizierung (z. B. ISO 5001) aufzusetzen.

Für die Vermittlung von Informationen zum Klimawandel, zu den Handlungsoptionen zu seiner Bekämpfung und insbesondere zu Klimaschutztechnologien sollte der Staat konsequent auch auf die Überzeugungskraft und Reichweite technologischer Lösungen wie 3D-Visualisierungen setzen und entsprechende Projekte fördern. Damit können zugleich diese Bereiche gestärkt werden, deren Potenziale unter anderem die Studie *TechCheck 2019. Erfolgsfaktor Mensch* belegt hat.

#### Handlungsempfehlungen

B

## Wirtschaft

02.3

Wirtschaftsorganisationen sind gefordert, wenn es darum geht, branchenspezifische Informationen zu möglichen Betroffenheiten und Aktionsmöglichkeiten, beispielsweise in den Bereichen nachhaltiges Produktionsmanagement, Energiemanagement oder zur Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks praxisorientiert, zu vermitteln.

#### Handlungsempfehlungen

B

## Gesellschaft

02.4

Die Verbreitung von gesicherten Informationen im Sinne der oben genannten Analysen sowie von Best-Practice-Ansätzen spielt auch im privaten Bereich eine wichtige Rolle, da gesellschaftliche Verhaltensweisen, Rahmenbedingungen inklusive Infrastruktur und private Konsumententscheidungen mitentscheidend für das Erreichen der Klimaziele sind. Das gilt umso mehr für Personen (z. B. Influencer), die hohe Reichweiten erzielen.

Die Informationen sollten daher stets auch so aufbereitet sein, dass sie für eine solche Verwendung geeignet sind. Staat, Wirtschaft und Wissenschaft sollten durchaus gezielt entsprechende Zusammenarbeiten suchen (vgl. auch *TechCheck 2019. Technologien für den Menschen*) und fördern.

Kapitel

03

Aktion

Teil

B

Damit wir unsere Klimaschutzziele erreichen, dabei Wohlstand, Beschäftigung und sozialen Frieden wahren und uns als Leitanbieter für Klimaschutztechnologien positionieren, ist ein zielgerichtetes Handeln auf vielen Ebenen notwendig. Wir können dabei auf einer durchaus guten Ausgangslage aufbauen, wie die Analyse der „Klima-Innovationsbranche“ zeigt.

Handlungsempfehlungen

B

## Übergreifender Handlungsbedarf

03.1

### 03.1.1 Unternehmen

Viele Unternehmen stehen vor enormen Herausforderungen. Die in der Studie analysierten Szenarien zeigen unterschiedlich starke Auswirkungen, insgesamt haben aber vor allem die energie- und CO<sub>2</sub>-intensiven Branchen wie Metall, Glas, Keramik, Zement mit Einbußen und Wettbewerbsnachteilen zu kämpfen, da ein Umstieg auf THG-freie Technologien erfolgen muss und die relative Verteuerung der Produkte Konkurrenz durch neue, weniger energieintensive Werkstoffe bedingt. In diesem Transformationsprozess müssen die Unternehmen der genannten und weiterer Branchen unterstützt werden (siehe Seite 88), ihn aber vor allem auch selbst gestalten.

- Jedes Unternehmen sollte sich eine Nachhaltigkeitsstrategie geben, mit einer Klimastrategie als integralem Bestandteil.
- Dazu zählen in jedem Fall eine klare Zielsetzung, eine Bewertung der zur Verfügung stehenden Handlungsoptionen (zum Beispiel Anpassung des Geschäftsmodells oder Produkts, Optionen für CO<sub>2</sub>-Einsparung oder -Kompensation etc.) und eine Roadmap für die Transformation. Ein weiterer Bestandteil können auch Ansätze für die Förderung nachhaltigen Verhaltens in der Belegschaft sein.
- Notwendig ist ferner, in diesem Rahmen auch eine Anpassungsstrategie zu verankern. Dazu zählen eine Bewertung der zu erwartenden Klimafolgen und ein Risikomanagement etwa im Hinblick auf die Lieferketten.
- Die Verantwortung für die Umsetzung der Strategie sollte angesichts ihrer Bedeutung für die Zukunftsfähigkeit des Unternehmens organisatorisch an der Spitze verankert werden. Es empfiehlt sich, bei der Aufsetzung der Strategie und ihrer Umsetzung die Belegschaft umso enger einzubinden, je tiefgreifender die Veränderungen sind. Insofern kann auf die Handlungsempfehlungen *TechCheck 2019. Technologien für den Menschen* verwiesen werden.
- Viele Unternehmen verfügen bereits über solche Strategien und orientieren sich daran. Es ist daher wichtig, hier auch auf einen Austausch und eine Vermittlung von Best Practice zu setzen.

### 03.1.2 Staat

Wichtigstes Element ist eine laufende Optimierung der eingesetzten politischen und finanziellen Mittel auf Basis des 360-Grad-Monitorings (siehe Seite 63). Jedes Instrument (Anreize, regulative Ansätze, Information etc.) muss auf seine Effizienz und Effektivität im Hinblick auf die insgesamt verfolgten Ziele – nicht allein die CO<sub>2</sub>-Einspareffekte – untersucht und bei Bedarf zügig nachjustiert werden.

#### Vorbildfunktion des Staates

Zentral ist, dass der Staat auf allen Ebenen im eigenen Bereich mit gutem Beispiel vorangeht und dabei auf die besten verfügbaren Technologien setzt. Dazu zählen etwa die energetische Sanierung aller staatlichen Gebäude, der umfassende Einsatz von Effizienztechnologien und digitalen Tools (vor allem Building Information Modeling) bei allen Neubauten, Fuhrparkmanagement und Logistik, zügige Digitalisierung und Elektrifizierung von Schienenstrecken etc. Generell muss der Staat im Rahmen der Beschaffung Rahmenbedingungen setzen, innerhalb derer innovative Ansätze zum Zug kommen können beziehungsweise sogar einen Bonus im Rahmen der Abwägung erhalten, um diese gezielt zu fördern.

#### Referenzprojekte schaffen

Der Staat muss aber daneben auch Mut zum Experiment beweisen und für neue Technologien verstärkt auf Modellstädte, Modellregionen, Experimentierräume und Demonstrationsprojekte setzen. Beispiele sind Smart Cities, in denen von intelligenten Stromnetzen über Maßnahmen zur Vermeidung urbaner Hitzeinseln zum Beispiel

durch Begrünung und Kühlungssysteme bis zur Zustellung auf der letzten Meile zahlreiche Anwendungen auch parallel erprobt werden können.

Einerseits ist das oftmals die entscheidende Schnittstelle zwischen Entwicklung und Umsetzung, andererseits werden so die Referenzen geschaffen, die notwendig sind, um die Technologien in die Breite tragen zu können (vgl. auch Seite 94, 03.1.3). Gleichzeitig dienen diese Projekte als Basis für einen informierten gesellschaftlichen Diskurs. In vielen Fällen können und müssen solche Projekte auch genutzt werden, um innovationshindernde Regulierungen temporär außer Kraft zu setzen und/oder neue regulatorische Ansätze zu erproben. Dieses als „Reallabor“ bekannte Konzept muss noch deutlich konsequenter angewendet und auch auf europäischer Ebene verankert werden, da bisher keine Abweichung von europäischen Vorgaben möglich ist.

Neue technologische Lösungen müssen auch dann eine faire Chance bekommen, sich zu echten Innovationen am Standort zu entwickeln, wenn sie mit Investitionen in zusätzliche Anlagen verbunden sind. Nicht jede Neuerung wird sich auf einer digital-virtuellen Ebene vollziehen und auch digi-

tale Technologien benötigen Infrastruktur. Das bedeutet nicht, dass beispielsweise gleich eine komplette Städteverbindung mittels Magnetschwebetechnologie geplant und finanziert werden müsste, auch wenn damit in der Theorie enorme Sprünge bei der Energieeffizienz des Güter- und Personentransports möglich sind, wohl ist aber eine Unterstützung beim Bau kürzerer Referenzstrecken und Prototypen für den Machbarkeitsnachweis sinnvoll.

#### Ziel: technologische Souveränität

Der bedeutendste Rohstoff Deutschlands war und ist der Erfindergeist seiner Menschen. Die Lösungen und Innovationen, die hierzulande entwickelt werden, tragen wesentlich zu unserem Wohlstand bei und sind ein Exportschlager mit spürbaren Auswirkungen auf die globalen Wertschöpfungsketten.

Dies wird auch noch so sein, wenn wir die Herausforderungen der aktuellen Pandemie bewältigt haben. Wir können gestärkt aus der Krise hervorgehen und für künftige Herausforderungen besser gerüstet sein. Doch hierfür müssen wir die richtigen Weichen stellen. Es ist von zentraler Bedeutung, mit einer technologieorientierten Industriepolitik die Wettbewerbsfähigkeit und Resilienz der Wirtschaft in Deutschland und Europa zu steigern. Der konjunkturpolitische „Neustart“ der deutschen Wirtschaft muss in erster Linie eine Transformation in Richtung nachhaltiger Wertschöpfung fördern, die gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit essenziell stärkt. Beispielhaft zu nennen sind die Förderung der Sektorenkopplung und nachhaltiger Mobilitätssysteme, die Elektromobilität, die

Markteinführung von Wasserstofftechnologien und Kohlenstoffkreisläufen für eine nachhaltige Industrieproduktion, der überfällige Ausbau der digitalen Infrastruktur in Deutschland sowie die Etablierung echter Datensouveränität.

Wichtigste Grundlage ist dabei die Souveränität in zentralen, strategisch wichtigen Technologiebereichen wie den Klima- und Umwelttechnologien, der Künstlichen Intelligenz und intelligenten Robotik, der Quantentechnologie, der Cybersicherheit und natürlich der Medizin und des Gesundheitswesens. Nur so lassen sich innovative – vielleicht sogar disruptive – Lösungen entwickeln, die unser aller Wohlergehen sichern und ausbauen. Konkret muss für die Stärkung der Souveränität im Bereich Künstliche Intelligenz unter anderem die Datenverfügbarkeit verbessert werden, unter anderem über eigenständige europäische beziehungsweise nationale Infrastrukturen (z. B. International Data Spaces Association, GAIA-X), über die Daten, aber auch KI-Module zur Verfügung gestellt werden. Im Übrigen kann auf die bisherigen Handlungsempfehlungen verwiesen werden sowie auf die Ausführungen zur Querschnittstechnologie Digitalisierung (vgl. Seite 104 ff.) Welches für den Freistaat Bayern die maßgeblichen Technologien sind, wurde unter anderem in den Handlungsempfehlungen *TechCheck 2019. Technologien für den Menschen* herausgearbeitet. Vergleichbare strategische Grundlagen müssten auch auf Bundes- und EU-Ebene gelegt werden, wobei sich vieles übertragen lässt.

Um unsere Ziele zu erreichen, kommt es darauf an, in einem engen Schulterschluss zwischen Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft unsere Position in den zukunfts-

orientierten Technologiefeldern auszubauen und abzusichern. Technologiebasierte Wettbewerbsvorteile sollten wir so ausgestalten, dass sie nachhaltig vorgehalten werden können. Dies wird auch weiterhin arbeitsteilig mit anderen Standorten geschehen, beispielsweise im Handel und in der Fertigung, jedoch in einer bewussten, strategisch durchdachten Aufgabenteilung, die wirtschaftliche Verflechtung und politische Nähe von Partnern einbezieht und die Resilienz mitdenkt: indem wir für kritische Kompetenzen Rückfallpositionen schaffen und verstärkt auf deutsche und europäische Lösungen beispielsweise bei der Datenspeicherung, bei Serverfragen oder der Mobilfunktechnologie setzen. Das Ziel ist nicht die Autarkie, sondern die souveräne Entscheidungsfreiheit. Denn Souveränität ist kein Geschenk – sie ist neben einer klugen Politik von der wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und sozialen Leistungsfähigkeit einer Gemeinschaft abhängig.

### Transformationshilfen

Der Staat muss jedenfalls die durch die Transformationsprozesse besonders geforderten Branchen und Unternehmen gezielt unterstützen. Das gilt umso mehr, wenn auf der nationalen oder regionalen Ebene zusätzliche Anforderungen aufgestellt werden, die noch über das europäische und internationale Ambitionsniveau hinausgehen. Die Forderung richtet sich dann an die Ebene, die diese Verschärfung veranlasst hat. Im Vergleich zu den internationalen Vereinbarungen kann das also auch die EU sein. Je nach Art der Maßnahme, Kreis der Betroffenen und etwaigen weiteren Rand-

bedingungen können verschiedene Ansätze in Betracht kommen. Diese können einerseits am Instrument selbst ansetzen, dessen Auswirkungen abgemildert werden sollen, wie es bisher beispielsweise mit der kostenlosen Zuteilung von Zertifikaten im EU-ETS oder Entlastungstatbeständen beim EEG geschieht. Sie können und sollen andererseits aber auch bei den Unternehmen ansetzen, um etwa die Umstellung von Prozessen, die Umqualifizierung von Personal oder die Suche nach neuen Anwendungsfeldern für bestehende Kompetenzen zu unterstützen. Anzustreben ist zudem eine Aussetzung oder generelle Lockerung der beihilferechtlichen Regelungen, um Transformationsprozesse gezielter unterstützen zu können.

### Matching-Plattform

Gerade Letzteres wird in einigen großen Industrien zunehmend relevant, beispielsweise in der Automobilindustrie mit ihren vielen Zulieferern im Zuge der sukzessiven Umstellung auf alternative Antriebssysteme. Auf der Landesebene werden Zulieferer bereits dabei unterstützt, mögliche neue Geschäftsfelder zu finden, wenn das bisherige Produkt an Bedeutung verliert. Solche Prozesse sind wichtig und müssen intensiv fortgesetzt werden. Eine große Herausforderung ist dabei einerseits die Übersetzung der vorhandenen Kompetenzen in eine gleichzeitig präzise und offene Beschreibung, die branchenübergreifend verstanden wird. Andererseits gibt es potenziell eine große Anzahl denkbarer „Zielbranchen“ bzw. -unternehmen, die angesprochen werden müssten, unter anderem diejenigen, die im Rahmen der Transforma-

tion wachsen. Um die notwendige Skalierung zu ermöglichen, müssen die entsprechenden Ansätze begleitend systematisiert, standardisiert und in eine digitale Matching-Plattform überführt werden. Deren Einrichtung ist Aufgabe des Bundes, weil der Ansatz richtigerweise auch ein überregionaler ist. Bewältigen kann er diese Herausforderung, indem er eine praxisorientierte, aber nach wissenschaftlichen Standards arbeitende Begleitung der Kompetenzerfassung fördert und parallel daraus die Struktur einer Plattform entwickeln lässt. Beides muss in enger Abstimmung mit den bestehenden Innovationsnetzwerken erfolgen.

Eine solche Plattform ist auch in umgekehrter Richtung ein wichtiger Ansatz: Wenn beispielsweise der Bund eine nachhaltige Produktion von bisher importierten Gütern im Inland stärken will (Stichworte Resilienz, technologische Souveränität), muss er die Anforderungen ebenfalls so formulieren und transportieren, dass Unternehmen erkennen können, ob sie dazu einen Beitrag leisten können.

### Vernetzung und Best Practice

Wirtschaftsorganisationen flankieren den Transformationsprozess mit weiteren Unterstützungsangeboten. Dazu zählen Netzwerke (Innovations-, Branchen-, Experten-netzwerke etc.) für den direkten Austausch, Plattformen für die Verbreitung von Best-Practice-Ansätzen (wie zum Beispiel die neue Plattform des Umwelt- und Klimapakts Bayern) und die Bündelung von Wissen oder Services (Leitfäden, Webinare, Beratungsangebote etc.). Wichtig ist, dass noch stärker als bisher branchenübergrei-

fende Ansätze genutzt werden, da sich mit den Transformationsprozessen auch Wertschöpfungsketten verändern beziehungsweise neue aufgebaut werden müssen.

Ideal ist, wenn Staat und Wirtschaft gemeinsam Beispiele für nachhaltiges Handeln von Unternehmen verbreiten, wie es beispielsweise im Rahmen des Umwelt- und Klimapakts Bayern geschieht, zumal damit zugleich dem Eindruck entgegengetreten werden kann, es werde generell zu wenig getan, und die Wirtschaft als Teil der Lösung anerkannt wird. Solche Ansätze müssen weiter beworben und gestärkt werden.

### Bildung

Im gesamten Bildungssystem müssen sowohl Nachhaltigkeit – mit ihren drei Säulen (Umwelt, Wirtschaft, Soziales) und deren Interdependenzen! – verankert sein als auch die Bedeutung technologischer Innovationen.

Der Staat muss seinen Fokus weiterhin auf die Lehrerbildung und die Entwicklung von Unterrichtskonzepten richten, wie auch im Nationalen Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung vorgesehen. Best-Practice-Beispiele und darauf basierende Module mit hohem Anwendungsbezug für Referendariat und Fortbildung der Lehrkräfte spielen gerade für die Vermittlung technologischer Grundkenntnisse eine wichtige Rolle. Daneben gilt es, auch den vorschulischen Bereich angemessen zu berücksichtigen. Hier gibt es ebenfalls bereits gute Elemente, gerade bei der spielerischen Vermittlung naturwissenschaftlicher Zusammenhänge, die weiter gestärkt wer-

den müssen. Da gerade ökonomische Fragen für viele Jugendliche wenig interessant erscheinen, wie auch eine Fokusgruppenbefragung der Verbände zeigt, muss die Wissensvermittlung ganz besonders an Beispiele mit Alltagsrelevanz für diese Zielgruppe anknüpfen, etwa aus dem Modebereich.

In der Wissenschaft bedarf es weiterer Forschung zu der Frage, wie Kenntnisse und Kompetenzen insbesondere bei Jugendlichen gestärkt werden können, vor allem aber unter welchen Bedingungen sie in entsprechende Entscheidungen/Verhaltensänderungen umgesetzt werden, auch unter Einbeziehung psychologischer und soziologischer Erkenntnisse.

Die Organisationen der Wirtschaft können einen wichtigen Beitrag leisten mit Bildungsprojekten mit Fokus auf Themen wie den Ausgleich von Ökologie und Ökonomie und das Aufsetzen spezieller „nachhaltiger“ Projektzweige in bestehenden Projekten bzw. Initiativen (z. B. Technik-trifft-Umwelt-Camp der bayerischen Arbeitgeberverbände). Verwiesen werden kann in diesem Kontext insbesondere auch auf das neue Gutachten des Aktionsrats Bildung Nachhaltigkeit im Bildungswesen – was jetzt getan werden muss (2021) und das in Planung befindliche Leuchtturmprojekt der Stiftung Bildungspakt Bayern zum Zusammenspiel von Ökologie und Ökonomie (2021/2022). Erfolgreiche Ansätze müssen dem bewährten Vorgehen im Freistaat Bayern entsprechend im Anschluss in der Fläche ausgerollt werden.

### Steuerliche Anreize für Unternehmen

Zu prüfen ist, ob mit dem Erreichen von Klimaneutralität auch steuerliche Vorteile verbunden werden können. Unternehmen könnten etwa für einen definierten Zeitraum von der Pflicht zur Zahlung bestimmter Steuern befreit werden, während andere wie die Gewerbesteuer bestehen bleiben, damit Gemeinden zusätzlichen Anreiz haben, sich als energie- und klimafreundlicher Standort (EE, Wasserstoff, Netzanbindung, Ausstattung mit Ladepunkten...) zu profilieren. Anhaltspunkt könnte sein, um wie viel der Branchenschnitt unterschritten wird. Ein ähnliches Vorgehen verfolgt die sogenannte Taxonomie als Herzstück der Sustainable Finance-Regulierung.

Bestehende steuerliche Anreize für Investitionen und Innovationen auf allen Ebenen des Transformationsprozesses müssen weiter gestärkt werden.

- Ein Beispiel ist die steuerliche Forschungsförderung, die zum Jahresbeginn endlich eingeführt wurde. Als Teil des Konjunkturpakets wurde die Bemessungsgrundlage verdoppelt; eine weitere Anhebung würde dazu beitragen, dass sie für große Unternehmen attraktiver wird.
- Angesichts des erheblichen Beitrags von Gebäuden zu den Treibhausgas-Emissionen erscheint es auch angezeigt, zusätzliche Programme für Unternehmen aufzulegen, wo die kosteneffizient umsetzbaren „Quick Wins“ vielfach schon realisiert sind. Mit einer entsprechenden steuerlichen Förderung könnte die Sanierungsquote weiter erhöht werden.

### Steuerliche Anreize für Privatpersonen

Theoretisch wäre ein solcher steuerlicher Anreiz zwar auch für Privatpersonen denkbar, praktisch ist der Nachweis (persönlicher Fußabdruck) aber kaum zu führen. Daher ist es hier zielführender, bei den konkreten Konsumentscheidungen anzusetzen, wie es auch heute schon vielfach geschieht, beispielsweise mit niedrigeren Steuersätzen für Elektrofahrzeuge. Wichtig ist, dass dabei künftig Technologieoffenheit konsequenter umgesetzt wird. Dazu gehört auch, Förderungszeiträume für bestimmte Technologien klar zu begrenzen, insbesondere auf deren Markteinführungsphase.

### Förderprogramme fortsetzen

Investitionszuschüsse sind ebenfalls ein wichtiges Mittel, auch um krisenbedingt verringerte F+E- und Investitionsbudgets auszugleichen. Gerade in der Krise zeigt sich, dass der durch das Beihilferecht gesteckte Rahmen in mehrfacher Hinsicht zu eng ist: Größere Unternehmen müssen ebenso gefördert und der Eigenbeitrag muss reduziert werden können. Auch im privaten Bereich spielen Förderprogramme eine große Rolle und müssen – ausreichend dotiert – fortgesetzt werden. Wenn mit Boni der Umstieg beispielsweise auf emissionsärmere Mobilität oder mehr Energieeffizienz im Wärmebereich erzielt werden, können angesichts des gegenwärtig noch großen Bestands an älteren Fahrzeugen und Heizsystemen vergleichsweise einfach schnelle (kurzfristig realisierbare) Erfolge im Hinblick auf die Minderungsziele erreicht werden.

Bei der Förderung gilt es, die intendierten emissionsmindernden Effekte möglichst ganzheitlich zu betrachten und nach Möglichkeit auch industriepolitische Auswirkungen zu beachten (vgl. Seite 87f. zur technologischen Souveränität). Förderbedingungen sollten also so ausgestaltet sein, dass davon keine Fehlanreize ausgehen, etwas preiswertere, aber eventuell weniger nachhaltige Systeme aus dem Ausland zu beziehen und damit zusätzlich noch weitere Transportwege zu erzeugen.

## Weitere Anreize und Beteiligungsmöglichkeiten

Beteiligungs- beziehungsweise Anlagemöglichkeiten für Bürger bei Klimaprojekten können das Verständnis und die Akzeptanz stärken, ohne dass damit immer ein staatlich abgesichertes „Gewinnversprechen“ verbunden sein müsste. Hier zählt die im Zusammenhang mit der Klimaschutzgesetzgebung diskutierte Idee eines Klimafonds ebenso wie Initiativen auf privatwirtschaftlicher und kommunaler Ebene (z. B. Klimaaktie der Landeshauptstadt München).

Geprüft werden müssen auch mögliche „CO<sub>2</sub>-Auktionen“ für Beiträge von Unternehmen und Privatleuten zur Erreichung der Ziele als Ergänzung zum ggf. notwendigen staatlichen Erwerb von Emissionsrechten von anderen Staaten. Wichtig ist hier, Fehlanreize von vornherein auszuschließen: Wer nicht zum Zuge kommt, sollte beispielsweise trotzdem einen Anreiz haben, die entsprechende Menge einzusparen und damit nicht bis zur nächsten Auktion warten zu müssen. Das System (Anbieten eigener Einsparleistungen) wäre auch denkbar als Teil einer Kompensationsplattform und dort noch klarer marktwirtschaftlich zu organisieren.

In Betracht zu ziehen sind außerdem eine stärkere Flexibilisierung der Strompreise zur Förderung von netzdienlichem Verhalten (Nutzung von Strom, wenn er verfügbar ist, Reduzierung der Nachfrage bei Unterversorgung) und dazu die Abschaffung oder mindestens deutliche Ausweitung der Reduzierung der EEG-Umlage auf eigenverbrauchten Strom. Auf unternehmerischer Seite muss das Nachfragemanagement (Demand Side Management) auf freiwilliger Basis weiter vorangetrieben werden.

Speziell für Unternehmen sind Carbon Contracts for Difference ein vielversprechender Ansatz. Dabei können Unternehmen im Gegenzug für den Einsatz klimaneutraler Technologien Betriebskostenzuschüsse erhalten, um jene Vermeidungskosten auszugleichen, die über dem absehbaren Preis für Emissionshandelszertifikate der EU liegen. Dazu ist unter anderem ein Pilotprojekt des BMU für den Einsatz von wasserstoffbasierten Prozessen in der Stahl- und Chemieindustrie ab 2021 geplant. Unter Berücksichtigung der ersten Erkenntnisse aus solchen Vorhaben – auch aus dem Ausland – sollte der Ansatz auf weitere Bereiche ausgerollt werden. Für Strom zur Herstellung von grünem Wasserstoff darf keine EEG-Umlage anfallen; in einer Übergangsphase muss das im Sinne des Aufbaus von Kompetenzen und Kapazitäten auch für andere „Farben“ gelten.

## Kompensationsplattformen

Jedenfalls für eine Übergangsphase wird die Kompensation eigener Emissionen eine wichtige Rolle spielen und ist durchaus effizient, weil in weniger stark industrialisierten Regionen Einsparungen oft wesentlich kostengünstiger zu realisieren sind. Bei den Auswahlkriterien für Projekte sollte insbesondere darauf geachtet werden, dass sie auch langfristig dazu geeignet sind, einen Bedarf an emissionsintensiven Prozessen in der jeweiligen Zielregion möglichst gar nicht erst entstehen zu lassen, damit die Erfolge nicht in einigen Jahren konterkariert werden. Aufforstungsprojekte und generell das Ansetzen an natürlichen CO<sub>2</sub>-Speichern sind ebenfalls grundsätzlich gut geeignet, einen nachhaltigen Effekt zu erzielen. Generell muss es sich um klar definierte Vorhaben mit zuverlässig messbarem Effekt auf das Klima handeln.

Unter diesen Prämissen müssen Kompensationsmaßnahmen jedenfalls auf der nationalen Ebene beim Erreichen der Klimaziele berücksichtigt werden. Staatliche Plattformen – wie die vom Freistaat Bayern geplante – sollten grundsätzlich für Vorhaben aus der Wirtschaft geöffnet werden (siehe auch oben zu den Auktionen) und es Unternehmen ermöglichen, darüber ebenfalls Emissionen zu kompensieren. Die bayerische Landesagentur für Energie und Klimaschutz (LENK) soll in diesem Sinne eine Kompensationsplattform für nicht vermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen aufbauen und betreiben, um das Ziel der klimaneutralen Staatsverwaltung bis 2030 zu erreichen. In einem zweiten Schritt soll auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Unternehmen aus Bayern über diese Plattform ausgeglichen werden können.

Ergänzend bietet sich der Aufbau von Plattformen aus der Wirtschaft für die Wirtschaft an, durchaus aber auch als Angebot an Privatpersonen, die ihren eigenen Fußabdruck mindern wollen.

Je mehr verschiedene Plattformen es gibt, desto wichtiger wird es aber, die Daten zusammenzuführen und den Beitrag zum Klimaschutz zu monitoren, möglichst auf der internationalen Ebene, um keine „Scheinlösungen“ aufzubauen.

## Finanzierungsfragen, Haushalt

Die Szenarien zeigen, dass sich Klimaschutz insgesamt volkswirtschaftlich rechnet. Der Staat muss keine oder weniger Mittel für den Ankauf von Emissionsrechten aufwenden. Steuern fallen auf die Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität an (z. B. Bauinvestitionen, Anlagen). Trotzdem kann es Jahre dauern, bis sich die jetzt einzusetzenden staatlichen Mittel „rentieren“, und der Investitionsbedarf wird in den nächsten Jahren noch weiter steigen. Das ist bei der Haushaltsaufstellung und längerfristigen Finanzplanung einzukalkulieren, statt auf neue oder höhere Abgaben zu setzen. Wie eine sachgerechte Tilgung aussehen kann, wird in der Studie *Finanzierung der Coronakosten – tragfähig und tragbar* (FiFo Köln / vbw 2020) erläutert. Im Sinne der Generationengerechtigkeit müssen gerade Investitionen in noch nachhaltigere Infrastruktur auch über längere Zeiträume angesetzt werden können, ohne dass damit die notwendige Haushaltsdisziplin aufgegeben würde.

### Nutzerfinanzierung europäisch denken

Einen Beitrag zum notwendigen Aufbau zusätzlicher Verkehrsinfrastruktur kann grundsätzlich auch eine Nutzerfinanzierung (Maut) leisten. Dabei ist allerdings zu beachten, dass über die Mineralölsteuer und künftig die preistreibende Wirkung des Emissionshandels die Nutzer hier schon stark an den Kosten – auch mit Blick auf die externen Effekte – beteiligt werden. Haupt-

augenmerk muss also auf einer europäischen Harmonisierung und Vereinheitlichung liegen, um unerwünschte Nebeneffekte wie Ausweich- und Umwegverkehre zu vermeiden. Gleichzeitig gilt es, die Energiebesteuerung anzupassen, um auch auf diesem Weg einheitlichere Preise an der Tankstelle (oder Ladesäule) zu erreichen und Fehlanreize zu vermeiden.

### 03.1.3 Wissenschaft

Die weitere Erforschung klimarelevanter Technologien ist zwingend erforderlich. Besondere Aufmerksamkeit muss den Schnittstellen und Synergien zwischen den verschiedenen Technologien sowie dem Verständnis von Gesamtsystemen gelten (siehe auch Seite 98 ff., 03.2.2). Eine stärkere Öffnung in Richtung Wirtschaft und Gesellschaft bleibt notwendig. Insofern kann auch auf die beiden Handlungsempfehlungen *TechCheck 2019. Technologien für den Menschen und Resilienz – Schlussfolgerungen aus der Corona-Pandemie* verwiesen werden.

Eine wichtige Rolle spielen Einrichtungen der Wissenschaft auch beim Transfer der Erkenntnisse zu klimarelevanten Technologien in die praktische Anwendung in Verwaltung und Wirtschaft. Dazu sollten Transferreallabore eingerichtet werden. Ein konkretes Anwendungsbeispiel dafür sind Klimaschutz- und Effizienztechnologien im Gebäudesektor, bei denen Fraunhofer und Freistaat beziehungsweise Bund ihren jeweiligen Vorreiterrollen (Klimaneutralität bis 2030) gerecht werden können, unter Einbindung der Wirtschaft (z. B. Hand-

werksbetriebe, Anbieter von Gebäudetechnologien, Bauindustrie etc.). Damit können die Anwendungen in der Praxis weiterentwickelt und zugleich die Wirksamkeit demonstriert werden. Auch Wirtschaftlichkeitsaspekte müssen dabei herausgearbeitet werden, um der interessierten Öffentlichkeit konkrete, belastbare Informationen geben zu können.

Auf die Deckung des absehbaren Fachkräftebedarfs in den wachsenden Branchen muss rechtzeitig abgezielt werden. Zu den Gewinnerbereichen in den Szenarien zählen alle, die Effizienztechnologien anbieten (Maschinen-, Anlagenbau, Elektroindustrie), die Bauwirtschaft, manche Kunststoffe (z. B. Dämmstoffe), Anlagen der EE, innovative und vernetzte Prozesstechnologien sowie viele industriennahe und andere Dienstleistungen. Vor dem Hintergrund dieser Auswahl ist eindeutig, dass sowohl Hochschul- wie auch Berufsausbildung weiter gestärkt werden müssen. Die Inhalte der Ausbildung sind laufend im Hinblick auf neue Anforderungen zu überprüfen und bei Bedarf anzupassen.

### 03.1.4 Gesellschaft

Jeder Einzelne kann einen wichtigen Beitrag zum Ziel beitragen, wenn er Nachhaltigkeitsfragen bei eigenen Entscheidungen berücksichtigt. Dabei sollte er sich auf gesicherte Erkenntnisse aus zuverlässigen Quellen stützen (können). Es liegt allerdings auch in der eigenen Verantwortung, Informationen kritisch zu würdigen und zu gewichten. Wer darüber hinaus in seinem Umfeld für klimafreundliche Technologien, Produkte oder notwendige Infrastrukturmaßnahmen wirbt, leistet einen Beitrag, der weit über den eigenen Verbrauch hinausgehen kann. Ein solches gesellschaftliches Engagement sollte angemessen gewürdigt und gefördert werden.

Zentrale Handlungsfelder bleiben weiterhin Akzeptanzfragen, sodass neben sachlichen Informationen vor allem eine Vermittlung des Nutzens zielführend ist (siehe unter anderem *TechCheck 2019. Erfolgsfaktor Mensch*). Zumindest alle jene szenarienbasierten Untersuchungen, die neben dem Klimaschutz auch ökonomische Aspekte berücksichtigen – wobei diese ganzheitlicheren Ansätze wiederum auch aus sozialen Gründen die einzigen sind, die man zugrunde legen darf –, unterstellen bestimmte zusätzliche Infrastrukturen als notwendige Bedingung. Dazu zählen bedeutend mehr Anlagen für Erneuerbare Energien, Energienetze und -speicher sowie der Einsatz von Methoden zur Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub>.

#### Beispiel 1

Während der Primärenergiebedarf weiter sinkt, wird der Stromverbrauch durch die fortschreitende Elektrifizierung unter anderem im Verkehr und durch Wasserstoffherstellung weiter ansteigen. Dieser zusätzliche Bedarf muss zu einem erheblichen Teil über Wind und PV gedeckt werden.

#### Beispiel 2

Auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität verbleiben unter anderem durch biologische Prozesse in Böden oder im Bereich der Abfallwirtschaft Restemissionen – in einem geschätzten Umfang von fünf Prozent der Emissionen von 1990, also des Jahres, auf das sich die Einsparziele beziehen – die sich nicht mehr durch Vermeidungsmaßnahmen weiter reduzieren lassen. Dazu müssen nach gegenwärtigem Kenntnisstand in jedem Fall Technologien zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung genutzt werden.

Neue Anlagen werden die Landschaft verändern, und es werden neue Techniken zum Einsatz kommen, die zwangsläufig noch nicht in der Breite erprobt worden sind. Wer Klimaschutz will, der sollte diese Infrastrukturen als sichtbare Zeichen des Wandels begrüßen. In diese Richtung muss auf allen Ebenen stärker für den Ausbau geworben werden.

## Handlungsempfehlungen

# Schwerpunkt Technologien

Die Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen*. belegt noch einmal in aller Deutlichkeit, dass technologische Lösungen und insbesondere Innovationen der Schlüssel zu einer nachhaltigen Ausrichtung von Wirtschaft und Gesellschaft sind. Wie gezeigt, liefert sie auch wichtige Anhaltspunkte für die Schwerpunkte, auf die dabei gesetzt werden muss.

In den Handlungsempfehlungen *Resilienz – Schlussfolgerungen aus der Corona-Pandemie* hat der Zukunftsrat bereits betont, dass die technologischen Potenziale aus-

geschöpft werden müssen, um im Sinne eines Dienstes an der Gesellschaft (Service to Society) langfristig bestmöglich Resilienz – sowohl im Sinne von Stabilität als auch von Weiterentwicklung – zu gewährleisten. Das ist kein linearer Prozess, sondern eine iterative Entwicklung. Wichtigste Voraussetzung ist der Mut, bestehende Erkenntnisse stetig weiterzuentwickeln und dabei auch zu hinterfragen sowie die darauf basierenden Informationen und Maßnahmen bei Bedarf evidenzbasiert anzupassen.

## 03.2.1 Übergreifende Aspekte

### Innovationspolitik

Was getan werden kann, um Innovationen insgesamt voranzutreiben, hat der Zukunftsrat in seinen bisherigen Arbeiten – u. a. in den Handlungsempfehlungen *TechCheck 2019. Technologien für den Menschen* – ausführlich behandelt. Vieles davon greift der Freistaat Bayern bereits auf. Anderes steht noch aus (Beispiele stärkere Missionsorientierung, konkrete Maßnahmen für höhere Akzeptanz bzw. Technologiebegeisterung in der Gesellschaft).

Generell muss die Innovationsfreundlichkeit von Regulierung weiter erhöht werden: Der Fokus muss auf den Chancen liegen, nicht auf einer Ex-ante-Regelung für theoretisch mögliche Risikoszenarien. Das gilt ganz besonders für den wichtigen Bereich der Nutzung von Daten in den verschiedensten Kontexten und den Umgang mit stofflichen Fragen (siehe Seite 73).

## B

## 03.2

### Technologieförderung (Miteinsatz, Priorisierung, Technologieoffenheit)

Technologieförderung ist gerade in Krisenzeiten entscheidend, weil sie – über die kurzfristigen konjunkturbelebenden Maßnahmen hinaus – zum Aufbau langfristig tragbarer, zukunftsorientierter Strukturen beiträgt. Sowohl die Hightech Agenda Plus des Freistaats Bayern als auch die Innovationsförderung im Konjunkturpaket der Bundesregierung sind also sehr richtige Ansätze, die weiter gestärkt und verstetigt werden müssen. Speziell die Agentur für Sprunginnovationen SPRIND muss mit mehr Mitteln dotiert werden und auf weitere flexible Finanzierungswerkzeuge zurückgreifen können sowie stärker auf Missionen wie den Klimaschutz ausgerichtet werden, um weltweit in der ersten Liga mitspielen zu können.

Auch insoweit kann auf die bisherigen Handlungsempfehlungen verwiesen werden. Zentrale Elemente sind Technologieoffenheit, branchenübergreifende Ansätze und die generelle Offenheit für Neues. Dabei ist gleichzeitig eine Fokussierung auf bestimmte Technologiefelder und Herausforderungen richtig. Hierzu zählen in jedem Fall die digitale Transformation und Klimaschutztechnologien (näher siehe unten zu den Leuchtturmtechnologien). Auch die Auswahl der technologischen Zukunftsfelder für Bayern, die der Zukunftsrat 2015 getroffen hat, bestätigt sich bei jedem behandelten Thema. Im Anhang zur Studie sind sie mit ihren Klimabezügen noch einmal aufgeführt.

### Challenges als Innovationsbeschleuniger einsetzen

Die konkrete Formulierung von sogenannten Grand Challenges in Anlehnung an die DARPA Challenges sorgt für Traktion bei der Technologieentwicklung. Sie sind ein Aushängeschild zur Präsentation neuer Technologien, klären über Herausforderungen in der Entwicklung auf und stärken das Problembewusstsein der Bevölkerung, während Expertise aus Wirtschaft und Wissenschaft aufeinandertreffen und gemeinsam Lösungen für zentrale Herausforderungen entwickeln. In Bayern sollten daher regelmäßige und öffentlichkeitswirksame Wettbewerbe stattfinden, in denen Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam an solchen Challenges arbeiten.

So kann z. B. die aktuelle Forschung zu intelligenter Robotik zur Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft beim Recycling von Elektroschrott genutzt werden. Ein Challenge-Programm für die Hightech Agenda kann über ein zentrales Gremium wie den derzeit entstehenden KI-Rat mit KI-Agentur federführend und bayernweit organisiert werden, unter Ausnutzung bestehender Synergien und mit überschaubarer Ausstattung.

Auch für die notwendige anwendungsorientiertere Ausrichtung der Agentur für Sprunginnovationen können Challenges der richtige Ansatz sein.

Einige mögliche Challenges werden im Folgenden empfohlen. Weitere lassen sich unter anderem aus den Erkenntnissen der Studie ableiten.

### Bestehende Technologien nutzen und evolutionär weiterentwickeln

Die Studie zeigt insbesondere in den Szenarien, dass mit den verfügbaren Technologien große Minderungspotenziale gehoben werden können, beziehungsweise diese sogar ausreichen, um eine klimaneutrale Zukunft zu gestalten. Ein Beispiel ist die energetische Gebäudesanierung, ein Bereich, in dem unter anderem mit Energierückgewinnungssystemen mit PV- oder Solar-Einbindung, aber auch ganz klassisch mit Maßnahmen zur Dämmung von Dach und Fassade sowie dem Einbau moderner Fenster oder Heizungsanlagen, vergleichsweise schnell große Fortschritte erzielt werden können. Angesichts des erheblichen Beitrags des Gebäudesektors zu den Gesamtemissionen müssen diese Minderungspotenziale entschlossen gehoben werden. Neben der Suche nach innovativen technologischen Lösungen (vgl. unter anderem die Leuchtturmtechnologie energieeffiziente Gebäudetechnik, Seite 172 ff., oder neuartige Dämmstoffe als mögliche Game Changer, Seite 45) dürfen daher nie der Einsatz und die inkrementelle Weiterentwicklung bestehender Technologien aus dem Fokus geraten. Gerade der Staat muss sehr konsequent diese Potenziale ausschöpfen, um eine Vorbildfunktion entfalten und seine eigenen Ziele erreichen zu können. Alle Bestandsgebäude der öffentlichen Hand müssen umgehend und umfassend saniert werden, unter Einsatz der aktuell besten verfügbaren Technologien.

### 03.2.2 Technologiespezifischer Handlungsbedarf: Querschnittstechnologien

#### Querschnittsbereiche insgesamt stärken

Generell müssen Ansätze gestärkt werden, die viele Technologien betreffen. Dazu zählen beispielsweise stoffliche Bezüge, die unter anderem bei Batterie, Brennstoffzelle, 3D-Druck, Elektrolyse und Wasserstoffproduktion, Carbon Capture/Utilization/Storage (CCUS), Katalysatoren, Membranen und Sensoren etc. eine wesentliche Rolle spielen. Die meisten dieser Technologien beruhen auf Dünnschichttechniken

und damit meist auf nanostrukturierten dünnen Filmen. Die Funktionalität beruht auf deren Zusammensetzung und Struktur, welche über Selbstorganisationsprozesse von molekularen und (nano-)partikulären Bausteinen aufgebaut wird. Die reproduzierbare und skalierbare Herstellung bestimmt Qualität und Wirkungsgrad der jeweiligen Devices und die Kosten der Herstellung. Aufgrund des wichtigen Quer-

schnittscharakters dieser Technologien muss ihnen mehr Aufmerksamkeit in Forschung und Entwicklung sowie bei der Förderung gewidmet werden. Bereits die Studie *TechCheck 2019. Erfolgsfaktor Mensch.* hat gezeigt, dass auf dafür relevanten Feldern

wie der Nanotechnologie (zu) wenig geschieht, während namentlich asiatische Länder hier die Schnittstellen jedenfalls in der Forschung sehr aktiv besetzen und einen echten Schwerpunkt darauf legen.

#### Weitere wichtige Ansätze sind ohne Anspruch auf Vollständigkeit die folgenden:

- Institut für Systems Engineering, Forschung an Vorteilen und Möglichkeiten einer entsprechenden (ganzheitlichen, synergetischen) Herangehensweise stärken, Anpassung der Ausbildung
- Anreize für die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus schaffen (z. B. Baubereich), gleichzeitig Flexibilität für das Aufgreifen neuer Entwicklungen/Bedürfnisse bewahren
- Gezielt nach möglichen Synergien suchen (Beispiel Filter oder Sensorik in den verschiedenen Bereichen) und dort bei Bedarf bestehendes Wissen in die Breite tragen
- Lösungen auch im Gesundheitsbereich ganzheitlicher angehen
- Neben der (erfolgreichen) Produktsicht auch die Systemsicht stärken und dazu insbesondere eine intelligente Datennutzung fördern (Beispiel Automobil vs. Mobilitätssystem).
- Stärkung und Entwicklung von Heimatmärkten, insb. heimischer Produktion (Sicherung technologischer Souveränität – vgl. auch Seite 87 ff. – und damit industrieller Fertigungskapazitäten) im gesamten Energiebereich.

#### Systemdenken auf ein neues Level heben

Es gibt unterschiedliche Interpretationen des Systems Engineering, was nicht zuletzt auf dessen Quellen zurückzuführen ist: Kybernetik und Systemtheorie sind eher wissenschaftlich geprägte Ansätze, das Systems Engineering nach INCOSE (International Council on Systems Engineering) geht eher auf Praxisprobleme bei Großprojekten (Militärtechnik, NASA) zurück. Die Kognitionspsychologie hat den Umgang mit Komplexität (Strukturen, Neben- und Fernwirkungen, Intransparenz, etc.) im Blick. Diese Ansätze müssen intensiver zusammengeführt werden, um die Perspektiven der Systemanalyse (Science of Systems) und der Systemsynthese zu stärken. Künftig muss Systemdenken weit über die reine Regelungstechnik und Systemtheorie hinaus hin zu einer modernen Interpretation der

kybernetischen Sichtweise entwickelt werden, um daraus Lösungen ableiten zu können. Digitalisierung und insbesondere die intelligente Datennutzung müssen das Herzstück bilden. Im Ergebnis geht es darum, ein möglichst vollständiges Bild davon zu erhalten, wie Wirkmechanismen – biologische, chemische und physische sowie technische und soziale – ineinandergreifen. Entscheidungssituationen in komplexen und intransparenten Situationen müssen methodisch besser unterstützt werden.

#### **Zahlreiche Bausteine des Systems Engineering sind auch im Bereich Klimaschutz relevant, unter anderem**

- Problemlösungsmethoden
- Anforderungsmanagement
- Änderungs- und Versionsmanagement
- Konfigurationsmanagement
- Lebenszyklusanalysen
- System of Systems
- Komplexität von Strukturen und der Umgang mit Intransparenz
- Kosten und Value Engineering
- Modellierung im transdisziplinären Kontext soziotechnischer Systeme

In Deutschland sind auf diesem Gebiet die GfSE (als deutscher Teil der IN-COSE), diverse Universitäts- und Hochschulinstitute sowie Berater aktiv. Acatech befasst sich intensiv mit „Advanced Systems Engineering“ mit einem Schwerpunkt auf der Modellierung, das BMBF fördert entsprechende Verbundprojekte, Wissenschaftsorganisationen sprechen anlässlich der Corona-Pandemie ganzheitliche Betrachtungen als geboten an. Allerdings sind Asien und insbesondere die USA (MIT, Stevens Institute etc.) bei diesen Ansätzen aktiver.

Ein aufzubauendes transdisziplinär ausgerichtetes Institut in Bayern kann sich an Vorbildern wie dem SERC (Systems Engineering Research Center), dem CCSE (Center for Complex Systems and Enterprises) am Stevens Institute oder dem New England Complex Systems Institute in Cambridge (NECSI) orientieren. Notwendig ist in jedem Fall ein Forschernetzwerk, in das führende Köpfe der Systems Engineering-Aspekte in Bayern (u.a. München und Erlangen) integriert werden müssen. Ein solches Zentrum kann wichtige methodische Beiträge zur ganzheitlichen Betrachtung vielfältiger komplexer Situationen liefern. So kann die Entwicklung von Lösungen auch in heute noch vergleichsweise schwächeren Segmenten wie Mobilitätssystemen (vgl. Seite 107 f.) und bei der Optimierung des gesamt-

ten Lebenszyklus im Bereich batterieelektrischer Antriebe unterstützt werden, etwa über die Automatisierung von Recyclinganlagen und die Erforschung neuer Wege bei Kompositen.

Während auf deutscher Ebene Kompetenzen und Methoden weiter gestärkt werden müssen, muss parallel an einer zügigen internationalen Vereinheitlichung der Systematik für verschiedene Tools – unter anderem für die Lebenszyklusanalyse und die Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks – gearbeitet werden.

#### **Analysewerkzeuge verbessern**

Die heutigen Werkzeuge beispielsweise in der Lebenszyklusanalyse sind in der Regel weniger gut geeignet, um Wenn-dann-Beziehungen abzubilden, beispielsweise eine Veränderung beim Strommix, und müssen angepasst werden. Im Bereich der Methoden besteht Handlungsbedarf unter anderem bei der Modellierung (Integration von Disziplinen, Anwendung von Modellhierarchien u. a.), bei den Methoden zur Analyse und Synthese, der Visualisierung und beim spezifischen Datenmanagement.

Das Konzept des digitalen Zwillings (Digital Twin) kann auch für Lebenszyklus- und Systemanalysen eine entscheidende Grundlage sein. Darunter versteht man die dynamische Darstellung eines Objekts oder Prozesses aus der realen Welt in der digitalen Welt unter Einsatz von Daten und Modellen und Simulationen dergestalt, dass diese durch eine geeignete Integration oder Verknüpfung den ganzen Lebenszyklus abdecken und entsprechende Optimierungen ermög-

lichen. In verschiedenen Einsatzbereichen, etwa in der Industrie, werden mit digitalen Zwillingen unter anderem Effizienzpotenziale im zweistelligen Bereich gehoben und neue Möglichkeiten der Prozessoptimierung und -steuerung eröffnet. Die Analyse der Schnittstellen zwischen Digitalisierungstechnologien und Klimaschutztechnologien in *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen* zeigt, dass der Digital Twin bereits heute eine Rolle spielt und bayerische Erfindungen vorliegen, auf denen aufgebaut werden kann – aber auch muss, um die Potenziale auszuschöpfen.

Würde der Ansatz wesentlich breiter ausgerollt, dann könnten im Ergebnis für alle Produkte wesentlich bessere Lebenszyklusanalysen erstellt, aber auch die Interdependenzen besser erhoben werden. Dieser Ansatz muss weiterverfolgt werden. Dabei gilt es auch, Daten aus der physischen Welt noch viel stärker in Optimierung und Simulation einfließen zu lassen. Dafür müssen Daten wiederum in einer anderen Art und Weise aufbereitet werden (Stichwort Semantic Web: Ergänzung von Daten um Informationen zum jeweiligen Kontext, um mit dieser Strukturierung die maschinelle Verarbeitung zu erleichtern).

Die Industrie muss an der Qualität der Datenbasis mitarbeiten und hat daran auch ein vitales Interesse: Letztlich darf eine Lebenszyklusanalyse keine teure Spezialdisziplin sein, sondern muss ein einfach zugänglicher Teil der Standardrepertoires auch in der unternehmerischen Planung sein können.

Ein wichtiger Beitrag der Organisation der Wirtschaft ist eine Art Scharnierfunktion zwischen Wissenschaft und Verwaltung:

Sie müssen für beide Seiten Ansprechpartner und Vermittler sein, wenn es darum geht, die richtigen Experten zu finden, um die Projekte und Analysen in Gang zu bringen. Ziel ist einerseits eine Unterstützung staatlicher Stellen bei der Umsetzung des Systemdenkens, andererseits eine Hilfestellung für Unternehmen, die technologische Lösungen anbieten.

### Challenge 1

Einen neuen Global Player für Analysewerkzeuge zur Nutzung in Unternehmen und Verwaltungen hervorbringen. Als erster Schritt wird der Prototyp eines solchen Tools entwickelt, das seine Effektivität anhand der Ermittlung von Hebeln für einen um 25 Prozent reduzierten Energieverbrauch an unterschiedlichen Infrastrukturen/Anlagen unter Beweis stellt.

### Challenge 2

München zum Zentrum für ein datengetriebenes Monitoring regionaler Effekte des Klimawandels machen, unter Einbeziehung und Nutzung insbesondere der Daten und Modelle der Versicherungswirtschaft.

### Synergien aufspüren und nutzen

Es gibt eine Reihe von Einzeltechnologien, die übergreifend von großer Relevanz sind. Ein Beispiel ist die Sensorik, die in vielen der bayerischen Leuchtturmtechnologien für den Klimaschutz eine wichtige Rolle spielt (vgl. die Hinweise in den Steckbriefen). Die Patentanalyse zeigt, dass wir hier auf eine bestehende Stärke aufbauen können: Überall dort, wo Bayern mit Sensorik in Klimatechnologien aktiv ist, liegen wir über dem globalen Durchschnitt. Weitere Beispiele lassen sich – insbesondere auch für Unternehmen – in den interaktiven Grafiken aufspüren, die Teil der Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen*. und auf der Webseite des Zukunftsrats ([www.vbw-zukunftsrat.de](http://www.vbw-zukunftsrat.de)) zu finden sind. Ergänzend und vertiefend kann auf digital gestützte Angebote wie die Technologieradare von

Bayern Innovativ zurückgegriffen werden. Solche Lösungen müssen weiter ausgebaut und mit zusätzlichen Informationen unterlegt werden, um Wissen besser in die Breite zu tragen und effizienter zu nutzen. Hier ist wiederum der Staat gefordert – zum Beispiel der Bund im Rahmen der Förderung von transformationsrelevanten Innovationen –, der dafür allerdings an bestehende Lösungen anknüpfen sollte.

Ein weiteres Beispiel für wichtige Synergien ist das Thema Künstliche Intelligenz (KI). Das Projekt KI.Fabrik setzt vernetzte Kommunikationssysteme, Teleroboter und Telepräsenz zur Sicherung eines dauerhaften, inklusiven und nachhaltigen Wirtschaftswachstums, produktiver Vollbeschäftigung und zur Förderung menschenwürdiger Ar-

beit missionsorientiert miteinander ein. Diese Technologien ermöglichen eine völlig neue Form der Telearbeit aus der Ferne und über intelligente Portale. Große Synergiepotenziale entstehen durch eine angepasste Nutzung dieser Kerntechnologien in medizinischen Anwendungen. Zentrales Ziel ist es auch, die Produktion zurück ins Inland zu verlagern.

### Technologien der Mensch-Maschine-Interaktion für den Klimaschutz nutzbar machen

Mit der Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) verbundene Technologien konnten im letzten Jahrzehnt weltweit ein sehr dynamisches Wachstum verzeichnen. Die Gesamtzahl aktiver Patentfamilien hat sich etwa verdreifacht. Im Zentrum stehen dabei die Touch-Anwendungen, mit denen das starke Wachstum begann, während zuletzt auch die Sprachsteuerung stark zugenommen hat, die wiederum eng mit den Entwicklungen auf dem Feld der Künstlichen Intelligenz verknüpft ist. Eingesetzt werden sie derzeit vor allem in den verschiedenen Digitalisierungstechnologien, der Mobilität, bei Medizin- und Gesundheitstechnologien sowie in der industriellen Produktion. Bayern zeichnet sich durch ein im globalen Vergleich etwas breiter aufgefächertes Portfolio auf, sowohl bei der Verteilung auf die einzelnen MMI-Technologien als auch bei deren Verknüpfung mit den Anwendungsbereichen (vgl. *TechCheck 2019. Erfolgsfaktor Mensch.*). Das sollte genutzt werden, um Produkte zu gestalten, die Nachhaltigkeit im Betrieb schon durch ihr Design fördern beziehungsweise für den Kunden attraktive nachhaltige Alternativen zu herkömmlichen Lösungen darstellen, was wiederum Alleinstellungsmerkmal und Verkaufsargument werden kann. Ein einfaches Beispiel kann die Ausgestaltung von Smart-Home-Lösungen sein. Die Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen*. zeigt für einen wichtigen Teil der MMI-Technologien (z.B. Touch, Gestik, VR/AR), wie Bayern dort heute in der Verknüpfung mit Klimaschutztechnologien aufgestellt ist und kann auch Unternehmen als Anhaltspunkt dienen, wo noch interessante Felder zu besetzen sind.

### Querschnittstechnologie Digitalisierung

Derzeit gibt es noch zu wenig gesicherte Erkenntnisse über Beiträge einzelner digitaler Aktivitäten zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen (Verbrauch und Einsparung / Gesamtbilanz, vgl. auch Seite 60 ff. zum Online-Handel). So führt der Ersatz von Präsenzveranstaltungen aufgrund der entfallenden Emissionen für die An- und Abreise zunächst einmal zu Einspareffekten, die durch den Energieverbrauch für die Bereitstellung von Konferenztechnologie und den Online-Zugang nicht kompensiert werden. In der mittleren Frist könnte eine starke Zunahme von Home- und Mobile-Office allerdings zu Veränderungen bei den Distanzen zwischen Wohnung und Arbeitsplatz führen, weil die räumliche Nähe weniger wichtig wird und günstigerer Wohnraum weit außerhalb der Metropolen genutzt werden. Die Effekte, die das wiederum auf die Emissionen im Verkehrsbereich hätte, lassen sich gegenwärtig noch nicht belastbar abschätzen. Bei komplexeren Anwendungen als normaler Videokonferenztechnik – beispielsweise 3D-Visualisierungen und Simulationen in Echtzeit – entsteht zudem ein wesentlich höherer Energieverbrauch, schon bei Programmierung und Training (bei lernenden Systemen) der Anwendungen. Solange Energie nicht per se aus nachhaltigen Quellen kommt, müsste auch das in der Gesamtbilanz berücksichtigt werden. Bisher sind digitale Technologien – jedenfalls im Verbraucherbereich – aber nicht auf Effizienz ausgerichtet, sondern auf die Qualität des Angebots.

Digitale Technologien können aber fraglos in vielen Bereichen Game Changer sein, wenn sie richtig eingesetzt werden. Eine Studie von PWC in Zusammenarbeit mit dem Weltwirtschaftsforum schreibt Künstlicher Intelligenz unter den neuen Technologien das höchste Potenzial zur Bekämpfung des Klimawandels zu. Gleichzeitig kommt sie zu dem Schluss, dass das wirtschaftliche Potenzial von KI im Jahr 2030 bei 15,7 Milliarden US-Dollar liegen wird. Ein Beispiel von vielen sind intelligente Stromnetze, bei denen die Datennutzung und der Einsatz von KI es ermöglichen, Erzeugung und Verbrauch zusammenzudenken und die Ressourcennutzung erheblich zu optimieren (siehe Seite 109f.). Die konsequente Berücksichtigung der Energieeffizienz und sonstiger Nachhaltigkeitsaspekte (z.B. Recyclingfähigkeit) bei der Entwicklung neuer Produkte kann ein Wettbewerbsvorteil für Bayern und Deutschland sein. Das gilt auch für die Lösung hierzulande eher seltener Probleme wie Systeme zur Waldbrandfrüherkennung, die einen enormen Effekt auf das Klima haben können. Mit solchen essenziellen, eindeutig exportfähigen Beiträgen könnte Bayern einen besonders großen Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels leisten.

### Beitrag zur weltweiten Emissionsreduzierung durch Digitalisierung: Beispiel Waldbrandfrüherkennung

Synthese aus Digitalisierung, Raumfahrt und Mobilität Wald- und Torfbrände tragen wesentlich zum weltweiten CO<sub>2</sub> Ausstoß bei. Technologien zur automatisierten Früherkennung können daher einen bedeutenden Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels leisten. Unternehmen und Institutionen aus Deutschland und Bayern arbeiten derzeit an vielversprechenden Lösungen für ein effizientes Monitoring, darunter die folgenden:

- FireBIRD-Satellitensystem des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR)
- Verfahren zur Kartierung von Torfflächen und zur Berechnung der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Satellitendaten von Remote Sensing Solutions (RSS)
- Satellitentechnik zur Früherkennung von Feuern von OroraTech (Spinn-off der Technischen Universität München).

Besonders erfolversprechend scheint dabei der Einsatz von senkrecht startenden und landenden, vollautonomen „Flächendrohnen“ mit großer Reichweite (bis ca. 1.000 km) zu sein, ausgestattet mit Wärmebild- und Multispektralkameras. Deren detaillierte Informationen können dann wiederum den – künftig ebenfalls autonomen – Einsatz von Löschflugzeugen (idealerweise STOL, vgl. Leuchtturmtechnologie elektrisches und hybrides Fliegen, Seite 132f.) und Löschfahrzeugen steuern (helfen). Intelligente vernetzte Mobilität (Weltraum, Luft, Boden) ist hier das Gebot der Stunde.

Aufgrund der extremen Skalierbarkeit kann eine einzelne stark nachgefragte Anwendung weltweit massive Auswirkungen auf Energieverbrauch, Emissionen und auch Ressourcenverbrauch für die Endgeräte und deren Komponenten haben: positiv und negativ. Auch das unterstreicht den großen Handlungsbedarf. Neue Ansätze müssen weitsichtig und nachhaltig sein, Umwelttechnologie aus Bayern im Hinblick auf globale Herausforderungen entwickelt und in die Welt exportiert werden.

Um die Potenziale der Digitalisierung für den Klimaschutz zu heben, muss jedenfalls an den folgenden Stellen angesetzt werden:

- Einsatz von künstlicher Intelligenz (auch) für Klimaschutz deutlich stärken. Die Analyse des Einsatzes fortgeschrittener Digitalisierungstechnologien in den Klimaschutztechnologien (siehe Seite 50 ff.) hat gezeigt, dass wir hier eine unterdurchschnittliche Durchdringung aufweisen. Das können wir uns auf Dauer nicht leisten und müssen einen Aufholprozess starten, um nicht von der internationalen Konkurrenz abhängig zu sein, zumal sowohl die ökologischen als auch die ökonomischen Potenziale immens sind. Alle staatlichen Programme sind auf diesen Aspekt noch einmal zu überprüfen und bei Bedarf gezielt aufzustocken. Ähnliches gilt für den Bereich des Cloud Computing.
- Tiefergehende Analyse des CO<sub>2</sub>-Footprints verschiedener digitaler Technologien und Anwendungen; dazu Entwicklung von Digitalen Twins möglichst vieler Produkte, um deren Klimawirksamkeit zu quantifizieren (gute Datenbasis als Voraussetzung). Derzeit liegt der Fokus noch auf dem „Digital Twin of Performance“, um die tatsächliche Leistung eines Produkts oder Systems zu modellieren. Hinzu kommt vermehrt der „Digital Twin of Cost“, welcher die Frage nach den Lebenszykluskosten beantwortet. Künftig brauchen wir mit dem „Digital Twin of Carbon“ einen weiteren digitalen Zwilling. Dabei ist es notwendig, den gesamten Lebenszyklus zu betrachten und auch die Nutzung durch den Konsumenten in verschiedenen Anwendungsszenarien zu berücksichtigen.
- Differenziertes Verständnis für die Klimawirkungen der Digitalisierung

schaffen: CO<sub>2</sub> wird nicht am Ort der Verwendung ausgestoßen. Außerdem führt gerade die begrenzte Lebensdauer der Hardware zu erheblichen Emissionen.

- Die Rolle digitaler Plattformen für den Klimaschutz muss genauer beleuchtet werden. Während einzelne Aspekte wie der über Online-Marktplätze organisierte Handel im Ergebnis möglicherweise sogar eher zu höheren Emissionen führen (siehe Seite 60 ff.) ermöglichen es Plattformen andererseits, Prozesse zu optimieren (Beispiel Mobilitätsplattformen), Zusammenarbeit zu organisieren, Best-Practice-Beispiele zu verbreiten, Forschung zu unterstützen und vieles mehr. Auch weltweite Initiativen für den Klimaschutz und niedrigschwellige Möglichkeiten (beispielsweise über freiwillige Kompensationsmaßnahmen in Entwicklungsländern) wären ohne digitale Plattformen kaum denkbar.
- Forschung und Entwicklung stärker auf Green IT und Green AI ausrichten, unter anderem mit Leuchtturmprojekten (vgl. auch *TechCheck 2019. Technologien für den Menschen*), Missionen im Rahmen der Agentur für Sprunginnovationen SPRIND, Leitprojekten auf der EU-Ebene etc. Ziel muss es sein, dass der Einsatz von KI sich in einer Gesamtbilanz (deutlich) positiv auf die Emissionen auswirkt. Auch Forschung und Entwicklung von effizienten Algorithmen, effizienter Elektronik sowie neuartigen hocheffizienten Chip- und Prozessorarchitekturen ist notwendig, um damit komplexe Berechnungen effizienter durchzuführen und unter anderem die Akkulaufzeiten (und damit den entsprechenden Verschleiß) verringern zu können. Auf der EU-Ebene müssen dazu der Green Deal und die Digitale Agenda

deutlich stärker miteinander verzahnt werden, um die Innovationsförderung gezielt in diese Richtung zu lenken und KI strategisch für die nachhaltige Transformation zu nutzen.

- Sustainability by Design als neuen Ansatz in der Programmierung etablieren und generell für die IT in „Alltagssystemen“. Ein freiwilliges Labeling ist eine gute Möglichkeit, wenn die Datengrundlage gegeben ist. Wichtig ist eine Verständigung auf einen einheitlichen Nachweis; Parallelentwicklungen sollten vermieden werden.
- Recyclingmöglichkeiten, insbesondere von Elektronik, als weitere Dimension bei

der Entwicklung berücksichtigen; Anreizsysteme für ein recyclingfreundliches Design schaffen.

- Damit beispielsweise Smart Energy in der Breite genutzt werden kann, muss unter anderem die Verfügbarkeit von Daten deutlich verbessert werden. Für den Staat sollte Open (Government) Data – d. h. die Bereitstellung der mit öffentlichen Mitteln erhobenen Daten über geeignete Schnittstellen – zur Selbstverständlichkeit werden. Beim Bürger muss mit transparenten, einfachen und vertrauenswürdigen Lösungen für eine höhere Bereitschaft zur Datenbereitstellung geworben werden.

### Fallbeispiel: Fahrzeug vs. Systemdienstleistungen (Verkehrseffizienz, Verkehrslenkung etc.)

Die Studie zeigt bei der Positionierung bayerischer und deutscher Unternehmen im Bereich der Weltklassepatente große Unterschiede: herausragend bei effizienten Verbrennungsantrieben, gut bei Elektromobilität, ausbaufähig bei den datengetriebenen Angeboten. Der Grad der digitalen Durchdringung ist bei den Mobilitätstechnologien (z. B. Verkehrseffizienz) auffallend niedrig. Das gilt auch, wenn man digitale Einzeltechnologien betrachtet, so insbesondere bei der Durchdringung mit Künstlicher Intelligenz.

Deutsche Unternehmen sind später in neue, digital getriebene Märkte eingestiegen und haben von daher einen gewissen Rückstand, insbesondere auf amerikanische Anbieter. Zudem arbeiten deutsche Unternehmen tendenziell mehr an den „Einzelteilen“ (Sensoren etc.) als am Gesamtverkehrssystem. Zu beobachten ist eine fahrergetriebene Sichtweise deutscher Automobilunternehmen (auch im Bereich des automatisierten Fahrens noch mit dem Fokus auf Platooning), während die mobilitätsorientierte Sicht der amerikanischen Anbieter von großen Datenmengen, Kommunikations- und IT-Aspekten geprägt ist.

Das Beispiel illustriert, wie wichtig eine konsequente Fokussierung auf digitale Technologien und die damit verbundenen Möglichkeiten ist. Was konkret im Bereich der Automobilindustrie zu tun ist, hat der Zukunftsrat in seinen Empfehlungen zur Zukunft der bayerischen Automobilindustrie von Dezember 2017 formuliert. Trotz der zwischenzeitlich beschlossenen Maßnahmen auf Bundes- und Landesebene haben sie praktisch nicht an Aktualität verloren. Gerade für das hochautomatisierte und autonome Fahren muss die Regulierung den Weg ebnen.

Die bereits im Rahmen des bayerischen Automobildialogs beschlossenen Projekte im Bereich Verkehrssteuerung bzw. intelligente Mobilität müssen jetzt zügig umgesetzt und durch weitere Vorhaben auch auf nationaler Ebene ergänzt werden, unter gezielter Einbindung auch anderer Verkehrsträger. Hier geht es einerseits um die Stärkung der datengetriebenen Ansätze, um auch hier eine führende Stellung zu erlangen, andererseits können aber über Effekte wie eine Reduzierung des Parkplatzsuchverkehrs oder eine effizientere Signalsteuerung schnelle Emissionsminderungen erzielt werden, die zugleich auf hohe Akzeptanz stoßen.

### Challenge 3

Bayern erstellt den ersten landesweiten „Fahrplan“ für eine KI-gestützte Mobilität, die moderne Verkehrsleitsysteme, die durchgängige Verknüpfung verschiedener Verkehrssysteme und die Möglichkeiten des autonomen Fahrens, des Einsatzes von Transportdrohnen und sonstiger Flugsysteme einschließt. Erster Schritt ist die im Hinblick auf alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit optimierte Versorgung einer kompletten Region (zum Beispiel eines Landkreises im ländlichen Raum) unter Einsatz neuer Technologien, bei Bedarf in einer Ausgestaltung als Reallabor, also mit der notwendigen Flexibilität beim regulativen Rahmen.

### Challenge 4

Entwicklung einer vollautomatisierten Lösung für das Recycling von Smartphones oder elektronischen Platinen.

### Challenge 5

Digital Twin des kompletten Campus Garching entwickeln.

## Querschnittsbereich Energie

Der Weg in eine klimaneutrale Zukunft ist nicht ohne eine Energiewende denkbar, mit der über eine intelligente Verzahnung von Erzeugung und Verbrauch eine sichere und bezahlbare Versorgung mit Strom (und Wärme) aus regenerativen Energien gewährleistet wird. Es ist daher kein Zufall, dass eine Vielzahl der bayerischen Leuchtturmtechnologien für den Klimaschutz (siehe unten) Elemente der Energiewirtschaft adressieren: von Photovoltaik-Technologien über Energieeffizienz im Gebäudebereich bis hin zu den notwendigen Transportnetzen. Ein Schlüsselfaktor ist auch hier die digitale Transformation.

### Digitalisierung in der Energiewirtschaft/ Beispiel intelligente Stromnetze

Intelligente Stromnetze (Smart Grids) sind eine Schlüsseltechnologie zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen. Sie verknüpfen Stromerzeugung, -verbrauch und -speicherung durch Einsatz von Digitalisierungstechnologien miteinander. Das spielt gerade für die angestrebte Sektorenkopplung eine Schlüsselrolle.

Die Potenziale sind also groß, die Umsetzung ist aber noch nicht weit vorangeschritten – bisher gibt es vor allem eine Reihe von Pilotvorhaben. Bayern muss in diesem Bereich eine Vorreiterrolle anstreben und aktiv an der Erarbeitung der notwendigen Standards, vor allem aber an den notwendigen Reformen in der Regulierung der Energiesysteme, mitwirken. Die Patentanalyse zeigt, dass Schwerpunkte bisher vor allem im Bereich Prozessautomatisierung liegen, die in Bayern deutlich stärker ausgeprägt ist als im globalen Durchschnitt. Von besonderer Bedeutung ist die Hochverfügbarkeit der Stromnetze, auch im Hinblick auf wachsende Lastungleichgewichte im Netz, Cyberattacken oder Extremwittersituationen. Diese kann u.a. mit KI- und Cybersecurity-Technologien sichergestellt werden. Die Cloud-Technologie spielt hier ebenfalls eine wichtige Rolle und ist in Bayern überdurchschnittlich positioniert. Auffällig ist allerdings die geringere Ausprägung der künstlichen Intelligenz in Bayern. Daraus ergeben sich konkrete Anknüpfungspunkte für die nächsten Projekte und Programme.

Die Digitalisierung der Energiewirtschaft muss einen klaren Schwerpunkt in der staatlichen Förderung bekommen. Zentrale Elemente sind eine genaue Erfassung des Netzzustands in Echtzeit und darauf aufbauend eine Echtzeitsteuerung sowie bessere Vorhersagen mit Künstlicher Intelligenz und Big-Data-Methoden, auch für die weiteren Planungen im Energiebereich. Um privatwirtschaftliche Angebote zu ermöglichen, ist auch hier die Verwirklichung des Open-(Government)-Data-Ansatzes eine wesentliche Voraussetzung.

#### Weitere wichtige Ansätze für das Energiesystem sind

- Ein mutiges und nachhaltiges Energiewende-Konjunkturprogramm für den Aufbau von industriellen Kompetenzen am Standort für Photovoltaik, Wind, Batteriespeicher sowie die Wasserstoffwirtschaft (siehe auch Seite 111),
- Kontinuierliche Weiterentwicklung aller relevanten Technologien zur Wandlung, Speicherung, Verteilung, Nutzung und Systemintegration erneuerbarer Energien; Förderung der Kombination von Solar, PV, Wärmepumpe, Elektro- und/oder Wärmespeicher (Sektorenkopplung),
- Ambitionierte Neuregulierung des Energiesektors auf Grundlage von Sektorenkopplung, Digitalisierung und Automatisierung,
- Förderung von Technologien für negative Emissionen,
- Entwicklung einheitlicher Kommunikationsstandards für das (digitale) Energiesystem der Zukunft.

Weiterer dringender Handlungsbedarf im Energiesektor ist unter anderem in den Handlungsempfehlungen *TechCheck 2019. Technologien für den Menschen* skizziert. Dazu zählen in jedem Fall ein massiver – zeitnah marktwirtschaftlich organisierter – Ausbau von EE-Anlagen und Netzen sowie die Schaffung der infrastrukturellen Voraussetzungen für die Digitalisierung, etwa der Rollout von Smart Meters und Smart Gateways. Auch die Digitalisierung der Planung im Energiebereich ist voranzutreiben. Mit Hilfe digitaler Technologien muss endlich das energiepolitische Gesamtkonzept erstellt werden, das die Energiewende von Anfang an gebraucht hätte.

#### Wasserstoffwirtschaft aufbauen

In den Kontext Energiewirtschaft gehört auch der Aufbau einer Wasserstoffindustrie. Es ist mittlerweile praktisch allgemeine Meinung, dass – jedenfalls in der mittel- bis langfristigen Perspektive sogenannter „grüner“, also aus Erneuerbaren Energien erzeugter – Wasserstoff in der Dekarbonisierung der Wirtschaft eine wichtige Rolle spielen wird.

Auch wenn Wasserstoff im Gigawatt (GW)-Maßstab erst in etwa fünf bis zehn Jahren relevant wird, müssen bereits jetzt Infrastruktur sowie Forschung und Entwicklung vorangetrieben werden. Grüner Wasserstoff bietet eine richtungsweisende, industriepolitische Komponente: als Rohstoff für die Industrie, Treibstoff im Verkehr, für die Gebäudewärme. H<sub>2</sub> bietet dem deutschen Stromnetz eine ganzheitliche Flexibilitätsoption – auch als Kerntechnologie der Energiewende für den internationalen Exportmarkt. Erst die Generierung von Vorreitermärkten ebnet den Weg für das notwendige Wachstum entlang der Wertschöpfungsketten.

Eine erfolgreiche Marktdurchdringung im globalen Erneuerbaren Energien-Handel erfordert die Etablierung eines GW-Marktes bis 2030 – Zulieferketten und den Aufbau einer wettbewerbsfähigen Elektrolyse-Industrie eingeschlossen. Für Deutschland allein kann von einem Ausbau der installierten Kapazität der Elektrolyse-Leistung von 50 bis 80 GW für das Jahr 2050 ausgegangen werden. Prämisse ist eine H<sub>2</sub>-Herstellung zu international konkurrenzfähigen Kosten. Auf Basis der Abschätzungen zur global installierten Elektrolyse-Kapazität von 3.000 GW in 2050 wird die Wertschöp-

fung für deutsche Hersteller bei Elektrolyse und Brennstoffzellen auf etwa 32 Milliarden Euro geschätzt. Einheitliche H<sub>2</sub>-Standards und Normen sind maßgebliche Voraussetzung.

Heute liegt der Bedarf alleine in der deutschen chemischen Industrie bei etwas mehr als einer Million Tonnen pro Jahr. Damit werden Basischemikalien produziert, die ihrerseits Ausgangspunkt wichtiger chemischer Wertschöpfungsketten sind, um beispielsweise Lebensmittel haltbar zu machen, Arzneistoffe zu produzieren, Rauchgase zu reinigen oder klimafreundliche Kältemittel herzustellen. Ab etwa dem Jahr 2040 wird sich dieser Bedarf massiv erhöhen: bis auf fast sieben Millionen Tonnen im Jahr 2050 (wenn zu diesem Zeitpunkt Treibhausgasneutralität erreicht werden soll). Der wachsende Bedarf entsteht durch den Ersatz erdölbasierter Rohstoffe. Die Stahlbranche rechnet mit rund 1,8 Millionen Tonnen im Jahr 2050, vor allem zur Ersetzung von Koks. Um alleine diese Mengen bereitstellen zu können, müssen in großem Stil Erneuerbare Energien, Anlagen für die Wasserstoffherzeugung und Transportleitungen aufgebaut werden. Alle weiteren denkbaren Anwendungen beispielsweise im Verkehrssektor (synthetische Kraftstoffe, Brennstoffzelle) kommen noch hinzu. Die Möglichkeit einer wirtschaftlichen Erzeugung von Wasserstoff, insbesondere von „grünem“, sind stark von weiteren Rahmenbedingungen wie insbesondere Regulierungsfragen und Strombeziehungsweise CO<sub>2</sub>-Preisen abhängig.

Für Planung und Ausbau der Infrastruktur muss eine Roadmap erstellt werden, die auf einer sektorübergreifenden Bedarfsanalyse basiert und auf eine Verbindung von Erzeugungs- und Verbrauchsschwerpunkten abzielt. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass der Einsatz von Wasserstoff nicht in allen Sektoren zum gleichen Zeitpunkt relevant wird beziehungsweise umgesetzt werden kann: Im Verkehrsbereich kann das früher der Fall sein als in der chemischen Industrie zusätzlicher Wasserstoff beziehungsweise grüner Wasserstoff erforderlich wird. Kann mit einer integrierten Planung eine Art gleitender Übergang erreicht werden, würde das Risiko verlornen Investitionen und Verteilungskonflikte um Wasserstoff deutlich reduziert.

Zusätzlich ist der Aufbau einer nationalen Forschungsplattform Brennstoffzellen- und Elektrolyseur-Produktion ein richtiger Schritt, um die Prozesskompetenzen am Standort weiter auszubauen, Wasserstofftechnologien international wettbewerbsfähig zu machen und die Basis für einen künftig auch auf den Export von entsprechenden Anlagen und Systemen ausgerichteten Industriezweig zu legen.

Neben der gezielten Förderung von F+E müssen die notwendigen Investitionen getätigt und Rahmenbedingungen geschaffen werden, um Erzeugungskosten zu reduzieren, die Langlebigkeit der Produkte zu erhöhen und die Speicherung und ökonomische Nutzung von Wasserstoff in der Industrie etwa durch Investitionssicherheit (siehe auch Seite 92 Carbon Contracts for Difference) zu ermöglichen. Die im Rahmen der nationalen Wasserstoffstrategie vorgesehenen Maßnahmen und Mittel in Höhe von neun Milliarden Euro sind ein wichtiger Schritt; die notwendigen Mittel auch für die Offshore- und Onshore-Energiegewinnung und den Aufbau außenwirtschaftlicher Partnerschaften müssen beginnend ab 2021 konsequent in den Haushalt eingestellt werden. Bayern hat bereits engagiert mit der Umsetzung seiner Wasserstoffstrategie begonnen, z. B. durch die Gründung des Zentrums Wasserstoff.Bayern (H2.B), die Initiierung eines bayerischen Wasserstoffbündnisses mit aktuell über 100 Partnern, einer breiten Forschungsoffene Wasserstoff sowie einem bayerischen Wasserstoff-Tankstellen-Förderprogramm. Diese Initiativen müssen entschlossen fortgesetzt werden.

### Gesundheit (auch) im Klima-Kontext ganzheitlich denken

Im Kontext Klimaschutz ist Gesundheit in mehrfacher Hinsicht relevant:

- Die Folgen des Klimawandels haben Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die auch, abgesehen von direkten Schäden durch Katastropheneignisse wie Brände, bei Weitem noch nicht vollständig erforscht sind (z. B. Effekte einer veränderten Vegetation). Das gilt erst recht für die – im Einzelfall möglicherweise auch positiven – Auswirkungen von Klimaschutzmaßnahmen (z. B. Anpassung von Ernährungsgewohnheiten, psychische Auswirkungen der Veränderungsprozesse). Insgesamt kann auf Basis der bisherigen Erkenntnisse angesichts der absehbaren nachteiligen Folgen des Klimawandels davon ausgegangen werden, dass Klimaschutz zugleich auch Gesundheitsschutz ist und Vorsorge im Ergebnis wesentlich effizienter und effektiver wirkt als Anpassung und Umgang mit den Folgen. Auch um die gesellschaftliche Akzeptanz von Klimaschutzmaßnahmen zu fördern, bedarf das aber noch einer deutlichen Vertiefung. Notwendig sind Analysen, die klar über eine normale epidemiologische Betrachtung hinausgehen: Es muss als erster Schritt eine echte Grundlagenstudie unter Beteiligung verschiedener Disziplinen erstellt werden.
- Was zum Schutz der Gesundheit unternommen wird, bleibt umgekehrt nicht ohne Folgen für die Emissionen. Auch hier fehlt es oftmals noch an ausreichend belastbaren Erkenntnissen; ein Beispiel ist die Frage, wie eine gesunde Ernährung und der eigene CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zusammenhängen. Dieses Wissen ist ebenfalls notwendig, um darüber zielgerichtet informieren zu können, als Basis für tatsächlich nachhaltiges Handeln des Einzelnen. Vergleichsweise gut messbar sind dagegen die hauptsächlich energiebezogenen Emissionen des Gesundheitssektors selbst, die in der globalen Betrachtung auf vier bis sechs Prozent der Gesamtemissionen beziffert werden. Nachdem von einem weiteren Wachstum des Gesundheitssektors ausgegangen werden kann (vgl. *Gesundheit und Medizin – Herausforderungen und Chancen, 2018*), müssen auch in diesem Bereich Effizienzfragen eine besondere Rolle spielen. Das gilt nicht nur für den Betrieb von Krankenhäusern oder die Produktion von Medizinprodukten, sondern auch für die massenhafte Herstellung von Verbrauchsmaterial und die damit verbundene Lagerung und Logistik, wie sie gerade im Rahmen der Pandemie-Bekämpfung eine große Rolle spielen. Stärker zu berücksichtigen ist hier zum Beispiel die Frage Einweg vs. Mehrweg, beispielsweise bei der Schutzausrüstung.

- Neue Technologien, auf die wir künftig noch stärker setzen müssen, rufen vielfach die Sorge hervor, nachteilige gesundheitliche Auswirkungen mit sich zu bringen. Aus den hier untersuchten Technologien können beispielhaft HGÜ-Leitungen (zum Beispiel Furcht vor Strahlung) oder die CO<sub>2</sub>-Speicherung (zum Beispiel Angst vor Grundwassergefährdung durch etwaige Leckagen) genannt werden. Bei diesen Einzelfragen liegen vielfach gute Erkenntnisse zum tatsächlichen Risiko beziehungsweise zu den für eine Minimierung zu treffenden Maßnahmen vor, die es deutlich besser zu kommunizieren und bei der Umsetzung zu berücksichtigen gilt. Trotzdem bleibt Begleitforschung notwendig.

Wegen des grundsätzlich für die zukunftsfähige Ausrichtung des Gesundheitssystems notwendigen Vorgehens kann auf die Handlungsempfehlungen *Gesundheit und Medizin – Herausforderungen und Chancen von 2018* verwiesen werden. In den Handlungsempfehlungen *Resilienz – Schlussfolgerungen aus der Corona-Pandemie* sind die Notwendigkeiten einer wesentlich besseren Datennutzung, eines intensiveren Wissensaustauschs und einer interdisziplinären Herangehensweise verdeutlicht (siehe auch Seite 80 zur Wissensbasis); all das gilt in gleichem Maße auch für gesundheitliche Fragen im Klima-Kontext. Wichtige Stichworte sind Gesundheitsökonomie, Public Health und eine bessere Erforschung des Zusammenhangs zwischen Gesundheit und Umwelt (vgl. auch den Steckbrief zu Anpassungstechnologien in der Gesundheitsvorsorge). Die Kompetenzen müssen jetzt schnellstmöglich gebündelt und bestehendes Silo-Denken überwunden werden.

Zentral ist in jedem Fall, dass eine intelligente Vorsorge nicht bedeutet, gesundheitliche Risiken auf null zu reduzieren, was unmöglich wäre, und dass das jeweils akzeptable Risiko einschließlich der damit verbundenen Kosten und Einschränkungen immer wieder Gegenstand von Aushandlungsprozessen unter den relevanten Stakeholdern sein muss, um ausbalancierte Lösungen zu finden. Auch diese Diskussion kann nur auf einer (verbesserten) Faktenbasis erfolgen. Beschlossene Maßnahmen müssen standardmäßig einer ebenso wissenschaftlich fundierten Erfolgskontrolle unterliegen. Auch eine gesellschaftliche Diskussion über den angemessenen beziehungsweise erträglichen Maßstab, die akzeptablen Spielräume und das anzustrebende Ziel muss geführt werden. Dazu können auch die im Rahmen der Bekämpfung der Corona-Pandemie getroffenen Maßnahmen und deren Auswirkungen als Grundlage dienen, wenn eine entsprechende Evaluierung vorgenommen ist.

Angesichts der weltweiten Folgen des Klimawandels muss in der Forschung und Entwicklung besonders darauf geachtet werden, möglichst

kostengünstige Ansätze zu ermitteln, die vergleichsweise einfach auch in Schwellen- und Entwicklungsländern umgesetzt werden können. Gesundheitliche Risiken und Klimaschutz können beispielsweise auch mit Maßnahmen verbessert werden, die auf den ersten Blick nicht dem Bereich der Gesundheitsvorsorge zugeordnet würden, zum Beispiel Verbesserungen bei den Kochstellen. Daneben bieten sich allerdings in den Metropolen weltweit große Absatzchancen für Technologien, die in Wohn- und Bürogebäuden zum Einsatz kommen können.

### Verfügbarkeit von sauberem Wasser

Der Zugang zu Trinkwasser und zu sauberem Wasser für die Landwirtschaft ist essentiell für Gesundheit und Ernährung einer wachsenden Bevölkerung. Die Verfügbarkeit von Trinkwasser ist auf der Welt sehr ungleich verteilt. Man schätzt, dass etwa rund 2,2 Mrd. Menschen keinen Zugang zu verlässlichen Trinkwasserressourcen haben. Laut dem jüngsten Weltwasserbericht der Vereinten Nationen steigt der weltweite Bedarf an Trinkwasser jährlich um rund ein Prozent und hat sich im Verlauf der letzten hundert Jahre versechsfacht (Wasser und Klimawandel, UN 2020). Extremereignisse können auch die Lieferketten, die Versorgung mit Rohstoffen und die Produktion unterbrechen. Die Niedrigwasserereignisse am Rhein in der jüngeren Zeit waren insoweit nur ein erster Vorgeschmack.

Mit dem Klimawandel entstehen in vielen Regionen der Welt neue Herausforderungen, beispielsweise durch verminderte Selbstreinigungsfähigkeit von Gewässern bei höheren Wassertemperaturen, längere Trockenzeiten oder Verunreinigungen aufgrund von Überschwemmungen. Technologien, die dieses Problem adressieren (Wasserwiederverwendung, -aufbereitung, -entsalzung, aber zum Beispiel auch flut- und dürreresistente Pflanzensorten, Vorhersage- und Frühwarnsysteme etc.), spielen eine wichtige Rolle im Rahmen der Anpassungstechnologien. Bei der Gewinnung von Trinkwasser aus Meerwasser konzentriert man sich weltweit hauptsächlich auf zwei Verfahren, nämlich das thermische Verfahren von Destillation und Verdampfung sowie das Verfahren mit Membranen wie die Umkehrosmose. Beide Verfahren haben den Nachteil, dass sie nur mit einem sehr hohen Energieaufwand zu betreiben sind. Zum Beispiel liegt bei der Umkehrosmose der Energieverbrauch zwischen vier bis fünf kWh pro 1.000 Liter Trinkwasser. Solch hohe Energieaufwände sollten soweit wie möglich aus Erneuerbaren Energien gewonnen werden, ansonsten erhöhen sie unweigerlich den Ausstoß an Kohlendioxid. So verstärkt sich wiederum der Klimawandel und damit das Problem, das den Wassermangel mit verursacht.

Umgekehrt setzen Klimaschutztechnologien die Verfügbarkeit von Wasser voraus, beispielsweise die Wasserstofftechnologien. Auch die Stromversorgung kommt insgesamt nicht ohne Wasser aus, wobei beispielsweise Dünnschicht-Solarmodule einen sehr geringen Lebenszykluswasserverbrauch haben, der unter anderem mit der Mehrfachverwendung von Wasser im Herstellungsprozess weiter gesenkt werden kann. Werden solche Anlagen zur Entsalzung eingesetzt, können zusätzliche Wasserressourcen freigesetzt und gleichzeitig eine ausgewogene Treibhausgasbilanz gewährleistet werden. Letztlich muss also bei den Klimaschutztechnologien auch die Wasserbilanz in die notwendige Gesamtbetrachtung (siehe Seite 99ff.) eingestellt werden. Wenn die Produktion von stromerzeugenden Einheiten oder Wasserstoff dort erfolgt, wo ausreichend Wasser verfügbar ist, sind selbstverständlich auch die Transporte zu berücksichtigen.

Klimaschutz und Wasserressourcenmanagement müssen noch stärker verknüpft werden, Wasserprojekte im Rahmen von Klimaschutz- und Klimaanpassungsprogrammen künftig höher dotiert werden.

### Landbewirtschaftung und Ernährungsgrundlagen

Die fortschreitende Klimaveränderung zieht wesentliche Ökosystemleistungen in Mitleidenschaft, vor allem die Kohlenstoff-Speicherung und das Wachstum gesunder Bäume und Feldfrüchte. Besonders sichtbar wird dies bei den langanhaltenden Dürreperioden mit ihren negativen Einflüssen auf die land- und forstwirtschaftliche Produktion und für den gesamten Wasserhaushalt. Auf diesem Feld ist auch im Inland der Einsatz technologischer Lösungen sowohl für mehr Ressourceneffizienz als auch für die Anpassung an sich bereits wandelnde Umweltbedingungen unabdingbar. Verschiedene Projekte laufen bereits, unter anderem im Rahmen des

Die heutigen Verfahren für die Meerwasserentsalzung stoßen an technische und infrastrukturelle Grenzen. Zurzeit gewinnen weltweit rund 16.000 Anlagen Trinkwasser aus Meerwasser und produzieren dabei rund ein Prozent des weltweiten Bedarfs. Um den wachsenden Bedarf zu befriedigen, müssten jedes Jahr ungefähr noch einmal so viele Anlagen zugebaut werden.

Es besteht dringender Forschungs- und Entwicklungsbedarf an neuen Technologien zur Entsalzung von Meer- oder Brackwasser und zur Reinigung von Abwässern zur Gewinnung von Trinkwasser, die mit weniger Energieeinsatz und besserem Wirkungsgrad funktionieren. In diesem Bereich können Deutschland und Bayern einen lokal wie global äußerst relevanten Beitrag leisten und gleichzeitig große Marktchancen erschließen. Einen wichtigen Anteil haben digitale Technologien, etwa die Analyse satellitengestützter Datenquellen für die Beobachtung und Vorhersage großräumiger Entwicklungen und Simulationen für die Umsetzung in regionale Modelle und Maßnahmen, vor allem aber auch bei der Bekämpfung von Wasserverschwendung.

Wasserpakts zwischen landwirtschaftlichen Organisationen und Bayerischer Staatsregierung von 2017. Die sich verschärfende Situation in den vergangenen Dürrejahre hat gezeigt, dass diese Technologien schneller in die Breite getragen werden müssen und zusätzliche technologische Innovationen erforderlich sind, um auch künftig erfolgreich Landwirtschaft am Standort betreiben zu können. Dazu empfehlen sich sowohl eine Aufstockung der Forschungsmittel als auch Förderprogramme für die Umstellung in den Betrieben und eine bessere branchenübergreifende Vernetzung, um Synergien zu nutzen (z. B. Digitalisierung, Sensorik, neue Materialien etc.).

Der Freistaat Bayern ist bei allen seinen Leistungen in den modernen Hochtechnologien nach wie vor ein agrarisch geprägtes Land: Mehr als 100.000 Agrarbetriebe bewirtschaften, kleinteilig strukturiert, etwa 45 Prozent der Landesfläche. Gleichzeitig verfügt Bayern mit dem Standort Freising-Weihenstephan über einen Lehr- und Forschungsstandort, der in jüngerer Vergangenheit nicht zuletzt unter klimapolitischen Gesichtspunkten grundlegend modernisiert wurde und jetzt für die digitalen Technologien anschlussfähig ist.

Nächster Schritt sollte der rasche Aufbau eines landesweiten Forschungsnetzwerks sein, das mit der land- und forstwirtschaftlichen Praxis, den einschlägigen Landesanstalten und Fachbehörden sowie der bayerischen Umweltwissenschaft und -politik zusammengeschlossen ist und in transdisziplinärer Forschung zwischen den Natur-, Ingenieur-, Lebens- und Sozialwissenschaften Maßnahmen ansteuert, die bereits in wenigen Jahren wirksam sein können. Dazu gehören unter dem Generalmotto einer ökologisch intensivierten Land- und Forstwirtschaft insbesondere:

- Trockenstressresistente Nutzpflanzen
- Alternative Baum- und Ackerpflanzenarten
- Neue, integrierte Landnutzungssysteme (Agroforstwirtschaft)
- Digitalgestützte Landnutzungsmethoden (Smart Farming, Precision Farming); gemeinsam mit Partnern aus der Industrie müssen Forschung und Entwicklung zu innovativer Sensorik und Diagnostik und zur Automatisierung der Produktionssysteme aufgesetzt werden.
- Direkte Vernetzung von Agrarsensorik per Satellitenkommunikation
- Strategien zur Vermeidung von Lebensmittelverlusten und zur Optimierung der Logistik
- Indoor Vertical Farming
- Alternative, insbesondere pflanzliche, Proteinquellen für die Human- und Tierernährung
- Produktion und Nutzung biogener Rohstoffe
- Bioökonomische Stoffkreisläufe in der landwirtschaftlichen und industriellen Produktion (Schwerpunkt Bioökonomik in Straubing) sowie in den Bereichen Lebensmittel und Konsumgüter

Die Wertschöpfungsketten müssen ganzheitlich betrachtet werden. Datensilos und Datenbanken der verschiedenen Akteure in der Wertschöpfungskette gilt es unter Wahrung von Datenschutz und berechtigten Geschäftsinteressen zusammenzuführen.

Die Transparenz in der Wertschöpfungskette sollte insbesondere durch den Einsatz digitaler Mittel erhöht werden, um auch hier belastbare Aussagen über den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und Möglichkeiten zu seiner Minimierung machen zu können. Eine der zu klärenden Fragen ist dabei, inwieweit „bio“ und nachhaltig im Sinne des Klimaschutzes zur Deckung gebracht werden können. Erst damit sind auch Bewertungssysteme mit Aussagekraft beispielsweise für Verbraucher denkbar, mit denen auch die derzeit noch wenig sichtbaren Kosten einer übermäßigen Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen ausgewiesen werden können (vgl. Seite 61). Parallel muss das Bewusstsein für die Bedeutung nachhaltiger Lebensmittel in der Gesellschaft gestärkt und für entsprechende Konsumententscheidungen gewonnen werden.

Das vom Freistaat Bayern mit erheblichem Aufwand geschaffene Hans Eisenmann-Forum für Agrarwissenschaften in Freising-Weißenstephan soll die genannten Themenbereiche als bayernweit verteilt positionierte Interaktionscluster führen (u. a. Straubing, Triesdorf, Kulmbach), um international wettbewerbsfähige Strukturen zu erreichen. Eine stärkere Vernetzung mit den übrigen Clustern ist anzustreben, um klimaschonende Innovationen aus der landwirtschaftlichen Forschung schneller zu kommerzialisieren und damit in die Breite zu tragen (Beispiel: Silageabdeckung auf Basis nachwachsender Rohstoffe, Alternativen zu Herbiziden), umgekehrt aber auch Know-how aus der Industrie besser verfügbar zu machen.

Empfohlen wird ein Pilotprojekt „Indoor Vertical Farming“ mit einer großdimensionierten Baumaßnahme, da dieser methodische Neuansatz eine Vielzahl relevanter Vorteile verspricht: Unabhängigkeit von Klima, Jahreszeit und Standort, reduzierter Landverbrauch, überwiegende Kreislaufnutzung des Wassers, Verzichtbarkeit auf Pestizide und Herbizide, keinen Nährstoffverlust des Bodens. Dabei muss selbstverständlich zugleich der Beitrag zum Klimaschutz evaluiert werden.

## Automobil und Mobilität

Der Verkehrssektor trägt weltweit erheblich zu den Emissionen bei. Die Einschränkung von Mobilität ist aber keine Option, wie schon das Weißbuch Verkehr der EU-Kommission von 2011 zutreffend feststellte. Eine zukunftsgerichtete Klimapolitik ist zwingend auf Technologieoffenheit und einen Politikansatz angewiesen, der insbesondere auch berücksichtigt, was tatsächlich Effekte der Technologien sind, und was auf nachfrageseitige Effekte zurückzuführen ist. Während beispielsweise in den letzten Jahren die Effizienz von Verbrennungsmotoren stetig gesteigert werden konnte, haben veränderte Kundenpräferenzen im Ergebnis zu einer Stagnation bei den Emissionen geführt. Elektromobilität erlebt – gefördert durch hohe Prämien – derzeit einen Boom, kann ihre Vorteile aber erst dann wirklich entfalten, wenn Erneuerbare Energie in ausreichendem Maß zur Verfügung steht, um im Betrieb tatsächlich „grünen“ Strom einzusetzen. Auch synthetische Kraftstoffe setzen unter anderem entsprechende Erzeugungsanlagen voraus. Mehr noch als bei den batterieelektrischen Antrieben fehlt es bei der Wasserstoffmobilität an der Infrastruktur. Diese Rahmenbedingungen müssen geschaffen werden, bevor Regulierung weiter verschärft wird (siehe Seite 72), wobei auch hier eine sorgfältige Analyse des voraussichtlichen Bedarfs (beispielsweise Anforderungen des Schwerlastverkehrs als wahrscheinlicher Nutzer von Wasserstoffinfrastrukturen) Grundlage sein muss. Das und die damit voraussichtlich verbundenen Kosten sind letztlich die Basis für eine gut fundierte gesellschaftliche Entscheidung.

Speziell im Automobilsektor kommt es darauf an, dass der europäische Binnenmarkt durch klimapolitische Maßnahmen nicht zunehmend fragmentiert wird, sondern eine zügige Marktdurchdringung alternativer Technologien gestattet. Der vielfach beschworene rasche Ausstieg aus dem klassischen Verbrennungsantrieb ist nach Überzeugung des Zukunftsrats kein realistisches Szenario, um die Klimaziele der EU mittelfristig (2025/2030) zu erreichen. Bei gegebener Technologieoffenheit kommt modernen Verbrennungsmotoren eine wichtige Übergangsrolle in der CO<sub>2</sub>-Reduktion zu; gleichzeitig muss die in einer ganzheitlichen Betrachtung jeweils beste verfügbare Technologie nutzfallspezifisch eingesetzt werden. Wegen der erforderlichen Maßnahmen kann auch hier auf die Empfehlungen zur Zukunft der bayerischen Automobilindustrie verwiesen werden.

Darüber hinaus müssen stärker noch als bisher Synergien für den Mobilitätsbereich insgesamt, aber auch industrielle Anwendungen genutzt werden (siehe auch Seite 102). Das betrifft insbesondere die weitere Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie: Sie ist als praxisnaher F+E Schwerpunkt in der Allianz von Wissenschaft und Wirtschaft so massiv zu fördern, dass Bayern den in Deutschland und Europa demnächst zu erwartenden Aktivitäten vorangeht. Dazu müssen die richtigen bisherigen Ansätze u. a. mit dem Aufbau des Zentrums Wasserstoff.Bayern in Nürnberg weiter sehr deutlich ausgebaut werden.

Trotz ihres bisher geringen Wirkungsgrads ist die Entwicklung synthetischer Kraftstoffe mithilfe erneuerbarer Energien mit Nachdruck zu erforschen. Ausgehend vom international beachteten Forschungsprojekt auf dem Ludwig Bölkow Campus Ottobrunn, sollte dabei auch die Herstellung von Flugbenzin aus Algen konsequent gefördert werden. In das vom Bund geplante Deutsche Zentrum für die Mobilität der Zukunft sollte sich der Freistaat proaktiv und mit eigenen Finanzmitteln einbringen, auch um eine wirksame Vernetzung mit anderen deutschen Standorten zu erreichen.

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Weiterentwicklung der Batterietechnik, über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. Gerade das Recycling einschließlich der Möglichkeiten zur Rückgewinnung der verwendeten Rohstoffe bietet große Potenziale.

Dringender Handlungsbedarf besteht schließlich im Bereich moderner Verkehrskonzepte („mobility as a service“ etc.). Insofern kann auf die Ausführungen oben zum Thema Fahrzeug vs. Systemdienstleistungen verwiesen werden (siehe Seite 107 f.).

### Querschnittsbereich Planen und Bauen

Infrastruktur zeichnet sich in aller Regel durch ihre besondere Langlebigkeit aus. Umso wichtiger ist es, nachhaltige Technologien jeweils in der nächsten anstehenden Investitionsphase zu implementieren, damit die Potenziale in der Betriebsphase ausgeschöpft werden können. Sehr viele der bayerischen Klimaschutz-Leuchtturmtechnologien sind mit Bauwerken verbunden, von Anpassungstechnologien im Bau über energieeffiziente Gebäudetechniken bis hin zum 3D-Druck von Bauteilen, um nur einige Beispiele zu nennen.

Ein wesentlicher Schlüssel zu mehr Nachhaltigkeit ist die durchgängige Digitalisierung. Schon in der Studie *Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung* und den darauf aufbauenden Handlungsempfehlungen von 2017 wurde gezeigt, welche Potenziale allein das Building Information Modeling (BIM) hat, und was für eine Umsetzung in der Breite zu tun ist. Darauf kann vollumfänglich verwiesen werden, zumal die Fortschritte bisher nicht allzu groß sind. Zu den wichtigsten Erfolgsfaktoren zählen wirksame Anreize für eine Betrachtung des Gesamtsystems mit allen Gewerken einerseits und die Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus andererseits.

Entscheidend ist, dass bereits in einer frühen Planungsphase der notwendige höhere Aufwand investiert wird, um sowohl die Infrastruktur selbst als auch mögliche Synergien mit verschiedenen anderen Zielen und Interessen ganzheitlich zu betrachten. Daran müssen Vergütungsstrukturen, aber auch Beteiligungsverfahren angepasst werden.

Neue staatliche Bauwerke sollten per se Demonstrationsobjekte für nachhaltiges Planen und Bauen und den Einsatz innovativer Lösungen sein. Dabei gilt es, zugleich Systeme und Prozesse zu identifizieren, die eine gewisse Skalierbarkeit ermöglichen und zu einer Beschleunigung beitragen können.

Auch der Bestand muss zeitnah ertüchtigt werden, schon um die selbst gesteckten Ziele erreichen zu können. Im ersten Schritt gehört dazu eine zeitnahe Ist-Analyse, die vielfach noch aussteht. Darauf aufbauend sollten Ideenwettbewerbe gestartet werden, die auch zu neuen Herangehensweisen ermutigen, mit dem Ziel, wirtschaftlich tragfähige Lösungen für Bestandsgebäude in privater Hand zu entwickeln. Hier gilt umso mehr, dass der Staat eine Vorbildfunktion ausüben muss (siehe Seite 86). Im Rahmen der Analyse erkannte Potenziale müssen schnellstmöglich gehoben werden (z. B. am Campus Garching, siehe Seite 108) und die Erkenntnisse darauf wiederum in die Breite getragen werden.

Akzeptanzfragen sind ein entscheidender Faktor im gesamten Infrastrukturbereich. Eine angemessene Balance zwischen Gemeinwohl und Einzelinteressen zu finden, bleibt eine Daueraufgabe. Die Nachhaltigkeit könnte das verbindende Element dafür sein. Um diese glaubhaft vermitteln zu können, bedarf es allerdings eines größeren Engagements im oben skizzierten Sinne sowie auch hier einer begleitenden Forschung.

Gerade Bauwerke können schließlich eine wesentliche Rolle in der Kreislaufwirtschaft spielen, weil hier an verschiedenen Stellen Recyclate zum Einsatz kommen können. Dazu sind verbindliche Qualitätsanforderungen und Standards festzulegen. Auf dieser Basis muss dann aber insbesondere die öffentliche Hand eine Vorbildfunktion ausüben und Recyclate tatsächlich in größtmöglichem Umfang nutzen.

### 03.2.3 Technologiespezifischer Handlungsbedarf: Leuchtturmtechnologien für Bayern

Innerhalb der insgesamt mehr als 60 in der Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen*. untersuchten Technologien gibt es einige, die in den kommenden Jahren von besonderer Relevanz für den Freistaat Bayern sein werden. In Anbetracht des eingangs skizzierten Zielbilds (siehe Seite 57) sind für die Bestimmung der Relevanz in diesem Sinne und damit die Definition von Leuchtturmtechnologien verschiedene Aspekte wichtig:

- Wie ist Bayern in diesem Bereich heute positioniert und worauf können wir aufbauen, sowohl technologisch als auch im Hinblick auf unsere Branchenstruktur?
- Wie dynamisch entwickelt sich die Technologie, wann stehen Anwendungen auch in der Breite zur Verfügung?
- Welchen Beitrag kann die Technologie – und können damit aus Bayern heraus entwickelte Innovationen – für den weltweiten Klimaschutz beziehungsweise die Anpassung an den Klimawandel leisten?
- Welches Wertschöpfungspotenzial ist damit verknüpft, wo ergeben sich besondere Chancen für den Standort?

Je nachdem, welchen dieser Aspekte man in den Vordergrund stellt, ergeben sich verschiedene Rangfolgen innerhalb der 28 Leuchtturmtechnologien. Angesichts der Komplexität des Gesamtsystems und der zahlreichen parallelen Handlungsfelder gibt es allerdings keine „Shortlist“, die alle Aspekte optimal in sich vereinen würde.

Im Fokus steht der Zeitraum bis 2030 (kurzfristig verfügbare Technologien), aber auch in danach besonders relevante Technologien kann bis dahin ein engagierter Einstieg notwendig sein. Die spezifische Ausgangslage und der Handlungsbedarf in den bayerischen Leuchtturmtechnologien werden im Folgenden skizziert. Die Zuordnung zu den Clustern bezieht sich auf die Einteilung der Schlüsseltechnologien (siehe Seite 43) und steht in keinem Zusammenhang mit den Cluster-Strukturen des Freistaats Bayern.

### Klima 2030. Nachhaltige Innovationen. Leuchtturmtechnologien für Bayern

		Seite
<b>Mobilität</b>	Verkehrleitsyst. und vernetzter Verkehr	124
	Urbane Logistik	126
	Elektrofahrzeuge	128
	Ladeinfrastruktur Fahrzeuge	130
	Elektrisches/hybrides Fliegen	132
	Effizientere Verbrennungsmotoren	134
<b>Industrie</b>	Vernetzte Fabrikation	136
	3D-Druck	138
	THG-Managementsysteme	140
	CO <sub>2</sub> -Filter, -Abscheidung	142
	Nachhaltige Verpackungen	145
	Recycling	147
<b>Energieproduktion und Infrastruktur, synthetische Energieträger</b>	Wasserstoff-Herstellung	150
	Brennstoffzelle	153
	Synthetische Treibstoffe	156
	Intelligente Stromnetze	158
	HGÜ-Leitungen	161
	Organische Solarzellen, Perovskitzellen	163
Solarthermie, Geothermie	165	
<b>Haushalte, Dienstleistungssektor</b>	Intelligentes, vernetztes Haus	170
	Energieeffiziente Gebäudetechnik	172
	Energieeffiziente Haushaltsgeräte	174
	Anpassungstechnologien Bau/Infrastruktur	176
<b>Gesundheit, Landwirtschaft und Ernährung</b>	Anpassungstechnologien Gesundheit	178
	Präzisionslandwirtschaft	181
	Anpassungstechnologien Landwirtschaft	183
	Fleischalternativen	185

**Querschnittstechnologien, insbesondere Digitalisierung**

Künstliche Intelligenz, fortgeschrittene Methoden der Datenanalyse, Nanotechnologien

Technologie

Cluster

## Verkehrseffizienz, Verkehrsleitsysteme und vernetzter Verkehr

Ressourcenoptimierung durch automatisierte Anpassung an den Fahrbetrieb, Inter-Fahrzeug-Kommunikation und intelligente autonome Fahrsysteme und Vernetzung von Verkehrsteilnehmern jeder Art, Verkehrsleitung und -Steuerung

Energienachfrage  
Verkehr

Digitalisierung

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Stauvermeidung, durch Vernetzung optimierter Einsatz der jeweiligen Verkehrsträger, Effizienzsteigerung z. B. durch Platooning / automatisiertes Fahren

#### Bedeutung für Bayern

- Verkehrseffizienz**
- Hoher Anteil bayerischer Weltklassepatente (4,6 Prozent)
  - Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
  - Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2025
- Verkehrsleitsysteme / vernetzter Verkehr**
- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,8 Prozent von 2015–2019)
  - Hohes ökonomisches Potenzial
  - Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2035

#### Wichtige Querbezüge

- Autonomes Fahren
- Ladeinfrastruktur
- Urbane Logistik
- Querschnittstechnologie Digitalisierung, speziell auch KI

### Besondere Herausforderungen

- Verkehrsflusssteuerung im Straßenverkehr
- Vernetzung verschiedener Verkehrsträger hinsichtlich Nutzung und Abrechnung, (Steigerung der Attraktivität des ÖPNV)
- Umbau des Verkehrssystems voraussichtlich auf ambitionierten Zeitskalen
- Gleichzeitig Umbau auf Energieseite und „digitale Durchdringung“ (autonomes Fahren und vernetzte Verkehrssysteme)

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Projekt auf bayerischer Ebene beim Wirtschaftsministerium
- Bis 2019: digitales Testfeld Autobahn A9 unter Beteiligung Fraunhofer IKS (ehemals ESK)

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Einrichtung einer zentralen Datenplattform für alle Verkehrsträger
- Multimodale Verkehrsführung (vgl. auch Handlungsempfehlungen *Resilienz – Schlussfolgerungen aus der Corona-Pandemie*, Juni 2020): Reservierungssysteme in Verkehrsträgern, Ticketing als Teil der Multimodalität

Technologie

Cluster

## Urbane Logistik und automatisierte Lagerwirtschaft

Drohnen, autonome Fahrzeuge und Roboter in Container-  
terminals, Hochregallager oder als städtische Liefervarianten  
sowie moderne urbane Warenverteilssysteme

### Energienachfrage

Private Haushalte/ Handel/  
Dienstleistungen;  
Verkehr

### Digitalisierung

### Bedeutung der Technologie

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kürzere Transportwege und geringerer Lageraufwand können Emissionen verringern.</li> </ul>
<b>Bedeutung für Bayern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +1 Prozent von 2015–2019)</li> <li>– Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2025</li> </ul>
<b>Wichtige Querbezüge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verkehrseffizienz</li> <li>– Verkehrsleitsysteme</li> <li>– Effiziente Verbrennungsmotoren</li> <li>– Autonome Flugsysteme</li> <li>– Digitalisierung</li> </ul>

### Besondere Herausforderungen

- Exaktes Einsparpotenzial kann nicht angegeben werden, da Datengrundlage fehlt; bestehende Berechnungen zum CO<sub>2</sub>-Footprint sind in der Regel interessengetrieben (stationärer Einzelhandel vs. Onlinehandel).

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Aktiv ist in diesem Feld unter anderem die TH Nürnberg (Preisträger im Rahmen des Bundeswettbewerbs „Nachhaltige Urbane Logistik“ mit einem Mikro-Depot-Konzept).

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Ganzheitliche Betrachtung verschiedener Logistikketten und transparente CO<sub>2</sub>-Bilanzierung herstellen, damit Vergleichbarkeit gegeben ist.
- Datennutzung und Systemsicherheit stärken (siehe oben, Querschnittstechnologien).

Technologie

Cluster

## Elektrofahrzeuge

Vollelektrische Fahrzeuge, batteriegetriebene Fahrzeuge, nicht aber Hybride

Energienachfrage  
Verkehr

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Vollelektrische, batteriegetriebene Fahrzeuge sind im Betrieb emissionsfrei. Bei der Gesamtbilanz ist entscheidend, wie klimafreundlich die für die Produktion eingesetzte Energie sowie der für den Fahrbetrieb genutzte Strom erzeugt werden.

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +1,2 Prozent von 2015–2019)
- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Hohe Transformationsrelevanz
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2025

#### Wichtige Querbezüge

- Elektrisches Fliegen
- Effiziente Verbrennungsantriebe
- Recycling/ Kreislaufwirtschaft
- Materialien und Dünnschichttechnologien
- Brennstoffzelle
- synthetische Treibstoffe (Konkurrenz)

### Besondere Herausforderungen

- Massiver Infrastrukturaufbau notwendig, auch im privaten Bereich, auch für Lkw, mindestens europaweit (für den Export perspektivisch auch global erforderlich).
- Ausbau der erneuerbaren Energien (und Netze) muss deutlich mehr an Fahrt gewinnen, damit Elektroantriebe ihr klimaschonendes Potenzial ausspielen können.
- Die bayerischen Hersteller und Zulieferer haben im Bereich der Elektromobilität zwar Kompetenzen und setzen stärker auf diese Systeme als der weltweite Durchschnitt und wichtige automobiler Vergleichsregionen. Es gibt hier aber – anders als beim Verbrennungsantrieb – keinen Entwicklungsvorsprung, auf den man aufbauen könnte, und die Industrie steht insgesamt noch eher am Anfang des Transformationsprozesses. Bei der Batterie und insbesondere der Batteriezelle, die einen wesentlichen Teil der Wertschöpfung ausmachen, gibt es noch klaren Nachholbedarf.
- Gerade Zulieferer stehen vor der Herausforderung, gleichzeitig bestehende Märkte bedienen zu müssen, daneben aber Kompetenzen und Fertigungskapazitäten aufbauen zu müssen für noch vergleichsweise unsichere Produktionszahlen.
- Ebenso wie bei den effizienten Verbrennungsmotoren gilt: Ein Wechsel zu kleineren, leichteren Fahrzeugen hätte mindestens vor dem Hintergrund des gegenwärtigen globalen Strommixes, aber auch mit Blick auf den Ressourceneinsatz, große Wirkung auf den internationalen Klimaschutz.
- Fragen der Rohstoffsicherung sind noch weitgehend ungeklärt.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Bayerisches Förderprogramm Ladeinfrastruktur
- Bayerisches Batterienetzwerk: Kooperation von BayBatt (Bayerisches Zentrum für Batterietechnik an der Universität Bayreuth), der TU München (TUMint-Energy Research GmbH) und Fraunhofer in Augsburg (IGCV) und Würzburg (ISC). Ziel ist die Entwicklung einer neuen Generation von klimafreundlichen und leistungsfähigen Batterien für die Elektromobilität.
- Zudem wird die bayerische Wertschöpfung beim Aufbau einer Batterieproduktion gezielt durch eine Förderung bayerischer IPCEI-Projekte („Important Projects of Common European Interest“) gestärkt. Unter anderem soll am bayerischen Standort Nördlingen des Unternehmens VARTA eine Fertigungskapazität von 100 Millionen Stück für Lithium-Ionen Zellen in Sonderformaten für den Consumer-Markt aufgebaut werden. Die Fertigungskapazitäten sollen im weiteren Verlauf weiter skaliert, dupliziert und zu einer global wettbewerbsfähigen Massenfertigung entwickelt werden. Das Bayerische Wirtschaftsministerium fördert dieses Projekt.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Erforschung von Batterietechnologien intensivieren (insbesondere nächste Generationen)
- Bayern als Modellregion für Elektromobilität positionieren, dabei auch über das Automobil hinaus denken.
- Vgl. auch Handlungsempfehlungen *Zukunft der Bayerischen Automobilindustrie*, Dezember 2017

Technologie

Cluster

## Ladeinfrastruktur in und um Fahrzeuge

Ladesysteme in Fahrzeugen (z. B. Hybriden)  
sowie von Fahrzeugen (Elektrofahrzeuge)

Energienachfrage  
Verkehr

Energieangebot/  
Umwandlung  
Infrastruktur,  
Sektorenkopplung,  
Flexibilität

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Ladeinfrastruktur ist notwendige Voraussetzung für Elektromobilität, der ihrerseits mittelfristig erhebliche Potenziale für die Treibhausgasreduzierung zugeschrieben werden.

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Dynamik (die Technologie zur Schaffung der Ladeinfrastruktur hat sich in den letzten fünf Jahren verdoppelt, Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,8 Prozent von 2015–2019)
- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Hohe Transformationsrelevanz
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2025

#### Wichtige Querbezüge

- Elektrofahrzeuge
- Intelligente Stromnetze

### Besondere Herausforderungen

- Paralleler Aufwuchs von Elektrofahrzeugen und Ladeinfrastruktur
- Beschränkte Reichweiten und Ladeinfrastrukturen erschweren die Nutzung von Elektroautos im Fernverkehr.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Bayerisches Förderprogramm Ladeinfrastruktur: Das Förderprogramm unterstützt die Einführung einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur, um die Zielsetzung von 7.000 öffentlich zugänglichen Ladesäulen in Bayern im Jahr 2020 zu erreichen. Gefördert wird die Errichtung sowie in Spezialfällen die Aufrüstung öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Weitere Erleichterung bei der Installation von Ladetechnik in Mietshäusern/ Immobilien mit Eigentümergemeinschaften.
- Förderprogramm für private Ladeinfrastruktur (beim Arbeitgeber und im Privathaushalt) auflegen. Die sogenannte Semipublic-Infrastruktur (z. B. Einzel- und Großhandel, Parkhäuser – u. a. auch an Flughäfen –, touristische oder gastronomische Einrichtungen) sollte in den Programmen, mit denen öffentlich zugängliche Ladepunkte gefördert werden, generell ebenfalls berücksichtigt werden. Bisher war das nicht in allen Förderaufrufen der Fall.
- Bei neuen Programmen ist jedenfalls ein stärkerer Fokus auf die Ladeleistung zu legen, um einen zukunftsfähigen Ausbau sicherzustellen (> 11 kW).
- Ladeinfrastruktur insbesondere auch für Lkw ausbauen.

Technologie

Cluster

## Elektrisches/hybrides Fliegen

Teil- oder ganzelektrische Antriebe in der Luftfahrt

Energienachfrage  
Verkehr

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Die Studie *Klima 2030. Nachhaltige Innovationen.* zeigt in einem „Was-wäre-wenn“-Beispiel, dass eine Reduktion des dienstlichen und privaten Flugreiseverkehrs zu einem spürbaren Rückgang an Emissionen führen kann. Gleiches muss grundsätzlich auch gelten, wenn Flugstrecken nicht entfallen, sondern emissionsärmer oder klimaneutral bedient werden können.

#### Bedeutung für Bayern

- Hoher Anteil bayerischer Weltklassepatente (10,4 Prozent)
- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +6,5 Prozent von 2015–2019)
- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Signifikante Verfügbarkeit/Marktreife ab 2030
- Im Bereich der Urban Air Mobility und des Flugnahverkehrs entsteht mit Flugtaxi, Frachtdrohnen und hybridelektrischen Flugzeugen ein großer neuer Markt mit diversen Geschäftsfeldern von der Entwicklung über die Fertigung bis zum Betrieb.

#### Wichtige Querbezüge

- Synthetische Treibstoffe
- Elektrofahrzeuge
- Brennstoffzelle
- Wasserstoffproduktion

### Besondere Herausforderungen

- Der Flugverkehr ist auf hohe Energiedichte getrimmt. Für die Mittel- und Langstrecke sind noch keine technologischen Lösungen vorhanden. Insgesamt steht der Flugverkehr in dem Ruf, besonders klimaschädlich zu sein, sodass permanent neue Regulierung droht. Die Branche steht unter sehr hohem Druck, vor allem auch angesichts der massiven Einbrüche infolge der Corona-Pandemie, sodass wesent-

lich weniger Mittel als bisher für F+E zur Verfügung stehen dürften, während der Einsatz klimafreundlicher und vor allem klimaneutraler Technologien Investitionen in Milliardenhöhe erforderlich macht.

- Für die Urban Air Mobility stellen sich eine Reihe zusätzlicher Herausforderungen im Hinblick auf Sicherheit, Lärm oder Akzeptanz.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Die Liliium GmbH entwickelt mit dem Liliium Jet ein 36-motoriges, elektrisch angetriebenes, senkrecht startendes und landendes Luftfahrzeug (eVTOL).
- Das DLR und sein Spin-off, die Elektra Solar GmbH, entwickeln hybridsolarelektrische Flieger (auch für die Stratosphäre), die für

Kartierungen und Vermessungen eingesetzt werden, Transporter für bis zu zehn Personen (z. B. für die Anbindung von Nord- und Ostseeeinseln) und Frachtgut (eSTOL: electric Short Take-Off and Landing), aber auch „nurfügelige“ eVTOL (electric Vertical Take-Off and Landing)-Drohnen mit großer Reichweite.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Interessant ist elektrisches Fliegen auf absehbare Zeit (nur) für kleinere Flugzeuge und kurze Strecken (Urban and Regional Air Connectivity) – darauf sollten sich die Aktivitäten fokussieren. Eine zusätzliche Klimaschutzpolitisch motivierte Regulierung ist nicht geboten, wenn der Antrieb auf erneuerbaren Energien basiert: Im Gegenteil müssten solche Flugzeuge von denselben Vorteilen profitieren wie emissionsarme/-freie Fahrzeuge. Die Infrastrukturanforderungen sind vergleichsweise gering, wenn auf Senkrechtstarter und eSTOL gesetzt wird. Im konkreten Einzelfall kann sich daher auch eine Verbindung zwischen zwei kleineren Städten mit diesen Flugzeugen als nachhaltiger erweisen als der Bau oder Ausbau von Schienen- oder Straßeninfrastruktur.
- Forschungsbedarf besteht im Hinblick auf die für den Flugverkehr besonders notwendige Gewichtsreduktion; bei Brennstoffzellenantrieben sind zudem Sicherheitsfragen zu klären. Wo

möglich, sollten Synergien mit den Weiterentwicklungen bei elektrischen Fahrzeugen gesucht werden (z. B. neue Batteriegenerationen).

- Weiter besteht zur Markterschließung folgender Forschungsbedarf: Lärmreduzierung, probabilistische Berechnungsverfahren, Resilienz in Betrieb und Produktion, Composite-Technologie, Additive Fertigungsverfahren sowie Circular Economy und Recycling.
- Zusätzlich ist die konsequente Nutzung neuester modellgetriebener Entwurfs- und Entwicklungswerkzeuge, verbunden mit einer ganzheitlichen, parallelen Bearbeitung von Design-, Konstruktions- und Fertigungsaspekten, essenziell, wie auch die Lösung der Betriebssicherheits- und Zulassungsproblematik.
- Auf der Mittel- und Langstrecke und damit beim Einsatz hybrider Antriebe werden synthetische Kraftstoffe relevant. In der Wasserstoffstrategie muss auch das Thema Luftfahrt adressiert werden.

Technologie

Cluster

## Effiziente Verbrennungsmotoren

Aspekte der Reduktion des Treibstoffverbrauchs des Verbrennungsmotors (z. B. Steuerung des Treibstoff/ Luftgemisches, Abgasrückführung (EGR), Wärmeisolierung, verbesserte Schmierung). Das Gebiet fokussiert auf Automobile und verwandte Fahrzeuge

Energienachfrage  
Verkehr

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- In den letzten Jahrzehnten wurden große Effizienzgewinne bei Verbrennungsmotoren realisiert. Aufgrund insgesamt steigender Fahrleistungen, leistungsstärkerer Motoren und größerer Fahrzeuge führten diese aber nicht zu einem Rückgang der absoluten Treibhausgas-Emissionen. Trotzdem bleiben die Technologien wichtig, auch in Verbindung mit dem Einsatz synthetischer Treibstoffe. Das Feld umfasst verschiedene Aspekte der Reduktion des Treibstoffverbrauchs des Verbrennungsmotors, wie die Steuerung des Treibstoff-Luft-Gemisches, Abgasrückführung (EGR), Wärmeisolierung und verbesserte Schmierung.

#### Bedeutung für Bayern

- Hoher Anteil bayerischer Weltklassepatente (4,2 Prozent)
- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,6 Prozent von 2015–2019)
- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Betrifft mit Automobilindustrie und Maschinenbau Bereiche, die heute maßgeblich für unsere Wirtschaftskraft stehen
- Unmittelbare Verfügbarkeit/ Marktreife

#### Wichtige Querbezüge

- Synthetische Kraftstoffe (Kombination)
- Elektromobilität, Brennstoffzelle als Konkurrenz
- Stickoxidfilter (Technologie mit fünf Prozent Anteil bayerischer Weltklassepatente), ihrerseits auch relevant für Verbrennungsprozesse in der Industrie und unter Umständen auch in der Landwirtschaft

### Besondere Herausforderungen

- Die Technologie ist in Verruf geraten, obwohl sie heute noch vielfach (unter Berücksichtigung des Strommixes sowie des gesamten Herstellungsprozesses) die klimafreundlichere Alternative darstellt und obwohl die Effizienzgewinne sehr groß waren – letztlich wird ihr die Kaufentscheidung der Kunden angelastet. Die Regulierung zieht weltweit massiv an und gewährleistet vielfach keine Technologieoffenheit. Die europäischen Flottengrenzwerte sind nur ein Beispiel.
- Gleichzeitig gibt es nach wie vor eine beachtliche Nachfrage nach Verbrennungsmotoren, die den weitaus größten Marktanteil haben. Mehrere Hundert in der Wertschöpfungskette beteiligte Unternehmen alleine in Bayern stehen vor der Herausforderung, gleichzeitig diese Nachfrage bedienen und in den Aufbau neuer Kompetenzen investieren zu müssen.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Bayerische Unternehmen sind weltweit führend in der Technologie. Flankiert wird das durch starke Forschungseinrichtungen.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Der Staat muss sich klar zu Technologieoffenheit bekennen und diese auch gewährleisten. Keine Technologie darf diskriminiert werden, und den bestehenden Entwicklungsvorsprung gilt es nicht leichtfertig zu verspielen. Alle bisherigen Prognosen gehen davon aus, dass Verbrennungsmotoren jedenfalls mittelfristig noch eine bedeutende Rolle spielen, im Güterverkehr möglicherweise noch länger als im Personenverkehr. Es wäre für den Klimaschutz mehr als kontraproduktiv, wenn dabei auf etwas anderes als unsere hochentwickelten Technologien gesetzt würde. Gleichzeitig würde ein Verzicht auf diesen Entwicklungsvorsprung noch nicht automatisch dazu führen, dass von unserer Industrie ebenso erfolgreich alternative Antriebe produziert werden.
- Grundsätzlich muss alles förderfähig, finanzierbar, versicherbar etc. sein, was auf den Klimaschutz einzahlt. Bevor noch mehr Entscheidungen zulasten von Verbrennungsmotoren getroffen werden, gilt es, die Vor- und Nachteile einmal eindeutig zu ermitteln und zu kommunizieren. Zu einer fairen Rechnung würde auch gehören, darzustellen, wie viel der Verkehr heute emittieren würde, wenn die Effizienzvorteile nicht durch Veränderungen im Mobilitätsverhalten und bei den Ansprüchen an Fahrzeuge aufgezehrt worden wären.
- Auf dieser Basis kann gerade auch in Zusammenschau mit synthetischen/biogenen Kraftstoffen eine Szenarienplanung und Strategiefindung erfolgen.

Technologie

Cluster

## Vernetzte Fabrikation

Vernetzung in der industriellen Produktion bis zur total integrierten Fabrik

Energienachfrage  
Industrie

Digitalisierung

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Energiemanagement bei bestehenden Produktionsanlagen und Effizienzsteigerung durch intelligente Produktion.
- Vernetzte Fabrikation sticht als digitale Querschnittstechnologie heraus. Sie kann breit über alle Branchen eingesetzt werden. Wenn die dynamische Position aufrechterhalten werden kann, werden die entsprechenden Player an großen und diversen Weltmärkten partizipieren können. Hier bieten sich Chancen auch über den Klimaschutz hinaus.

#### Bedeutung für Bayern

- Hoher Anteil bayerischer Weltklassepatente (4,3 Prozent)
- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,7 Prozent von 2015–2019)
- Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2035

#### Wichtige Querbezüge

- Industrie 4.0
- Querschnittstechnologie Digitalisierung

### Besondere Herausforderungen

- Datenschutz- und Datenzugangsüberlegungen auf der EU-Ebene können eine industrielle Nutzung konterkarieren.
- Infrastrukturelle Voraussetzungen (Glasfaser, 5G) müssen flächendeckend gegeben sein.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Möglichst effiziente Nutzung von Energie am Clariant-Standort Bruckmühl-Heufeld
- Siemens-Elektronikwerk in Amberg (EWA) als Beispiel für die digitale Transformation der Industrie
- Cluster Mechatronik & Automation (Vernetzung, Technologie-/Wissenstransfer, Qualifizierungsmaßnahmen)
- Themenplattform „Digital Production & Engineering“ des ZD.B (Vernetzung, Technologie-/Wissenstransfer, Kooperationsprojekte)
- Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Augsburg am Fraunhofer IGCV (Technologie-/Wissenstransfer, Qualifizierungsmaßnahmen; gefördert durch BMWi)

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Infrastrukturausbau
- Integration firmengrenzenübergreifender Wertschöpfungsketten
- Echtzeitabbildung der Zulieferkette
- Vorteile quantifizieren und Anwendungen stärker in die Breite tragen (Vgl. Handlungsempfehlungen *Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung*, Dezember 2017)

Technologie

Cluster

## 3D-Druck (additive Fertigung)

Additive Herstellung von diversen Produkten,  
zur bedarfsgerechten Massen-Maßschneidung  
statt Massenproduktion

Energienachfrage  
Industrie

Digitalisierung

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- 3D-Druck kann Industrieprozesse ressourceneffizienter durch weniger Ausschuss und Abfall machen. Auch Logistik- und Organisationsprozesse werden verschlankt, was zu Einsparungen im Güterverkehr führt. Darüber hinaus ermöglicht 3D-Druck, Teile wichtiger Klimaschutztechnologien anforderungsgerecht zu produzieren (zum Beispiel neue Strukturen, die zu einer besseren Performance/Effizienz führen, etwa durch Leichtbau).

#### Bedeutung für Bayern

- Hoher Anteil bayerischer Weltklassepatente (6,4 Prozent); Beispiel Adidas, EOS
- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +1,2 Prozent von 2015–2019)
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Unmittelbare Verfügbarkeit/ Marktreife

#### Wichtige Querbezüge

- Baubereich
- Andere stofflich orientierte Technologien
- Nanotechnologie

### Besondere Herausforderungen

- Der Energieaufwand bei der Herstellung der Ausgangsmaterialien ist hoch und muss sich in der Gesamtbilanz erst amortisieren.
- Skalierbarkeit ist nicht gegeben; bei größeren Mengen sind zudem Qualitätsfragen zu lösen.
- Im Bereich Metalle gibt es eine Vielzahl möglicher Pulver als Ausgangsbasis, während nur wenige geeignete Polymerpulver verfügbar sind.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- 3D-Druck hat sich in bestimmten Nischen etabliert, ein Beispiel sind etwa Windkraftturbinen von Siemens.
- Mit EOS kommt der Weltmarktführer aus Bayern.
- An der FAU arbeitet der Sonderforschungsbereich 814 seit 2011 an diesen Fertigungstechnologien. Die TU München und die TU Braunschweig beschäftigen sich im Sonderforschungsbereich / Transregio AMC mit dem Einsatz der additiven Fertigung im Bauwesen.
- Aktuell geht es darum, auch Serienbauteile in gewünschter Qualität herzustellen.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Bei hybriden Maschinen besteht noch weiterer Entwicklungsbedarf, gerade im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit (einer der beiden Prozesse steht in der Regel still).
- Forschungsbedarf: weitere Materialien vor allem im Bereich Polymere.

Technologie

Cluster

## Treibhausgas- Managementsysteme

Software- oder Business-Modelle rund um Energie und Produktion zur Reduktion von Treibhausgasen oder zur Adaption bei zunehmenden Umweltschäden

Sonstige Sektoren  
CCS/CCU\*, Negativ-  
Emissionstechnologien

Digitalisierung

\* Carbon Capture and Storage /  
Carbon Capture and Utilization

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Intelligente Datennutzung zur Aufdeckung von vermeidbaren Emissionen und zur Anpassung von Wertschöpfungsprozessen und -ketten.

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Signifikante Verfügbarkeit/Marktreife ab 2030

#### Wichtige Querbezüge

- Sustainable Finance
- Querschnittstechnologie Digitalisierung

### Besondere Herausforderungen

- Steigende Nachfrage nach dem CO<sub>2</sub>-Footprint eines Produkts oder einer ganzen Lieferkette (inkl. zugelieferter Vorprodukte): Kontinuierliche Messung und Verbesserung des CO<sub>2</sub>-Footprints wird zu einer neuen Marktanforderung
- Ungenaue oder fehlende Daten zur CO<sub>2</sub>-Bilanzierung
- Bayern verzeichnet sinkende Weltmarktanteile: -3,2 Prozent von 2015-2019 (Weltanteil 2019 bei 2,2 Prozent).

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Einige Informationen zu Management-Systemen und Anbieter entsprechender Software (nicht auf Bayern fokussiert) stellt das Infozentrum UmweltWirtschaft (IZU) des Bayerischen Landesamts für Umwelt zusammen ([www.umweltpakt.bayern.de/management/aktuelles/](http://www.umweltpakt.bayern.de/management/aktuelles/)); Handreichungen für landwirtschaftliche Betriebe sind über die Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft verfügbar.
- Übergreifende Informationen für Unternehmen auch zum Thema Treibhausgas-Management bietet beispielsweise co2ncept plus – Verband der Wirtschaft für Emissionshandel und Klimaschutz e. V. an. Spezialisierte Angebote gibt es ferner in verschiedenen Bereichen, beispielsweise eine CO<sub>2</sub>-Management-Software für Lackierbetriebe eines Nürnberger Unternehmens.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Anreize für den Einsatz von Treibhausgas-Managementsystemen schaffen
- Informationen bereitstellen, Datenverfügbarkeit verbessern
- Forschungsbedarf: Ausschreibung von Programmen zu Bilanzierungsfragen
- Challenge: „bayerisches SAP“ für Treibhausgas-Management aufbauen (siehe Seite 102)

Technologie	Cluster
<b>CO<sub>2</sub>-Filter, -Abscheidung, -Bindung</b>  Gasfilteranlagen, Abscheidungsrichtungen und Kohlenstoffbindungsprozesse	<b>Sonstige Sektoren</b> CCS/CCU*, Negativ-Emissionstechnologien
	<b>Digitalisierung</b>
* Carbon Capture and Storage / Carbon Capture and Utilization	
Bedeutung der Technologie	
<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>	– Alle Klimamodelle bauen darauf, dass man der Atmosphäre CO <sub>2</sub> wieder entzieht, um Klimaneutralität erreichen zu können. Technologien sind etwa Gasfilteranlagen, Abscheidungsrichtungen und Kohlenstoffbindungsprozesse.
<b>Bedeutung für Bayern</b>	– Hohe Transformationsrelevanz – Anteil bayerischer Weltklassepatente von 1,5 Prozent, leichter Rückgang in den letzten Jahren – Signifikante Verfügbarkeit/Marktreife ab 2035, für Klimaneutralität aber praktisch unabdingbar
<b>Wichtige Querbezüge</b>	– Synthetische Kraftstoffe – Materialien – (Energieintensive) Industrie – Recycling/ Kreislaufwirtschaft

### Besondere Herausforderungen

- Die Technologien zur großtechnischen CO<sub>2</sub>-Abscheidung befinden sich noch im frühen Entwicklungsstadium – die entsprechenden Märkte werden sich im Laufe der nächsten beiden Jahrzehnte entwickeln. Im Ausland ist man hier teilweise weiter und es besteht die Gefahr, den Anschluss an einen Exportmarkt zu verlieren.
- Die technologischen Möglichkeiten zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung, -Speicherung und -Nutzung sind relativ aufwendig und je nach Verfahren mit relativ hohen Kosten verbunden (CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus Industrieprozessen liegen in der Größenordnung von 50–100 €/t, CO<sub>2</sub>-Abscheidung aus der Luft (Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS)-Anlagen) bei 500 €/t)
- Es bestehen teilweise noch erhebliche Forschungs- und Entwicklungsnotwendigkeiten.
- Die natürlichen Optionen zur CO<sub>2</sub>-Entnahme und -Speicherung lassen sich i. d. R. schneller und zu geringeren Kosten umsetzen. Hier besteht jedoch ein erhöhtes Risiko, dass das gespeicherte CO<sub>2</sub> infolge von Umwelteinflüssen wieder zurück in die Atmosphäre gelangt.
- In Deutschland sind CCS-Technologien in der Öffentlichkeit zwar recht wenig bekannt, dennoch sind Planung und Umsetzung von CCS-Projekten durch das CCS-Gesetz stark eingeschränkt und stoßen häufig auf Widerstand bei der Bevölkerung vor Ort (u. a. NIMBY-Verhalten).
- Verfügbarkeit geeigneter CO<sub>2</sub>-Speicherstätten: Da CO<sub>2</sub> ein schweres Gas ist, das am Boden liegenbleibt und sich in Senken sammelt, sind Lecks nicht ungefährlich. CO<sub>2</sub>-Speicherprojekte erfordern gute Sicherheitskonzepte – die das nationale und europäische Recht ohnehin vorgibt – und eine von Anfang an klare und verständliche öffentliche Kommunikation.
- Hoher Energiebedarf insbesondere von Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS)-Anlagen (befinden sich noch in der Pilotphase)
- Bei Bioenergie mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung (BECCS) besteht ein hoher Bedarf an nachhaltiger Biomasse. Dies bedingt eine hohe Inanspruchnahme von Landfläche und Wasser und andererseits Nutzungskonkurrenzen, etwa mit anderen landwirtschaftlichen Erzeugnissen für die stoffliche Nutzung. Diese werden bereits außerhalb Deutschlands großskalig entwickelt; hier besteht die Gefahr, den Anschluss an einen Exportmarkt zu verlieren.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Siemens beispielsweise verfügt über die Technologie, es fehlt allerdings bisher an einem Business Case. Mit steigenden CO<sub>2</sub>-Preisen wird sich das jedenfalls im Zusammenspiel mit Gaskraftwerken ändern: Hier lohnt sich CCUS ab ca. 50 Euro pro Tonne. Andere Anwendungsfälle würden sich erst ab einem Vielfachen dieses Preises rechnen. Gemeinsam mit Evonik läuft ein Pilotprojekt im Bereich Spezialchemie.
- Forschung findet statt (z. B. Rieger/Polymere, Lacke/technische Chemie, Wasserscheid/Reaktionstechniken), ist aber noch zu wenig vernetzt.

**Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung**

- Die Technologie entfaltet ihr Potenzial zunächst ganz besonders dann, wenn es gelingt, CO<sub>2</sub> zu „aktivieren“, also Kohlenstoff aus Katalysatoren für die Herstellung von Kunststoffen, Kraftstoffen oder sonstige Bereiche der organischen Chemie zu nutzen. Dafür ist eine weitere Intensivierung der Forschung auf der Materialseite (welche Katalysatoren sind nötig?) notwendig. Allerdings sind diese Anwendungen – beispielsweise synthetische Kraftstoffe – vor allem vermiedene Neuemissionen. Wirtschaftliche Anwendungen erfordern eine CO<sub>2</sub>-Quelle, von denen es mit dem Ausstieg aus fossilen Technologien zunehmend weniger geben wird.
- Zusätzlich wird eine Verbringung in Lagerstätten notwendig sein. Das kann im Einzelfall auch kostengünstiger sein, als bestimmte Technologien (z. B. Zement-Herstellung) komplett zu substituieren. Hierfür ist weiter an Sicherheitsfragen zu forschen, auch um Akzeptanzprobleme sach- und faktenorientiert zu lösen.
- Der Staat sollte eine klare Roadmap für die verschiedenen Methoden und deren Hauptanwendungsbereiche definieren, um insbesondere auch für die Industrie Orientierung und Planungssicherheit zu geben. So können beispielsweise Industrien mit hohem Wärmebedarf wie die chemische Industrie Biomasse in großem Stil einsetzen und das entstehende CO<sub>2</sub> abtrennen (Bioenergy with Carbon Capture and Storage, BECCS), das über die für die Zementindustrie ohnehin erforderliche CO<sub>2</sub>-Infrastruktur gespeichert wird.

Technologie

Cluster

**Nachhaltige Verpackungen**

Verpackungen auf Basis nachwachsender Rohstoffe, wie z. B. Cellulosen, insb. für Kreislaufwirtschaft

**Energienachfrage**  
Private Haushalte/Handel/  
Dienstleistungen;  
Industrie

**Sonstige Sektoren**  
CCS/CCU\*, Negativ-  
Emissionstechnologien

\* Carbon Capture and Storage /  
Carbon Capture and Utilization

**Bedeutung der Technologie**

**Beitrag zum Klimaschutz**

- Alleine in Deutschland fallen rund 20 Millionen Tonnen Verpackungsmaterial pro Jahr an, die nur zum Teil nachhaltig sind.

**Bedeutung für Bayern**

- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,5 Prozent von 2015–2019)  
- Signifikante Verfügbarkeit/Marktreife ab spätestens 2030

**Wichtige Querbezüge**

- Recycling  
- Nachwachsende Rohstoffe, Land- und Fortwirtschaft

### Besondere Herausforderungen

- Geringe Anzahl von Weltklassepatenten in Bayern (Anteil bei ein Prozent)
- Nachfrageseitig wird der Einsatz von Verpackungen mit Recyclingkunststoffen teilweise durch mangelnde Akzeptanz und Bereitschaft, für Verpackungen mit Recyclingkunststoffen einen Mehrpreis zu zahlen, gehemmt; auch die Möglichkeiten der bestehenden Produktionsanlagen spielen eine Rolle. Der Einsatz recycelter Verpackungen in der Nahrungsmittelindustrie trifft auf hohe regulatorische Hürden.
- Unklare Datengrundlage zu den Wechselwirkungen (Optimierung Verpackung vs. verpacktes Gut, was auch die Vermeidung von Abfällen betrifft)

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Aktivitäten des Fraunhofer IVV im Bereich biobasierte technische Produkte: Nutzbarmachung von Reststoffen aus der Agrar- und Lebensmittelindustrie
- Aktivitäten des Fraunhofer IVV im Bereich Recycling von Verpackungen: Recycling von Mehrschicht-Verpackungen zur Trennung und separaten Aufarbeitung von unterschiedlichen Materialien
- C.A.R.M.E.N. (Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V.) unterstützt unter anderem dabei, Informationen zu nachwachsenden Rohstoffen in die Breite zu tragen.
- Die Stärkung einer zirkulären nachhaltigen Bioökonomie wird Bestandteil sein der bayerischen Bioökonomiestrategie (beinhaltet Maßnahmen zum Aufbau nachhaltiger Wertschöpfungskreisläufe zum Einsatz von nachhaltig produzierten Verpackungen – z. B. aus bioabbaubaren Kunststoffen).

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Unterstützung einer sinnvollen Ausgestaltung der Einwegkunststoffrichtlinie der Europäischen Union im Sinne der Förderung nachhaltiger Verpackungen
- Verbesserung der Datengrundlage, weitere Erforschung von nachhaltigen Verpackungstechnologien, die den Inhalt optimal schützen
- Entwicklung international einheitlicher Konzepte zur Bewertung der Nachhaltigkeit und darauf basierender Mindeststandards
- Aufbau internationaler Wertschöpfungsketten für die Wiederverwendung / das Recycling nachhaltiger Verpackungen
- Förderprogramme für Investitionen in Produktionsanlagen auch für neuartige nachhaltige Verpackungslösungen

Technologie

Cluster

## Recycling, Wiederaufbereitung

Wiederverwendung von Produkten aus Produktionsprozessen wie aus Abfällen diverser Art, insbesondere aus Industrie-  
prozessen, aber auch Haushalten

Energienachfrage  
Industrie

Sonstige Sektoren  
CCS/CCU\*, Negativ-  
Emissionstechnologien

\* Carbon Capture and Storage /  
Carbon Capture and Utilization

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Schätzungen gehen davon aus, dass sich die Einsparungen an Primärenergie durch das gesamte stoffliche Recycling in Deutschland auf jährlich über 100 TWh belaufen (entspricht etwa 2,7 Prozent des Primärenergieverbrauchs in Deutschland). Ein maßgeblicher Teil der Abfälle kann gegenwärtig noch nicht recycelt werden.

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Hohe Transformationsrelevanz
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Signifikante Verfügbarkeit/Marktreife ab 2030

#### Wichtige Querbezüge

- Urbane Logistik
- Nachhaltige Verpackungen
- Digitalisierungstechnologien (Hardware)

### Besondere Herausforderungen

- Besonders dynamische Entwicklung in China im Bereich Recycling führt zu Anteilsverschiebungen in allen Industrieländern (Bayern verzeichnet sinkende Weltmarktanteile: -0,3 Prozent von 2015–2019).
- Das Recycling scheitert oftmals an mangelnden „kreislauffähigen“ Materialien, mangelnden (kostengünstigen und marktfähigen) Recyclingtechniken und -verfahren sowie mangelnder Berücksichtigung der Wiederverwertung in der vorgelagerten Designentwicklung.
- Viele Werkstoffe und Produkte können oftmals nur kosten- oder energieintensiv recycelt werden (Rebound-Effekt); z. B. im 3D-Druck oder bei Batterien werden komplexe Materialien eingesetzt.
- Sekundärrohstoffe bei Preis und Qualität oftmals nicht konkurrenzfähig mit Primärrohstoffen (Neuware)
- Teilweise hohe Kosten und strenge Vorschriften (u. a. zum Schutz der menschlichen Gesundheit) bei der Wiederverwendung recycelter Materialien
- Durch die teilweise mangelnde Bereitschaft, für Verpackungen mit Recyclingkunststoffen einen Mehrpreis zu zahlen, gehemmt.
- Bereitschaft oder Wissen zur ordnungsgemäßen Mülltrennung sind zum Teil noch gering, was die Zuführung zur stofflichen Verwertung erschwert bzw. verhindert.
- Problematisch ist auch das Recycling von Verbundwerkstoffen, da die verschiedenen Materialien häufig nicht sortenrein voneinander trennbar und somit stofflich nicht verwertbar sind.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- acatech-Projekt: Mit der Circular Economy Initiative Deutschland soll ein regeneratives System etabliert werden, in dem weniger Ressourcen verbraucht, weniger Abfall produziert und der Ausstoß von Treibhausgasen verringert werden. Wirtschaft, Wissenschaft und gesellschaftliche Akteure werden eingebunden, um ein gemeinsames Zielbild für Deutschland zu entwickeln, konkrete Anwendungsfälle zu untersuchen und deren Umsetzung zu unterstützen sowie Rahmenbedingungen zu identifizieren.
- Aktivitäten des Fraunhofer IVV (siehe auch nachhaltige Verpackungen): Mit einem speziellen lösemittelbasierten Recyclingverfahren gewinnt Fraunhofer aus kunststoffhaltigen Abfällen und Verpackungen hochwertige und reine Kunststoffe. Gleichzeitig wird an der Optimierung bestehender Recyclingprozesse gearbeitet.
- Fraunhofer-IWKS-Projekte zum Batterierecycling: AutoBatREc2020 (intelligentes Recycling von Traktionsbatterien aus E-Fahrzeugen), NeW-Bat (neue energieeffiziente Wiederverwertung von Batteriematerialien), European Lithium Institute (gezielte Vernetzung entlang der Batteriewertschöpfungskette)
- Urban Mining: Besonders Metalle und Baumineralien bleiben oftmals lange Zeit in Infrastrukturen, Gebäuden und Gütern des täglichen Gebrauchs. Über Jahrzehnte hinweg haben sich auf diese Weise enorme Materialbestände angesammelt, die großes Potenzial als zukünftige Quelle für Sekundärrohstoffe bergen (die Stadt als Rohstofflager).

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Schaffung neuartiger Anreizsysteme für recyclingfreundliches Design, sparsamen Rohstoffeinsatz sowie die Weiternutzung von Wertstoffen
- Fokus auf neue „massenhafte“ Güter richten (Handys, Batterien)
- Da Materialmischungen das Recycling erschweren, vermehrt einheitlich zusammengesetzte Werkstoffe verwenden, Regulierung der Zusatzstoffe in Kunststoffen prüfen
- Nutzungsdauer erhöhen, Reparaturen ermöglichen
- Verschiedene Stoffströme (z. B. Batterien, PET-Flaschen) einzeln analysieren, sowohl technisch als auch regulatorisch; Forschungsaktivitäten zum Recycling komplexer Produkte (hochintegrierte Elektronik, Verbundwerkstoffe etc.) erhöhen
- Verbindliche Qualitätsanforderungen/Standards für Recyclate definieren
- Kreislaufwirtschaft von Nicht-Verpackungen durch verbesserte Erfassung fördern
- Dialog mit Akteuren und Aufbau von Netzwerken für die Kreislaufwirtschaft und Ergebnistransfer durch Bekanntmachung von Best-Practice-Beispielen, Entwicklung von Kommunikationsstrategien für Verbraucher, v. a. im Hinblick auf die Akzeptanz des Einsatzes von Recyclaten
- Entwicklung und Etablierung innovativer digitaler Tools für alle Bereiche der Kreislaufwirtschaft (Produktdesign, Erfassung, Sortierung, Aufbereitung)

## Technologie

## Cluster

## Wasserstoff-Herstellung mit erneuerbaren Energien

Wasserstoff-Produktion mit erneuerbarer Energie, insbesondere Elektrolyse und Brennstoffzelle mit Strom aus PV und Windanlagen

Energieangebot/  
Umwandlung  
Erneuerbare Energien;  
Synthetische Energieträger /  
Wasserstoff

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Wasserstoff bietet dem deutschen Stromnetz eine ganzheitliche Flexibilitätsoption – auch als Kerntechnologie der Energiewende für den internationalen Exportmarkt. Grüner Wasserstoff bietet eine richtungsweisende, industriepolitische Komponente: als Rohstoff für die Industrie, Treibstoff im Verkehr, für die Gebäudewärme und als Flexibilitätsoption für das Stromnetz.

#### Bedeutung für Bayern

- Hoher Anteil bayerischer Weltklassepatente (3,1 Prozent)
- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,5 Prozent von 2015–2019)
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2035

#### Wichtige Querbezüge

- Power-to-X-Technologien
- Synthetische Treibstoffe
- Brennstoffzelle

### Besondere Herausforderungen

- Erheblicher Energieaufwand für Speicher-bzw. Transportoptionen
- Ausbau der Erneuerbaren Energien in Bayern vorantreiben
- Erzeugungskosten von grünem Wasserstoff in der Größenordnung des drei- bis vierfachen der Kosten von grauem Wasserstoff
- Märkte für die Wasserstoffherzeugung werden sich im Laufe der nächsten beiden Jahrzehnte entwickeln. Auch wenn Wasserstoff im Gigawatt-Maßstab erst in etwa fünf bis zehn Jahren relevant wird, müssen bereits jetzt Infrastruktur sowie Forschung und Entwicklung vorangetrieben werden. Erst die Generierung von Vorreitermärkten ebnet den Weg für das notwendige Wachstum entlang der Wertschöpfungsketten.
- Eine erfolgreiche Marktdurchdringung im globalen Erneuerbaren Energien-Handel erfordert die Etablierung eines Gigawatt-Marktes bis 2030 – Zulieferketten und den Aufbau einer wettbewerbsfähigen Elektrolyse-Industrie eingeschlossen.
- Einheitliche Wasserstoff-Standards und -Normen sind maßgebliche Voraussetzung.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Zahlreiche Projektkonsortien sowie verschiedene Firmen (z. B. Smart Hydrogen Solutions und Siemens Energy) planen oder erzeugen „grünen“ Wasserstoff aus erneuerbaren Energien via PEM-Elektrolyse und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur weltweiten Energiewende
- Bayerische Wasserstoffstrategie, Zentrum Wasserstoff.Bayern, Wasserstoffbündnis Bayern
- Technische Universität München (TUM) und die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) haben sich zusammengeschlossen, um Wasserstoff-Technologien zur Mobilität gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Wirtschaft weiter zu erforschen und in die Anwendung zu bringen.
- Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien: u. a. Erforschung innovativer Methoden für die chemische Energiespeicherung von Wasserstoff.
- Die Fraunhofer-Institute IIS und IISB forschen an sektorengestützten Energiemanagementsystemen, Wasserstoff-Systemintegration in mobilen und stationären Anwendungen, erstellen Potenzialanalysen, modellieren die Transformationspfade für die künftige Wasserstoff-Infrastruktur und entwickeln Strategien für einen effizienten und sicheren Betrieb.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Fokus auf den Anlagenbau richten, Prozess- und Technologiekompetenz entwickeln (Exportchancen!)
- Konsequente Nutzung und Aktivierung der im Konjunkturpaket vom Juni 2020 beschlossenen Maßnahmen, um über F+E-Investitionen Erzeugungskosten zu reduzieren, Langlebigkeit der Produkte zu erhöhen, Speicherung und ökonomische Nutzung von Wasserstoff in der Industrie zu ermöglichen (sichere Investitions Umgebung)
- Anpassung des regulatorischen Rahmens für Steuern, Abgaben und Umlagen auf Strom für Wasserelektrolyseure sowie weitere Optionen der Sektorenkopplung
- Systemanalyse zur Ableitung robuster Pfade bzgl. der Entwicklung der Nachfragezentren für Wasserstoff und der zu erwartenden Geschäftsmodelle in den Gesamtketten
- Förderung von Demonstrations-Projekten zur Unterstützung des Markthochlaufs und zur Etablierung eines Heimatmarktes mit internationaler Ausstrahlung
- Umfassende Analyse des Infrastrukturbedarfs bzgl. der Umstellung der Erdgas-Infrastrukturen und neuer Wasserstoff-Pipelines; Netzausbaupläne und grenzüberschreitender Infrastrukturaufbau
- Konsequenter Ausbau der Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur für den Schwerlastverkehr, den Individualverkehr, sowie für den nicht-elektrifizierten beziehungsweise nicht in absehbarer Zeit elektrifizierbaren Schienenverkehr
- Politische Führungsrolle bei der Entwicklung von international harmonisierten und zertifizierten Standards für wasserstoffbasierte Energieträger und Chemikalien, zur Sicherstellung der Klimaneutralität
- Entwicklung von Energiepartnerschaften mit Ländern, die hohe Ausbaupotenziale für Erneuerbare Energien bieten, um eine langfristig attraktive Investitions Umgebung zu schaffen
- Etablierung von Technologiepartnerschaften mit Ländern mit einem vergleichbaren Technologiestand in den Wasserstofftechnologien, um einen schnelleren Markthochlauf zu ermöglichen

Technologie

Cluster

## Brennstoffzelle

Brennstoffzellen, Energiewandler, die chemisch gebundene Energie, oft H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>, in elektrische Energie umwandeln

**Energieangebot/  
Umwandlung**  
Synthetische Energieträger /  
Wasserstoff

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Energiewandler, die chemisch gebundene Energie (oft Wasserstoff) in elektrische Energie umwandeln, können zur Wärme- und Elektrizitätsversorgung oder im Fahrzeugantrieb eingesetzt werden. Für eine CO<sub>2</sub>-Reduzierung im Verkehrs- und Wärmebereich kann die Brennstoffzelle ein Schlüsselement sein.

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Signifikante Verfügbarkeit/Marktreife ab 2025

#### Wichtige Querbezüge

- Dünnschichttechnologien und -materialien
- Wasserstoff-Herstellung (Elektrolyse)
- Mobilität (grundsätzlich alle Verkehrsträger)
- Erneuerbare Energien

### Besondere Herausforderungen

- Bayern hat in der Brennstoffzellentechnologie einen respektablen Weltanteil von knapp zwei Prozent, wobei die Entwicklung in den letzten fünf Jahren praktisch stagniert. Prozesstechniken in der Katalyse und elektrotechnische Kompetenz wurden zeitweise geradezu vernachlässigt und sind erst wieder im Aufbau.
- Für einen zielführenden Transformationsprozess fehlen die erforderlichen Stückzahlen bzw. Produktionstechnologien, die die Wirtschaftlichkeit einer industriellen Serienproduktion garantieren.
- Um das technologische und wirtschaftliche Potenzial von Brennstoffzellen umfassend zu erschließen, gilt es, effiziente Produktionstechnologien zu erforschen und zu entwickeln mit der großen Herausforderung, die Produktionskosten von heute > 1000 €/KW auf ca. 30 €/KW zu senken.
- Hoher zusätzlicher Infrastruktur- und damit Investitionsbedarf

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Zur dezentralen Nutzung von Wasserstoff zur Stromerzeugung in Brennstoffzellen ist eine integrierte Entwicklung des gesamten Systems von der Produktion über Transport und Speicherung bis zur Energieproduktion in Brennstoffzellen oder mit Direktverbrennung sinnvoll, um die gesamte Verarbeitungskette des Energieträgers möglichst effizient zu gestalten und einen möglichst verlustarmen globalen Transport zu ermöglichen. Hier bestehen beispielsweise in Erlangen Forschungsaktivitäten und Kompetenzen in der Wasserstoffspeicherung in LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers), die eine gefahrenarme und verlustarme Handhabung ermöglichen und somit vor allem für den Transport als Kraftstoff in regionalen Verkehrsnetze oder im Schwerverkehr, aber auch für den (Pipeline-)Transport des Energieträgers über größere (z. B. interkontinentale) Distanzen interessant sind. Diese Kompetenzen werden durch die Kompetenzen der TU München in der Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff komplementär ergänzt. Im Rahmen der Bayerischen Wasserstoffstrategie ist eine weitere Bündelung von universitärer und außeruniversitärer Forschung wie auch an Hochschulen für angewandte Wissenschaften im Schulterschluss mit der bayerischen Industrie vorgesehen.
- Das Helmholtz-Institut Erlangen-Nürnberg für Erneuerbare Energien (HI ERN) befasst sich insbesondere mit Wasserstoff als Speichermedium.
- Zentrum Wasserstoff.Bayern: vernetzte Akteure in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik, um das Thema „Wasserstoffwirtschaft“ und insbesondere Wasserstoff in der Mobilität in Bayern schnellstmöglich voranzubringen. Ziel ist dabei, den Einsatz von Wasserstoff in der breiten Praxisanwendung zu erreichen.
- Wasserstoff-Tankstellenförderprogramm: 100 Wasserstofftankstellen für Bayern
- Darüber hinaus umfasst das Wasserstoffbündnis Bayern zentrale Akteure einer zukünftigen bayerischen Wasserstoffwirtschaft.
- Die Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt eine Forschungsplattform für eine neuartige Brennstoffzellenproduktion, die deren beschleunigte Industrialisierung ermöglichen soll inkl. regionalem Cluster SÜD/Bayern (Nationale Forschungsplattform Brennstoffzellen- und Elektrolyseur-Produktion).

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Strategisch zu klären ist, auf welche Anwendungszwecke bei der Brennstoffzelle gesetzt werden soll. Wenn im Individualverkehr neben der Elektrifizierung eine zweite neue Antriebstechnologie verfolgt werden soll, ist auch angesichts des relativen Vorsprungs der Elektromobilität massives politisches Handeln notwendig. Die bayerischen Ansätze (50 Mio. Euro für Ausbau insbesondere eines Wasserstoff-tankstellennetzes für Nutzfahrzeuge in Bayern und verstärkte Forschung und Entwicklung im Bereich Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie) gehen in die richtige Richtung, müssten aber durch erhebliche zusätzliche Aktivitäten bundes- und EU-weit flankiert werden. Eine stärkere Konzentration auf den Einsatz der Brennstoffzelle etwa im Schwerlastverkehr ist sinnvoll. Es gilt also, für den Pkw-Bereich den infrastrukturellen Rahmen zu schaffen, den Fokus aber vor allem auch auf andere Transportmittel und deren Anforderungen zu richten.

Der Fokus bei F+E muss vorrangig auf produktionstechnische Lösungen für die industrielle Serienproduktion marktreifer Brennstoffzellen gelegt werden. Es sollte konsequent in die Entwicklung nationaler Produkte und die Stärkung technologischer Fertigungskapazitäten investiert werden, mit dem Ziel, Produktionskosten im großen Maßstab zu reduzieren und den wirtschaftlichen Durchbruch der Brennstoffzellen-Technologie zu beschleunigen:

- Schlüsselemente bzw. -prozessschritte der Brennstoffzellen-Produktion müssen so entwickelt werden, dass die Machbarkeit einer Massenfertigung in der industriellen Serie gelingen kann
- Politische Unterstützung beim Aufbau lokaler Produktionsinfrastrukturen, für die Entwicklung und Erforschung großserientauglicher Fertigungsverfahren
- Gezielte Stärkung bestehender Forschungskompetenzen und -infrastrukturen, digitale Verknüpfung und mittelbare Ausrichtung an den grundlegenden Herausforderungen und aktuellen technologischen Fragestellungen der Unternehmen  
Initial sind dies: hochskalierbare Produktions- bzw. Prüftechnologien, die Entwicklung internationaler sektorübergreifender Standards, die Qualifizierung sowie eine Betrachtung der zentralsten und fragilsten Bestandteile der Wertschöpfungskette im wirtschaftlichen Kontext
- Neben der Entwicklung neuer Produktionsverfahren kommt der Betrachtung der Gesamtsystemintegration einschließlich Sicherheitskonzepten und Betriebsstrategien eine tragende Rolle zu. Entscheidende Forschungsfragen sind dabei z. B.:
- Kognitive Sensorsysteme für Herstellung und Betrieb von Brennstoffzellen
- Mathematische Optimierungsverfahren für Prozessplanung, Betrieb und Lifecycle
- Systemtestautomatisierung und intelligente Betriebsstrategien
- Leistungselektronik zur Netzkopplung von Brennstoffzellen
- Sicherheitskonzepte und Systemprüfung hinsichtlich einer Zulassung

Technologie

Cluster

## Synthetische Treibstoffe

Treibstoffe, insb. für die Mobilität, hergestellt aus nicht petrochemischen Rohstoffen, insbesondere Fischer-Tropsch und ähnliche Verfahren

**Energieangebot/  
Umwandlung**  
Synthetische Energieträger /  
Wasserstoff

**Sonstige Sektoren**  
Landwirtschaft,  
LULUCF\*

**Digitalisierung**

\* Land Use, Land Use Change  
and Forestry

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Power-to-X-Technologien bieten die Perspektive, treibhausgasneutrale chemische Energieträger und Chemierohstoffe auf Basis erneuerbarer Energiequellen (z. B. Wind- und Solarenergie) bereitzustellen. Durch die Umwandlung entstehen neue Optionen für Transport und Speicherung von Energie.
- Große Potenziale in Fahrzeugtechnik und Luftfahrt (jeweils vor allem auch zur Emissionsminderung im Bestand)
- Vermeidung von Neuemissionen

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,4 Prozent von 2015–2019)
- Signifikante Verfügbarkeit ab 2030

#### Wichtige Querbezüge

- Effiziente Verbrennungsmotoren
- Hybrides Fliegen
- Mobilität insgesamt
- CO<sub>2</sub>-Filter, -Abscheidung, -Bindung
- Wasserstoff
- Weitere Power-to-X-Technologien

### Besondere Herausforderungen

- Hohe Unsicherheit bezüglich der realisierbaren Mengen und der erreichbaren Kostenniveaus. Erneuerbare Energien können bei einer ambitionierteren Fortsetzung der heutigen Zubauraten den bisherigen Strombedarf decken. Um fossile Lösungen zu ersetzen, sind Anlagen in einem ganz anderen Maßstab notwendig. Landwirtschaftlich nutzbare Flächen werden zum Beispiel nach heutigen Maßstäben nicht ausreichen, um auch nur annähernd die erforderlichen Mengen aus Biomasse zu erzeugen, zumal eine wachsende Weltbevölkerung ebenfalls in jeder Hinsicht einen steigenden Flächenbedarf hat. Importe sind aus heutiger Sicht auf jeden Fall erforderlich; die entsprechenden Kapazitäten an geeigneten Standorten und weltweiten Märkte müssen noch aufgebaut werden.
- Herstellung, Speicherung und Transport von Power-to-X-Produkten ist sehr kosten- und energieintensiv. Erheblich geringere Wirkungsgrade im Vergleich z. B. zu Elektromobilität und direktem Wasserstoffeinsatz.
- Solange jedenfalls nicht die Voraussetzungen für deutlich größere Produktionskapazitäten geschaffen sind, müssen mögliche Nutzungskonkurrenzen aufgelöst werden (z. B. Einsatz im Flugverkehr, in der Industrie, Schwerlast- vs. Individualverkehr).
- Es müssen entsprechende Rahmenbedingungen für die Entwicklung von Absatzmärkten und zumindest ein gewisses Maß an Investitionssicherheit geschaffen werden.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Forschungszentrum „Synthetische Kraftstoffe“ in Straubing: Am Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit der TU München zeigen Ingenieure die Herstellung von OME als Dieselmotoren-Alternative mit einer neu errichteten Demonstrationsanlage.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Aufbau von Erzeugungskapazitäten
- Synthetische Treib- und Brennstoffe müssen regulativ fair behandelt werden. Das ist nicht der Fall, solange einseitig nur die Emissionen beim Betrieb berücksichtigt werden.
- Weitere Forschung und Entwicklung ist im Hinblick auf die Nachverfolgbarkeit notwendig: Wenn der Einsatz synthetischer Kraftstoffe Rechtsfolgen beispielsweise im Steuerrecht auslöst, ist diesbezüglich ein Nachweis erforderlich. Dazu ist entweder eine Beimischung möglich, die – ähnlich wie vom Heizöl bekannt – Stoffe fossilen Ursprungs von synthetisch erzeugten unterscheidbar macht, oder eine lückenlose digitale Herkunftsnachweiskette, etwa über den Einsatz von Blockchain-Technologien.
- Neben synthetischem Diesel, Benzin etc. aus Power-to-X-Anwendungen (d. h. unter Nutzung erneuerbarer Energien) sind auch biologische Verfahren wie die Gewinnung von Brennstoffen aus Algen intensiv weiter zu erforschen.
- Projekte mit Drittländern (Erzeugerstandorte), sowohl über Entwicklungszusammenarbeit als auch als Kooperation mit (heute) rohstoffexportierenden Staaten

Technologie

Cluster

## Intelligente Stromnetze

Kommunikative Verteilung und Steuerung von Strom.

Energieangebot/  
Umwandlung  
Infrastruktur,  
Sektorenkopplung,  
Flexibilität

Digitalisierung

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Bei der Transformation des Energiesystems sind zur Sicherung der Netzstabilität v. a. intelligente Stromnetze (Smart Grid) mit regelbaren Kraftwerken, Speicherkapazitäten sowie Möglichkeiten zur Abregelung von Anlagen nötig.
- Intelligente Stromnetze sind unabdingbar für die Integration erneuerbarer Energien, den Transport der produzierten Energie und für die Transformation der Strom-, Gas-, Wärme-Infrastrukturen zu sektor-gekoppelten Infrastrukturen.

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,3 Prozent von 2015–2019)
- Hohe Transformationsrelevanz
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Unmittelbare Verfügbarkeit/ Marktreife

#### Wichtige Querbezüge

- Ladeinfrastruktur
- Intelligentes, vernetztes Haus
- Intelligente Produktion
- Elektromobilität
- Wasserstoffproduktion
- Kopplungstechnologien (Wärmepumpen, Elektrolyse)

### Besondere Herausforderungen

- Transformation der Strom-, Gas- und Wärmeinfrastrukturen mit Blick auf die Sektorenkopplung und damit die Integration von Angebot und Nachfrage bedeuten einen Paradigmenwechsel. Kopplungstechnologien wie Wärmepumpen und Elektrolyse sowie deren automatisierter Betrieb spielen dabei eine wichtige Rolle.
- Voraussetzung dafür ist eine Flexibilisierung der Erzeugung, des Verbrauchs und des Regulierungsrahmens (Flexibilisierung der Netze und Digitalisierung für autonomen Netzbetrieb mit Assistenzsystemen und Transparenz über Netzbetreiber hinweg; automatisierte Betriebsführung von Verteilnetzen und integrierter Betrieb von Übertragungs- und Verteilnetzen).
- Probleme beim Aufbau intelligenter Stromnetze betreffen insbesondere die mindestens europaweite Normung und Standardisierung sowie die Gewährleistung von IT-Sicherheit und Datenschutz.
- Erfordernis neuer Geschäftsmodelle in den verschiedensten Bereichen der Energiedienstleistungen, um die Potenziale der Energie- und insbesondere der Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien in vollem Umfang zu nutzen, zum Beispiel, um Flexibilitätpotenziale anzureizen und auszuschöpfen.
- Durch den Zubau von erneuerbaren Stromerzeugern wächst die insgesamt im Netz installierte Leistung. Der klassische Ansatz eines parallelen Netzausbaus stößt an Kostengrenzen, sodass auch die bestehenden Netze so ertüchtigt werden müssen, dass sie mit der bestehenden Kapazität höhere Lastschwankungen abfangen können. Netze müssen nach Marktprinzipien Prioritäten setzen können. Im Netzentwicklungsplan haben „intelligente Maßnahmen“ Vorrang vor Netzausbau (NOVA-Prinzip), die praktische Umsetzung ist jedoch schwierig.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Im Forschungsprojekt pebbles (Peer-to-Peer-Energiehandel auf Basis von Blockchains) soll ein Konzept in Form einer digitalen Plattform für Peer-to-Peer-Handel (P2P-Handel) und den Austausch von Netzdiensten konzipiert, entwickelt und im Feld getestet werden (Förderung BMWi; Konsortium: Allgäuer Überlandwerk GmbH (AÜW), AllgäuNetz GmbH & Co. KG, Siemens AG, Hochschule Kempten (HKE) und Fraunhofer Institut für Angewandte Informationstechnik (FIT))
- Projekt Grid Edge der Siemens AG: Grid Edge steht im Zentrum neuer Energiesysteme, in denen Konsumenten, Prosumenten und das intelligente Stromnetz miteinander interagieren. Grid Edge Lösungen helfen, die Energieeffizienz von Gebäuden, Infrastrukturen und Industrieunternehmen zu optimieren. Sie ermöglichen es den Marktteilnehmern, Erneuerbare Energien auf intelligente Weise einzusetzen und so die Kontrolle über ihre eigene Energieversorgung zu übernehmen.
- Das Zentrum für gekoppelte intelligente Energiesysteme (CoSES) am Zentrum für Energie und Information an der TU München stellt ein Ökosystem dar, das die Entwicklung nachhaltiger integrierter Energiesysteme fördert. Das Labor verbindet Strom-, Wärme-, und Verkehrssektor und soll Wissenschaft und Industrie bei der Erarbeitung innovativer Netzkonzepte zusammenbringen.
- Das Forschungsprojekt „Altdorfer Flexmarkt“ (ALF) ist ein Demonstrationsvorhaben von C/sells, dem süddeutschen Projekt von SINTEG („Schaufenster intelligent

Energie – Digitale Agenda für die Energiewende“). ALF stellt ein Konzept zur Nutzung der im Verteilnetz lokal vorhandenen Flexibilitäten dar. Verteilnetzbetreiber erhalten durch ALF ein Werkzeug, um in ihrer Betriebsplanung flexibel auf Netzengpässe reagieren zu können und somit seltener auf Notfallmaßnahmen zugreifen zu müssen. (Förderung durch BMWi; Konsortium: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), Bayernwerk AG, Technische Universität München).

- Beim Forschungsvorhaben Flex2Market werden durch präventives Lastmanagement Netzengpässe und ein kostenintensiver konventioneller Netzausbau vermindert. Dieses innovative Lastmanagement erfolgt durch regulatorische Eingriffe des Marktbetreibers über eine regionale Marktplattform mit Ampelsystematik (Förderung durch BMWi; Konsortium: E-Werk Schweiger, Bergische Universität Wuppertal).

**Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung**

- Weiterentwicklung der Netzregulierung dahingehend, dass aus Pilotversuchen auch ein flächendeckender Einsatz erfolgen kann
- Regulatorik in Reallaboren/ Pilotprojekten weiterentwickeln, um beispielsweise die Auswirkungen stärkerer Befugnisse für Netzbetreiber, einzelne Erzeuger oder Verbraucher zu- und abzuschalten (derzeit nur als Notfallmaßnahme, wenn das Netz kurz vor dem Zusammenbruch steht) und notwendige Ausgleichsmaßnahmen für die betroffenen Verbraucher evaluieren zu können.
- Größere Transparenz über augenblicklichen Netzzustand (z.B. durch Sensorik) sowie deutlich intelligentere Schnittstelle zu Gebäuden, um in Grenzen auch den Verbrauch beeinflussen zu können (Wallbox, Wärmepumpe, Klimaanlage etc.).

Technologie

Cluster

## Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

Energieangebot/  
Umwandlung  
Infrastruktur,  
Sektorenkopplung,  
Flexibilität

HGÜ (engl. HVDC) ist eine Technologie der Stromübertragung mit Gleichspannung zwischen den üblichen Wechselstrom-Endpunkten Verbraucher und Erzeuger, die insbesondere für die Elektrizitätsübertragung weit entfernter Netze entwickelt wurde und geringere Übertragungsverluste verspricht.

**Bedeutung der Technologie**

**Beitrag zum Klimaschutz**

- Ohne (europäisch integriertes) Transportnetz sind weder die Energiewende noch die darauf basierende Sektorenkopplung denkbar.

**Bedeutung für Bayern**

- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt; ohne HGÜ werden sich die Produktionszentren erneuerbarer Energie (z.B. Nordsee) nicht mit den landesweiten Verbrauchszentren verbinden lassen
- Beispiel Deutschland: Bei 80 Prozent erneuerbarem Anteil im Stromnetz werden drei bis vier neue Nord-Süd-HGÜ-Leitungen benötigt.
- Unmittelbare Verfügbarkeit/ Marktreife

**Wichtige Querbezüge**

- Intelligente Stromnetze
- Ausbau erneuerbarer Energien
- Sektorenkopplung

**Besondere Herausforderungen**

- Technologie ist marktreif, hat aber noch weiteres Entwicklungspotenzial, u. a. hinsichtlich Kosten, Digitalisierung, Netzeinbindung.
- Wachsende Konkurrenz aus China
- Einsatz in Deutschland erschwert durch „NIMBY“-Mentalität; unterirdische Verlegung der HGÜ-Kabel führt zu erheblichen Zusatzkosten (bei immer noch unklarer Akzeptanz durch Bevölkerung)
- Bayern hat bei der HGÜ einen vergleichsweise kleinen Weltanteil von 1,2 Prozent, wobei die Entwicklung in den letzten fünf Jahren praktisch stagniert (0,3 Prozent von 2015–2019)

**Bestehende Aktivitäten in Bayern**

- Siemens Energy: FuE und Produktion von HGÜ-Komponenten, Errichtung vollständiger HGÜ-Leitungen

**Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung**

- Konsequentes Vorantreiben der geplanten (und gemäß laufender Bedarfsanalyse künftig notwendigen) HGÜ-Projekte in Deutschland

Technologie

Cluster

**Organische Solarzellen,  
Tandem- und Perovskitzellen**

Energieangebot/  
Umwandlung  
Erneuerbare Energien

Sammelgruppe von Nicht-Siliziumsolarzellen, auf Basis von organischen Farbstoffen (Polymerzellen) meist niedrigerem und Tandem-/Perovskit-Zellen höherem Wirkungsgrades

**Bedeutung der Technologie**

**Beitrag zum Klimaschutz**

- Perspektivisch deutlich günstiger als klassische Photovoltaik auf Basis mineralischer Halbleiter, neue Anwendungsmöglichkeiten durch dünne, biegsame Trägermaterialien und neuartige Produktionsprozesse (additive Fertigungsverfahren); eröffnet neue Möglichkeiten, PV in Fahrzeuge, Gebäude etc. zu integrieren.

**Bedeutung für Bayern**

- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Hohe Transformationsrelevanz
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Signifikante Verfügbarkeit/Marktreife ab 2025

**Wichtige Querbezüge**

- 3D-Druck
- Nanotechnologie und Dünnschichttechnologien
- Maschinenbau
- Bauwirtschaft

**Besondere Herausforderungen**

- Die nächsten Generationen von Photovoltaiktechnologien (z. B. Perovskit-Zellen, Farbstoffzellen, sonstige organische Materialien) werden sich erst allmählich im Markt entwickeln und diesen dann voraussichtlich auch für unterschiedliche Einsatzzwecke stärker ausdifferenzieren als dies heute der Fall ist.
- Skalierbarkeit der Technologie noch nicht gegeben: Überbrückung zwischen Einsatz unter Laborbedingungen und in der Praxis steht noch aus. Wirkungsgrade, Haltbarkeit und kostengünstige Produktion müssen – unter anderem auf Basis vertiefter Kenntnisse von Dünnschicht-Technologien – in technischem Maßstab genutzt werden.
- Etablierte Lieferketten (v. a. in China) bei der Siliziumzelle sind schwer zu überwinden, nachdem diese in den letzten Jahrzehnten eine gigantische Kosten- und Effizienzkurve beschrieben hat.
- In den organischen Solarzellen ist die absolute Patentmenge in Bayern in den letzten Jahren leicht rückläufig in einem seit 2017 stagnierenden globalen Technologieumfeld (Bayern verzeichnet leicht sinkende Weltmarktanteile: -0,2 Prozent von 2015–2019).

**Bestehende Aktivitäten in Bayern**

- ZAE Bayern: In der „Solarfabrik der Zukunft“ werden Photovoltaik-Module der dritten Generation entwickelt, die sich sowohl durch Digitaldruck als auch durch eine Kombination von Beschichtungs- und Lasertechnologien im Rolle-zu-Rolle-Verfahren herstellen lassen.
- TUM.solar: Fokus auf Forschung an solarer Energiewandlung und -speicherung basierend auf Nanomaterialien sowie organisch-organischen und organisch-anorganischen Hybridsystemen

**Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung**

- Konzentration auf neue Anwendungen (z. B. flexible Oberflächen)
- Materialrelevante Forschung als lohnender Schwerpunkt (China setzt auf Nanotechnologie)
- Konzentration auf die Herstellung von Produktionsmaschinen für entsprechende Module
- Auch die organische Elektronik muss weiter gefördert werden, um beide Technologien optimal miteinander zu verbinden.

Technologie

Cluster

**Solarthermie**

Solarthermische Anlagen, die im Gegensatz zu Photovoltaik-Anlagen nicht zur Strom- sondern Wärmeerzeugung dienen

Energieangebot/  
Umwandlung  
Erneuerbare Energien

**Bedeutung der Technologie**

<p><b>Beitrag zum Klimaschutz</b></p>	<p>- Spielt eine Rolle bei der Wärmewende und verfügt über einen hohen Wirkungsgrad im Häuserbereich</p>
<p><b>Bedeutung für Bayern</b></p>	<p>- Hoher Anteil bayerischer Weltklassepatente (3,6 Prozent) - Durch die Kostenentwicklung bei der Photovoltaik wirtschaftlich zunehmend unattraktiv</p>
<p><b>Wichtige Querbezüge</b></p>	<p>- Photovoltaik (Konkurrenz) - Geothermie</p>

### Besondere Herausforderungen

- Relativ hoher Flächenbedarf und auf ähnliche Flächenqualitäten wie Photovoltaik angewiesen (insofern Konkurrenz zwischen den Technologien)
- Photovoltaik insgesamt kostengünstiger als Solarthermie, Letztere kann nur bei Anwendungen punkten, bei denen auch die Wärme genutzt wird
- Bei mehrstöckigen Gebäuden oftmals Missverhältnis zwischen der für Solarthermie verfügbaren Dachfläche und der zu beheizenden Flächen oder der mit Warmwasser zu versorgenden Personenanzahl
- In Deutschland sind die Einstrahlungsbedingungen für die Nutzung dieser Technologie in großtechnischem Maßstab zur Stromerzeugung oder zur Erzeugung von Prozesswärme auf hohen Temperaturniveaus ungünstig; ist vor allem im Wüstengürtel der Erde attraktiv, da die Technologie direkte Sonnenstrahlung konzentriert

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Verschiedene Projekte des eza! (Energie- und Umweltzentrum Allgäu)
- Ausbau des Informationsmaterials zur Solarthermie im Rahmen des Bayerischen Aktionsprogramms Energie

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Konzentration auf Hybridkonzepte zusammen mit Geothermie

Technologie

Cluster

## Geothermie (Erdwärme-Energieerzeugung)

Energieangebot/  
Umwandlung  
Erneuerbare Energien

Direkte oder indirekte Nutzung geothermaler Energie meist zur Stromerzeugung

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Erneuerbare Energiequelle mit erheblichen Potenzialen gerade in Bayern.

#### Bedeutung für Bayern

- Hoher Anteil bayerischer Weltklassepatente (3,3 Prozent)
- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland/EU, insbesondere bei der Wärmewende
- Unmittelbare Verfügbarkeit/Marktreife
- Geothermie zählt zu den wichtigsten EE-Technologien. Für Bayern ist insbesondere die Nutzung für den Wärmebereich relevant.
- Fast die gesamte Fläche Deutschlands ist grundsätzlich zur Nutzung oberflächennaher bis mitteltiefer Geothermie geeignet, bei der Tiefengeothermie sind bestimmte Regionen bevorzugt.
- Das theoretische technische Gesamtpotenzial zur geothermischen Stromerzeugung entspricht in Deutschland rund dem 600-fachen des deutschen Jahresstrombedarfes.
- Der Großteil der geothermischen Ressourcen Deutschlands ist in den petrothermalen Ressourcen gespeichert, deren Nutzung hier noch im Versuchs- und Erprobungsstadium sind. Weiter fortgeschritten ist die Nutzung der hydrothermalen Reservoirs, die sich vor allem in den oberrheinischen und norddeutschen Tiefen sowie im süddeutschen Molassebecken und in Nordrhein-Westfalen befinden.
- Die installierte tiefengeothermische Leistung in Bayern entspricht 96 % der deutschlandweit installierten Leistung – Grund: hervorragende geologische Randbedingungen
- Hohes Potenzial und Relevanz bei der Transformation der Wärmeversorgung, insbesondere in Südbayern
- Hohe regionale Wertschöpfung
- Hohe Dynamik: mehrere weitere Geothermieanlagen im Bau und in Planung

#### Wichtige Querbezüge

- Solarthermie

### Besondere Herausforderungen

- Vergleichsweise hohe Weltanteile, dafür stark rückläufige Dynamik (Bayern verzeichnet sinkende Weltmarktanteile: –1,6 Prozent von 2015–2019)
- Technologien zur geothermischen Stromerzeugung befinden sich in weiten Teilen noch in einem frühen Entwicklungsstadium – insbesondere hinsichtlich der Nutzung der petrothermalen Ressourcen
- Bei der Kraftwerkstechnik bestehen noch Optimierungspotenziale und Entwicklungsnotwendigkeiten, bspw. bei der Stimulationstechnik zur Steigerung der Ergiebigkeit der Wärmereservoirs
- Geothermische Stromerzeugung ist mit den heute verfügbaren Technologien deutlich teurer als die Erzeugung mit fossilen oder den meisten anderen erneuerbaren Energieträgern
- Zentrales Hemmnis für die wirtschaftliche Erschließung und Nutzung ist die (geringe) Erfolgswahrscheinlichkeit zur Erreichung der Mindestfließrate und Mindesttemperatur
- Der Anteil der Geothermie an der gesamten Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energieträgern im Jahr 2019 lag unter 0,05 Prozent.
- Obwohl alle Wärmeprojekte bislang fündig waren, sprich auf heißes Wasser gestoßen sind, gibt es bei ambitionierten Projekten (insbesondere Stromanlagen) nichtfündige Projekte
- Die Technologie ist geprägt durch hohe Anfangsinvestitionskosten (v. a. Explorations- und Bohrkosten) und lange Abschreibungen, die für viele Kommunen ein Einstiegshindernis darstellen.
- Geothermie spielt seine Vorteile insbesondere in der Grund- und Mittellastversorgung von Wärmenetzen aus, weshalb Spitzenlasttechnologie weiterhin notwendig ist.
- Die nutzbare Wärme ist im Untergrund nicht gleichmäßig verteilt und korrespondiert mitunter nicht mit den übertägigen Wärmesenken bzw. Wärmenetzen. Bei schwankender Wärmenachfrage ist eine intelligente Wärmeverteilung über Verbundleitungen nötig.
- In Nordbayern kann Tiefengeothermie aufgrund des geologischen Untergrundes nur durch Stimulationsmaßnahmen gefördert werden: Enhanced Geothermal Systems (EGS) sind künstlich erzeugte Wärmetauschersysteme ab ungefähr drei Kilometern Tiefe. Hier ist man auf Untergrunderkenntnisse angewiesen, die momentan noch unzureichend vorhanden sind.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Aktivitäten der Stadt München im Bereich Geothermie zur Wärmeversorgung: Fernwärmevision 2040 der SWM
- In Bayern sind über 22 Anlagen (Stand Juli 2019) zur hydrothermalen Wärmeversorgung und/oder Stromerzeugung in Betrieb bzw. im Probetrieb.
- Verbundforschungsprojekt Geothermie-Allianz Bayern (TUM, FAU, UBT, HM, LMU)

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Um das Fündigkeits- bzw. Investitionsrisiko zu mindern, ist eine bessere Datenlage erforderlich (u. a. Kartierung von Untergrundstrukturen, -temperaturen und hydraulischen Eigenschaften, Reservoirerkundung und Erstellung tektonischer Atlanten)
- Erstellung eines großangelegten Masterplans Geothermie zur Sicherung der Wärmewende durch Geothermie notwendig
- Die Technologie wird für Kommunen oder Investoren wirtschaftlich attraktiv, wenn die Anfangskosten, insbesondere für Bohrung, Netzausbau oder Verbundleitungen, geringer werden und gesellschaftlich mitgetragen werden können.
- Für kommunenübergreifende Verbundleitungen zum Transport grüner Fernwärme in die Nachbargemeinde und darüber hinaus stehen momentan keine gleichwertigen Förder-Mechanismen zur Verfügung, wie für die Wärmeproduktion und -versorgung vor Ort.
- Um die Tiefengeothermie auch in gering durchlässigen Gesteinen zu ermöglichen, sind finanzielle Mittel für die Identifikation und Untersuchung von Explorationsgebieten sowie die Durchführung eines wissenschaftlich begleiteten EGS-Pilotprojektes notwendig.

Technologie

Cluster

## Intelligentes, vernetztes Haus

Geräte in und um Gebäude, die aus Sensoren und Netzwerkkomponenten bestehen

**Energienachfrage**  
Private Haushalte/ Handel/  
Dienstleistungen

**Digitalisierung**

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Smart-Home-Anwendungen optimieren den Energie- und Wärmebedarf, wenn sie richtig eingesetzt werden.

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,4 Prozent von 2015–2019)
- Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2025

#### Wichtige Querbezüge

- Bauwerksdatenmodellierung
- Energieeffiziente Gebäudetechnik
- Anpassungstechnologien im Bau und in der Infrastruktur
- Energieeffiziente Haushaltsgeräte

### Besondere Herausforderungen

- Für die intelligente Verbrauchssteuerung im Smart Home sind grundsätzlich flexible Stromtarife und intelligente Stromzähler (Smart Meter und Smart Gateways) in den Gebäuden sowie Infrastrukturmodernisierungen (z. B. bei Zähleranlagen) nötig. Bisher liegt der Fokus auch in der Vermarktung zu stark auf Sicherheitsinteressen und rein technischen Fragen, während die Energieeinsparung stark in den Hintergrund tritt.
- Das mögliche Einsparungspotenzial hängt neben dem individuellen Nutzungsverhalten u. a. von der Bausubstanz und der Gebäudegröße ab.
- Nutzer müssen die Smart-Home-Anwendung optimal auf ihre Gegebenheiten konfigurieren, anderenfalls kann der Energieverbrauch durch die Anwendungen auch steigen (Geräte auf Standby).
- Von besonderer Bedeutung in modernen Passiv-, Nullenergie- oder Plusenergiehäusern, die sich ohne intelligente Steuerungstechniken bei Energieverbrauch und -produktion kaum sinnvoll betreiben lassen.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Projekte zum Thema betreut unter anderem Bayern Innovativ, insbesondere seit der Integration der Themenplattformen des ZD.B.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Für Neubauten und Bestandimmobilien kommt es wesentlich auf die Optimierung des gesamten Gebäude-Lebenszyklus an. Dafür müssen Anreize geschaffen und entsprechende Technologien etabliert werden.
- Für eine weitere Verbreitung digitaler Lösungen sorgen (auch Hardware); unter anderem müssen Verbraucher tatsächlich Zugriff auf die Energieverbrauchsdaten haben und diese für eine effizienzorientierte Optimierung nutzen können.
- Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. für flexible Energiepreise)

Technologie

Cluster

## Energieeffiziente Gebäudetechnik

Sammelgruppe für Wärmeisolierung, passives Kühlen, Wärmepumpen, Thermochrome Gläser und andere energieeffiziente Gebäudetechnologien

**Energienachfrage**  
Private Haushalte/ Handel/  
Dienstleistungen

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Die effiziente Gebäudetechnik (inkl. Techniken der Gebäudehülle) ist unabdingbar für die Wärmewende und die Transformation im Gebäudebereich zu hohen und höchsten Effizienzstandards sowohl im Neubau als auch im Bestand.
- Durch die Bauwerksdatenmodellierung können Neubauten als auch Bestandsgebäude auf hohe und höchste Effizienzstandards optimiert werden.

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,3 Prozent von 2015–2019, +1 Prozent in der Bauwerksdatenmodellierung)
- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Hohe Transformationsrelevanz
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Unmittelbare Verfügbarkeit/Marktreife

#### Wichtige Querbezüge

- Anpassungstechnologien Bau
- Bauwerksdatenmodellierung
- Intelligentes, vernetztes Haus
- Anpassungstechnologien im Bau und in der Infrastruktur
- Gebäudemanagementsysteme
- Intelligente Netze

### Besondere Herausforderungen

- Zersplitterung eines Bauprojektes in unterschiedliche Gewerke, meist viele beteiligte Klein- und Kleinstunternehmen
- Geringer Digitalisierungsgrad
- Wenig Anreize für eine Betrachtung des gesamten Lebenszyklus

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Das BIM Cluster Bayern will einen gemeinsamen Impuls zur Nutzung der Digitalisierung für besseres Planen, Bauen und Betreiben in Bayern geben.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Bauwerksdatenmodellierung (BIM) einsetzen um für eine effiziente Betriebsphase zu sorgen und die Potenziale der Gebäudetechnik zu heben (vgl. Handlungsempfehlungen und Studie *Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung*, 2017)
- Entlang des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes für alle Beteiligten die gleichen, konsistenten Zielanreize setzen.
- Die öffentliche Hand ist der mit Abstand größte Bauherr und hat Signalwirkung für die gesamte Branche; der Staat sollte daher seine eigenen Bauten nach neuesten technologischen Standards planen, bauen und bewirtschaften, einschließlich einer Nacherfassung und Sanierung des Bestands.
- Anreize für eine deutliche Erhöhung der Sanierungsquote setzen
- Gegebenenfalls Regulierung (nur noch Genehmigung energieeffizienter Bauprojekte, Entwicklung einer Gesamtlösung, z. B. bei öffentlichen Bauvorhaben Verpflichtung zur Anwendung von BIM (sukzessive auch für die Bestandserfassung) und Simulation des Energieverbrauchs über den Lebenszyklus)
- Abbau von Hindernissen, geeignete rechtliche Rahmenbedingungen, Überarbeitung von Normen
- Qualifikationsoffensive für Baubeteiligte
- Bayern als Modellregion für Gebäudeeffizienz aufbauen

Technologie

Cluster

## Energieeffiziente Haushaltsgeräte

Energieoptimierte „Weiße Ware“, Wasch-, Spülmaschinen, Trockner, Herde, Kühlschränke

### Energienachfrage

Private Haushalte/ Handel/  
Dienstleistungen

### Bedeutung der Technologie

<b>Beitrag zum Klimaschutz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Energieeinsparpotenzial</li> </ul>
<b>Bedeutung für Bayern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Hoher Anteil bayerischer Weltklassepatente (3,8 Prozent)</li> <li>– Unmittelbare Verfügbarkeit/ Marktreife</li> </ul>
<b>Wichtige Querbezüge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Intelligentes, vernetztes Haus</li> </ul>

### Besondere Herausforderungen

- Vergleichsweise hohe Weltanteile, dafür zum Teil nachlassende Dynamik (Bayern verzeichnet sinkende Weltmarktanteile: –0,9 Prozent von 2015–2019)
- Die per Ökodesignrichtlinie auf den Produkten genannten Energieeffizienzklassen berücksichtigen nur den Verbrauch im Betrieb.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Der „Haushaltsgeräte-Check“ des Bayerischen Landesamts für Umwelt gibt Hilfestellung bei der Frage, ob es sich lohnt, ein altes Haushaltsgerät gegen ein neues, effizientes Gerät zu ersetzen. Dabei wird grundsätzlich auch die „graue“ Energie (für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung) berücksichtigt.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Produkte sollten generell über den gesamten Lebenszyklus, u. a. auch in Bezug auf das Thema Recycling, betrachtet werden

Technologie

Cluster

## Anpassungstechnologien im Bau und in der Infrastruktur

Technologien gegen Tsunamis, Überschwemmungen,  
Wirbelstürme und andere Umweltextreme

Sonstige Sektoren  
Anpassungstechnologien

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

- Technologien gegen Tsunamis, Überschwemmungen, Wirbelstürme und andere extreme Umwelt Ereignisse

#### Bedeutung für Bayern

- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Unmittelbare Verfügbarkeit/ Marktreife

#### Wichtige Querbezüge

- Künstliche Intelligenz und weitere Digitalisierungstechnologien
- Baubereich insgesamt einschließlich Planung

### Besondere Herausforderungen

- Bayern erreicht vergleichsweise geringe Weltanteile (1,3 Prozent) und musste in den letzten Jahren leichte Anteilsverluste verzeichnen.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP (Holzkirchen) führt zum Beispiel Projekte zu effizienten Lüftungssystemen durch und arbeitet an einer belastbaren und zuverlässigen Klimadatengrundlage für die Bauteilsimulation.
- Runder Tisch „Klimaschutz durch Bauen mit Holz“ der Hochschule Rosenheim als Teil der Holzbau-Initiative des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Durchdringung mit digitalen Technologien ist deutlich zu niedrig und muss massiv erhöht werden. Insbesondere eine bessere Datennutzung ist entscheidend. Bauwerke müssen stärker über den ganzen Lebenszyklus betrachtet werden. Ein Ansatzpunkt ist die konsequente Anwendung von Building Information Modeling bei allen staatlichen Bauwerken; die Erkenntnisse daraus müssen in die Breite transportiert werden. Vor- und Nachteile von Baustoffen müssen analysiert und besser transportiert werden, etwa im Hinblick auf den Einsatz von Holz auch im Gewerbebau.
- Gebäude spielen bei der Vermeidung und Anpassung an den Klimawandel eine entscheidende Rolle. Durch hohe Vorfertigung (modulares bzw. serielles Bauen, 3D-Druck) erschließen sich für eine innovative Bauindustrie neue Marktchancen und Exportmöglichkeiten, die bisher nicht vorhanden waren. Diese Bereiche müssen daher gezielt gestärkt werden, auch hier unter anderem durch einen Einsatz bei Baumaßnahmen der öffentlichen Hand.

Technologie

Cluster

## Anpassungstechnologien in der Gesundheitsvorsorge

Entwicklungen zur Gesundheitsvorsorge gegen zunehmende Krankheiten wie Malaria, Zika, Nil-Fieber etc.

Sonstige Sektoren  
Anpassungstechnologien

### Bedeutung der Technologie

#### Beitrag zum Klimaschutz

– Gesundheitsvorsorge gegen Krankheiten, Allergien, sonstige Auswirkungen des Klimawandels. Dazu können Medizinprodukte (Medikamente) ebenso zählen wie Technologien für den Einsatz gegen Erreger etc. (Bekämpfung krankheitsübertragender Insekten, Filtersysteme gegen Pollen und Erreger, innovative und energieeffiziente Klimatechnik).

#### Bedeutung für Bayern

– Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland  
– Hohe Lösungsrelevanz für die Welt (WHO schätzt 250.000 zusätzliche jährliche Todesfälle pro Jahr durch Krankheiten, Unterernährung etc., was eher konservativ geschätzt erscheint)  
– Hohes ökonomisches Potenzial, globaler Wachstumsmarkt  
– Viele Technologien erleben „push“ durch Corona-Pandemie  
– Gute F+E-Voraussetzungen in Bayern in Gesundheits- und Medizintechnologien

#### Wichtige Querbezüge

– Gebäudeausstattung (z. B. Luftreinigung, Filtertechnologien, Klimasysteme) und Bauwirtschaft  
– Wasseraufbereitung  
– Ernährungstechnologien  
– Biotechnologien

### Besondere Herausforderungen

- Bayern erreicht vergleichsweise geringe Weltanteile (0,8 Prozent). Das spiegelt auch die Tatsache wider, dass einige der Technologien eher noch am Anfang der Marktreife stehen bzw. bei uns erst mit fortschreitendem Klimawandel relevanter werden; die Entwicklung muss gleichwohl jetzt schon erfolgen.
- Dem Gesundheitssektor selbst werden gut 4,5 Prozent der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen zugeschrieben, während der Sektor weiter wächst. Auch innerhalb der Branche spielen deshalb insbesondere Effizienztechnologien eine erhebliche Rolle; Recycling beziehungsweise der Einsatz wiederverwendbarer Produkte ist eine weitere Facette.
- Besondere Herausforderungen ergeben sich durch den Klimawandel in Regionen, die heute über schwach ausgebaute Gesundheitssysteme verfügen.

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Das Universitäre Zentrum für Gesundheitswissenschaften am Klinikum Augsburg – UNIKA-T forscht schwerpunktmäßig auf den Gebieten Health Care Operations / Health Information Management, Umweltmedizin und Epidemiologie.
- Die Professur für Regionalen Klimawandel und Gesundheit an der Uni Augsburg adressiert die lokalen bis regionalen Auswirkungen von Klimafaktoren auf die menschliche Gesundheit und ihre Veränderungen im Kontext des globalen Klimawandels.
- Cross-Industry-/Cross-Cluster-Förderprogramme in den Bereichen Life Science & Gesundheit: Biotech, Ernährung und Medizintechnik, aber noch ohne konkreten Bezug zu Anpassungstechnologien

**Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung**

- Schaffung attraktiver Forschungsinfrastruktur, um Spitzenkräfte in Anpassungstechnologien weltweit nach Bayern zu holen
- Für die Anpassung in Bayern bzw. Deutschland geht es in erster Linie darum, die allgemeine Gesundheitsvorsorge weiter zu stärken, da die direkten Folgen des Klimawandels zwar spürbar, aber weniger dramatisch sind als in vielen anderen Weltregionen. Für den Export von Lösungen muss aber unter anderem auch die pharmazeutische Forschung und Produktion am Standort weiter gestärkt werden (Handlungsempfehlungen *Gesundheit und Medizin*, 2018).
- Generell müssen die Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Gesundheit besser erforscht werden. Die bestehenden Aktivitäten im hochschulischen Bereich müssen weiter ausgebaut werden, um Kausalketten besser zu verstehen und gute Lösungsansätze entwickeln zu können. Auch die außeruniversitären Forschungseinrichtungen müssen sich dieser Thematik wieder verstärkt annehmen. Ein zentrales Ziel muss die schnellere Umsetzung in praktische Lösungen sein, wofür ggf. der Schwung aus der Corona-Bekämpfung genutzt werden kann.
- Wichtig ist vor allem die Suche nach effizienten, kostengünstigen Lösungen, um diese überhaupt in der Breite zugänglich zu machen, ohne die ohnehin schon angespannten Gesundheitssysteme zu überfordern. Das gilt umso mehr für Anpassungstechnologien, die sich vor allem an die von den direkten Auswirkungen des Klimawandels betroffenen Regionen richten und die damit auch im Fokus der Entwicklungszusammenarbeit stehen sollten.
- Auf die Handlungsempfehlungen zur Resilienz kann verwiesen werden, insbesondere auch die dort beschriebenen Notwendigkeiten einer besseren Datennutzung. Daneben muss vor allem auch diskutiert werden, welche Vereinfachungen etwa im Bereich der Arzneimittelzulassung wir dauerhaft beibehalten wollen, um Verfahren insgesamt zu beschleunigen.

Technologie

Cluster

**Präzisionslandwirtschaft**

Unterstützungs- und Optimierungstechnologien in der Landwirtschaft, z. B. Einsatz von Drohnen oder Satelliten zur ressourcenschonenden Ertragsoptimierung

Sonstige Sektoren  
Landwirtschaft,  
LULUCF\*

Digitalisierung

\* Land Use, Land Use Change and Forestry

**Bedeutung der Technologie**

**Beitrag zum Klimaschutz**

- Unterstützungs- und Optimierungstechnologien in der Landwirtschaft, z. B. Einsatz von Drohnen oder Satelliten zur ressourcenschonenden Ertragsoptimierung (selektive Düngung etc.): Entlastung bei Methan, Lachgas, NOx

**Bedeutung für Bayern**

- Traditionell hohe Bedeutung der Landwirtschaft
- Hohe Dynamik (Bayern verzeichnet steigende Weltmarktanteile: +0,8 Prozent von 2015–2019)
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2025

**Wichtige Querbezüge**

- Anpassungstechnologien Landwirtschaft
- Smart Farming / KI in der Landwirtschaft
- Ökologischer Landbau
- Vertical Farming, Urban Farming

**Besondere Herausforderungen**

- Energie- und Ressourcenaufwand für die eingesetzten Technologien muss in Grenzen gehalten werden.
- Zugang zu hochpräzisen Satellitendaten
- Geringer Grad an Standardisierung, diverse Schnittstellen

**Bestehende Aktivitäten in Bayern**

- Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) baut in Ruhstorf a.d. Rott einen neuen Standort mit einem Digitalisierungszentrum Landwirtschaft auf. Im Zusammenspiel von Forschung, Wirtschaft und landwirtschaftlicher Praxis sollen in Ruhstorf zusammen mit den LfL-Instituten und -Abteilungen in Freising-Weiherstephan und München zukunftsfähige Lösungen für die Agrarwirtschaft in Bayern entwickelt und zur Praxisreife gebracht werden.
- Fraunhofer-Verbundforschung wie FutureIOT mit dem Thema Landschaft.digital

**Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung**

- Luft- und Raumfahrtprogramme in Kombination mit digitalen Technologien (Datenanalyse) weiter stärken (z. B. Drohneneinsatz; vgl. die Handlungsempfehlungen zu *Neue Wertschöpfung durch Digitalisierung* von 2017): Open Data konsequent umsetzen, KI-Einsatz fördern
- Verfahrenstechnologien – Synergien mit Maschinenbau nutzen

Technologie

Cluster

**Anpassungstechnologien in der Landwirtschaft**

**Sonstige Sektoren**  
Landwirtschaft,  
LULUCF\*,  
Anpassungstechnologien

Sammlung verschiedener Anpassungstechnologien in der Landwirtschaft

\* Land Use, Land Use Change and Forestry

**Bedeutung der Technologie**

**Beitrag zum Klimaschutz**

- Neue Pflanzensorten (z. B. hitzebeständiger, geringerer Wasserbedarf, resistenter gegen bestimmte eingewanderte Arten etc.). Wassermangel ist heute schon in einigen bayerischen Regionen erkennbar.

**Bedeutung für Bayern**

- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Traditionell hohe Bedeutung der Landwirtschaft
- Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2030

**Wichtige Querbezüge**

- Präzisionslandwirtschaft
- Smart Farming / KI in der Landwirtschaft
- Ökologischer Landbau
- Forstwirtschaft
- Wasser- und Abwassertechnologien

**Besondere Herausforderungen**

- Bayern erreicht geringe Weltanteile (0,4 Prozent). Das spiegelt auch die Tatsache wider, dass diese Technologien eher noch am Anfang der Marktorientierung stehen.

**Bestehende Aktivitäten in Bayern**

- Die Forschung an Lösungen zur Abmilderung der Folgen des Klimawandels, aber auch zur nachhaltigen Nutzung von Wasserressourcen oder zur Steigerung der Biodiversität im urbanen Umfeld zählen zu den Schwerpunkten der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (vgl. im Übrigen den Querschnittsbereich, Seite 116 ff.).

**Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung**

- Neben der klassischen Züchtung wird auch die Genetik jedenfalls weltweit betrachtet eine große Rolle spielen. Die Potenziale der grünen Biotechnologie müssen auch in Bayern stärker gehoben werden, um hier nicht den Anschluss zu verpassen. Dazu sind erhebliche Akzeptanzprobleme zu überwinden.
- Digitalisierung: u. a. gezielte Datenauswertung für das schnellere Aufspüren geeigneter Sorten
- Starkregen auffangen und verteilen; Bewässerung lokaler und gezielter einsetzen
- Ziel sollte es ferner sein, schnell klimawandelresistente Kulturen zu finden und für diese Wertschöpfungsketten aufzubauen, damit die Landwirtschaft rentabel bleibt.

Technologie

Cluster

**Fleischalternativen**

Meist auf pflanzlicher Basis (Erbsenproteine etc.), insbesondere Texturanpassungen und Fermentationstechnologien

**Energienachfrage**  
Industrie

**Sonstige Sektoren**  
Landwirtschaft,  
LULUCF\*

\* Land Use, Land Use Change and Forestry

**Bedeutung der Technologie**

**Beitrag zum Klimaschutz**

- Da durch die Viehhaltung sowie die dafür erforderliche Futtermittelproduktion ein großer Anteil der landwirtschaftlichen Treibhausgas-Emissionen entsteht, bieten qualitativ vergleichbare Fleischsubstitute ein großes Potenzial zur Emissionsreduzierung, zusätzlich Flächenentlastung und ggf. Entlastung von Ökosystemen durch weniger intensive Produktion
- Ein um die Hälfte reduzierter Fleischverbrauch könnte 13 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>Äq. pro Jahr einsparen (das entspricht etwa 20 Prozent der Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft).

**Bedeutung für Bayern**

- Hohe Lösungsrelevanz für Deutschland
- Hohe Lösungsrelevanz für die Welt
- Hohes ökonomisches Potenzial
- Signifikante Verfügbarkeit/ Marktreife ab 2025
- Traditionell hohe Bedeutung der Landwirtschaft

**Wichtige Querbezüge**

- Ernährung
- Gesundheit
- Biotechnologien

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Trotz des hohen Potenzials zur Emissionsreduzierung hat Bayern keine Weltklassepatente in dem Bereich.
- Durch Anbau, Transport und Verarbeitung von Fleischersatzprodukten (z. B. Soja, Weizen) entstehen dennoch Treibhausgase.
- „Laborfleisch“ hat ebenfalls den Vorteil der vermiedenen Methan-Emissionen, die direkte energetische Kette bei der „Fütterung“ des Prozesses ist bislang noch nicht abschließend geklärt.
- Zulassungsbedingungen Fleischersatzprodukte (klare Kriterien, Sicherheit)
- Verhaltens- und Akzeptanzänderungen, Veränderung der Konsumgewohnheiten

### Bestehende Aktivitäten in Bayern

- Das Fraunhofer IVV in Freising forscht an der Optimierung der sensorischen Qualität, wie Geschmack, Saftigkeit und Bissfestigkeit von pflanzlichen Fleischalternativen. Außerdem soll ein möglichst hoher Nährwert der Produkte erreicht werden.
- Auch die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf verfolgt verschiedene Projekte, unter anderem aus dem Bereich der Pilzbioökonomie.

### Spezifischer Handlungsbedarf / konkrete Handlungsempfehlung

- Investition in weitere Forschung und Entwicklung notwendig, um den Anschluss nicht zu verlieren

### Ansprechpartner

**Christine Völzow**  
Geschäftsführerin und  
Leiterin der Abteilung Wirtschaftspolitik

T 089-551 78-251  
christine.voelzow@vbw-bayern.de

**Dr. Christina Hans**  
Referentin Zukunftsrat,  
Abteilung Wirtschaftspolitik

T 089-551 78-135  
christina.hans@vbw-bayern.de

### Impressum

Alle Angaben dieser Publikation beziehen sich ohne jede Diskriminierungsabsicht grundsätzlich auf alle Geschlechter.

### Herausgeber

**vbw**  
Vereinigung der Bayerischen  
Wirtschaft e. V.

Max-Joseph-Straße 5  
80333 München

www.vbw-bayern.de

### Konzeption und Realisation

gr\_consult gmbh  
vbw@grconsult.net

© vbw Dezember 2020

**vbw**

Vereinigung der Bayerischen  
Wirtschaft e. V.

Max-Joseph-Straße 5  
80333 München

T 089-551 78-100  
F 089-551 78-111  
info@vbw-bayern.de

[www.vbw-bayern.de](http://www.vbw-bayern.de)