

/ EDITORIAL

Fernlicht oder Kristallkugel?
Die Energiewende vom Ende
betrachtet. **Seite 03**

/ DREHSCHIEBE STROM

Das stabile Übertragungsnetz
nach der Energiewende -
die Studie der TransnetBW
wagt den Blick ins Jahr 2050.
Seite 04

/ STIMMFREQUENZ

Vier Experten und über 3.000
Zuschauer: Die Kernthesen
aus der Online-Vorstellung der
Studie. **Seite 08**

/ AKTUELLES

Politik und Gesetzgebung:
Nicht nur das Ziel der Energie-
wende festlegen, sondern
auch deren Umsetzung ermög-
lichen. **Seite 12**



STROMNETZ 2050
DIE STUDIE

Politik.

Wirtschaft.

/ EDITORIAL	GRUSSWORT	03
/ DREHSCHEIBE STROM	Stromnetz 2050 DAS NETZ DER ENERGIEWENDE	04
/ STIMMFREQUENZ	Podiumsdiskussion DIE ENERGIEWENDE VOM ENDE HER DENKEN	08
/ HÖCHSTSPANNEND	Summary Poster DAS WICHTIGSTE AUF EINEN BLICK	10
/ AKTUELLES	Ohne Netz der Zukunft kein Strom der Zukunft DAS ZIEL IST KLAR, DER WEG NOCH NICHT	12
	Sektorenkopplung HAND IN HAND	14
/ DIE LANGE LEITUNG	Zielnetz 2050 EIN WERKSTATTBERICHT	16
/ ZAHLEN, DATEN, FAKTEN	Gut zu wissen ZAHLEN, DATEN, FAKTEN AUS DER STUDIE STROMNETZ 2050	18

„Als erster Übertragungsnetz-
betreiber haben wir mit einer
für das Stromnetz neuen
Herangehensweise die Ener-
giewende zu Ende gedacht
und ein Übertragungsnetz für
die Zukunft projiziert.“

Dr. Werner Götz,
Vorsitzender der Geschäftsführung



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

das Problem an der Zukunft ist, dass man sie nicht kennt. Gerade die aktuelle Corona-Krise zeigt uns, wie wenig wir das Kommende prognostizieren können und manchmal überrascht werden. Bei der Energiewende hingegen gilt es, auf derartige Ereignisse vorbereitet zu sein, um deren Gelingen zu garantieren. Sie ist ein generationen- und länderübergreifendes Projekt, das im Jahr 2050 weitestgehend vollendet sein soll. Die politischen Zielvorgaben münden in einem Umbau des gesamten Energiesystems – in Deutschland, aber auch in Europa.

Als Übertragungsnetzbetreiber haben wir festgestellt, dass unsere bisherigen Planungszeiträume nicht ausreichen. Unser „Fernlicht“ reicht aktuell nur 10 bis 15 Jahre voraus. Die Realisierungsdauern großer Netzausbau-Projekte sind schon heute teilweise länger. Daher müssen wir

unbedingt weiter in die Zukunft und das System vom Ende her denken. Sonst laufen wir Gefahr, dass notwendige Investitionen nicht oder falsch geplant – und schlimmstenfalls sogar die falschen realisiert werden.

Als TransnetBW haben wir deshalb Neuland betreten. Als erster Übertragungsnetzbetreiber haben wir mit einer für das Stromnetz neuen Herangehensweise die Energiewende zu Ende gedacht und ein Übertragungsnetz für die Zukunft projiziert. Mit viel Aufwand haben die Kollegen in der Netzplanung mehr als ein Jahr für einen „möglichst scharfen Blick in die Kristallkugel“ gearbeitet. Unterstützt wurden sie dabei von einem prominent besetzten und fachlich exzellenten Beirat, der kontinuierlich Annahmen und Zwischenergebnisse kritisch hinterfragt und damit nicht

zuletzt für die nötige Robustheit gesorgt hat. Die wichtigsten Ergebnisse stellen wir Ihnen in dieser Ausgabe von TRANSPARENT vor.

Damit widersprechen wir auch ausdrücklich einem der größten Wissenschaftler aller Zeiten, Albert Einstein, der gesagt haben soll: „Ich denke niemals an die Zukunft. Sie kommt früh genug.“

Ich hoffe, Sie kommen gut durch diese herausfordernden Zeiten und wünsche Ihnen alles Gute,

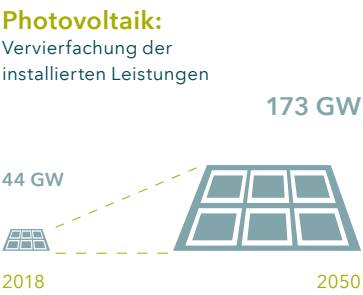
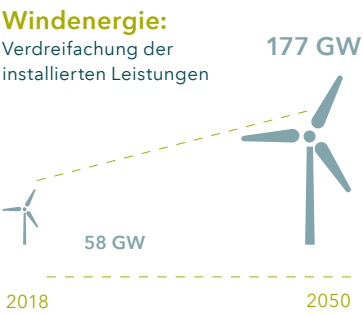
Ihr Werner Götz

Stromnetz 2050

DAS NETZ DER ENERGIEWENDE

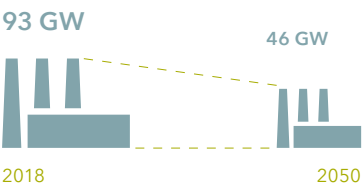
Die Energiewende hat in den vergangenen Jahren bereits enorme Veränderungen in unserer Gesellschaft, der Wirtschaft und bei der Entwicklung neuer Technologien bewirkt. Bis zur erfolgreichen Erreichung aller Energiewende- und Klimaschutzziele ist es jedoch noch ein weiter Weg. Sicher ist: Die Gestaltung der Netzinfrastruktur wird für den Erfolg der Energiewende eine entscheidende Rolle spielen.

MASSIVER AUSBAU VON WINDENERGIE UND PHOTOVOLTAIK



VORHALTUNG THERMISCHER ERZEUGUNGSKAPAZITÄTEN

Zur Absicherung der Strom- und Wärmeversorgung werden effiziente Gasturbinen und GuD-Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung benötigt. Dabei ist insgesamt ein Rückgang der thermischen Erzeugungskapazität zu erwarten.



Während bereits heute die Anforderungen an unser Energiesystem im Jahr 2050 feststehen – Treibhausgasneutralität in Deutschland und Europa – erfolgt die Planung eines bedarfsgerechten Netzes im Netzentwicklungsplan Strom (NEP) nur schrittweise und jeweils mit Fokus auf die nächsten zehn bis 15 Jahre. Hier setzt TransnetBW an: Mit der Studie Stromnetz 2050 entwickeln wir ein Zielbild für ein weitestgehend treibhausgasneutrales Energiesystem in Deutschland und Europa und stellen am Beispiel der Netzentwicklung für Baden-Württemberg eine Systematik vor, wie eine langfristige Netzstruktur geplant werden kann. Somit ist die Studie Stromnetz 2050 eine methodische Weiterentwicklung des NEP. Aus Sicht der TransnetBW stellt der aktuelle NEP den ersten Schritt des Netzausbaubedarfs für eine erfolgreiche Energiewende dar. Die Studie wiederum bietet die Möglichkeit, das darin entworfene Übertragungsnetz auf seine langfristige Nachhaltigkeit zu überprüfen. Im Ergebnis steht eine „Top-down“-Betrachtung, die in diesem Detaillierungsgrad neu ist. In der Studie untersuchen wir keine unterschiedlichen Szenarien. Stattdessen stellen wir ein für uns und für den Beirat nach heutigem Wissen schlüssiges Zielbild für das Stromversorgungssystem in einer weitestgehend klimaneutralen Zukunft vor. Dabei verfolgen wir das Ziel, den Netzausbaubedarf „am unteren Rand“ zu ermitteln.

Um die politischen, wissenschaftlichen und technischen Aspekte der Studie zu reflektieren, haben wir einen Beirat

aus Wissenschaftlern, politischen Vertretern und Fachexperten konsultiert und Umfragen zu einigen Prämissen der Studie unter Experten der Energiebranche durchgeführt. Von übergeordneter Bedeutung für die zukünftige Ausgestaltung des Stromnetzes im Jahr 2050 werden dabei die Entwicklung des Stromverbrauchs, der Erzeugungslandschaft und der Sektorenkopplung sein.

ERZEUGUNG UND VERBRAUCH IM JAHR 2050

Der Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor bildet die Grundlage für ein weitestgehend klimaneutrales Energiesystem. Windenergieanlagen an Land und auf See sowie Photovoltaikanlagen auf Dach- und Freiflächen werden in Zukunft weiter ausgebaut. Dabei werden auch die Auswirkungen des Ausbaus auf Mensch (zum Beispiel Akzeptanz) und Umwelt (Artenschutz) berücksichtigt. Deshalb gewinnt mit dem Zubau erneuerbarer Energien der Ausbau von Photovoltaikanlagen auf Dachflächen an Bedeutung. Das technische Potenzial der Windenergie an Land wird hingegen nicht vollständig ausgeschöpft. In Deutschland verdreifacht sich die installierte Leistung der Windenergie von 58 GW im Jahr 2018 auf 177 GW im Jahr 2050, davon entfallen 55 GW auf Windenergieanlagen auf See. Gleichzeitig steigt die installierte Leistung von Photovoltaikanlagen von 44 GW im Jahr 2018 auf 173 GW im Jahr 2050. Aufgrund der hohen Flexibilität der Stromnachfrage, welche durch die Sektorenkopplung

erschlossen wird, kann die Stromerzeugung erneuerbarer Energien fast vollständig integriert werden.

Zur Absicherung der Strom- und Wärmeversorgung werden neben den Speichermöglichkeiten effiziente Gasturbinen und Gas-und-Dampf-Anlagen (GuD-Anlagen) mit Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt. Hierfür werden in Deutschland für das zugrundeliegende Wetterjahr Gaskraftwerke mit einer Netto-Nennleistung von rund 50 GW benötigt.

Nun zum Verbrauch in Deutschland: Um eine Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen in Deutschland und Europa zu erreichen, ist eine umfassende Transformation des Energiesystems notwendig. Diese umfasst, wie vorhergehend beschrieben, den Ausbau erneuerbarer Energien im Stromsektor, aber auch eine Elektrifizierung der Wärme- und Transportsektoren. Diese sogenannte Sektorenkopplung wird voraussichtlich zu einem starken Anstieg der Stromnachfrage führen. In Deutschland rechnen wir mit einem Anstieg der Netto-Stromnachfrage um mehr als 50 % auf über 800 TWh (zuzüglich 40 TWh für Netzverluste). Davon werden allein für die Elektrifizierung des Wärme- und Transportsektors 315 TWh benötigt. Welche Bundesländer zur Bereitstellung dieser Strommengen auf Importe ange-

wiesen sind, verdeutlicht die Grafik unten auf der Seite.

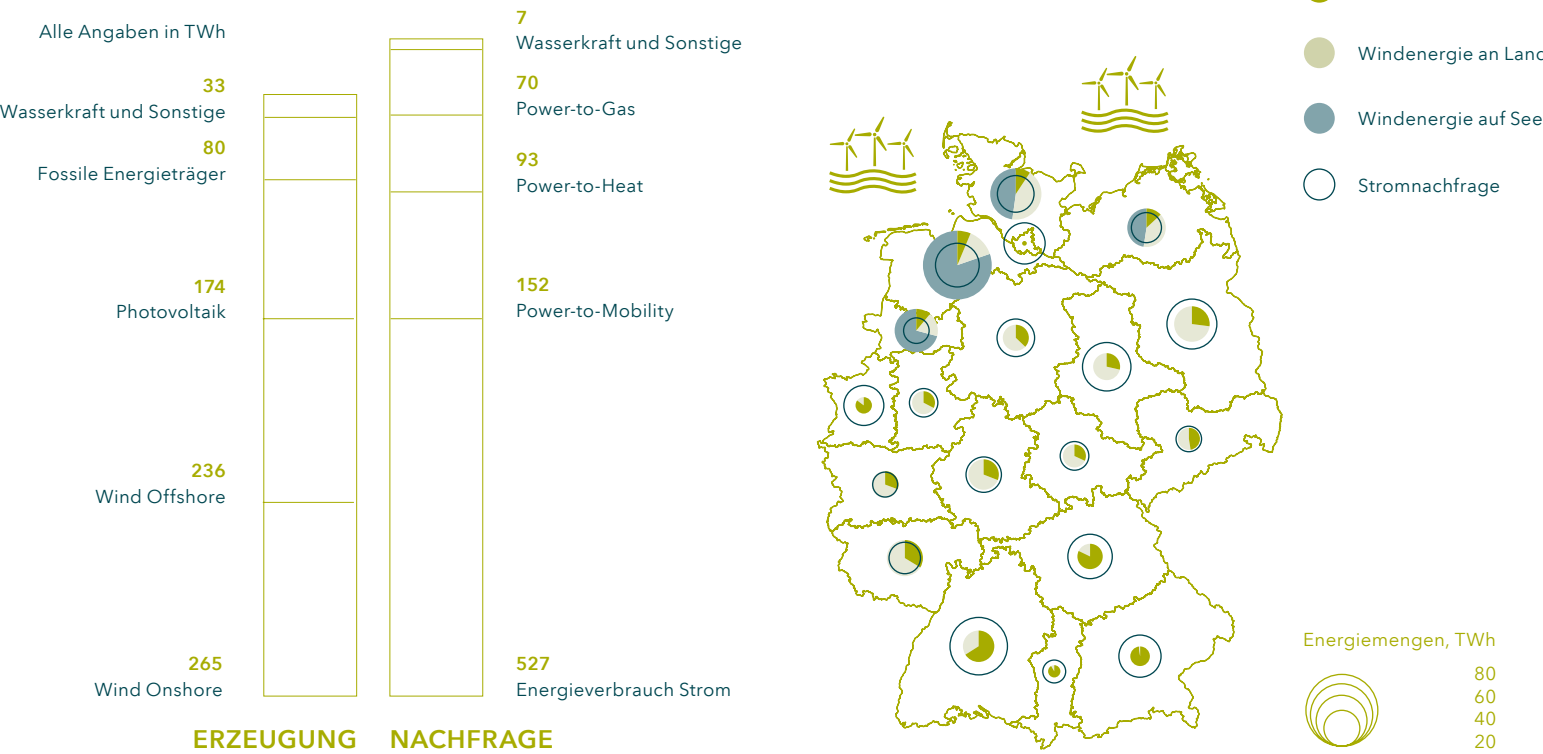
Flexible Stromnachfrage im System der Zukunft: Für die Integration der Stromerzeugung volatiler erneuerbarer Energien werden zunehmend flexible Verbraucher und Speichermöglichkeiten benötigt. Die Sektoren Wärme, Transport und Gas bieten ein hohes Potenzial zur Speicherung von Strom, Wärme und gasförmiger Energieträger. Durch die Sektorenkopplung können diese Speicherpotenziale für die Flexibilisierung der Stromnachfrage erschlossen werden. Beispielsweise können in Zeiten hoher Verfügbarkeit erneuerbarer Energien batterieelektrische Fahrzeuge geladen werden. Durch diese flexiblen Verbraucher verdreifacht sich die maximale zeitgleiche Stromnachfrage auf über 200 GW.

Strom und Gas dominieren die Wärmeerzeugung: Durch effiziente Wärmepumpen und Widerstandsheizungen werden bis zum Jahr 2050 fast 40 % der Wärmeversorgung in Deutschland elektrifiziert und damit indirekt mit erneuerbaren Energien versorgt. Rund 60 % der Wärmenachfrage werden durch hocheffiziente GuD-Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung und Heizwerke in Nah- und Fernwärmenetzen sowie dezentralen Gasheizungen gedeckt. Zudem

können Wärmespeicher genutzt werden, um die Wärmeerzeugung (und damit auch die Stromnachfrage) intelligent zu steuern.

Transportsektor wird bestimmt durch Elektromobilität: Um den Transportsektor zu dekarbonisieren, werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren vor allem durch batterieelektrische Fahrzeuge ersetzt. Aufgrund der höheren Energiedichte und kürzerer Tankzeiten werden außerdem für lange Strecken Brennstoffzellenfahrzeuge eingesetzt. Im Vergleich zu den batterieelektrischen Fahrzeugen machen diese jedoch nur einen geringen Anteil der angenommenen Fahrleistung aus. Im Kontext der Energiewende im Verkehr sinkt auch der Endenergieverbrauch des Transportsektors erheblich: statt mit einer Kilowattstunde Strom kommt ein Elektrofahrzeug rund 3,5-mal so weit wie ein vergleichbares Fahrzeug mit Verbrennungsmotor und gleicher Energie in Form von Superbenzin (0,11 Liter Superbenzin hat gleich viel Energie wie eine Kilowattstunde Strom). Durch optimiertes Laden und Speicherung der Elektrizität in den Fahrzeugbatterien wird ein hohes Flexibilitätspotenzial für den Stromsektor erschlossen.

ENERGIEMENGEN 2050 IN DEUTSCHLAND



DEUTSCHLAND

WEITERER AUSBAU DES ÜBERTRAGUNGSNETZES ERFORDERLICH

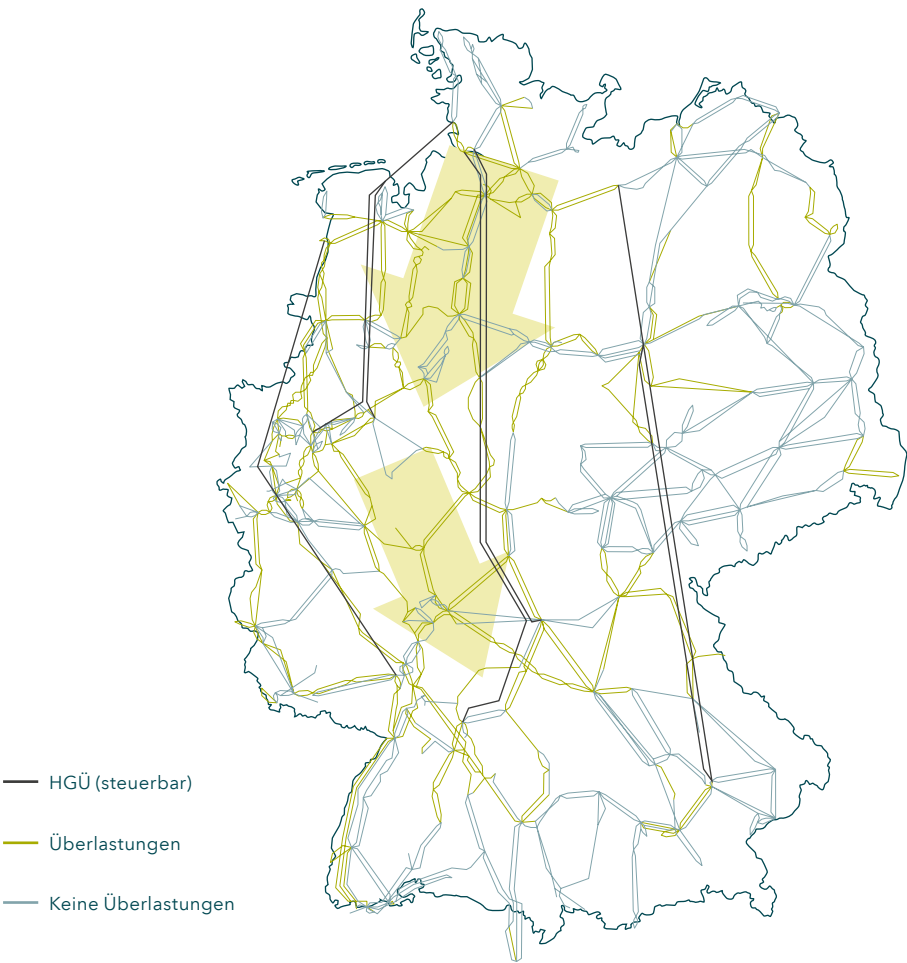
Mehr Erneuerbare, mehr Stromtransport: Der Ausbau des Übertragungsnetzes laut Netzentwicklungsplan 2030 reicht nicht aus

15.700 KM

und damit

40 %

des Höchstspannungsnetzes weisen unzulässige Überlastungen auf



DAS ÜBERTRAGUNGSNETZ IM JAHR 2050

Das in der Studie aufgezeigte Stromversorgungssystem im Jahr 2050 – dem Zieljahr der Energiewende – erfordert eine Weiterentwicklung des im NEP bestätigten Übertragungsnetzes für das Jahr 2030 (Version 2019). Vor allem in Nord und Nord-West Deutschlands treten im Zielsystem weiterhin kritische Netzengpässe auf. Grund hierfür ist im Wesentlichen der verstärkte Ausbau der Windenergieanlagen auf See in der Nordsee, die rund ein Drittel des aus erneuerbaren Energien produzierten Stroms liefern. Dieser Strom muss in die bevölkerungsstarken und hochindustrialisierten Lastzentren im Westen und Süden Deutschlands transportiert werden, wo die Stromnachfrage durch den hohen Grad an Elektrifizierung der Sektoren Wärme- und Transport zusätzlich stark wachsen wird. Der Transportbedarf in Nord-Süd-Richtung nimmt demnach

weiter zu. Für die Umsetzung der Energiewende müssen deutschlandweit zusätzlich zum NEP 2030 (Version 2019) Überlastungen auf Stromkreisen mit einer Länge von über 15.700 Kilometer behoben werden. Das entspricht rund 40 % der aktuellen Stromkreise des deutschen Übertragungsnetzes. So stellt der aktuelle NEP nur den ersten Schritt des Netzausbaubedarfs für eine erfolgreiche Energiewende im Jahr 2050 dar.

INTERNET LINK
ZUR STUDIE

/ www.transnetbw.de/de/stromnetz2050/

ERKENNTNISSE FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG

Baden-Württemberg wird zukünftig verstärkt Strom aus anderen Bundesländern oder aus dem Ausland importieren müssen. Nur die Hälfte der dortigen Stromnachfrage kann 2050 regional erzeugt werden. Eine gute Stromnetzanbindung ist daher zwingend erforderlich. Von dem in Baden-Württemberg erzeugten Strom wird im Jahr 2050 jede zweite Kilowattstunde aus Photovoltaikanlagen stammen. Windenergie und GuD-Anlagen werden jeweils rund 25 % erzeugen.

Aufgrund des hohen Importbedarfs ist der Bau zusätzlicher Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsverbindungen (HGÜ-Verbindungen) nach Baden-Württemberg zu den bereits im NEP ausgewiesenen Maßnahmen notwendig. Der zusätzliche Ausbaubedarf enthält zwei weitere HGÜ-Verbindungen von

Nord- und Nord-West Deutschlands mit jeweils 2 GW Leistungskapazität. Damit ist Baden-Württemberg im Jahr 2050 mit insgesamt 8 GW HGÜ-Kapazität an die Erzeugungszentren in Nord-Deutschland angebunden.

Auch ein weiterer Ausbau des Wechselstromnetzes ist notwendig. Die im NEP 2030 (Version 2019) hinterlegten und bestätigten Maßnahmen der TransnetBW sind auch für die energiewirtschaftlichen Entwicklungen nach 2030 notwendig. Darüber hinaus müssen im Höchstspannungsnetz der TransnetBW über 700 Kilometer und damit über 40 % der bestehenden Leitungstrassen zusätzlich verstärkt werden.

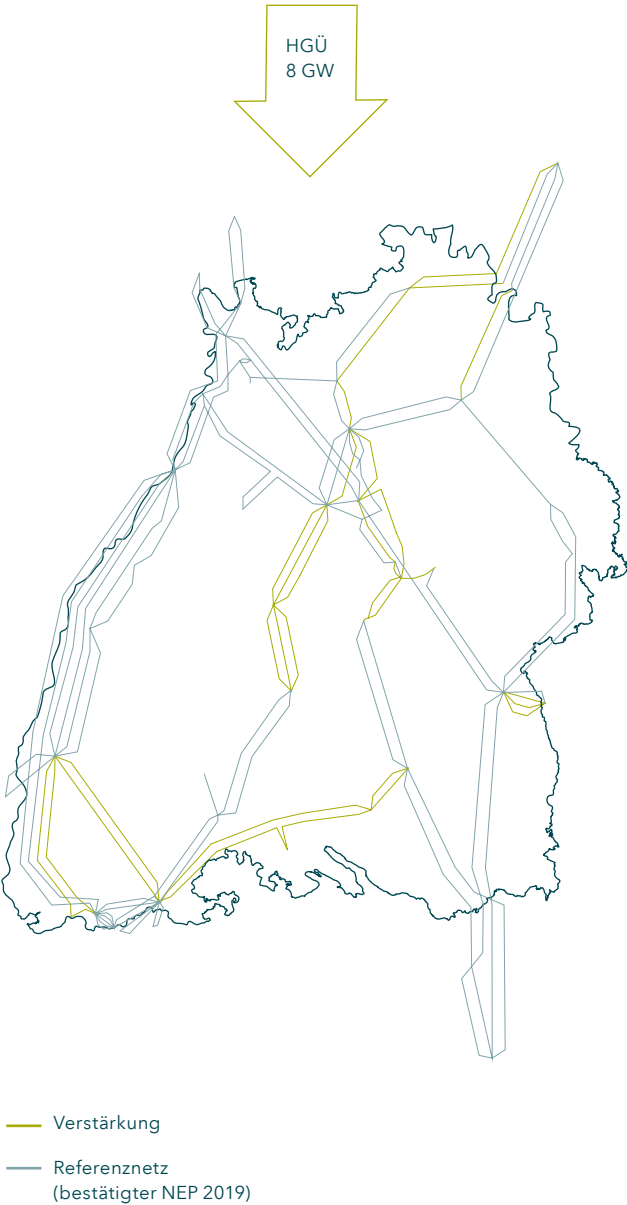
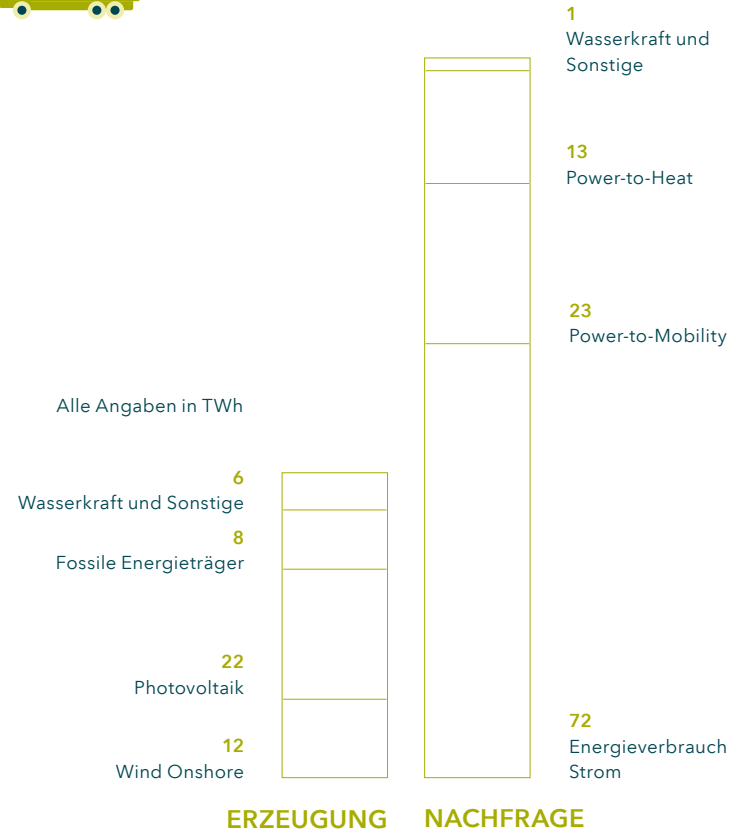
/ Jonas Lotze, Konrad Hausch

BADEN-WÜRTTEMBERG

Stromeinfuhren



Stromausfuhren



Podiumsdiskussion

DIE ENERGIEWENDE VOM ENDE HER DENKEN

Am 22. April waren wir live für Sie da, um die Studie „Stromnetz 2050“ vorzustellen – aufgrund von Corona leider nur online. Mit uns diskutierten Dr. Felix Christian Matthes, Forschungs Koordinator Energie- und Klimapolitik beim Öko-Institut e. V. und Helfried Meinel, Ministerialdirektor und Amtschef im Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft von Baden-Württemberg, die als Beiräte die Studie begleitet haben. Im Folgenden einige Kernthesen unserer Diskutanten.



Von links nach rechts, mit Einhaltung der Abstandregelung: Michael Jesberger (Geschäftsführer der TransnetBW), Helfried Meinel, Annett Urbaczka (Leiterin Kommunikation bei TransnetBW), Dr. Felix Christian Matthes, Christian Schorn (Leiter Anlagenbetrieb & Operations bei TransnetBW).

Welche Auswirkungen wird die Corona-Krise auf den Fortgang der Energiewende haben?

H. Meinel: Es gibt in der gegenwärtigen Situation Stimmen die sagen, dass die Klimaschutzmaßnahmen zu Gunsten der dringenden Maßnahmen für die Rettung der gegenwärtigen Wirtschaftslage zurückstecken sollte. Die Landesregierung Baden-Württembergs sieht es anders: die aktuelle Krise fordert die Aufbereitung neuer Konjunktur- und Investitionsprogramme, bei denen die Klimaschutzziele 2050 mitberücksichtigt werden. Der Netzausbau wird es mit ermöglichen, die Konjunktur in der Zeit nach der Corona-Krise anzukurbeln und dabei die Klimaschutzziele einzuhalten.

Warum brauchen wir jetzt eine Studie mit Blick auf 2050?

H. Meinel: Wir haben die Energiewende

vor Augen. Und dabei wollen wir nicht hinterherlaufen, sondern diese Wende vorantreiben, ganz im Sinne der Klimaschutzziele 2050. Und die Infrastruktur des Stromtransports hat eine Vorreiterrolle, analog zur Mobilität, der Infrastruktur für den Transport und anderen Energieträgern wie Gas.

Deswegen ist es notwendig, langfristig die Infrastruktur des Transportnetzes an die Klimaschutzziele anzupassen.

M. Jesberger: Die sich verändernden Erzeugungsstrukturen hin zu erneuerbaren, CO2-freien Energiequellen bedingen andere Stromnetztopologien, andere Technologien und neue Betriebskonzepte. Europa arbeitet an dem Green Deal, an der Dekarbonisierung Europas. Dazu kommt die energetische Kopplung der Sektoren, die einen erhöhten Strombedarf mit sich bringt. Aufgrund dieser veränderten Grundordnung muss deut-

lich mehr Strom aus erneuerbaren Energiequellen vom Norden Deutschlands in den Süden transportiert werden.

Um hierfür die richtigen Lösungen und Wege zu finden, müssen wir vom Ende her denken und verstehen, wie das Energiesystem in Baden-Württemberg aussehen kann und wahrscheinlich aussehen wird.

Mit der Studie haben Sie einen „großen Wurf“ gewagt. Wie sind Sie vorgegangen und wie robust und realitätsnah sind die Ergebnisse?

M. Jesberger: Das politische Ziel, mindestens 80 % klimaneutrale Energie bis 2050 zu erzeugen, ist eine sehr konkrete Eingangsgröße, um Erzeugungsstrukturen zu definieren. Auch die Verbrauchsstruktur lässt sich prognostizieren. Mit diesen zwei Eingangsgrößen können wir Szenarien entwickeln, generell das erforderliche

Transportnetz berechnen und dabei eine sehr hohe Qualität erreichen.

H. Meinel: Ich halte den Blick auf 2050 für überaus wichtig. Es mag sein, dass diese Studie wie „ein Blick in die Kristallkugel“ erscheint. Denn sie liefert Ergebnisse mit einer Vielzahl unterschiedlicher Annahmen, die getroffen werden müssen.

Fakt ist aber, dass die aktuelle Planungsgrundlage von zehn bis 15 Jahren an ihre eigenen Grenzen stößt. Und die Gefahr besteht, dass wir mit der begrenzten Betrachtung auf 2035 gegenwärtig in das Falsche und entsprechend suboptimal investieren.

Deswegen ist der Blick in die Kristallkugel notwendig.

F. Matthes: Die Studie Stromnetz 2050 versucht, sich einer Beschreibung der Zukunft anzunähern, nicht aber exakt die Zukunft zu vermitteln. Die Studie wirft die Frage auf, wie man zu robusten Planungsgrundlagen für langlebige Infrastrukturen kommt. Sie spiegelt die Konfrontation verschiedener Meinungen aus der Beiratsmitgliedschaft. Und genau diese Konfrontation führte zur Robustheit dieser Studie.

Was sind die ausschlaggebenden Punkte der Studie?

F. Matthes: Sie zeigt die vielen Facetten eines Stromnetzes 2050 auf: Es wird regenerativ, denn die Versorgung wird im Wesentlichen auf Wind- und Solarenergie beruhen. Es wird elektrischer, denn der Strombedarf insgesamt wird definitiv größer, auch in anderen Sektoren wie der Mobilität und der verbundenen Technologien. Unser Stromsystem und auch unser Stromnetz wird 2050 vielfältiger, koordinations- und integrationsintensiver und somit intelligenter sein. Es wird viel mehr verbrauchsnahe und gleichzeitig auch viel mehr verbrauchsferne Stromerzeuger geben und die Interaktionen zwischen den Marktteilnehmern werden wichtiger denn je. Gegenüber dem jetzigen Zustand wird unser Stromsystem 2050 somit kapitalintensiver, unter anderem durch den zusätzlichen Netzbedarf, aber nicht unbedingt teurer. Nicht zu unterschätzen ist auch, dass die Energieversorgung flächenintensiver und sich die räumliche Verteilung des Stromsystems dabei grundlegend ändern wird.

C. Schorn: Die Studie zeigt mit der Systematik eines iterativen Vorgehens einen Entwicklungspfad hin zum realistischen Zielbild eines europäischen Stromversorgungssystems im Jahr 2050.

Es wird detailliert gezeigt, dass der „klassische“ Stromverbrauch konstant

gegenüber 2018 bleibt. Ein zusätzlicher Stromverbrauch entsteht durch die Elektrifizierung der Wärme- und Transportsektoren. Auch deswegen müssen 40 % des bestehenden Netzes angepasst werden. Die durchgeführte Netzanalyse zeigt, dass die aktuellen Ergebnisse des NEP-Prozesses für die erkannten Anforderungen eines Zielnetzes 2050 nicht ausreichen.

Welche Rolle spielen Stromspeicher?

C. Schorn: In der Studie wird ausführlich dargelegt, wie viele Speicherkapazitäten benötigt werden, um 100 % der volatilen Energie aus Wind- und Photovoltaikanlagen nutzen zu können.

Neben klassischen Batteriespeichern sehen wir insbesondere die Nutzung der Flexibilität der Sektorenkopplung. Batterie-elektrische Fahrzeuge und auch Power-To-Heat Anlagen sind faktisch Teile eines wichtigen Speichersystems.

F. Matthes: Speicher haben den großen Vorteil, dass sie gleichzeitig auf Angebot und Nachfrage reagieren können. Aber je länger man speichert, umso höher sind die Energieverluste. Je mehr man speichert, umso mehr Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt werden muss. Demzufolge müssen mehr Flächen genutzt werden, denn regenerative Energien sind flächenintensiv. Hier brauchen wir ein Optimum zwischen dem Transport von Energie und der Speicherung von Energie.

Eine wichtige Eingangsgröße dieser Studie ist das Ziel, 80 % der Stromnachfrage durch Erneuerbare Energien zu decken. Ist das nicht veraltet?

F. Matthes: Es sollten mit dieser Studie keine überdimensionierten Netze entwickelt und auch kein Maximalausbau betrachtet werden. Vielmehr sollen die zukünftigen Anforderungen untersucht und daraus realistische Maßnahmen für das Netz der Zukunft abgeleitet werden. Auch darf die Studie Stromnetz 2050 keine Einmalaktion sein, sondern muss bei Veränderungen der Zielzahlen erneut Rechnungen anstellen. Und ein Erneuerbaren-Anteil von 80 % wird ganz sicher nicht der Ausgangspunkt der nächsten Runde sein.

H. Meinel: Das genannte Ziel ist mittlerweile zwar zehn Jahre alt, allerdings weiterhin gültig.

Das Pariser Abkommen legt neue Zielvorhaben fest. Diese müssen zunächst EU-weit durchdekliniert, dann in Bundes- und Landesziele überführt werden. Erst dann können wir das Pariser Abkommen

im Zuge weiterer Studien umsetzen.

Und auch wenn die Ziele verschärft werden, werden wir in Deutschland weiterhin nicht mehr als rund 850 TWh Strom aus Erneuerbaren Energien (EE) selbst erzeugen können – weil die Flächen hierfür begrenzt sind. Deswegen werden wir so oder so den Netzausbau umsetzen müssen, wie er jetzt in der Studie beschrieben worden ist, auch wenn im Verlauf die EE-Ziele angehoben werden.

Wie geht es jetzt weiter?

C. Schorn: Im Zuge des Kernenergieausstieges ab 2011 haben wir auch vom Ende her gedacht. Heute ist Fakt, dass wir dabei mit unseren Umbaumaßnahmen hinterher sind. Daraus haben wir gelernt, dass wir früh genug anfangen müssen, um unsere Ziele tatsächlich zu erreichen. Deswegen der Blick auf 2050. Letztendlich wollen wir auch eine Diskussion zur Weiterentwicklung des Netzentwicklungsplans anregen.

H. Meinel: Spannend wird, wie die Studie in der bundesdeutschen Debatte aufgenommen wird. Wie die anderen Übertragungsnetzbetreiber auch das Instrument Zielnetz 2050 nutzen werden, und welche Schlussfolgerungen von der Bundesnetzagentur daraus gezogen werden.

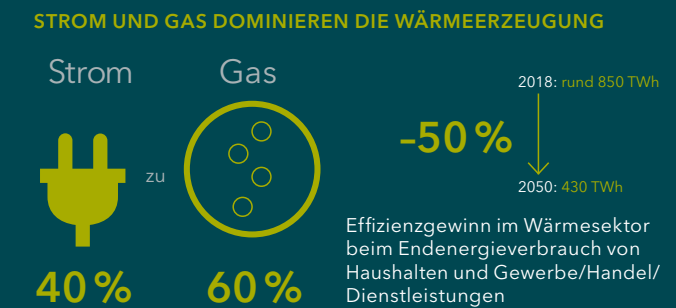
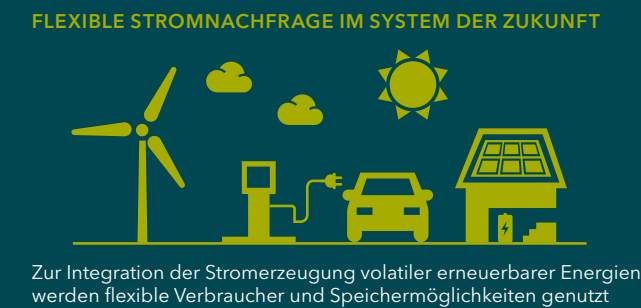
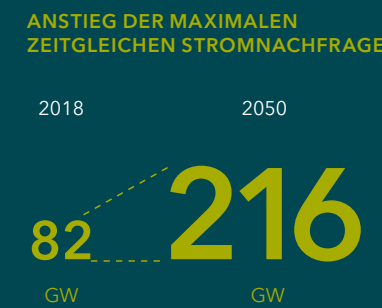
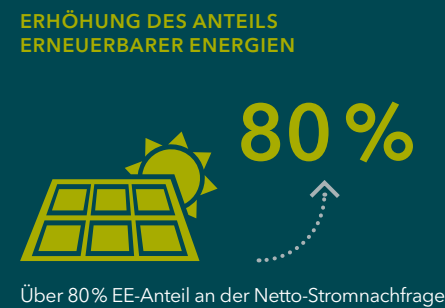
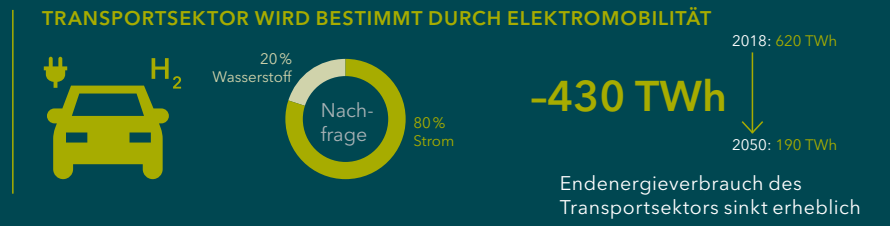
F. Matthes: Die Studie sollte nicht die Einzige bleiben. Im Hinblick auf die kommenden Änderungen bezogen auf das Pariser Abkommen, ist es notwendig, die Studie und Berechnungen regelmäßig durchzuführen. Das sollte sich gewissermaßen zu einer Tradition entwickeln.

M. Jesberger: Wir führen sie gern weiter, auch mit neuen, sicherlich dann von EU-Plänen beeinflussten, angepassten Zielvorhaben, die politisch und gesetzlich noch verankert werden. Auch unsere Prognosen werden sich im Laufe der Zeit weiter konkretisieren. Unsere Analytik, unsere Modelle und Methoden haben uns wichtige Ergebnisse geliefert, die eine robuste Grundlage für weitere Untersuchungen bietet.

/ Angèle Dahl, Florian Reuter

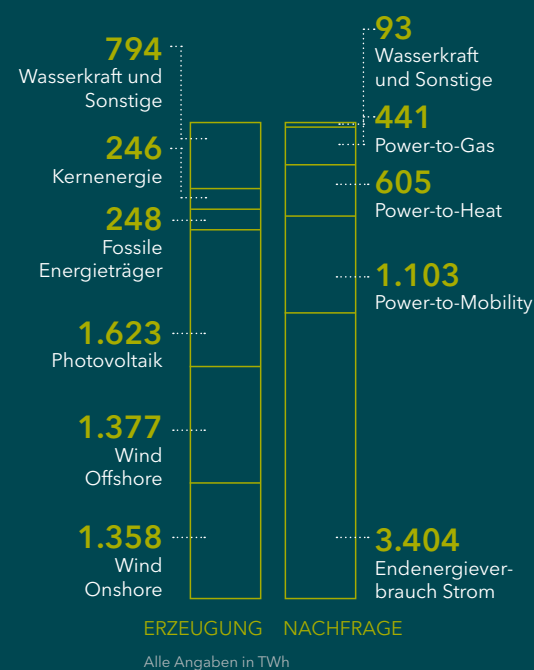
Die gesamte Studie ist nach wie vor auf unserer Webseite verfügbar unter <https://www.transnetbw.de/de/stromnetz2050/>.

Sowohl Deutschland als auch die Europäische Union streben bis Mitte des Jahrhunderts ein klimaneutrales Energie- und Wirtschaftssystem an. Der bedarfsgerechte Ausbau des Übertragungsnetzes ist ein zentrales Element für das Gelingen der Energiewende.



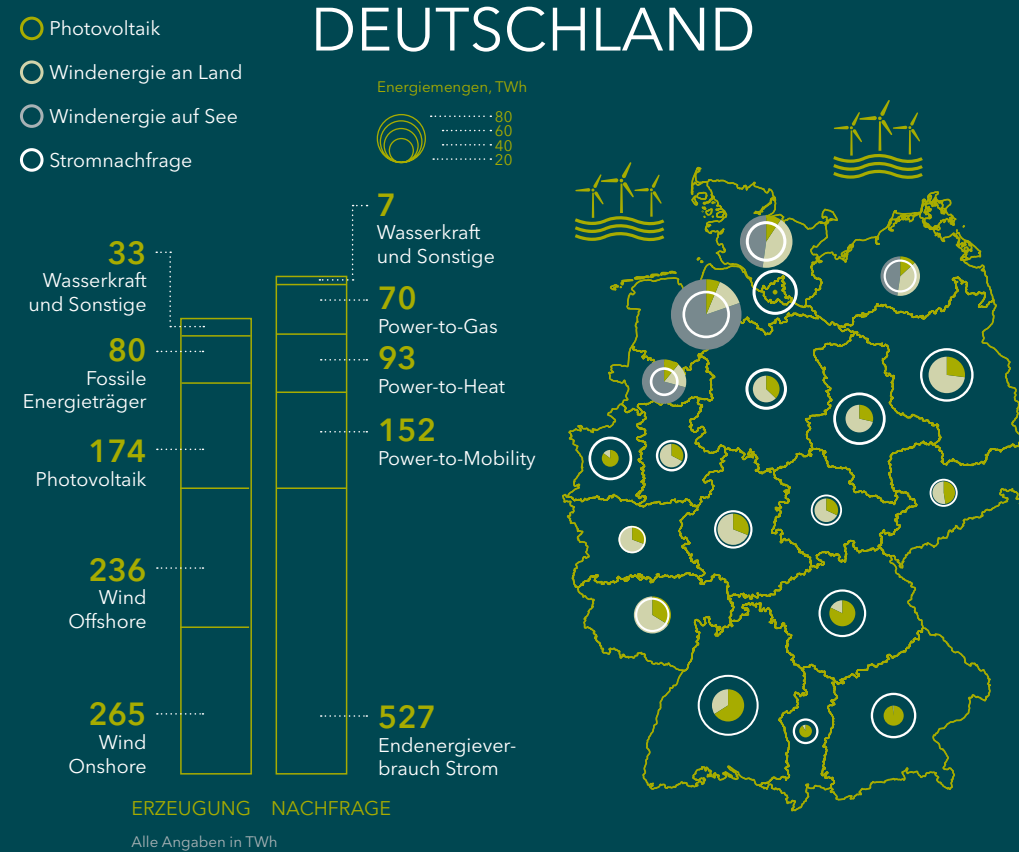
STROMNETZ 2050

EUROPA

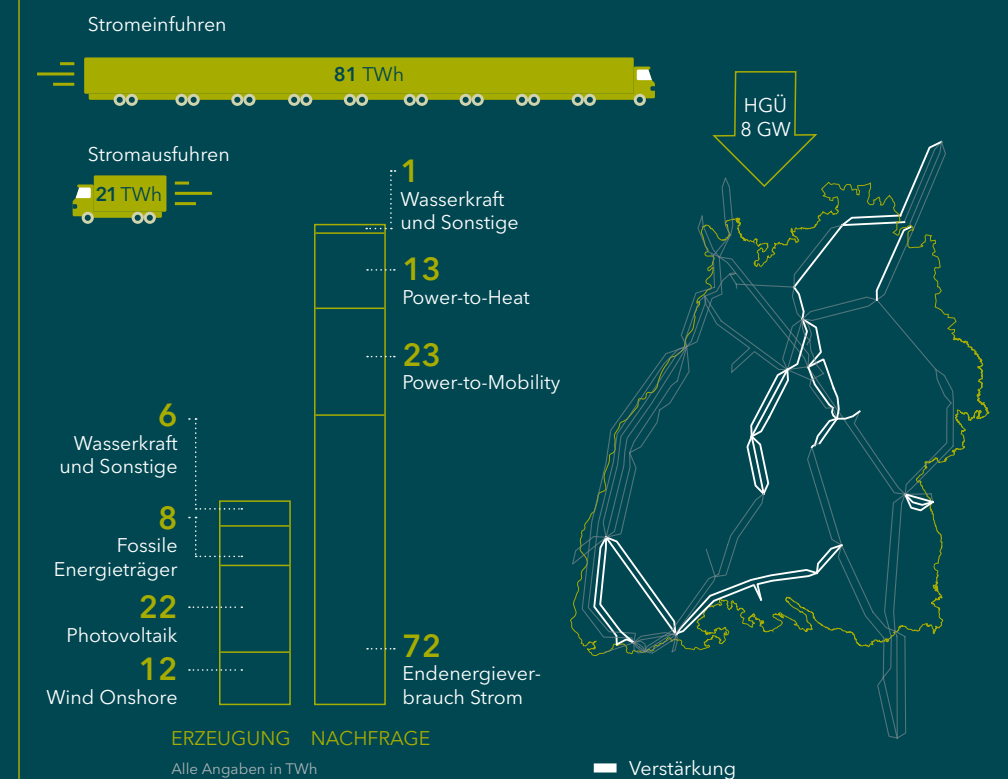


Verstärkter Energieaustausch in Europa: Grenzüberschreitender Stromhandel steigt um rund **80 %**

DEUTSCHLAND

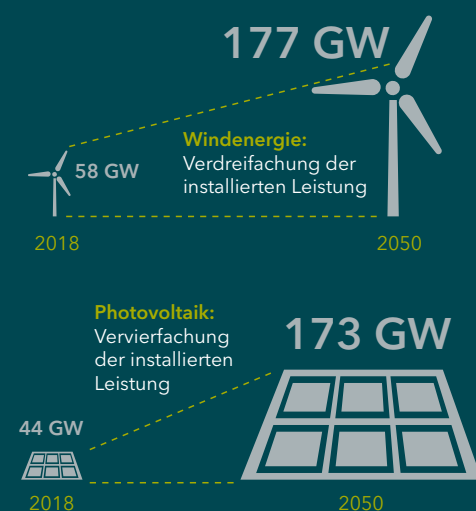


BADEN-WÜRTTEMBERG



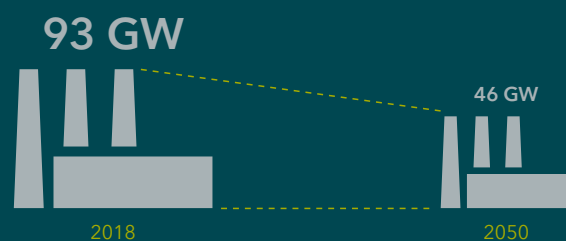
ERZEUGUNGSKAPAZITÄT IN DEUTSCHLAND

MASSIVER AUSBAU VON WINDENERGIE UND PHOTOVOLTAIK



VORHALTUNG THERMISCHER ERZEUGUNGSKAPAZITÄTEN

Zur Absicherung der Strom- und Wärmeversorgung werden effiziente Gasturbinen und GuD-Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung benötigt. Dabei ist ein Rückgang der thermischen Erzeugungskapazität zu erwarten



WEITERER AUSBAU DES ÜBER-TRAGUNGSNETZES ERFORDERLICH

Mehr Erneuerbare, mehr Stromtransport: Der Ausbau des Übertragungsnetzes laut Netzentwicklungsplan 2030 reicht nicht aus

15.700 KM

und damit

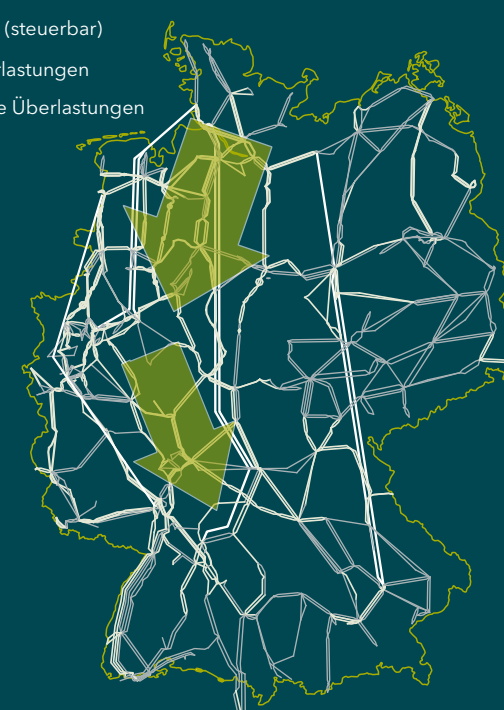
40 %

des Höchstspannungsnetzes weisen unzulässige Überlastungen auf

DIGITALISIERUNG UND INNOVATIONEN MACHEN DAS STROMNETZ INTELLIGENT UND OPTIMIEREN DIE NETZAUSLASTUNG



■ HGÜ (steuerbar)
■ Überlastungen
■ Keine Überlastungen



FAZIT

Das im NEP 2030 geplante Übertragungsnetz reicht nicht aus um die klima- und energiepolitischen Ziele im Jahr 2050 zu erreichen. Die Integration der erneuerbaren Energien erfordert ein deutschlandweites Maßnahmenpaket, das deutlich über die bereits im NEP ausgewiesenen Maßnahmen hinausgeht und neben umfangreichen weiteren Netzverstärkungen auch den Bau zusätzlicher Höchstspannungs-Gleichstrom-übertragungs-Verbindungen enthält.



Ohne Netz der Zukunft kein Strom der Zukunft

DAS ZIEL IST KLAR, DER WEG NOCH NICHT

Das Ziel der Energiewende ist klar:
Ein leistungsfähiges und dabei möglichst
klimaneutrales Energiesystem der Zukunft.
Dieses Ziel legt auch die Studie Stromnetz
2050 zugrunde – als Basis, um ein dann
notwendiges Stromnetz zu entwerfen.

Noch ist allerdings unklar, ob und wie das Ziel erreicht werden kann. Es existiert bislang nur auf dem Papier: Die Bundesregierung legt Ausbauziele für erneuerbare Energien fest. Damit wir auf diesem Pfad vorankommen, bedarf es politischer und regulatorischer Maßnahmen. Das bisher genutzte Instrument der preisgesteuerten Subventionierung von erneuerbaren Energien-Anlagen wird Stück für Stück durch mengengesteuerte Ausschreibungen abgelöst. So hofft man ausreichend Anreize zu bieten, um die Etappenziele zu erreichen.

Der Haken an der Sache: Weder ist die Steigerung der Stromeinspeisung durch erneuerbare Energien in ausreichendem Maße gesichert, noch ist überhaupt klar, wie viel Einspeisung für einen Anteil von 80 oder 95 % überhaupt notwendig ist – weil der Gesamtverbrauch nur schwer prognostiziert werden

kann. Gerade durch die viel beschworene Sektorenkopplung – letztlich die Elektrifizierung von Verkehr, Wärme und anderen Bereichen – wird vielleicht der Energiebedarf sinken, der Stromverbrauch aber steigen. Bislang hingegen rechnet die Bundesregierung eher mit einem gleichbleibenden Stromverbrauch. So scheinen auch die Ausbauziele für Erneuerbare weniger ambitioniert, als sie es tatsächlich sind.

Und vor allem: Der Ausbau wird weit überwiegend durch Photovoltaik und Wind erfolgen. Gerade bei Windenergie sind die Akzeptanzprobleme allerdings beträchtlich, die Genehmigungszeit beträgt aktuell etwa fünf Jahre. Die Politik trägt dieser Problematik Rechnung, indem sie verschärfte Abstandsregeln von Windrädern zu Wohnbebauung ermöglicht. Was vielleicht die Akzeptanz steigern kann, verringert also die zur Verfügung stehenden Flächen – um bis zu 50 %, wie Experten errechnen. Der Zubau von Windanlagen, der bereits in den letzten Jahren eingebrochen ist, dürfte sich also noch weiter verringern.

Damit würde eine wichtige Säule der Energiewende bröckeln – und mit ihr auch das Fundament der Planung eines Stromnetzes für eine klimaneutrale Energieversorgung. Denn Dreh- und Angelpunkt aller zukünftigen Szenarien ist die Erwartung, dass wir einen perspektivisch steigenden Stromverbrauch mit Wind- und Sonnenenergie decken. Nicht nur braucht die Energie der Zukunft ein leistungsfähiges Stromnetz – umgekehrt gilt auch: Ohne Strom der Zukunft kein Netz der Zukunft.

/ Konrad Hausch, Florian Reuter



Sektorenkopplung

HAND IN HAND

Das Überwinden von Barrieren bringt die Energiewende voran. Es verschwimmen auch die Grenzen zwischen Elektron und Molekül, den verschiedenen Bereichen des Wirtschaftsgeschehens, der Erzeugung und des Verbrauchs. Die klimaschutz- und energiepolitischen Ziele können nur erreicht werden, wenn die Potenziale der verschiedenen Sektoren genutzt werden. Die Sektorenkopplung war daher ein zentrales Element bei der Erstellung unserer Studie „Stromnetz 2050“...

Von Sektorenkopplung wird generell gesprochen, wenn es um die Verzahnung aller oder einzelner Sektoren des Energiesystems und dahinterstehender Infrastrukturen geht. Es existieren zahlreiche Definitionen, aber keine einheitliche. Im Fokus steht jedoch immer die technische und wirtschaftliche Verknüpfung der Anwendungssektoren Strom, Wärme und Transport sowie der Energieinfrastruktur und Energieträger. Unabhängig von der Definition wird die Sektorenkopplung zusammen mit dem Ausbau erneuerbarer Energien als zentrales

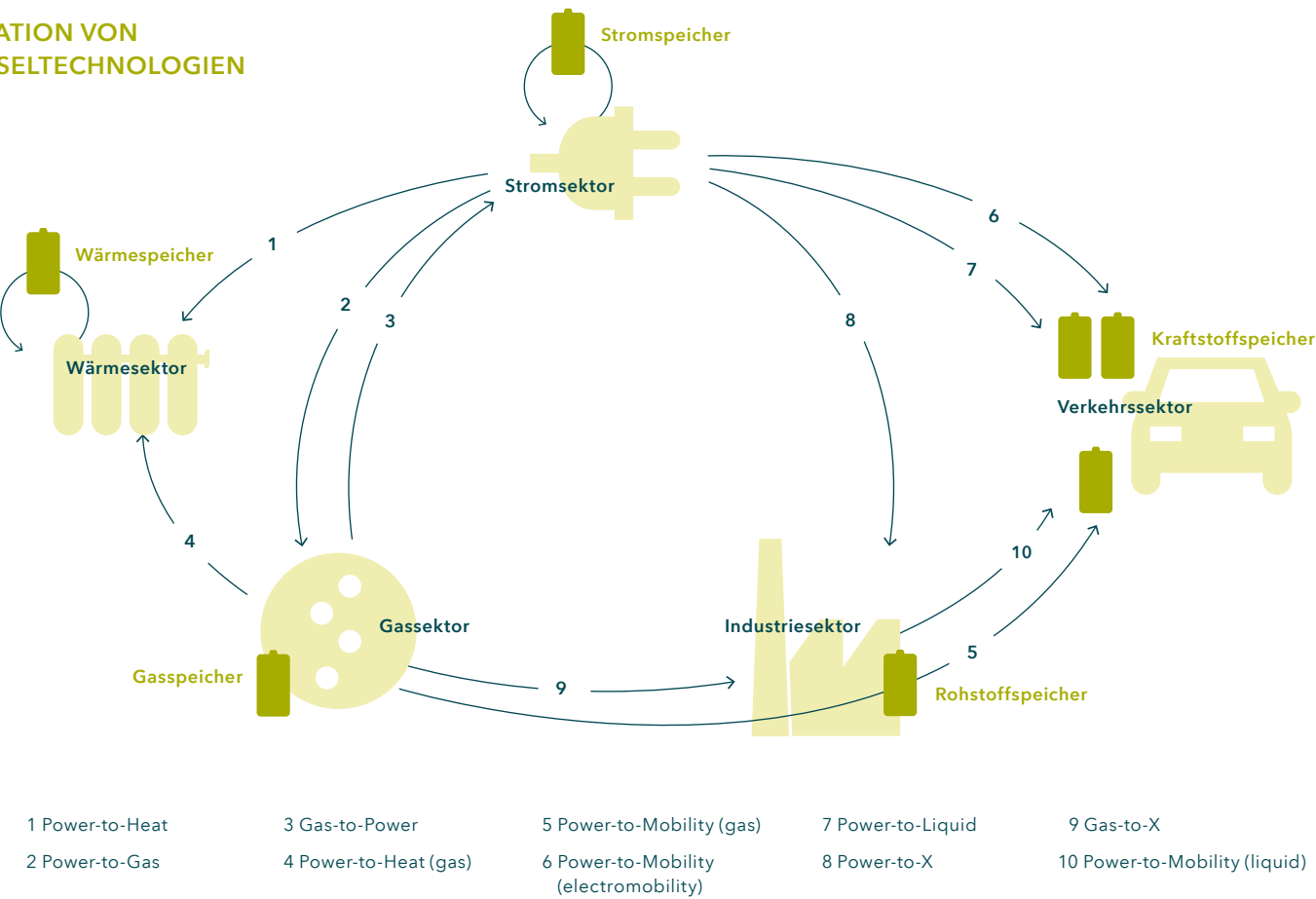
Element zukünftiger Energiesysteme gesehen – nicht nur in Deutschland, sondern europaweit. Die Kopplung stellt ein wichtiges Instrument dar, um auch die Sektoren Wärme und Transport zu dekarbonisieren, ausreichend Nachfrageflexibilität für die effiziente Integration volatiler erneuerbarer Energien zu erschließen, die Energieeffizienz zu erhöhen sowie den Primärenergiebedarf zu senken. Sowohl der Ausbau erneuerbarer Energien, als auch die Sektorenkopplung und die partielle Elektrifizierung der

Wärme- und Transportsektoren haben einen großen Einfluss auf Entwicklung und Betrieb des Übertragungsnetzes.

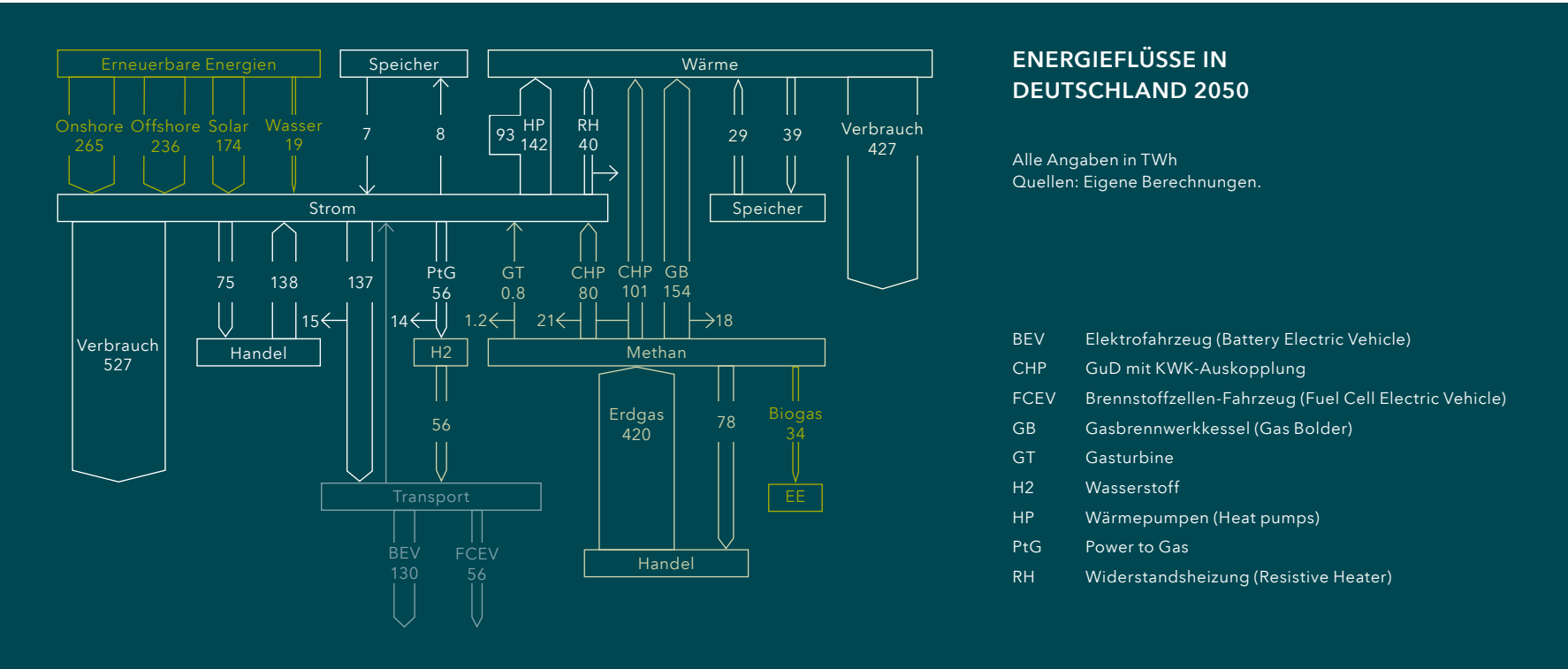
Verknüpfende Elemente

Nähern wir uns dem Thema Sektorenkopplung aus einer technologischen Perspektive so geht es vor allem darum, wie insbesondere erneuerbare Energieträger durch Umwandlung in allen Sektoren „vermehrt“ genutzt werden können. Dafür stehen verschiedene Schlüsseltechnologien zur Verfügung: (siehe unteres Schaubild).

INTEGRATION VON SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN



Quelle: TransnetBW, angelehnt an Sterner et. al 2016



Ein zentraler Einflussfaktor auf die Studie „Stromnetz 2050“

Weil die Energieversorgung im Jahre 2050 kaum ohne Verbindung mit weiteren Sektoren denkbar ist, ist die Entwicklung der Stromnachfrage unter Einfluss der Sektorenkopplung Teil der Simulationsergebnisse der Studie „Stromnetz 2050“. Eines der Kernergebnisse des Energiesystemmodells sind die dazu „prognostizierten“ Energieflüsse in und zwischen den Sektoren im Jahr 2050.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass ein intensiverer Austausch von Energie zwischen den Sektoren Strom, Wärme, Transport und Gas stattfinden wird. Die Elektrifizierung der Wärme- und Transportsektor führt zu einer stärkeren Integration des Stromsektors in das Energiesystem. Die Strom- und Gassektoren sind das Rückgrat eines zukünftigen dekarbonisierten Energiesystems.

In Zeiten hoher Verfügbarkeit erneuerbarer Energien wird die Endenergienachfrage aller Sektoren hauptsächlich über den Stromsektor gedeckt. Zeitlich begrenzte Überschüsse werden in den Transport- und Wärmesektoren ge-

speichert. Diese Flexibilität ermöglicht eine nahezu vollständige Integration volatiler erneuerbarer Energien.

Für das untersuchte Stromversorgungssystem sieht die Studie besonders die Technologien Power-to-Mobility und Power-to-Heat als relevant an. Die Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Mobilität zeichnet sich bereits seit einigen Jahren ab. Wärmepumpen und batterieelektrische Fahrzeuge sind technisch ausgereift und können bereits heute wirtschaftlich betrieben werden. Ein hoher Anteil an Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen schlägt sich daher in der Modellierung nieder. Power-to-Gas spielt im Rahmen unserer Untersuchung für die Wasserstoffherstellung für Brennstoffzellenfahrzeuge eine Rolle. Insgesamt rechnet die Studie aber mit eher geringen Chancen für eine größere Marktdurchdringung dieser Technologie. Vor allem aus wirtschaftlicher Perspektive wird eher von einem Import von synthetischem Wasserstoff oder Methan aus Ländern mit günstigerer Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ausgegangen. Wärmeprozesse in der Industrie

sowie Schifffahrt und Flugverkehr im Energiesystemmodell wurden jedoch nicht abgebildet.

Allen Studien und Modellen ist gemein, dass sie einen Blick in die Zukunft wagen und mit Annahmen arbeiten müssen. Umso wichtiger ist, dass die Annahmen fundiert sind. Wie dies im Falle der „Stromnetz 2050“-Studie sichergestellt wurde, wird in dem Werkstattbericht auf Seite 16 gezeigt. Es ist enorm wichtig, integrierte Szenarien zu entwickeln, um mehr Klarheit über zukünftige Entwicklungen und die notwendigen Schritte und Investitionen in den jeweiligen Sektoren auf dem Weg zu den 2050-Zielen zu gewinnen.

/ Astrid Dolak

Zielnetz 2050

EIN WERKSTATTBERICHT

ITERATIVES VORGEHEN ZUM
„BEST-ESTIMATE“-SZENARIO

Die Fragestellung der TransnetBW vor Beginn der Studie „Stromnetz 2050“ war klar – Wo führt uns der heute eingeschlagene Weg der Energiewende hin? Jonas Lotze, Projektleiter der Studie, beschreibt in einem Werkstattbericht die Herangehensweise des TransnetBW-Teams „Strategische Netzplanung“ an den Prozess der Studienerstellung.

Im Netzentwicklungsplan Strom (NEP) sehen wir die mittelfristig anstehenden Projekte zur Bewältigung der nächsten Schritte der Energiewende. Doch wie können wir möglichst konkret auf das Ende der Energiewende blicken? Und welche Veränderungen bringt das hier bei uns in Baden-Württemberg?

Das Konzept der Studie wurde im Jahr 2018 aufgesetzt – offizieller Start war Anfang 2019. Die Veröffentlichung war für Q1 2020 geplant, bevor der Prozess für den neuen NEP startete. Dabei bestand die für uns neue Herausforderung, ein möglichst konkretes Zielbild für das deutsche und wenn möglich auch das europäische Energiesystem am „Ende der Energiewende“ darzustellen. Erst dann konnten wir unsere Schlüsse für das Stromnetz und für Baden-Württemberg ziehen. Im Zuge einer Umfeldanalyse im Jahr 2018 wurde klar: In dem geplanten Detaillierungsgrad hatte zu diesem Zeitpunkt noch niemand in das Jahr 2050 geblickt.

Wieso hier waren wir für diese Aufgabe genau die Richtigen? Als Übertragungsnetzbetreiber verfügen wir über eine sehr gute Systemübersicht – Einspeisungen und Verbräuche erfassen wir in Echtzeit. Aber auch der Blick in die Zukunft ist für uns nichts Neues. Für die Prozesse der kurz-, mittel- und langfristigen Netzplanung benötigen wir insbesondere für die Modellierung des zukünftigen Energiemarktes besondere Expertisen.

Die Studie größtenteils mit eigenen personellen Ressourcen zu stemmen, war uns daher besonders wichtig. Ein wesentlicher Schritt zum konkreten Zielbild war die Festlegung der Werkzeuge. Die im NEP für die Modellierung des Jahres 2030 genutzten Werkzeuge waren nicht ausreichend, um einen qualitativ

hochwertigen Blick auf das Ende der Energiewende zu wagen. Wir brauchten ein Energiesystemmodell, das mehrere Sektoren und die Bereiche der Energieversorgung betrachtet, die einen wesentlichen Einfluss auf den künftigen Stromsektor haben werden. Grundlage für unser Energiemarktmodell war ein Open-Source-Modell, welches wir umfassend erweitert haben. Darüber hinaus wurden Modelle zur Regionalisierung von Marktsimulationsergebnissen und zur Netzmodellierung benötigt. Der Prozess der Werkzeugentwicklung lief bis zum finalen Ergebnis Anfang 2020 parallel weiter. Neben dem Vorteil, dass wir neue Entwicklungen im laufenden Prozess berücksichtigen konnten, brachte dies die Herausforderung von Ad-hoc Anpassungen, um im Zuge der Simulation aufgedeckte Fehler der neu entwickelten Werkzeuge kurzfristig zu korrigieren.

Die Annahmen und Vorstellungen für das zu entwickelnde Zielbild gingen weit auseinander. Der eingeführte Beirat aus Wissenschaftlern, politischen Vertretern und Fachexperten war in dieser Phase sehr hilfreich. Er stellte unsere Methodik und die Ergebnisse immer wieder auf die Probe. Bei der Vorgehensweise für die Entwicklung des Zielbilds weit in der Zukunft haben wir uns für einen eher untypischen Weg entschieden. Am Ende sollte nur ein alleinstehendes Ergebnis, ein „Best-Estimate“-Szenario bestehen. Diskussionen über die Aufstellung verschiedener Szenarien, einen „Szenariobaum“, waren nicht selten. Szenarien werden gewöhnlich genutzt, um Unsicherheiten bei einem Blick in die Zukunft zu erfassen und eine Bandbreite an möglichen Entwicklungen aufzuzeigen. Also warum haben wir im Ergebnis der Studie nur ein Szenario dargestellt?

In vier iterativ aufeinander folgenden und sich entwickelnden Entwürfen haben wir das Zielbild aufgebaut (siehe Schaubild auf Seite 16). Dadurch war es möglich, verschiedene Einflussgrößen gemeinsam mit dem TransnetBW-internen Steuerkreis und dem externen Beirat immer wieder zu überprüfen und anzupassen. Ungenauigkeiten, die in den ersten Entwürfen auftraten, konnten in Folge vermieden werden. Letztendlich konnten wir so eine höhere Qualität der Ergebnisse erreichen. Für jeden Entwurf wurde der komplette Simulationsablauf durchgeführt, um mit der Netzmodellierung den Transportbedarf im Übertragungsnetz zu bestimmen, Netzausbaumaßnahmen zu definieren und diese zu bewerten.

Im Ergebnis der Studie, dem „4. Entwurf“, stand dann ein Zielbild für ein Energiesystem, in dem die klima- und energiepolitischen Ziele erfolgreich umgesetzt sind und konkrete Rückschlüsse für das Übertragungsnetz in Deutschland und besonders die Netzentwicklung in Baden-Württemberg gezogen werden konnten. Unser Ziel war es, eine Weiterentwicklung der aktuellen Netzplanungsprozesse anzustoßen. Um Netzausbauprojekte bedarfsgerecht und nachhaltig zu planen, muss der NEP aus unserer Sicht zukünftig auch auf das Ende der Energiewende blicken und für energiewirtschaftliche Entwicklungen nach 2035 offen sein. Mit der Studie zeigen wir, dass das möglich ist.

/ Jonas Lotze, Franziska Zink

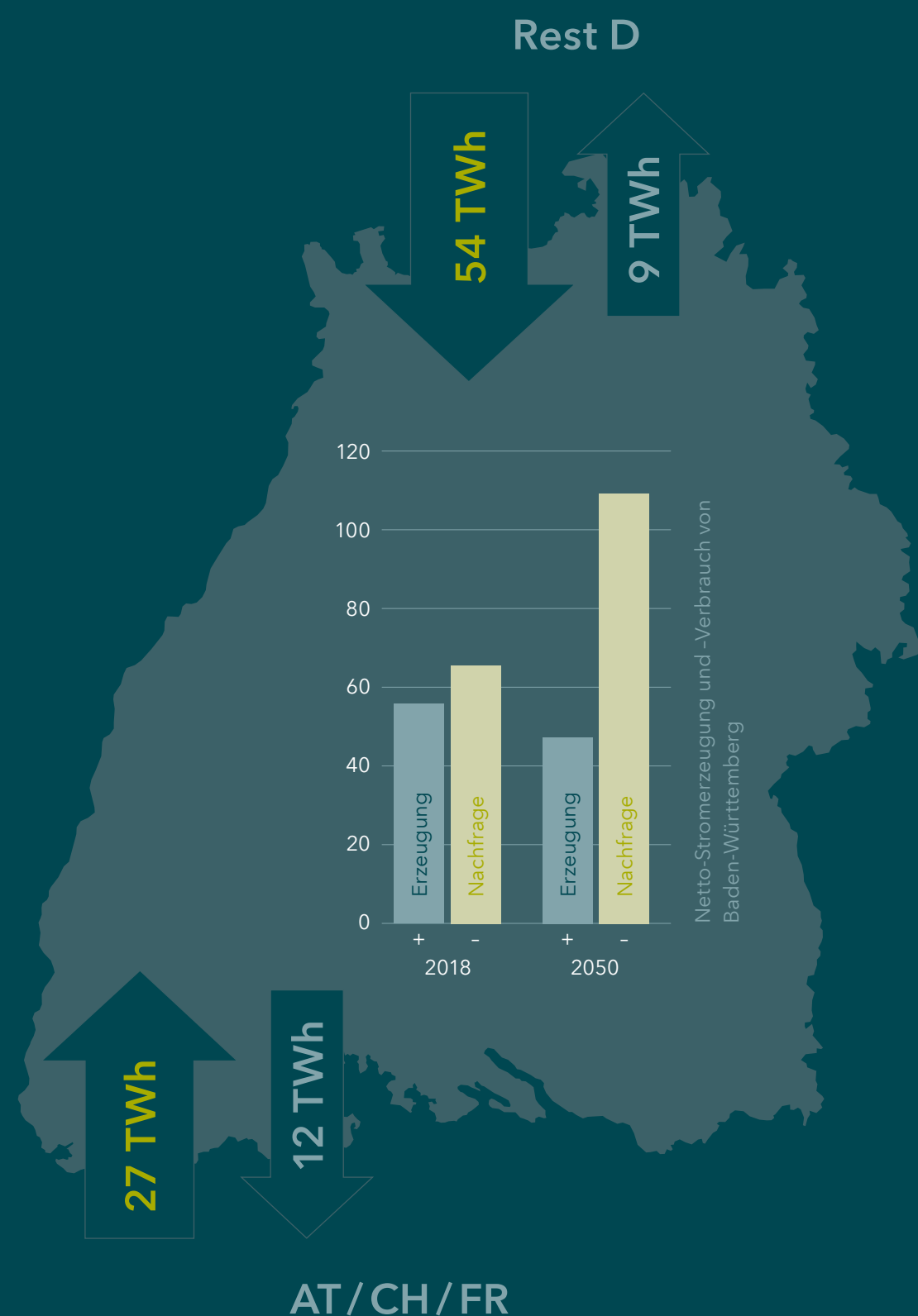
ZAHLEN, DATEN, FAKTEN

Gut zu wissen:
Zahlen, Daten, Fakten aus
der Studie **STROMNETZ 2050**



Durch die Zusammenarbeit mit dem Beirat* stand uns eine breite Informationsbasis zu politischen, wissenschaftlichen und technischen Aspekten zur Verfügung.

2050 wird Baden-Württemberg zum Stromimporteureur



Extremsituation für das Übertragungsnetz

Starkwind-Starklast-Situation im Februar 2050, morgens

/ Charakteristik: Viel Wind und wenig Sonne trifft auf eine große Stromnachfrage (> 350 Stunden im Jahr)



Stromnachfrage BW
25,7 GW

Windenergieeinspeisung Deutschland



108,7 GW
An Land



52,2 GW
Auf See

Blick auf Baden-Württemberg

/ Verdreifachung des max. Austausches mit DE
2018: **7,2 GW** || 2050: **24,3 GW**

/ Verdopplung des max. Austausches mit dem Ausland
2018: **5,4 GW** || 2050: **11,4 GW**

Im- und Export in BW in der Starkwind-Starklast-Situation

/ Import **25,2 GW**

/ Export **10,1 GW**

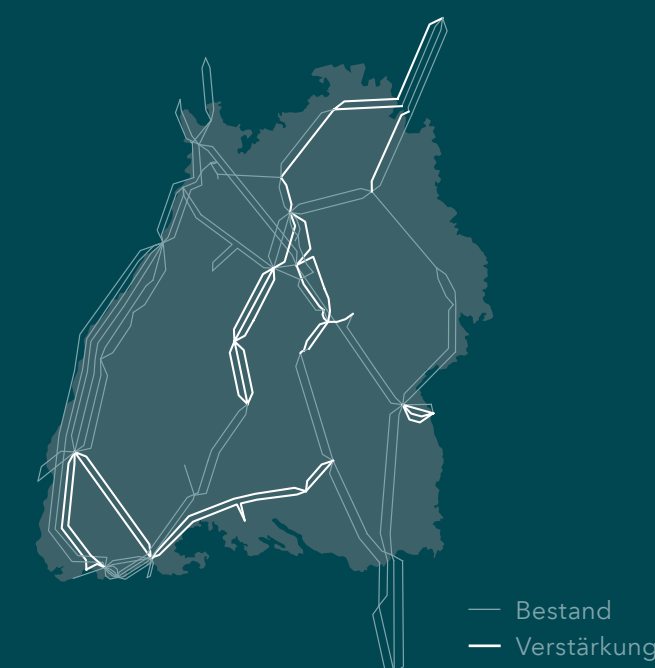
ZIELNETZ 2050 der TransnetBW

8 GW

HGÜ Hochspannungs-Gleichstrom
nach BW in 2050

700 km

Leitungstrassen in BW werden verstärkt



*Der Beirat setzte sich wie folgt zusammen:

/ Prof. Dr. Wilhelm Bauer (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg) / Dr. Michael Becker (Stadtwerke Karlsruhe Netzservice GmbH) / Dr. Andreas Bett (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme) / Prof. Dr. Wolf Fichtner (Karlsruher Institut für Technologie) / Katrin Flinspach (terraneis bw GmbH) / Dr. Martin Konermann (Netze BW GmbH) / Dr. Felix Christian Matthes (Öko-Institut e. V.) / MD Helmfried Meinel (Umweltministerium Baden-Württemberg) / Prof. Dr. Stefan Tenbohlen (Universität Stuttgart). Die TransnetBW dankt den Mitgliedern des Beirats für die interessanten und konstruktiven Diskussionen und die kompetente Beratung bei der Erstellung der Studie. Die Verantwortung für die Ergebnisse der Studie liegt dessen ungeachtet bei der TransnetBW.

/ STROM

/ NETZ

/ SICHERHEIT

IMPRESSUM

Selbstverlag

TransnetBW GmbH
Pariser Platz
Osloer Straße 15-17
70173 Stuttgart
Telefon +49 711 21858-0
politik@transnetbw.de
transnetbw.de

Herausgeber

Dr. Werner Götz, Vorsitzender
der Geschäftsführung
TransnetBW GmbH

TransnetBW GmbH
Pariser Platz
Osloer Straße 15-17
70173 Stuttgart

Verantwortlicher Redakteur

Stefan Zeltner

TransnetBW GmbH
Pariser Platz
Osloer Straße 15-17
70173 Stuttgart

Gestaltung und Illustration

dreisatz – büro für gestaltung

Druck

GRESS-DRUCK

Papier Druckfein

FSC®-zertifiziert

