



# Bayernplan Energie 2040

Wege zur Treibhausgasneutralität –  
Zusammenfassung

# Impressum

## Herausgeber:



Am Blütenanger 71  
80995 München  
+49 (0)89 158121-0  
Bayernplan-energie@ffe.de  
www.ffe.de

## Abschlussbericht zum Projekt:

Bayernplan Energie 2040: Wege zur  
Treibhausgasneutralität – Zusammenfassung

## Veröffentlicht am:

19.04.2023

## Projektleitung:

Dr.-Ing. Andrej Guminski, Stephan Kigle

## Bearbeiter\*innen:

Stephan Kigle, Dr.-Ing Andrej Guminski

## Stellv. wissenschaftlicher Leiter:

Dr.-Ing. Serafin von Roon

## Geschäftsführer:

Dr.-Ing. Christoph Pellingner  
Dr.-Ing. Serafin von Roon

## FfE-Auftragsnummer:

VBEW-06

## Im Auftrag von:

VBEW Dienstleistungsgesellschaft mbH

## Begleitet durch:

vbw - Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. &  
Prognos AG

## Bitte zitieren als:

FfE (2023): Bayernplan Energie 2040 - Wie Bayern bis  
2040 klimaneutral werden kann. Zusammenfassung  
im Auftrag von: VBEW Dienstleistungsgesellschaft  
mbH.

# **Bayernplan Energie 2040**

Wege zur Treibhausgasneutralität –  
Zusammenfassung

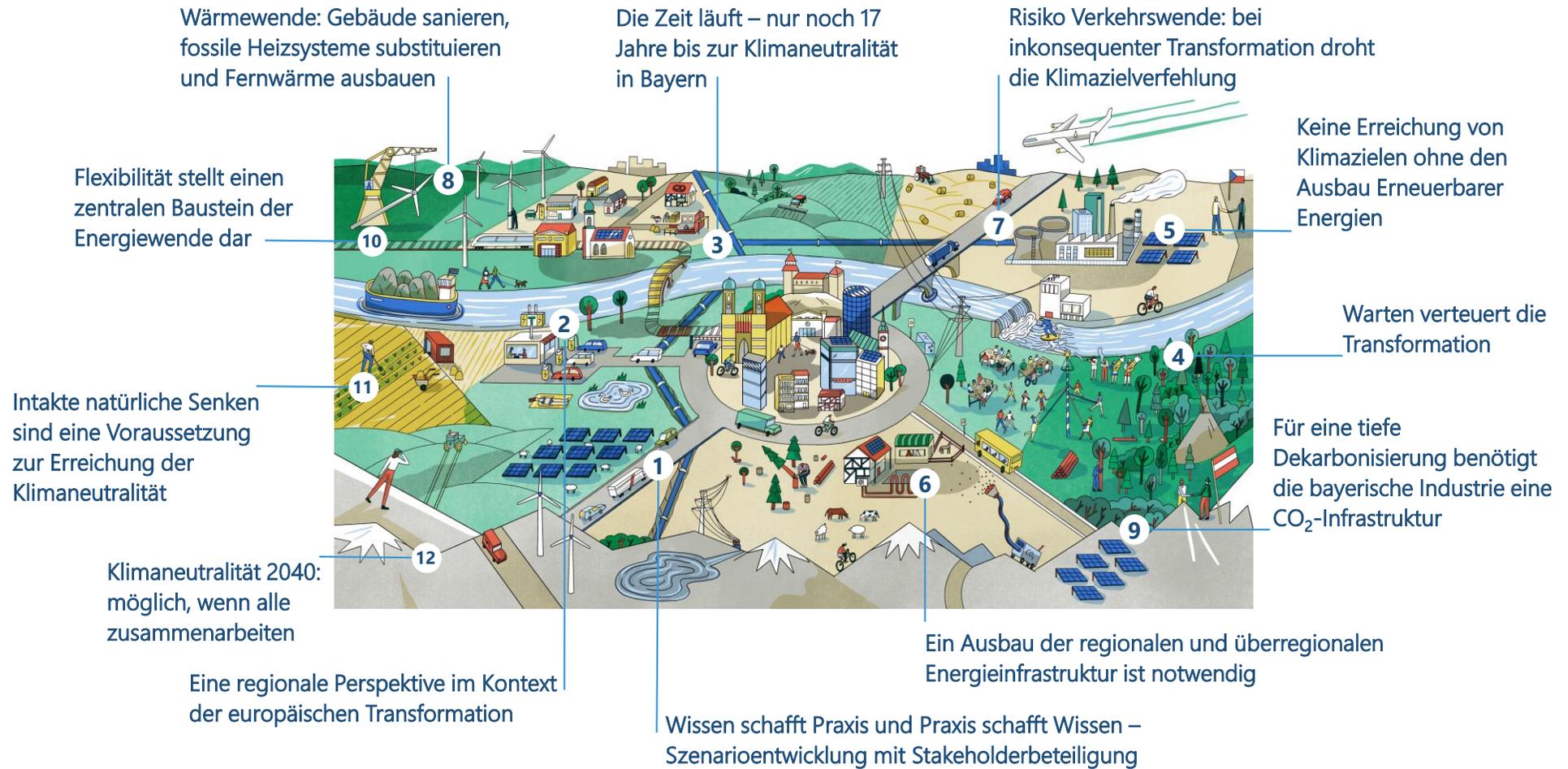
# Danksagung

Wir bedanken uns bei den nachfolgenden Institutionen für ihre wertvollen Beiträge im Rahmen der Stakeholderworkshops<sup>1</sup>:



<sup>1</sup>Die dargestellten Institutionen wurden im Rahmen von Workshops eingebunden. Die Teilnahme an den Workshops sagt nichts über die Positionierung der Institutionen ggü. den Inhalten der Studie aus.

# „Bayernplan Energie 2040“ auf einen Blick



# Zusammenfassung

Am 13. Dezember 2022 hat der bayerische Landtag die Neufassung des bayerischen Klimaschutzgesetzes (BayKlimaG) beschlossen, das am 1. Januar 2023 in Kraft trat. Bayern soll „spätestens bis zum Jahr 2040“ klimaneutral sein.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, anhand wissenschaftlicher Analysen – im Dialog mit wesentlichen Akteuren aus Industrie und Energiewirtschaft – Wege zur Erreichung dieses Ziels, deren Implikationen für das Energiesystem und die damit verbundenen Herausforderungen und Chancen für Bayern aufzuzeigen. Erarbeitet wurden deshalb vier Zielszenarien – E.plan, H<sub>2</sub>igher, AgreE und bEElated – die unterschiedliche Ansätze zur Erreichung der Klimaneutralität beleuchten:

- E.plan: Dieses Technologiemix-Szenario ist Ergebnis eines intensiven Dialogprozesses mit einschlägigen bayerischen Akteuren aus Industrie und Energiewirtschaft.
- H<sub>2</sub>igher: In diesem Szenario kommt es zu einem höheren Wasserstoffeinsatz – insbesondere in Anwendungen, bei denen eine direkte Elektrifizierung unsicher ist.
- AgreE: Dieses Szenario bezieht sich nicht nur auf die technologische Transformation, sondern berücksichtigt auch einen bewussten und energiesparenden Umgang in allen Bereichen.
- bEElated: Dieses Szenario zeigt die Auswirkungen eines verzögerten Hochlaufs des Einsatzes von Klimaschutztechnologien auf den Transformationspfad und die Ausgestaltung des Energiesystems im Zieljahr.

Alle Szenarien haben gemeinsam, dass in Bayern der Wohlstand und die Lebensqualität erhalten bzw. gesteigert werden können und gleichzeitig Verantwortung für die Erreichung der globalen Klimaschutzziele übernommen wird. Hierdurch wird im Zielbild ein Zustand erreicht, der auch den nachfolgenden Generationen eine attraktive Perspektive bietet.

## Wissen schafft Praxis und Praxis schafft Wissen – Szenarioentwicklung mit Stakeholderbeteiligung

Im Rahmen des Projektes wurde eine Workshopreihe mit einer Vielzahl bayerischer Akteure aus Industrie und Energiewirtschaft konzipiert und durchgeführt. Ziel der Workshops war es, ein Szenario zu entwickeln, das die wissenschaftlichen Analysen mit der Praxis spiegelt. Durch diese Vorgehensweise konnten das Wissen und die Erfahrungen von über 65 teilnehmenden Unternehmen und Verbänden genutzt werden, um grundlegende Annahmen und Daten der Modellierung auf den Prüfstand zu stellen. Ergebnis dieses Prozesses ist das Szenario E.plan – ein Technologiemix-Szenario, in dem Elektrifizierungsmaßnahmen in Bereichen mit technologieoffener Entwicklung überwiegen. Die überwiegende Mehrheit der Akteure geht nicht davon aus, dass Wasserstoff vor 2030 in relevanten Mengen zur energetischen Nutzung zur Verfügung steht. Ausgehend von E.plan wurden die weiteren Szenarien entwickelt. Die Szenarien entstanden in Kooperation mit der VBEW Dienstleistungsgesellschaft mbH, der vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. und der Prognos AG, die uns im Laufe des Projektes bei der Organisation und Durchführung von Workshops unterstützt und im Rahmen von Review-Workshops die Methodik und Zwischenergebnisse einer eingehenden Überprüfung unterzogen hat.

## Eine regionale Perspektive im Kontext der europäischen Transformation

Bayern verfolgt das Ziel, bis zum Jahr 2040 klimaneutral zu sein, fünf Jahre bevor Deutschland und

# Tempo, Tempo, Tempo – Sofortige Beschleunigung der Transformation in allen Sektoren

zehn Jahre bevor die Europäische Union dieses Ziel erreichen möchten. Aufgrund seiner zentralen Lage und wegen seiner Vernetzung durch überregionale Energieinfrastrukturen mit Deutschland und Europa kann Bayerns Transformationspfad nicht unabhängig von den Entwicklungen in Deutschland und Europa betrachtet werden. Regionale Zielsetzungen können den Handlungsdruck zwar erhöhen, ändern jedoch nichts an der Tatsache, dass alle Staaten ihre Ziele erreichen müssen, um die globale Erwärmung abzumildern. Die Zielerreichung in Bayern wird folglich sowohl von den Entwicklungen auf dem europäischen Strommarkt als auch vom innereuropäischen und internationalen Handel mit Wasserstoff und synthetischen Energieträgern beeinflusst. Das Projekt "Bayernplan Energie 2040" berücksichtigt diesen Umstand, indem auch die Transformation der Endenergiesektoren und des Energiesystems in Deutschland und Europa bei den Berechnungen berücksichtigt werden.

## Die Zeit läuft – nur noch 17 Jahre bis zur Klimaneutralität in Bayern

Zur erfolgreichen Umsetzung der Transformation verbleiben in Bayern nur noch 17 Jahre. Damit ist das Zeitfenster für eine vollständige Transformation hin zur Klimaneutralität sehr klein. Bis zum Jahr 2040 müssen große Teile des Endenergiebedarfs und des Energiesystems auf klimaneutrale Energieträger umgestellt werden. Da Investitionszyklen und Technologielebensdauern bei vielen Anwendungen bei 15 Jahren oder mehr liegen, ist nicht nur der nächste Investitionszeitpunkt entscheidend, sondern steht, wenn die Klimaneutralität erreicht werden soll, in vielen Fällen bereits

unmittelbar bevor. Im Sektor Industrie betrifft das insbesondere langlebige Hochtemperaturanwendungen wie Drehrohröfen oder Steamcracker, im Sektor Verkehr unter anderem Züge für den Personen- und Güterverkehr und im Sektor Gebäude beispielsweise Öl- oder Gaskessel. Eine weitere Verzögerung der Transformation lässt sich später – aufgrund des sich schließenden Zeitfensters – nicht mehr in vollem Umfang nachholen und stellt somit ein großes Risiko für die Erreichung der Klimaziele dar. Wie das Szenario bEElated zeigt, müssen bei einer unvollständigen Transformation in den Endenergiesektoren große Mengen an Treibhausgasemissionen im Zieljahr kompensiert werden.

## Warten verteuert die Transformation

Um die Klimaziele auch bei unvollständiger Transformation erfüllen zu können, wird der Einsatz großer Mengen synthetischer Kraftstoffe notwendig. Dadurch steigt das Risiko, die Klimaziele zu verfehlen, aus den folgenden zwei Gründen an: erstens ist es fraglich, ob die erforderlichen Mengen synthetischer Kraftstoffe überhaupt zur Verfügung stehen und zweitens steigen die Kosten für die Transformation deutlich an. Je nach Kompensationsleistung der natürlichen THG-Senken, müssen im Szenario bEElated im Jahr 2040 synthetische Kraftstoffe in Höhe von mindestens 10 % des gesamten heutigen bayerischen Endenergieverbrauchs eingesetzt werden. Selbst wenn durch einen globalen Hochlauf der Produktionskapazitäten die erforderlichen Mengen bezogen werden können, steigen die Kosten stark an. Die Mehrkosten der Transformation sind im Szenario bEElated im

Vergleich zu den Szenarien E.plan und H<sub>2</sub>igher um ca. 50 % höher.

### **Keine Erreichung von Klimazielen ohne den Ausbau Erneuerbarer Energien**

Um Klimaneutralität zu erreichen, ist eine erhebliche Beschleunigung des Ausbaus Erneuerbarer Energien notwendig. Übersetzt bedeutet dies, dass im Mittel jede Woche bis zum Zieljahr 2040 PV-Freiflächen-Anlagen mit einer Gesamtfläche von mindestens 50 Fußballfeldern und 2.800 Aufdach-PV-Anlagen mit einer Leistung von je 10 kW installiert werden müssen. Bei der Windkraft sind die Herausforderungen ebenfalls sehr groß. Jede Woche müssen im Mittel zwei neue Anlagen mit einer Leistung von jeweils 5,5 MW in Betrieb genommen werden, um den notwendigen Zubau zu erreichen. Die Zubaurate beträgt damit mehr als das Fünffache des historischen Mittels. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien ist grundlegende Voraussetzung in allen Szenarien und hilft langfristig, die Strompreise zu senken, da im Zielbild der Einsatz von klimaneutralen Brennstoffen in der Stromerzeugung reduziert wird. Um den notwendigen Zubau innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit noch zu realisieren, müssen ausreichend Flächen zur Verfügung gestellt und Genehmigungs- und Planungsverfahren beschleunigt werden.

### **Ein Ausbau der regionalen und überregionalen Energieinfrastruktur ist notwendig**

Neben dem Ausbau der Erneuerbaren Energien ist auch ein weiterer Ausbau der regionalen und überregionalen Energieinfrastruktur erforderlich. Das Übertragungsnetz für den Stromtransport von Norddeutschland und den europäischen Nachbarländern nach Bayern muss erweitert werden, da Bayern in Zukunft noch stärker als bisher auf Stromimporte angewiesen sein wird. In allen Szenarien machen Stromimporte über 30 % der Bruttostromnachfrage aus. In Zeiten hoher Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Bayern werden die Leitungskapazitäten andererseits für den Stromexport benötigt. Außerdem ist die Anbindung Bayerns an ein überregionales europäisches Wasserstofftransportnetz (European Hydrogen Backbone) von zentraler Bedeutung, da Bayern im Sinne einer gesamtsystemischen Kostenminimierung seinen Wasserstoffbedarf nicht vollständig decken wird. Im Zieljahr 2040 werden jedoch auch erhebliche Mengen Wasserstoff in Bayern erzeugt (bis zu 17 TWh im Szenario H<sub>2</sub>igher). Auch aufgrund weitgehend fehlender geologischer Speichermöglichkeiten in Bayern ist für den Ausgleich saisonaler Unterschiede (hohe H<sub>2</sub>-Erzeugung im Sommer, hoher H<sub>2</sub>-Verbrauch im Winter) ein Anschluss an das überregionale Wasserstofftransportnetz erforderlich. Ebenso müssen die Verteilnetze für Strom und Gas an die gestiegenen bzw. geänderten Anforderungen angepasst werden.

Klimaneutrales Bayern in 2040  
Was braucht's? Erneuerbare Energien.

**Wöchentliche Installation von Freiflächen-PV-Anlagen auf der Fläche von 50 Fußballfeldern und 2.800 Aufdach-PV-Anlagen mit einer Leistung von je 10 kW.**

## Wöchentlich werden min. 5.100 PKW mit fossilen Antrieben durch alternative Antriebe ersetzt.

### Risiko Verkehrswende: bei inkonsequenter Transformation droht die Klimazielferfehlung

Die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor in Bayern haben seit 1990 nicht abgenommen, da die Verkehrsleistungen stetig steigen und der Anteil fossiler Kraftstoffe am Endenergieverbrauch im Straßenverkehr noch immer über 90 % beträgt. Um die Verkehrswende einzuleiten, sind Maßnahmen essenziell, die sowohl die Verkehrsleistung im Straßenverkehr reduzieren als auch den Einsatz fossiler Kraftstoffe vermeiden. Dazu gehören der Ausbau und die konsequente Elektrifizierung des Bahnverkehrs in Kombination mit einem erweiterten Angebot im öffentlichen Nahverkehr. Eine bewusste Mobilitätsreduktion kann zusätzlich den Druck auf die Transformation reduzieren, wie im Szenario AgreE gezeigt. Die Elektrifizierung ist ein weiterer wichtiger Treiber der Verkehrswende. Eine schnelle Einführung von Elektrofahrzeugen, insbesondere im Bereich der PKWs und leichten Nutzfahrzeuge, kann aufgrund der hohen primärenergetischen Effizienz Energie einsparen. Begleitet durch den Ausbau von Ladeinfrastruktur und Wasserstofftankstellen muss schließlich auch der Schwerlasttransport auf klimaneutrale Energieträger umgestellt werden. Eine konsequente Transformation könnte mindestens 65 TWh und 75 % der Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr in Bayern einsparen. Eine Verzögerung der Transformation gefährdet die Erreichung der Klimaziele, insbesondere im Jahr 2030, da eine zu langsame und unvollständige Transformation den Einsatz großer Mengen synthetischer Kraftstoffe erfordert, die in absehbarer Zeit nicht in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen.

### Wärmewende: Gebäude sanieren, fossile Energieträger substituieren und Fernwärme ausbauen

Der Sektor Gebäude ist für ca. die Hälfte des bayerischen Endenergieverbrauchs und ein Viertel der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Um die absolute Energienachfrage zu reduzieren, ist eine konsequente energetische Sanierung der Gebäudehüllen durch alle Gebäudeeigentümer notwendig. Bei einer Verdoppelung der Sanierungsraten bis ins Zieljahr 2040 lässt sich so mehr als 10 % der gesamten Energienachfrage einsparen. Voraussetzung dafür ist eine entsprechende Handwerkerverfügbarkeit. Damit heutige Engpässe beseitigt werden oder es gar zu einer Verschlechterung der Situation kommt, müssen entsprechende Ausbildungsprogramme aufgelegt werden. Durch Veränderung der Heizgewohnheiten und eine energiebewusste Verhaltensweise kann – wie im Szenario AgreE gezeigt – der Druck auf eine erfolgreiche Transformation deutlich gesenkt werden. Neben der energetischen Sanierung der Gebäudehülle stellt der Tausch nahezu aller fossil betriebener Heizsysteme bzw. der Anschluss von Gebäuden an das Fernwärmenetz die zweite große Treibhausgasverminderungsmaßnahme dar. In Ballungsgebieten kann durch den Ausbau der Fernwärmenetze die Wärmeversorgung zentral auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden. In dezentral versorgten Gebäuden ist der Einbau einer Wärmepumpe oder die Umrüstung auf eine Wasserstoffdirektheizung notwendig (ggf. auch in Kombination). Aufgrund der sofortigen Technologieverfügbarkeit, des kurzen Transformationszeitraums und einer Eignung von drei Vierteln aller Bestandsgebäude für den Einbau einer Wärmepumpe erhöht

ein konsequenter Umbau die Chancen, die Klimaziele zu erreichen. Auch hierfür werden ausreichend Fachkräfte benötigt.

### **Für eine tiefe Dekarbonisierung benötigt die bayerische Industrie eine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur**

Die Industrie in Bayern steht vor zwei zentralen Herausforderungen bei der Treibhausgasverminderung: der Substitution von Erdgas durch klimaneutrale Alternativen und der Reduktion der prozessbedingten Emissionen vor allem in der Zement- und Kalkproduktion. Während in den Sektoren Verkehr und Gebäude bereits markterprobte Technologien für die Treibhausgasverminderung zur Verfügung stehen, befinden sich notwendige Technologien für einen Energieträgerwechsel in der Industrie zum Teil noch im Entwicklungsprozess. Weitere Forschung und Erprobung sind notwendig, um die Technologien zur Marktreife zu führen. Sobald diese erreicht wird, muss eine konsequente Umstellung der Prozesse auf klimaneutrale Energieträger stattfinden, da aufgrund der langen Nutzungsdauern lediglich ein Investitionszyklus bis zum Zieljahr ansteht. Eine unvollständige Transformation birgt das Risiko von „Stranded Investments“. Aufgrund der hohen Temperaturniveaus können in der Industrie nicht alle Prozesse elektrifiziert werden. Deshalb ist die Industrie auf eine Wasserstoffversorgung angewiesen. Der Ausbau der Stromnetze und der Wasserstoffinfrastruktur sind Voraussetzung dafür, dass die

Industrie auch weiterhin wettbewerbsfähig in Bayern produzieren kann.

Eine Sonderrolle nehmen in der Industrie die prozessbedingten Emissionen ein. Diese entstehen durch chemische Reaktionen bei der Produktion z. B. bei der Herstellung von Zement oder Kalk. Damit auch in diesen Wirtschaftszweigen eine tiefe Dekarbonisierung erreicht werden kann, muss eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung erfolgen. Voraussetzung dafür ist eine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur, die Quellen mit Senken (CO<sub>2</sub>-Endlager oder Standorte wie Raffinerien und Chemieparks, an denen das CO<sub>2</sub> bei der Herstellung von Produkten weiterverarbeitet wird) verbindet. Eine Errichtung dieser Infrastruktur bis 2040 stellt eine der zentralen Herausforderungen in der Industrie dar.

### **Flexibilität stellt einen zentralen Baustein der Energiewende dar**

Um die steigende Stromnachfrage und die damit verbundenen Lastspitzen mit der volatilen Stromerzeugung ausgleichen zu können, ist Flexibilität ein zentraler Baustein des Energiesystems. Flexibilitäten bieten Speicher (elektrische Speicher, Wasserstoffspeicher, thermische Speicher). In Kombination mit flexiblen Verbrauchern wie Elektrolyseuren und Power-to-Heat-Technologien lassen sich so Erzeugungsspitzen abdämpfen und Lastspitzen abfedern. Verbrauchernahe Flexibilitäten wie das bidirektionale Lademanagement oder Demand Side Management in den Sektoren Industrie

Klimaneutrales Bayern in 2040

Was braucht's? Flexibilität.

**Wöchentlich wird ein Batteriespeicher mit 3 MWh Speicherkapazität in zwei Schiffscontainern installiert und es werden ca. 1000 neue, bidirektional ladbare Fahrzeuge zu der PKW-Flotte hinzukommen.**

und GHD entlasten das Energiesystem weiter und ermöglichen einen effizienten Betrieb. Da der regulatorische Rahmen eine effiziente Einbindung kleinteiliger Flexibilitäten bisher nicht ausreichend anreizt, besteht an dieser Stelle Nachbesserungsbedarf.

Auch die überregionale Energieinfrastruktur stellt neben Versorgungssicherheit große Mengen an Flexibilität zur Verfügung. Durch den Ausbau der Übertragungsnetze fungiert der europäische Strommarkt wie ein großer Stromspeicher. Nachfrage und Erzeugung können so in Einklang gebracht werden. Die überregionale Wasserstoffinfrastruktur gleicht saisonale Nachfrage- und Erzeugungsunterschiede aus.

### **Intakte natürliche Senken sind eine Voraussetzung zur Erreichung der Klimaneutralität**

Im Zieljahr 2040 gibt es selbst bei konsequenter Transformation des Energiesystems noch Treibhausgasemissionen, beispielsweise aus dem Sektor Landwirtschaft. Um die verbleibenden Emissionen auszugleichen und das Ziel von Netto-Null-Emissionen zu erreichen, sind Treibhausgasenken notwendig. Die größte natürliche Treibhausgasenke stellt die Landnutzungskategorie Wald dar. Nur ein nachhaltig bewirtschafteter, gesunder Wald kann entsprechende Mengen Treibhausgase kompensieren. Gleichzeitig müssen andere Emissionsquellen wie beispielsweise aus landwirtschaftlich genutzten Flächen und Feuchtgebieten (z. B. Mooren) weiter gesenkt werden. In den letzten Jahren wurden in Deutschland im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft kaum noch Emissionen durch natürliche Senken kompensiert – in den Jahren 2021 und 2022 stellte der Sektor sogar netto eine Treibhausgasquelle dar. Sollte es nicht gelingen, die Senkenleistung in Zukunft wieder deutlich zu erhöhen, ist die Erreichung der Klimaziele in Gefahr. Dann müssten technische Möglichkeiten zur Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre mit anschließender Einspeicherung des abgeschiedenen CO<sub>2</sub> zum Einsatz kommen. Die entsprechenden Technologien sind bis dato allerdings nicht ausreichend erprobt und die gesellschaftliche Akzeptanz unsicher. Das Risiko, die Klimaziele zu verfehlen, steigt damit deutlich an.

### **Klimaneutralität 2040: möglich, wenn alle zusammenarbeiten**

Das Ziel, bis zum Jahr 2040 Klimaneutralität in Bayern zu erreichen, erfordert eine konsequente Umsetzung der Energiewende in allen Sektoren. Eine Zusammenarbeit aller Beteiligten ist dabei unerlässlich, um dieses ambitionierte Vorhaben erfolgreich umzusetzen. Da die Zeit knapp ist, müssen fast alle Energieverbräuche innerhalb von nur 17 Jahren auf klimaneutrale Energieträger wie Strom und Wasserstoff bzw. Wasserstoffderivate umgestellt werden. Erneuerbare Energien bilden dabei die Basis und der Ausbau muss deutlich beschleunigt werden. Bayern kann auf dem Weg bis 2040 zeigen, dass eine Verkehrswende, Wärme- und Industriewende gleichzeitig erfolgreich sein kann. Um dies zu erreichen, ist eine strenge Überwachung und regelmäßige Veröffentlichung der bayerischen Treibhausgasemissionen notwendig, um Maßnahmen gegebenenfalls rechtzeitig anpassen zu können.

Die verbleibende Zeit ist gemessen an energiewirtschaftlichen Zeitspannen sehr knapp. Bayern kann jedoch die ambitionierten Ziele bei einem konsequenten und ambitionierten Vorgehen noch erreichen. Die dabei zu bewältigenden Herausforderungen sind in allen Bereichen epochal.

