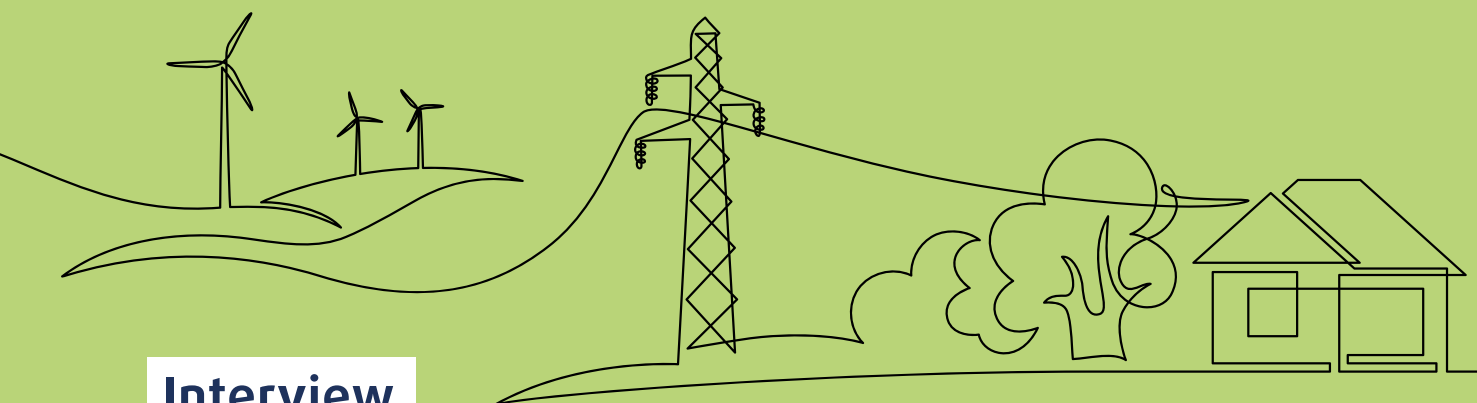


# PERSPEKTIVEN

Die Fachpublikation des House of Energy



## Das neue Energiesystem gestalten – **Ideen für den beschleunigten Wandel**



### Interview

**Timon Gremmels,**  
SPD/ Bringt das EEG  
2023 den notwendigen  
Schwung für die  
Energiewende?

### Technologie

**Smartes Tankgerät für  
Wasserstoff holt die  
Energieproduktion in  
die heimische Garage**



# Vorwort

*Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Freunde des House of Energy,*



*tempus fugit* – die Zeit verfließt. Diese Weisheit aus dem alten Rom ist aktueller denn je. Allerdings ist sie um eine weitere römische Erkenntnis zu ergänzen: *Tempora mutantur, nos et mutamur in illis* – Die Zeiten ändern sich, und wir ändern uns in ihnen. Die Beobachtung der verfließenden Zeit greift zu kurz. Zeit bedeutet Veränderung und diese ist zu gestalten.

Es ist die dominierende Meinung in Wirtschaft, Wissenschaft und Politik, dass eine Erhöhung des Kohlendioxidgehalts in der Atmosphäre zu einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur führt. Als Grenze eines gerade noch akzeptablen Anstiegs werden 1,5 K bzw. 2,0 K genannt. Aktuell ist bereits ein Anstieg von über 1,0 K gegenüber der vorindustriellen Zeit nachweisbar. Gleichzeitig basiert der weltweite Primärenergiebedarf immer noch zu über 80 % auf dem Einsatz fossiler Energieträger. Die Weltbevölkerung ist auf mittlerweile rund acht Mrd. Menschen angestiegen. Wohlstand, Bildung, Ernährung und medizinische Versorgung sind ohne massiven Einsatz von Energie nicht zu gewährleisten. Die ganze Komplexität wird bei Betrachtung der 17 Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen sichtbar. Näherungsweise ist festzuhalten, dass rund 75 % aller Klimagasemissionen mit der Energieversorgung verbunden sind und rund 25 % mit der Ernährung der Menschen.

Daraus folgt, dass das aktuelle Energiesystem so nicht weiter betrieben werden kann. Es ist ein Umbau im Betrieb erforderlich, da die Energie unverändert sicher und zuverlässig verfügbar sein muss. Die Zeit für den Umbau des Systems wird jedoch knapp. Es bedarf mutiger und konsistenter Schritte auf globaler Ebene, um diese Herkulesaufgabe zu stemmen.

Was bedeutet dies für Deutschland? Es gilt zu demonstrieren, dass diese Transformation möglich ist, dabei die Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft erhalten bleibt, Sicherheit und Resilienz der Energieversorgung erhöht werden und auch in einem dicht besiedelten Land die Akzeptanz der Bürger:innen für einen derartigen tiefgreifenden Veränderungsprozess erreicht werden kann. Damit kommt die zweite Weisheit der Römer zum Tragen. Die Veränderung ist nicht nur technisch, sondern auch ordnungspolitisch, genehmigungsrechtlich, finanzwirtschaftlich und nicht zuletzt soziologisch.

Es ist sehr schön zu sehen, dass das House of Energy als transdisziplinäre Denkfabrik zunehmend Impulse und Beiträge liefert. Es ist mir daher eine große Freude, Ihnen den dritten Band der PERSPEKTIVEN des House of Energy vorzulegen. Es ist ein Kaleidoskop der Arbeit unserer über 40 Mitglieder aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, unserer Gremien, der Kolleginnen und Kollegen der

Geschäftsstelle und nicht zuletzt der Mitglieder unserer Netzwerke und Foren. Besonders erfreulich ist die steigende Anzahl von Gastbeiträgen.

**Es geht uns darum, ganzheitlich, übergreifend, konsistent und mit offenen Augen:**

- Herausforderungen zu identifizieren,
- Lösungen anzubieten und
- Transformation zu beschleunigen.

Veränderung im Sinne der zweiten römischen Weisheit greift auch der Zukunftsforscher Matthias Horx auf. Er sagt „Ich habe festgestellt, dass sich die Menschen gar nicht wirklich für die Zukunft interessieren. Sie interessieren sich eher für eine Verlängerung der Vergangenheit ins Morgen. Genau das hat aber die Zukunft nicht im Programm.“ Mit anderen Worten, es gilt neu zu denken, neue Themen zu identifizieren und zu diskutieren. Das künftige Energiesystem wird sicher keine Extrapolation der heutigen Technologien in das Jahr 2045 oder 2050 sein. Neue Technologien, Methoden, Verfahren und Regeln werden zu einer neuen Systemkonsistenz verknüpft, die sich aktuell nur schemenhaft abzeichnet. Exemplarische Themen, mit

denen sich das House of Energy befasst, sind in diesem Kontext:

- Kreislaufwirtschaft mit Blick auf für die Energietechnik wichtige Elemente und Verbindungen
- Wechselwirkungen zwischen Technologie, Genehmigungsrecht und Akzeptanz
- Potenziale neuer Speichertechnologien wie Redox-Flow-Batterien
- Potenziale der Dynamisierung von Hochspannungsnetzen
- Wechselwirkungen zwischen Digitalisierung und Netztechnik
- Multimodale Energiesysteme mit flächigen Infrastrukturen wie Wärme-, Kälte- und Gassystem
- Neue Endenergieträger wie Ammoniak
- Mobile Speicher versus Leitungsstrukturen
- Soziologische, umweltbezogene, rechtliche und finanzwirtschaftliche Aspekte der Energiewende

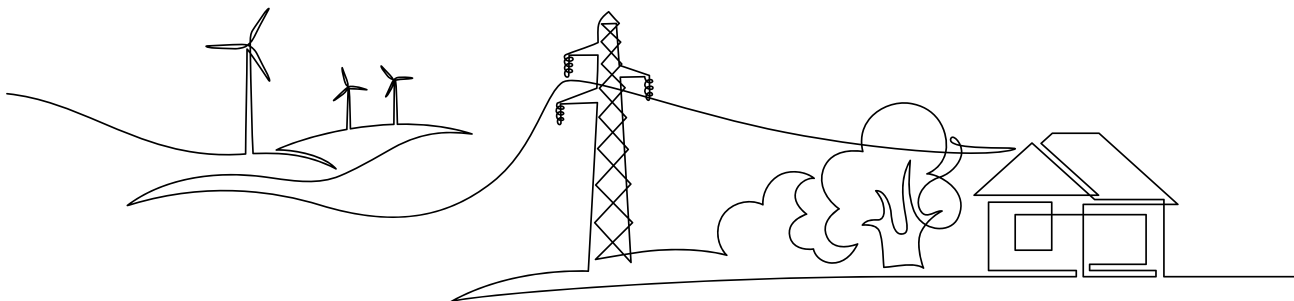
Vieles, aber nicht alles wird in den Beiträgen der vorliegenden PERSPEKTIVEN aufgegriffen und beleuchtet. Dies nicht unbedingt abschließend, in jedem Falle jedoch inspirierend. Ich bedanke mich daher herzlich bei allen Autorinnen und Autoren für Ihre Beiträge. In diesen Dank schließe ich alle mitwirkenden Kolleginnen und Kollegen – v. a. aus dem Marketingbereich – mit ein.

So wünsche ich Ihnen viel Freude und viele neue Gedanken beim Lesen. Das Team der Geschäftsstelle freut sich auf Ihr Feedback und Ihre Anregungen, gerne auch in Form von Vorschlägen für neue Beiträge, die wir in der nächsten Ausgabe der PERSPEKTIVEN aufgreifen können. Es geht um gemeinsames Verstehen, Lernen und Gestalten.

Ich bitte Sie, Ihr House of Energy weiter aktiv zu unterstützen und mitzugestalten. Bleiben Sie uns gewogen.

Mit herzlichen Grüßen

*Ihr Peter Firlus*





## Impressum

### Herausgeber

House of Energy e.V.  
Universitätsplatz 12  
34127 Kassel

Tel.: +49 (0)561 953 79-790  
E-Mail: info@house-of-energy.org  
www.house-of-energy.org

### Registergericht:

Amtsgericht Kassel VR 5251

### Vertretungsberechtigter Vorstand:

Staatssekretär Jens Deutschendorf (Vorsitz)  
Dr. Marie-Luise Wolff  
Prof. Dr. Rolf-Dieter Postlep

### Redaktion

Ivonne Müller  
Prof. Dr. Peter Birkner

### Gestaltung

Caroline Enders

### Lektorat

Korrekturbüro Ruhr  
Manteuffelstr. 16  
47057 Duisburg

### Papier

Vivus 100

### Druck

Wollenhaupt GmbH – Druck | Daten | Service  
Unter dem Felsenkeller 30  
37247 Großalmerode

### Erscheinungstermin

Februar 2023

## Bildnachweise

Titelillustration © GarkushaArt - stock.adobe.com; © LICHTFANG – Sonja Rode, Seite 1; © GarkushaArt - stock.adobe.com, Seite 2; © Fraunhofer IEE, Seite 10; Foto © SHOTPRIME STUDIO – stock.adobe.com, Seite 12; Illustration © Bro Vector – stock.adobe.com, Seite 12; © Heiko Meyer, Seite 13; © Heiko Meyer, Seite 15; © iLaPark, Seite 16; © Milton Arias, Seite 18; © Utirolf – stock.adobe.com, Seite 22; © Michail – stock.adobe.com, Seite 25; © Alexander Ignatov auf Pixabay, Seite 28; © Salome Roessler, Seite 32; Veranstaltungsbilder © Milton Arais, Seite 33; Foto Kopfhörer und Laptop © Boyarkina Marina - stock.adobe.com, Seite 33; © ZETHA\_WORK – stock.adobe.com, Seite 36; © Thorsten Eschstruth, Seite 38; © sandra zuerlein – stock.adobe.com, Seite 41; © wjarek – stock.adobe.com, Seite 42; © 21AERIALS – stock.adobe.com, Seite 44; © Anita Gläßner – stock.adobe.com, Seite 48; Nordamerikakarte © Denys Holovatiuk – stock.adobe.com, Seite 50; Bild Wasserstoffmoleküle © peterschreiber.media – stock.adobe.com, Seite 50; © malp – stock.adobe.com, Seite 53; © jordano - stock.adobe.com, Seite 56; © Simone Schuldis – stock.adobe.com, Seite 59; © toptenz2photo – stock.adobe.com, Seite 60; © REDPIXEL – stock.adobe.com, Seite 63; © Easy Smart Grid GmbH, Seite 69; © PohlCon GmbH, Seite 72; © PohlCon GmbH, Seite 75; © BA bei Prof. Ayoubi, M. Gatarski, M. Schmitt, Seite 75; Titelfoto Umschlag Ausgabe 2021/22: © your123 – stock.adobe.com, Seite 77; Titelfoto Umschlag Ausgabe 2020: © T.W. van Urk – stock.adobe.com, Seite 77; Foto: © Frankfurt UAS, Seite 78; Foto: © Kevin Schmitz, Seite 80; Foto: © Kevin Schmitz, Seite 81; © Caroline Enders, Seite 84; © C Zigmunds – stock.adobe.com, Seite 87; © alpegor – stock.adobe.com, Seite 89; © T. Arend, Seite 90; © D. Bräuer, Seite 93; Fabeltier: © Eosionist | Frank Sebold – stock.adobe.com, Seite 94; Vitaler Wald – © T. Arend, Seite 94; Holz im Polter – © F. Reinbold, Seite 94; Baumfällung – © M. Mahrenholz, Seite 94; Erholung im Wald – © A. Rosenthal, Seite 94; Sport im Wald – © F. Reinbold, Seite 94; Windenergie – © F. Reinbold, Seite 94; Frauenschuh – © D. Bräuer, Seite 94; Biotop Hochmoor – © T. Arend, Seite 94; © F. Reinbold, Seite 95; © Karin Jähne – stock.adobe.com, Seite 96; © dieter76 – stock.adobe.com, Seite 98; © szie - stock.adobe.com, Seite 100; © Wireless Logic mdex GmbH / Christoph Holowaty, Seite 104; © Wireless Logic mdex GmbH / Christoph Holowaty, Seite 105; © Wireless Logic mdex GmbH, Seite 107; © Wireless Logic mdex GmbH, Seite 107; © Wireless Logic mdex GmbH, Seite 107

# Inhalt

## PROJEKTE

6 /

**Wasserstoff in Nordhessen:** Regionale Potenziale unter der Lupe

10 /

**Entwicklung und Bewertung innovativer Energieversorgungssysteme**

12 /

**Erfolgreicher App-Start:** Regionaler Klimaschutz mit klimo

16 /

**Parkhäuser der Zukunft:** iLaPark erreicht vorzeitig wesentlichen Meilenstein

18 /

**Smart Grid LAB Hessen:** Versuche und Möglichkeiten des Labors

22 /

**Energiewende im Quartier:** Ein Werkzeug zur klimagerechten Quartiersplanung

25 /

**Abwärme aus Rechenzentren als Baustein der Wärmewende:** Projekt InnovAbwNRZ nimmt Rechenzentrumslandschaft in Offenbach in den Fokus

28 /

**Arten und Nutzenpotenziale von Laststeuerungsprogrammen**

## NETZWERK

32 /

**Neue Entwicklungen**

34 /

**Neue Mitglieder im House of Energy**

36 /

**Innovative Lösungen zur Speicherung von Energie**

38 /

**Bringt das EEG 2023 den notwendigen Schwung für die Energiewende?**

**Interview mit Timon Gremmels, SPD**



44 /  
**Sicherheit und Resilienz der  
 Energieversorgung im Kontext der  
 Energiewende** – Grundlagen und  
 regionale Handlungsoptionen

50 /  
**Aufbau der Wasserstoffwirtschaft  
 in den USA**

## GASTBEITRÄGE

56 /  
 Ineffizienz und Emissionseinsparungen:  
**Quantitative Ergebnisse auf sektoraler Ebene**

59 /  
 Alle sind gefragt: **Hessische Energiewende  
 jetzt!**

63 /  
**Die Initiative Energieeffizienz- und  
 Klimaschutz-Netzwerke (IEEKN)** – eine  
 Bundesinitiative und ihre Aktivitäten in  
 Hessen

66 /  
**Heute Flexibilität für morgen schaffen –  
 wirtschaftlich und zukunftssicher**

70 /  
**Wasserstoff: Zertifikate werden zum  
 Erfolgsfaktor**

72 /  
**Memory-Stahl-Verbinder  
 für Carbonbeton**



78 /  
**Smartes Tankgerät für  
 Wasserstoff holt die  
 Energieproduktion in die  
 heimische Garage**

84 /  
**Pfade zur hessischen Klimaneutralität –  
 Optionen für das hessische Energiesystem**

90 /  
**Der Wald im Klimawandel:** Nachhaltigkeit  
 und Biodiversität

96 /  
 Die Bedeutung der sogenannten „kleinen  
 erneuerbaren Energien“ **Bioenergie,  
 Wasserkraft und Geothermie im Gesamtbild  
 einer 100 %-Versorgung mit erneuerbaren  
 Energien**

100 /  
**Direkte Leitungsverbindungen im Kontext  
 der Energiewende** – Eine technische und  
 juristische Einschätzung

104 /  
**eSIM: Warum die neue Mobilfunk-  
 Technologie Erfolgsfaktor der Energiewende  
 ist**

# PROJEKTE

## Wasserstoff in Nordhessen: Regionale Potenziale unter der Lupe

Christian Engers (House of Energy e.V.)

Mit dem Projekt „NordH2essen – Wasserstoff verbindet“ soll das in der Region Nordhessen vorhandene Potenziale für eine integrierte Nutzung von Wasserstofftechnologien identifiziert und ausgebaut werden. Die Voraussetzungen dafür sind in Nordhessen gegeben – vom Potenzial einer grünen H<sub>2</sub>-Erzeugung aus erneuerbaren Energien bis hin zu Abnehmern des lokal produzierten Wasserstoffs in den Branchen Logistik, Mobilität, Fahrzeugbau und Energie.

evety

House  
of Energy

infraserv  
höchst

REGIONALMANAGEMENT  
NORDHESSEN  
Gemeinsam.Zukunft.Gestalten





gionen in Deutschland einsetzen. Die in der Region bereits bestehenden Planungen hinsichtlich einer ganzheitlichen H<sub>2</sub>-Wirtschaft werden im Projekt NordH<sub>2</sub>essen untersucht und in ein umsetzbares Konzept überführt.

Im Fokus stehen der Aufbau einer regionalen Erzeugungskapazität von grünem Wasserstoff, die Definition eines regionalen H<sub>2</sub>-Tankstellennetzes, welches strategisch in den Aufbau eines nationalen H<sub>2</sub>-Tankstellennetzes eingefügt werden kann, und der Aufbau regionaler Fahrzeugflotten insbesondere im ÖPNV, in der Logistik bzw. Spedition sowie im Bereich der kommunalen Fahrzeuge. Ferner soll die Anwendung von Wasserstoff bzw. Abwärme aus der H<sub>2</sub>-Erzeugung in der Prozessindustrie, in der Feuerfestindustrie sowie in der Wärmebereitstellung betrachtet werden. Durch die Kopplung der Sektoren können die gesteckten Ziele auf dem Weg zu einer nachhaltigen Mobilität und erneuerbaren Versorgung von Gewerbeparks erreicht werden.

## Vorgehen

Zunächst werden die regionalen Erzeugungskapazitäten von grünem Wasserstoff erfasst. In der Quellen-Analyse werden die Erzeugungspotenziale aus Wind, Sonne und Biomasse für die H<sub>2</sub>-Produktion analysiert. Bei PV-Anlagen bspw. spielen neben den Freiflächen auch vorhandene Dachflächen eine Rolle. Aus diesen Ergebnissen werden geeignete Produktionsstandorte abgeleitet.

In den weiteren Arbeitspaketen werden die Verteilung und die Speicherung von Wasserstoff untersucht sowie dessen Anwendungen über alle Verkehrsträger betrachtet und weitere Anwendungen und Abnehmer in Gewerbe und Industrie identifiziert (Senken-Analyse). Auch der Aufbau eines regionalen Tankstellennetzes wird unter Berücksichtigung der vorhergenannten Aspekte überprüft.

Schließlich werden aus den identifizierten Potenzialen und Standorten regionale Clus-

ter gebildet. Diesen verknüpfen nicht nur Erzeugungs- und Anwendungsstandorte miteinander, sondern verbinden auch den urbanen mit dem ländlichen Raum.

Im Juli 2022 fand das erste von drei geplanten Akteurstreffen zur Clusterbildung im Science Park in Kassel statt. Zwei weitere Treffen finden im Projektverlauf bis Mai 2023 statt.

Das Projekt wird vom Regionalmanagement Nordhessen koordiniert. Das House of Energy, die Infraser<sub>v</sub> Höchst & Co. KG aus Frankfurt und die evety GmbH aus Essen sind für die Bearbeitung und die Entwicklung des Wasserstoffkonzeptes zuständig. ◊



## HyExperts

Die HyExperts Regionen sind „bereit für die Umsetzung“ von Wasserstoff-Konzepten, da sie schon mit dem Thema vertraut sind, Akteure identifiziert haben und Netzwerke aufgebaut wurden. Die Teilnehmer erhalten eine Förderung von bis zu 400.000 Euro, um Beratungs-, Planungs- sowie Dienstleistungen zu beauftragen. Das Ziel ist die Erstellung eines umsetzungsfähigen Gesamtkonzepts für eine regionale Wasserstoffwirtschaft.

### Weitere Infos

<https://www.hy.land/>

## Projekt

### Projektlaufzeit

Mai 2022 – Mai 2023

### Finanzierung

Fördervolumen 400.000 €

### Auftraggeber

Werra-Meißner-Kreis

### Inhaltliche Begleitung

Regionalmanagement Nordhessen GmbH

### Projektförderung

Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert (BMDV).



# Innovationsmanagement Energie

## Berufsbegleitende Weiterbildung



Weitere  
Informationen  
[www.unikims.de/sie](http://www.unikims.de/sie)



### Innovative Energiesysteme – Zukunft gestalten

Das berufsbegleitende Zertifikatsprogramm **Innovationsmanagement Energie** vermittelt Schlüssel- und Fachkompetenzen, um zukunftsfähige und wertsteigernde Produkte, Prozesse und Energiesysteme zu entwickeln und erfolgreich zu implementieren. Teilnehmende schließen nach 3 Monaten mit dem Zertifikat „Qualifizierte:r Innovationsmanager:in für Energiesysteme“ ab. Der Fokus des Programms liegt auf den Bereichen Energiesysteme, Energiemärkte und Digitalisierung sowie Innovations- und Changemanagement.

HESSEN



Hessisches Ministerium  
für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen


House  
of Energy

UNI KIMS  
MANAGEMENT SCHOOL UNIVERSITÄT KASSEL

UNI KASSEL  
VERSITÄT

# Entwicklung und Bewertung innovativer Energieversorgungssysteme

M.Sc. Leon Schellhase (Universität Kassel)



**Innovative Technologien der Gebäudeautomation, komplexe Energiekonzepte sowie dezentrale und vernetzte Energieversorgungssysteme nehmen speziell bei Niedrigenergie-Neubauten eine bedeutende Rolle ein. Je effizienter ein Gebäude baulich ausgeführt ist, desto mehr hängt der Energieverbrauch von einer optimierten Betriebsführung ab.**

U N I K A S S E L  
V E R S I T Ä T

smart!place

Fraunhofer  
IEE

House  
of Energy

## Inhalt und Projektziel

Am Neubau des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE wird aufgezeigt, welche Chancen sich ergeben, wenn innovative Technologien und Systeme in Gebäuden integriert werden. Das Projekt beinhaltet ein umfangreiches Monitoring aller relevanten Anlagenparameter und Zustandsgrößen. Zudem werden Mess-

daten erhoben und ausgewertet, die dem raumklimatischen Komfort und der Nutzerzufriedenheit dienen. Auf Basis der erhobenen Messdaten wird die Performance des innovativen Gebäudes untersucht und unter Berücksichtigung der end- und primärenergetischen Zielvorgaben bewertet. Diese Bewertung bildet die Grundlage für eine Optimierung der Gebäudetechnik, indem die anlagentechnischen Komponenten der Ener-

gieversorgung nachjustiert werden, um ein optimales Zusammenspiel aller Komponenten zu erreichen. Dadurch wird eine energetische Einsparung von rund 10 % erwartet.

## Energiekonzept

Im Neubau des Fraunhofer IEE dient ein Eisspeicher als zentraler Verteiler für die Wärme- und Kälteversorgung. Für die Regene-



ration des Eisspeichers wird Abwärme aus dem Fraunhofer-internen Rechenzentrum sowie Solarwärme aus SolarLuft-Kollektoren verwendet. Des Weiteren können die Büroräume über den Eisspeicher via Betonkern-temperierung im Sommer gekühlt werden. Um die im Eisspeicher befindliche Wärme zu nutzen, wird eine Wärmepumpe verwendet, die den größten Teil des Heizenergiebedarfs decken soll. Als Redundanz sowie zur Deckung der Spitzenlasten ist eine Gasthermen-Kaskade installiert.

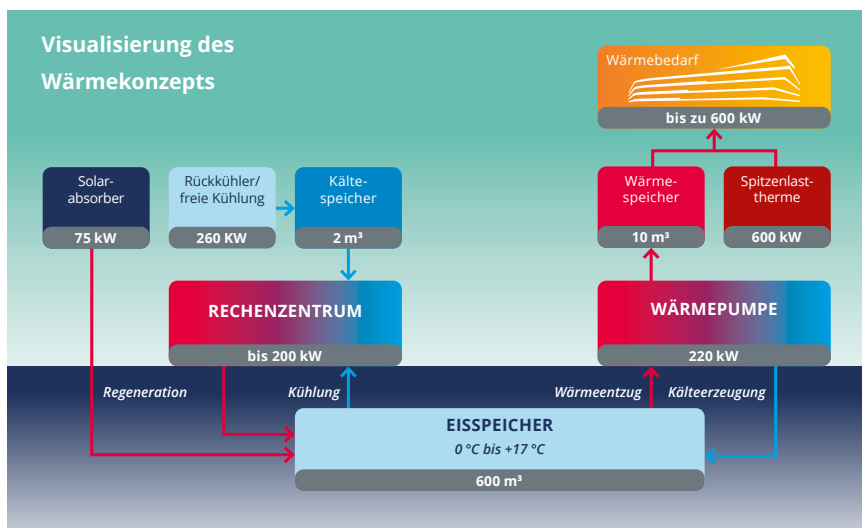
Kommentar Leon Schellhase:

.....  
**Für ein solches Energiekonzept ist eine genaue Kenntnis der verfügbaren Abwärme unverzichtbar. Nur damit kann ein System dieser Art optimal dimensioniert und betrieben werden.**  
 .....

Neben den genannten Komponenten der zentralen Anlagentechnik sind in die Büroräume des Neubaus dezentrale Lüftungsgeräte integriert. Diese stellen in der Heizperiode aufgrund ihres guten Wärmerückgewinnungsgrades eine energieeffiziente Belüftung der Räume sicher und unterstützen durch ihren Anschluss an das Heizsystem die Konditionierung der Räume. Im Sommer werden sie für eine nächtliche Querlüftung verwendet, mit der eine Abkühlung der Räume über die Nacht ermöglicht wird.

## Aktuelle Entwicklungen

Derzeit wird ein Monitoring des Gebäudes durchgeführt und die dafür vorgesehene Messdatenaufnahme finalisiert. Daraufhin werden die primäre Anlagentechnik sowie der Bürokomplex im Hinblick auf die geplante Optimierung des Betriebs messtechnisch untersucht. Gleichzeitig werden statische sowie dynamische Simulationen über einzelne Komponenten des Neubaus durchgeführt und an Messdaten validiert, um die Optimierungspotenziale bestmöglich ausschöpfen zu können. ◇



Wärmekonzept des Neubaus vom Fraunhofer IEE

## Projekt

### Projektlaufzeit

März 2021–März 2023

### Finanzierung

Gesamtvolumen 532.500 €

Fördervolumen 393.500 €

### Konsortialführer

Universität Kassel, Fachgebiet FG Integrierte Energiesysteme

### Projektpartner

Smartplace GmbH

### Projektförderung

Das Projekt wird über das Land Hessen aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.



EUROPÄISCHE UNION  
 Investition in Ihre Zukunft  
 Europäischer Fonds  
 für regionale Entwicklung

HESSEN



Hessisches Ministerium  
 für Wirtschaft, Energie,  
 Verkehr und Wohnen

# Erfolgreicher App-Start: Regionaler Klimaschutz mit klimo

Stefanie Roth und Ivonne Müller (House of Energy e. V.)



**Die regionale App klimo soll in Kassel emissionsarmes Verhalten fördern, Optionen aufzeigen und Klimafreundlichkeit belohnen. Die Entwicklung der App wird im Rahmen des dreijährigen Projekts LESS is more vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert. Seit April 2022 kann die klimo App kostenlos auf [www.klimo.app](http://www.klimo.app) oder auch direkt in den App-Stores heruntergeladen und genutzt werden.**



Anfang April 2022 war es so weit: Die neue klimo App konnte nach etwas mehr als einem Jahr Konzeption und Programmierung vorgestellt werden.

Zunächst konnten regionale Akteure und Multiplikatoren beim Launch-Event am 1. April 2022 in der Neuen Denkerie in Kassel einen Einblick in die App erhalten. Hier wurden der Aufbau, die Funktionsweise sowie Ziele und Motivation vorgestellt.

Prof. Dr.-Ing. Peter Birkner, Geschäftsführer des House of Energy ist überzeugt:

.....

**„Der Start der klimo App könnte zu keinem passenderen Zeitpunkt kommen. Gerade jetzt kommt es durch die angespannte Energiesituation infolge des russischen Überfalls auf die Ukraine darauf an, die eigenen Verbräuche klug zu reduzieren. Dadurch wird die Abhängigkeit von Energieimporten aus fragwürdigen Drittstaaten verringert und gleichzeitig dem Klimawandel begegnet. Klimaschutz und Resilienz passen zusammen. Die App ist ein wertvolles Instrument für das Klima sowie für mehr Sicherheit und Unabhängigkeit im Energiebereich.“**

.....

### **Mit klimo einfach CO<sub>2</sub> sparen und das Klima schützen**

Die App schärft das Bewusstsein für den Klimaschutz und gibt spielerisch Tipps, was besser gemacht werden kann. Entweder man nimmt eine von vielen individuell vorgeschlagenen Challenges an oder schützt das Klima, indem man ein regionales und nachhaltiges Projekt finanziell unterstützt. Dafür hat EcoCrowd – die Crowdfundingplattform der Deutschen Umweltstiftung – eine Seite erstellt. Unter [www.klimo.ecocrowd.de](http://www.klimo.ecocrowd.de) können Projekte eingestellt werden, die die klimo App sichtbar macht und hilft, sie zu finanzieren.



Das Launch-Event war ebenfalls der Startschuss für eine umfangreiche Kommunikationskampagne, um die App bekannt zu machen und die Kasseler Bürger:innen als User der App zu gewinnen. Teil der Kampagne waren u. a. die Präsentation der App auf unterschiedlichen regionalen Veranstaltungen wie Casseler Frühlings-Freyheit oder Kasseler Gartenkultur mit einem Infostand. Eine Plakatkampagne im Kasseler Stadtbild sowie in den Kasseler Straßenbahnen sowie eine digitale Werbekampagne über SocialMedia wurde parallel durchgeführt.

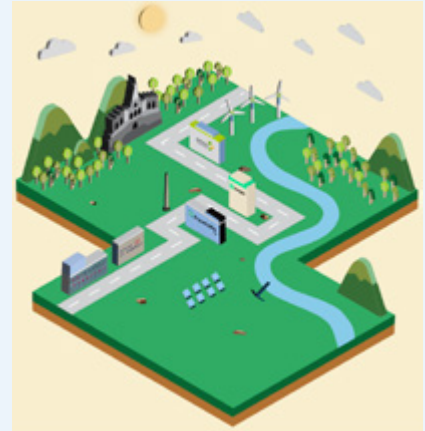
Rund 2500 wiederkehrende Nutzer:innen kann die klimo App bisher aufweisen (Stand: Dez. 2022).

## Belohnungen für erfolgreiche Challenges

Seit dem Launch wird die App fortlaufend weiterentwickelt, verbessert und erweitert. Es wurde beispielsweise ein Belohnungssystem eingeführt, welches die Nutzer:innen der App noch mehr motivieren soll, sich weiteren Challenges zu stellen. Für jede gemeisterte Challenge bekommen die User:innen Punkte gutgeschrieben, die sie gegen virtuelle Elemente für eine Kassel-Karte eintauschen können. Dies ermöglicht, ein wüstenähnliches Kassel in eine grüne und gesunde Landschaft zu verwandeln.

## Regionaler Klimaschutz

Klimo stellt die Stadt und die Region Kassel in den Fokus. Während andere Klima-Apps eher abstrakt aufzeigen, was sich für den Klimaschutz tun lässt, bietet die klimo App vielfältige und konkrete Anknüpfungspunkte an die Entwicklungen in Kassel und der Region, um nachhaltiges Denken und Handeln der Bevölkerung zu fördern.



*Belohnungssystem virtuelle Kassel-Karte: Für jede gemeisterte Challenge bekommen die User:innen Punkte gutgeschrieben, die sie gegen virtuelle Elemente für die Kassel-Karte eintauschen können. Dies ermöglicht, ein wüstenähnliches Kassel in eine grüne und gesunde Landschaft zu verwandeln.*

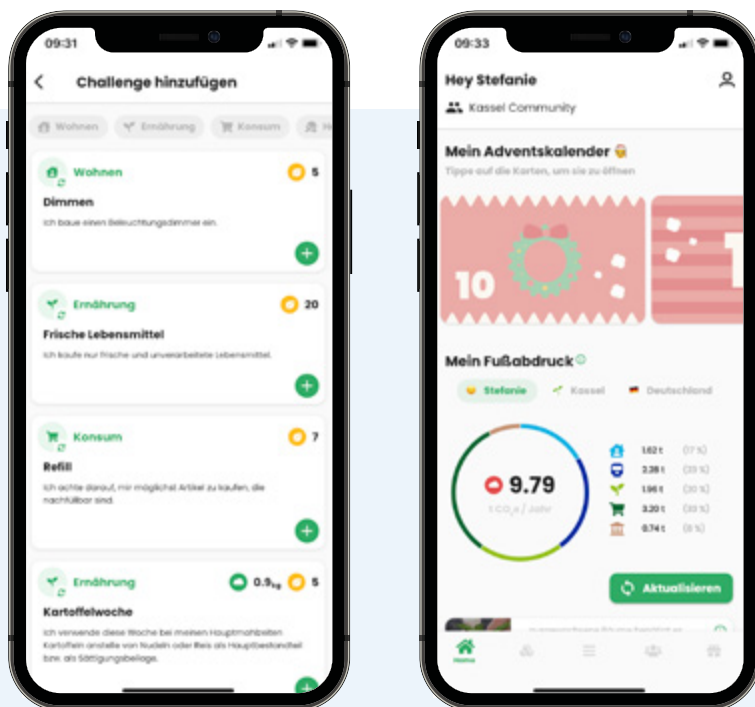
Mit der App wurde ein Instrument für Kassel entwickelt, das die Energiewende nicht auf technologischer oder wirtschaftlicher Ebene voranbringt, sondern das Verhalten der einzelnen Bürger:innen einbezieht. Klimo zeigt, wie Klimaschutz auf regionaler und persönlicher Ebene funktioniert. Im Rahmen des Projektes wird untersucht, welche positiven Effekte mit der App erzielt werden können.

Für den regionalen Charakter der App sind regionale Kooperationen, Aktionen und auch (Crowdfunding-)Projekte eine wichtige Voraussetzung. Hierfür ist das klimo-Team in Kassel und Landkreis Kassel unterwegs und stellt die App unterschiedlichsten Gruppen und Akteuren vor oder veranstaltet Workshops. So nahm klimo beispielsweise an mehreren Schulen im Landkreis an den Projekttagen von „plenergy – Vom Planspiel zur

Energiewende“<sup>1</sup> teil. Das Projekt plenergy bringt Jugendliche, Aktive der Lokalpolitik und örtliche Initiativen zusammen. Am jeweils dritten Projekttag erarbeiten Schüler Projektansätze mit Unterstützung von lokalen Initiativen.

Wenn Kassel mit gutem Beispiel vorangeht, werden die positiven Effekte der klimo App auch andere Kommunen anspornen, ein solches Instrument zu etablieren. Die Projektergebnisse sollen auf weitere Städte übertragen werden. ◇

<sup>1</sup> <https://plenergy.de/>



Einblicke in klimo App. links: Übersicht Challenges, rechts: Startbildschirm mit persönlichem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und Adventskalender mit vielen Fakten, Tipps und weihnachtlichen Belohnungen für die Adventszeit.

## Projekt

### Projektlaufzeit

Jan. 2021–Dez. 2023

### Finanzierung

Gesamtvolumen 1,9 Mio. €

Fördervolumen 1,7 Mio. €

### Konsortialführer

House of Energy e.V.

### Projektpartner

- deENet e.V.
- Fraunhofer IEE
- twigbit technologies GmbH
- Universität Kassel, Fachgebiet Mikroökonomik und empirische Energieökonomik

### Projektförderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### Projektwebsite

[www.klilo.app](http://www.klilo.app)

### Folge klilo auf Instagram

<https://www.instagram.com/klilo.app/>

**klilo schnell erklärt.**  
Erklärvideo:





# Parkhäuser der Zukunft: iLaPark erreicht vorzeitig wesentlichen Meilenstein

Florian Pfütze (valantic Software & Technology Innovations GmbH)



**In Frankfurt revolutionieren künstliche Intelligenz und Datenaustausch die Parkhäuser: E-Fahrzeuge lassen sich optimal aufladen, wobei gleichzeitig die Netzinfrastruktur geschont wird.**

**valantic**

**EDAG**

FRANKFURT  
UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES

**HUBJECT**

**INTILION**  
Part of the HOPPECKE Group

House  
of Energy

Das Projekt iLaPark, welches Anfang 2021 startete, wird auch im nächsten Jahr die Nutzung von Elektromobilität im urbanen Raum voranbringen und mit ca. 1,6 Mio. Euro vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert.

Ziel ist es, mehr Ladestationen in die Parkhäuser zu bringen und diese optimal für die E-Autofahrer und die elektrischen Netze zu nutzen. Unter der Leitung der valantic Software & Technology Innovations GmbH

(ehem. SyroCon AG) erarbeiten die Partner EDAG Engineering Group AG, Hubject GmbH und Intilion GmbH sowie das Research Lab for Urban Transport (ReLUT) der Frankfurt University of Applied Sciences (Frankfurt UAS) und das House of Energy intelligente Park- und Ladekonzepte für Parkhäuser in Frankfurt und setzen diese auch um.

Bereits im Herbst 2022 wurde die von den Partnern Hubject und Intilion gemeinsam entwickelte portable batteriegestützte La-

deinfrastruktur im Parkhaus „Am Gericht“ des assoziierten Partners PBG installiert und erfolgreich in Betrieb genommen – ohne die Notwendigkeit eines Ausbaus der elektrischen Anschlusskapazitäten im Parkhaus. Dieser Schritt war ursprünglich erst für den Verlauf des Jahres 2023 geplant.

Für die von valantic STI entwickelte EMP-Plattform sowie die Apps für Android und iOS wurde die Integration mit der neuen Ladeinfrastruktur ebenfalls vorgezogen, sodass be-

reits im Herbst 2022 der erste Ladevorgang mit der neuen portablen Ladeinfrastruktur über die Roaming Plattform von Hsubject erfolgreich durchgeführt werden konnte. Darüber hinaus wurde eine zusätzliche IoT-Anbindung an das Batteriepack vorgenommen, um diese Daten später auch in KI-Empfehlungen einfließen lassen zu können.

Parallel dazu wurden die Park-Plattform und die Parkhausdigitalisierung von EDAG kontinuierlich weiterentwickelt, sodass die Integration mit der EMP-Plattform nun in vollem Gange ist und bald die Zugangssysteme im Parkhaus (z. B. Schranken) automatisch geöffnet werden und in einem kombinierten Ticket mit dem Laden abgerechnet werden können.

Von der Frankfurt UAS wurde die Parkhaus-Kategorisierung definiert und das Park- und Ladeverhalten auf Grundlage von Auslastungsdaten der jeweiligen Parkhausbetreiber sowie das Parkhausumfeld anhand von räumlichen Gegebenheiten wurden analysiert, sodass hier eine übertragbare Wissensbasis zum Park- und Ladeverhalten entstanden ist.

Dr. Markus Eisel, Geschäftsführer valantic STI und Konsortialführer von iLaPark, freut sich über diesen wichtigen Meilenstein:

.....

**Dieser erst für 2023 geplante Schritt hat es uns deutlich früher ermöglicht, einen Friendly User Test des Systems zu starten und wertvolles Feedback der Benutzer einzusammeln und in das System zu integrieren. Für das finale Projektjahr werden wir uns nun vor allem auf zwei wichtige**

## Ziele fokussieren:

**1. die Optimierung und funktionale Erweiterung des Gesamtsystems durch eine umfassendere Integration der beteiligten Einzelsysteme sowie**

**2. eine Ausweitung der Test-Nutzergruppe, sodass mehr Daten für die künstliche Intelligenz zur Verfügung stehen. Die KI wird dadurch in der Lage sein, noch präzisere Empfehlungen an Benutzer herauszugeben und die Verteilung elektrischer Last in Parkhäusern weiter zu optimieren.**

.....

Hierfür wurde als Vorbereitung bereits eine web-basierte Trainings-App erstellt, über die Benutzer-Präferenzen für die künstliche Intelligenz gesammelt werden können.

Wir möchten interessierten Lesern mit einem Elektroauto und gelegentlicher Präsenz in Frankfurt gerne anbieten, sich auf der iLaPark-Webseite für den Pilottest zu registrieren und das System in 2023 auszuprobieren und uns Feedback zu geben. ◇

## Projekt



### Projektlaufzeit

Jan. 2021–Dez. 2023

### Finanzierung

Gesamtvolumen ca. 3 Mio. €  
Fördervolumen ca. 1,6 Mio. €

### Konsortialführer

valantic Software & Technology  
Innovations GmbH  
(ehemals SyroCon AG)

### Projektpartner

- EDAG Engineering Group AG
- Frankfurt University of Applied Sciences
- Hsubject GmbH
- Intilion GmbH

### Assoziierte Partner

- ABG FRANKFURT HOLDING mbH
- Bundesverband Parken e. V.
- Stadtwerke Aschaffenburg

### Projektförderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)



### Projektwebsite

[www.ilapark.de](http://www.ilapark.de)

# Smart Grid LAB Hessen: **Versuche und Möglichkeiten des Labors**

Sophia Pfeffer (Ingenieurbüro Pfeffer GmbH), Till Neukamp und Simon Plützer (Hochschule Darmstadt)

**Das Smart Grid LAB Hessen wurde in den Fachpublikationen des House of Energy „Perspektiven 2020“ und „Perspektiven 2021/22“ vorgestellt sowie der Aufbau und die Struktur des Labors beschrieben. In dieser Publikation werden die Szenarien und die darüber hinausgehenden Möglichkeiten des Labors dargestellt.**



## Grundlage und Orientierung der Szenarien

Das Labor kann Niederspannungsnetzstränge der Kategorien Land, Dorf, Vorstadt und Stadt abbilden. Eine Analyse ergab, dass die Technologien wie PV-Anlagen, Batteriespeicher, Wärmepumpen und Ladestation für Elektroautos nicht über alle Kategorien gleich verteilt sind. Für das Labor sind die aktuellen und die zukünftig zu erwartenden Durchdringungen analysiert.

Die hessischen Gemeinden können in Statistiken eindeutig nach ihren Gemeindegemeinschaften identifiziert werden. Um das Bundesland aussagekräftig darzustellen, wurden mit Hilfe der Hessischen Gemeindestatistik 2021<sup>[1]</sup> die einzelnen Gemeinden anhand ihrer Einwohner-Arbeitsplatzdichte gewichtet und einem

Verdichtungsraum zugeordnet. Dadurch lassen sich Datensätze aus Hessen in die Labortopologien Land, Dorf, Vorstadt und Stadt klar einteilen.

Den aktuellen Stand beschreibt das Szenario-Jahr 2020. Hierfür werden die Einträge des Marktstammdatenregisters für Hessen hinsichtlich PV-Anlagen mit und ohne Batteriespeicher analysiert<sup>[2]</sup>. Es lassen sich dort auch die aktuellen Trends im Ausbau herausarbeiten. Gebäudebestände und Einwohnerzahlen liefert die Hessische Gemeindestatistik 2021<sup>[1]</sup>. Die Datengrundlage für den Kraftfahrzeug- und Ladesäulenbestand liefert das Bundeskraftfahrzeugamt<sup>[3]</sup>.

Als Grundlage der Zukunfts-Szenarien dient das Osterpaket 2022 der Bundesregierung und die daraus entstandenen Gesetzesent-

würfe<sup>[4]</sup><sup>[5]</sup>. Hier werden konkrete Ausbauziele der Erneuerbaren Energien festgelegt. Die von der Bundesregierung definierten Energiepolitischen Ziele sind gestaffelt und betreffen den gesamten Energiesektor. Die Untersuchungen im Labor fokussieren sich auf die Szenario-Jahre 2020, 2030 und 2045. In den Szenarien werden verschiedene Prosumer-Strukturen im Sektor der privaten Haushalte in Hessen abgebildet. Zusätzlich wird ein viertes Szenario „Vollausbau“ entwickelt. Dieses beschreibt den maximalen Prosumer-Ausbau, bei dem alle Gebäude über eine PV-Anlage, einen Batteriespeicher, eine elektrische Wärmepumpe und eine private Ladestation für Elektroautos verfügen.

Es lassen sich folgende Durchdringungen für die Szenarien festhalten:

### Land

Technologie	2020	2030	2045	Vollausbau
<b>PV</b>	10,00 %	32,00 %	40,00 %	100 %
<b>Batteriespeicher</b>	1,00 %	10,70 %	20,00 %	100 %
<b>Wärmepumpe</b>	5,00 %	10,00 %	40,00 %	100 %
<b>Ladestation</b>	0,90 %	14,00 %	28,00 %	100 %

Tabelle 2: Durchdringungen in den Topologien Land.

### Dorf

Technologie	2020	2030	2045	Vollausbau
<b>PV</b>	8,40 %	28,00 %	50,00 %	100 %
<b>Batteriespeicher</b>	1,00 %	9,30 %	25,00 %	100 %
<b>Wärmepumpe</b>	5,00 %	10,00 %	40,00 %	100 %
<b>Ladestation</b>	1,30 %	24,00 %	55,00 %	100 %

Tabelle 3: Durchdringungen in den Topologien Dorf.

### Vorstadt

Technologie	2020	2030	2045	Vollausbau
<b>PV</b>	6,70 %	24,00 %	45,00 %	100 %
<b>Batteriespeicher</b>	0,90 %	8,00 %	22,50 %	100 %
<b>Wärmepumpe</b>	5,00 %	10,00 %	40,00 %	100 %
<b>Ladestation</b>	1,20 %	26,00 %	60,00 %	100 %

Tabelle 4: Durchdringungen in den Topologien Vorstadt.

### Stadt

Technologie	2020	2030	2045	Vollausbau
<b>PV</b>	3,80 %	21,00 %	33,00 %	100 %
<b>Batteriespeicher</b>	0,60 %	7,00 %	16,50 %	100 %
<b>Wärmepumpe</b>	5,00 %	10,00 %	40,00 %	100 %
<b>Ladestation</b>	0,40 %	12,00 %	30,00 %	100 %

Tabelle 5: Durchdringungen in den Topologien Stadt.

## Beispiel einer Vorstadtopologie in 2045

Aus der Topologie Vorstadt 1 und den Durchdringungen für diese (Tabelle 4) ergibt sich folgendes Beispiel (Abbildung 1).

Das Ziel des Versuches ist es, den aktuellen Stand der Technik in den Szenarien sichtbar zu machen und die Auswirkungen auf das Verteilnetz zu beurteilen. Dies bedeutet, dass es keinen externen Zugriff auf die Prosumerkomponenten gibt und der Batteriespeicher verbrauchsoptimiert arbeitet.

In Abbildung 1 ist neben der Topologie des Stranges auch eine Aufsummierung aller Lastkurven für einen Sommertag über 24 h zu sehen, welche den Energiefluss an der Transformatorstation dieses Stranges abbildet. Deutlich erkennbar sind die Elektrofahrzeuge, welche einen Peak zwischen 16 und 20 Uhr verursachen. Ob es zu einer Überlastung des Stranges kommt, liegt an der Gleichzeitigkeit und Dauer des Ladens der E-Fahrzeuge. Dies lässt sich im Labor sehr variabel einstellen, sodass sich verschiedene Bedingungen/Verhaltensmuster abbilden. Ebenso zu sehen ist der Peak der PV-Anlagen. Am Anfang wird dieser zwar noch durch Batteriespeicher gedämpft, aber wenn diese voll sind, speisen die PV-Anlagen ins Netz.

Auf Grund der Flexibilität können für verschiedene Gegebenheiten unterschiedliche Algorithmen erarbeitet und validiert werden. Sollte es zu einer sehr hohen Gleichzeitigkeit für die Fahrzeuge kommen und es müssen nicht alle Fahrzeuge direkt geladen werden, dann könnte der Algorithmus eingreifen und netzoptimiert laden.

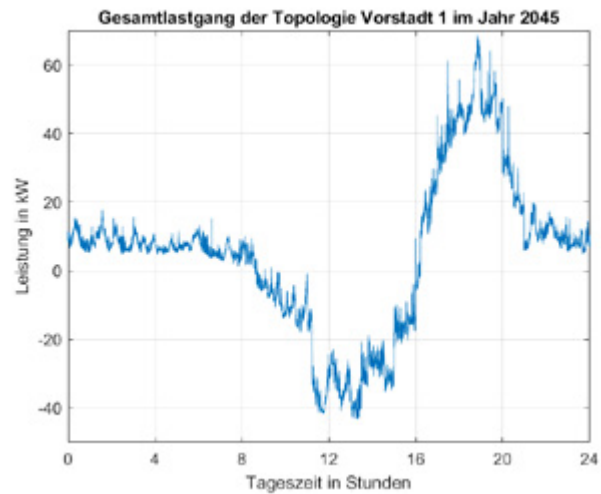
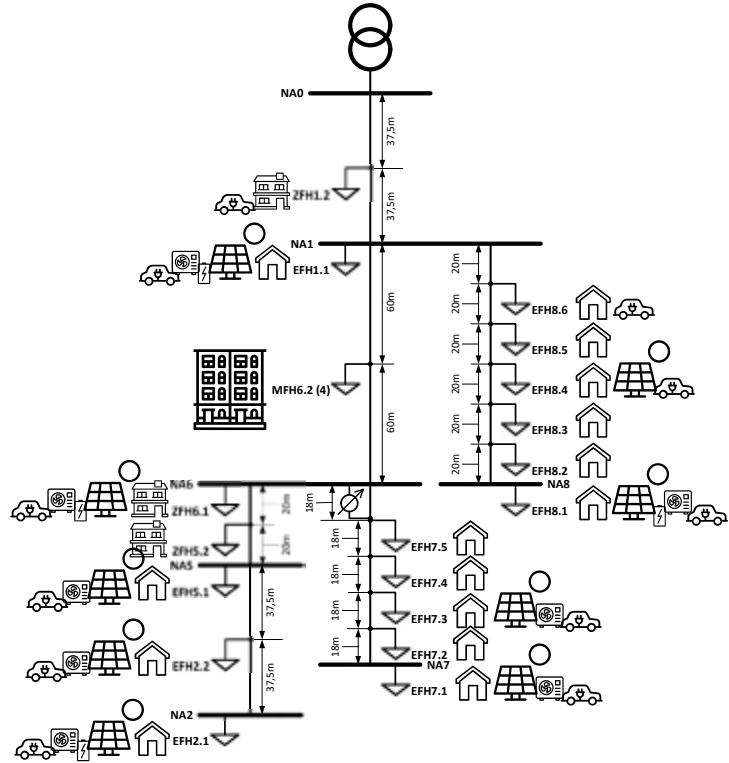


Abbildung 1: Topologie Vorstadt 1 in 2045 und der Lastgang am Transformator dieses Stranges [6-12].

## Was ist im Labor noch möglich?

Auf der Grundlage des Laboraufbaus und der Szenarien lassen sich verschiedene Algorithmen implementieren und diese in unterschiedlichen Ausbaustufen des Verteilnetzes erproben. Die Lastkurven können modular

zusammengestellt werden. Je nach Bedarf können sie angepasst und verändert werden. Das Gleiche gilt für die Anzahl der Anschlüsse zwischen den Netzabschnitten. Algorithmen, welche implementiert werden sollen, können dabei auf alle Prosumerkomponenten (PV, Batteriespeicher, Wärmepumpe und Ladesäule) zugreifen und diese steuern. ◊

## Quellen

- [1] Hessisches Statistisches Landesamt, „Hessische Gemeindestatistik,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.statistik.hessen.de> [Zugriff am 12 August 2022].
- [2] Bundesnetzagentur, „Marktstammdatenregister,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR> [Zugriff am 12 August 2022].
- [3] Kraftfahrt-Bundesamt, „Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken,“ Kraftfahrt-Bundesamt, Flensburg, 2021.
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (bmwk), „Habeck: „Das Osterpaket ist der Beschleuniger für die erneuerbaren Energien “,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (bmwk), 6. April 2022. [Online]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/04/20220406-habeck-das-osterpaket-ist-der-beschleuniger-fur-die-erneuerbaren-energien.html> [Zugriff am 12 August 2022].
- [5] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (bmwk), „Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor,“ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (bmwk), o.J.
- [6] Icon „House“ von Youmena vom thenounproject.com (thenounproject.com/icon/house-1208748) [Zugriff am 12 August 2022].
- [7] Icon „Apartment“ von supalerk laipawat vom thenounproject.com (thenounproject.com/icon/apartment-3380962)
- [8] Icon „two story house“ von ProSymbols vom thenounproject.com (thenounproject.com/icon/two-story-house-1874916)
- [9] Icon „solar energy“ von Vectors Point vom thenounproject.com (thenounproject.com/icon/solar-energy-3240726/)
- [10] Icon „battery charge“ von newstudiodesign10 vom thenounproject.com (thenounproject.com/icon/battery-charge-3026743/)
- [11] Icon „Electric Car“ von Adrien Coquet vom thenounproject.com (thenounproject.com/icon/electric-car-2604161/)
- [12] Icon „heat pump“ von Lomaxy vom thenounproject.com (thenounproject.com/icon/heat-pump-4199318/)

## Projekt



### Projektlaufzeit

Dez. 2020–März 2023

### Finanzierung

Gesamtvolumen 3,31 Mio. €  
Fördervolumen 1,57 Mio. €

### Konsortialführer

Hochschule Darmstadt (Fachgebiet Elektrische Energieversorgung, Erneuerbare Energien und Energieeffizienz)

### Projektpartner

- House of Energy e.V.
- Ingenieurbüro Pfeffer GmbH
- JEAN MÜLLER GmbH
- QGroup GmbH
- Tractebel Engineering GmbH

### Projektförderung

Das Projekt wird über das Land Hessen aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in Ihre Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

HESSEN



Hessisches Ministerium  
für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen

### Projektwebsite

<https://eit.h-da.de/smartgridlabhessen/news>

# Energiewende im Quartier: Ein Werkzeug zur klima- gerechten Quartiersplanung

M. Sc. Energy Science and Engineering André Müller (Institut Wohnen und Umwelt Darmstadt)

**Mit innovativen, vernetzten Versorgungskonzepten für Quartiere lassen sich bei der Einbindung erneuerbarer Energien in die Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden erhebliche energetische sowie ökonomische Synergieeffekte erreichen. Im Forschungsprojekt E<sup>4</sup>Q haben die TU Darmstadt und das Institut Wohnen und Umwelt ein digitales Werkzeug entwickelt, mit dem bereits in einem frühen Planungsstadium verschiedene Wärmeschutz- und Energieversorgungskonzepte für Quartiere energetisch, ökologisch und ökonomisch bewertet werden können.**



Die Forschungspartner setzten das Quartiersbewertungstool auch zur Untersuchung von Demonstrationsvorhaben und für eine breit angelegte Szenarioanalyse ein und leiteten daraus Handlungsempfehlungen für die Modernisierung städtischer Quartiere ab.

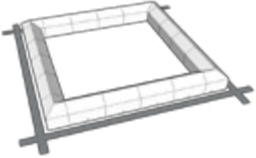


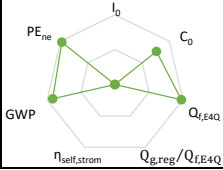




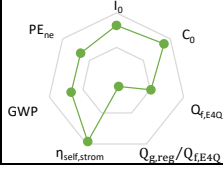







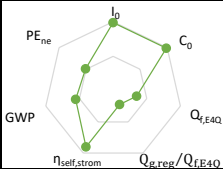

### Typisierung von Quartieren als Grundlage eines Konzeptvergleichs

Quartierskonzepte und ihre Ergebnisse können nur auf andere Quartiere übertragen werden, wenn diese, z. B. im Hinblick auf Bauweisen und Nutzertypen, vergleichbar

sind. Deshalb erarbeitete das Institut Wohnen und Umwelt (IWU) zunächst Definitionen unterschiedlich strukturierter Typquartiere. Für das Quartiersbewertungstool wurden 23 Quartiersvarianten definiert, aus denen diejenige ausgewählt wird, die am besten zum zu untersuchenden Quartier passt. Dann werden diverse Gebäudeparameter sowie das bestehende Wärmekonzept des Quartiers ebenfalls über Auswahlfelder bestimmt. Auf dieser Grundlage kann ohne den Aufwand einer detaillierten Datenerhebung schon zu einem frühen Zeitpunkt der Quartiersplanung ein verlässlicher Variantenvergleich erfolgen.

### Dynamische Simulation von Typgebäuden und Quartiersnetzen

Dazu können bis zu vier Sanierungsvarianten – kombiniert aus unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus mit verschiedenen vernetzten und unvernetzten Energieversorgungskonzepten – festgelegt werden. Das Tool führt für den Status quo sowie für die Varianten eine Lebenszykluskostenrechnung und eine Ökobilanzierung durch, deren Parameter teils individuell angepasst werden können. Grundlage der Berechnung sind die Energiebedarfe von Typgebäuden und -quartieren, die im

Quartierssteckbrief				
<b>TQ6a - Blockrandbebauung (Schrägdach) geringer bis mittlerer Dichte - Größe S</b>				
<b>Anzahl Gebäudekörper</b>				
Blockrand	1			
<b>Anzahl WE</b>				
	160			
<b>Netto-GF</b>				
	14.070 m <sup>2</sup>			
Status Quo				
 	GWP	32	kg CO <sub>2,eq</sub> /(m <sup>2</sup> *a)	
	PE <sub>ne,LCA</sub>	137	kWh/(m <sup>2</sup> *a)	
	I <sub>0</sub>	0	€/m <sup>2</sup>	
	C <sub>0</sub>	495	€/m <sup>2</sup>	
	Q <sub>f,E4Q</sub>	132	kWh/(m <sup>2</sup> *a)	
	Q <sub>g,reg</sub> /Q <sub>f,E4Q</sub>	0	%	
	η <sub>self</sub>	0	%	
Sanierungsvariante 1				
  	GWP	24	kg CO <sub>2,eq</sub> /(m <sup>2</sup> *a)	
	PE <sub>ne,LCA</sub>	93	kWh/(m <sup>2</sup> *a)	
	I <sub>0</sub>	205	€/m <sup>2</sup>	
	C <sub>0</sub>	574	€/m <sup>2</sup>	
  	Q <sub>f,E4Q</sub>	69	kWh/(m <sup>2</sup> *a)	
	Q <sub>g,reg</sub> /Q <sub>f,E4Q</sub>	7	%	
	η <sub>self</sub>	96	%	
Sanierungsvariante 2				
   	GWP	19	kg CO <sub>2,eq</sub> /(m <sup>2</sup> *a)	
	PE <sub>ne,LCA</sub>	71	kWh/(m <sup>2</sup> *a)	
	I <sub>0</sub>	247	€/m <sup>2</sup>	
	C <sub>0</sub>	642	€/m <sup>2</sup>	
	Q <sub>f,E4Q</sub>	47	kWh/(m <sup>2</sup> *a)	
	Q <sub>g,reg</sub> /Q <sub>f,E4Q</sub>	22	%	
	η <sub>self</sub>	90	%	

Präsentation von Ergebnissen durch das Tool (Beispiel einer Zusammenfassung)



Vorhinein dynamisch zeitlich hochaufgelöst simuliert und bilanziert wurden und in einer Profildatenbank im Tool hinterlegt sind. Durch die hohe zeitliche Auflösung wird eine realitätsnahe Auskunft über den Deckungsgrad der erneuerbaren Energien am Gesamtenergiebedarf sowie den Eigennutzungsgrad der erzeugten erneuerbaren Energie erreicht. Die Ergebnisse der Berechnung werden grafisch aufbereitet präsentiert. Zusätzlich können geübtere Anwender auch die einzelnen Berechnungsschritte der verwendeten Methoden detailliert nachvollziehen.

## Bewertung von Quartierskonzepten

Für die energetische, ökologische und ökonomische Bewertung der Quartierskonzepte weist das Tool sieben Indikatoren aus:

- Jahresendenergiebedarf bezogen auf die Nutzfläche ( $Q_{t,E4Q}$ ); damit lässt sich die allgemeine Energieeffizienz der Konzeptvarianten des Quartiers vergleichen. Er enthält auch den Haushaltsstrombedarf der Gebäudenutzer.
- Deckungsgrad des Endenergiebedarfs mit im Quartier erzeugten erneuerbaren Energien ( $Q_{g,reg}/Q_{t,E4Q}$ ).
- Eigennutzungsgrad ( $\eta_{self,el}$ ) des ggf. selbst erzeugten Stroms (zur Beurteilung der Dimensionierung der Anlagen zur Stromerzeugung).

Die beiden ökologischen Indikatoren werden über eine Lebenszyklusanalyse (LCA) berechnet, enthalten also auch die Umweltwirkungen und Ressourcen, die bei der Herstellung oder der Entsorgung von Komponenten anfallen:

→ Jährliches Treibhausgaspotenzial (GWP), also die Treibhausgasemissionen, pro Nutzfläche.

→ Jährlicher nicht-erneuerbarer Primärenergiebedarf ( $PE_{ne,LCA}$ ) pro Nutzfläche.

Die ökonomischen Indikatoren sind Ergebnis einer Lebenszykluskostenanalyse:

→ Investitionskosten ( $I_0$ ) für die Sanierung (notwendiger Kapitalbedarf) pro Nutzfläche.

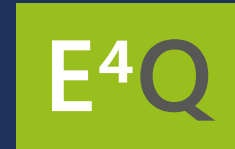
→ Barwert der Lebenszykluskosten ( $C_0$ ) pro Nutzfläche (zum ökonomischen Vergleich der Varianten).

## Ergebnisse

Die mithilfe des Quartierbewertungstools vorgenommenen Szenarioanalysen zeigten, dass viele Quartierskonzepte, die die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Status quo drastisch reduzieren, eine hinreichende Wirtschaftlichkeit aufweisen. Deshalb sollten die Lebenszyklusbetrachtung und die Wirkung der Maßnahmen auf den Klimaschutz zwingend als Entscheidungskriterium bei der Wahl des Sanierungskonzepts herangezogen werden.

Zudem erwies sich, dass meist langfristig bessere Ergebnisse für alle Beteiligten erzielt werden, wenn auf eine Optimierung nur einzelner Handlungsfelder verzichtet und ein integriertes Gesamtkonzept verfolgt wird. Bei einer solch übergreifenden Modernisierungsplanung im Sinne des Klimaschutzes kann das E<sup>4</sup>Q-Bewertungstool die in der Quartierssanierung tätigen Planer und Entscheidungsträger bereits in frühen Planungsphasen unterstützen. ◇

## Projekt



### Projektlaufzeit

Dez. 2018–Aug. 2022

### Konsortialführer

TU Darmstadt, Institut für Massivbau

### Projektpartner

Institut Wohnen und Umwelt GmbH

### Assoziierte Projektpartner

- ABGnova GmbH
- Amt für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Stadt Offenbach
- Bauverein AG
- Entega AG
- E.ON Energy Solutions GmbH
- Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik
- House of Energy e.V.
- Institut für Politikwissenschaften, Technische Universität Darmstadt, Prof. Dr. Kai Schulze
- Intelligent Energy System Services GmbH
- LCEE Life Cycle Engineering Experts GmbH

### Projektförderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)

Förderkennzeichen: 03EGB0014A/B



# Abwärme aus Rechenzentren als Baustein der Wärmewende: Projekt InnovAbwNRZ nimmt Rechenzentrumslandschaft in Offenbach in den Fokus

Alexej Paul und Constantin Völzel (Technische Hochschule Mittelhessen)



## Klimaschonender und nachhaltiger Betrieb von Rechenzentren

Im Land Hessen steigen Anzahl und Energiebedarf neuer Rechenzentren (RZ) seit Jahren steil und gegenüber dem Bundesdurchschnitt überproportional an. Der Strombedarf auf Stadt- und Kreisebene erreicht relevante Größenordnungen in Fragen der Kapazitäten der Energie-Infrastruktur. Die Frage der Effizienzsteigerung und die Frage der Nutzung der anfallenden Abwärme aus den RZ stellt vor diesem Hintergrund heute für betroffene

Kommunen und Rechenzentrumsbetreibern einen entscheidenden Faktor nachhaltiger Energieversorgung dar.

Gemeinsam mit dem Offenbacher Energieversorger EVO, der Lokalen Agenda 21 Offenbach, dem Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland sowie dem Borderstep Institut arbeitet die Technische Hochschule Mittelhessen daran, technische und ökonomische

Grundlagen rund um einen klimaschonenden und nachhaltigen Betrieb von Rechenzentren insbesondere hinsichtlich der Optionen zur Abwärmenutzung zu eruiieren. Neben den übergreifend gültigen technischen Merkmalen wird konkret am Beispiel von Offenbach eine landesweit übertragbare Blaupause für bereits geplante und zukünftig entstehende RZ erarbeitet.

Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Stefan Lechner von der Technischen Hochschule Mittelhessen ist überzeugt:

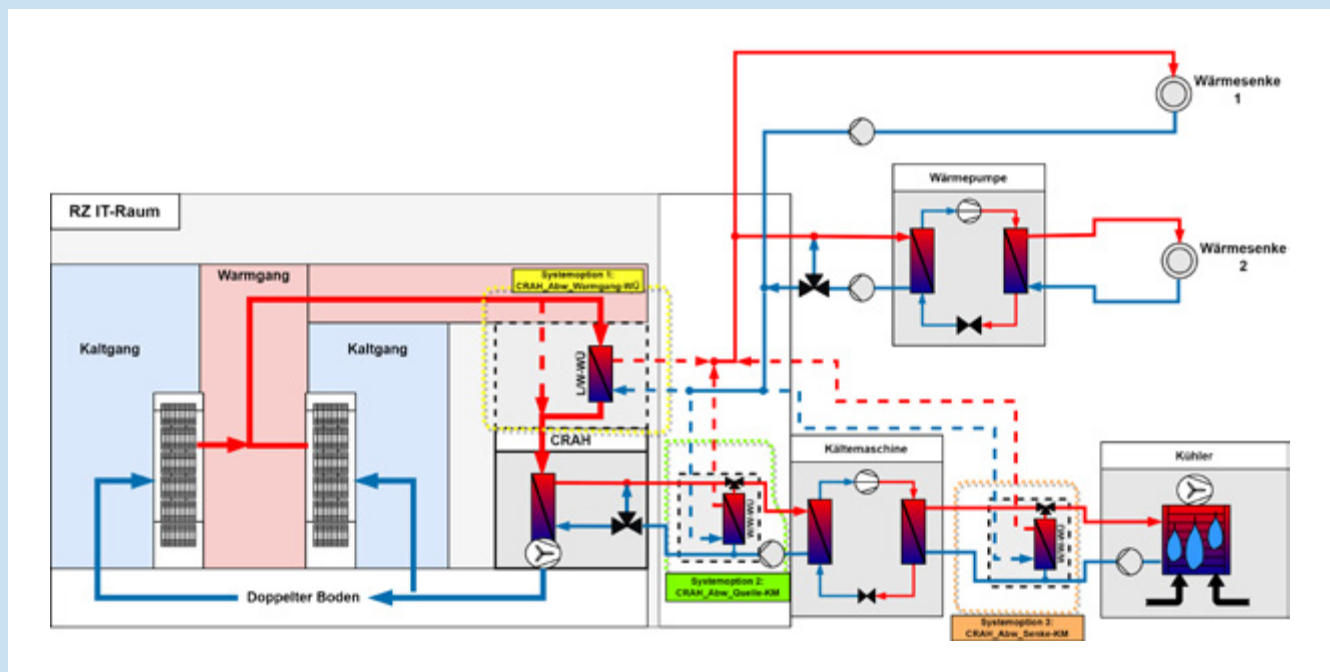
„Die stark wachsende Zahl von Rechenzentren in Hessen stellt die Kommunen zunehmend vor Herausforderungen in der lokalen Energie-Infrastruktur. Wir liefern Antworten, welche Varianten der Abwärmenutzung technisch-ökonomisch möglich sind. Für die Übertragbarkeit auf zukünftige Rechenzentren in Hessen bewerten wir sie und geben Handlungsempfehlungen.“

Ein modular erweiterbares Rechenmodell, welches den Betrieb eines ausgewählten RZ im Untersuchungsgebiet aus energetischer Sicht in einer Jahressimulation abbildet, wird in dem Projekt entwickelt. Als Grundlage für die Simulation liegt eine zu erarbeitende Analyse der jeweiligen Standorte der RZ in Bezug auf die angrenzende Wärmeinfrastruktur, die im Betrieb auskoppelbare Wärmemenge und den Wärmebedarf potenzieller Verbraucher in der Umgebung (Wärmesenken) vor. Im Rechenmodell werden die auskoppelbaren Abwärmemengen in unterschiedlichen Ausbaustufen des Systems zur Abwärmenutzung bilanziert. Hierzu zählen die Implementierung von Wärmepumpen zur Anhebung des Temperaturniveaus, die Berücksichtigung des Eigenbedarfs der

RZ an Wärme und die Einbindung von Wärmespeichern zur zeitlichen Entkopplung von Wärmebereitstellung und -bedarf.

Aus thermodynamischer Sicht beziehen Rechenzentren elektrischen Strom und wandeln ihn vollständig in Wärme. Diese muss man nur noch nutzbar machen, anstatt sie „wegzukühlen“.

Aufbauend auf der Bilanzierung der ausgekoppelten Abwärmemengen und ihrer Nutzung in Wärmesenken werden die CO<sub>2</sub>-Ein-



Darstellung der Optionen zur Auskopplung der Abwärme aus Rechenzentren mit Kalt- und Warmgangausführung.



sparpotenziale unter Berücksichtigung von Substitutionen anderer Energieträger, z. B. durch die Einspeisung in Nah- und Fernwärmenetze, bestimmt. Abschließend wird eine wirtschaftliche Kostenrechnung für die jeweiligen Systeme auf Grundlage der Simulationsergebnisse aus Sicht der RZ-Betreiber erstellt. Die langjährige Expertise des Borderstep Instituts rund um das Thema des energieeffizienten Betriebs von RZ und deren Abwärmenutzung fließt in das Projekt ein und soll als Ergebnis eine Transformationsroadmap für Hessen hervorbringen. ◇

## Projekt

### Projektlaufzeit

März 2022–Feb. 2023

### Finanzierung

Fördervolumen 134.000 €

### Konsortialführer

Technische Hochschule Mittelhessen,  
Fachbereich Maschinenbau und  
Energietechnik

### Assoziierte Partner

- Energieversorgung Offenbach (EVO)
- Lokale Agenda 21 Offenbach
- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) – Landesverband Hessen e.V.

### Projektförderung

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Landes Hessen (HMWEVW) und im Rahmen der Innovationsförderung des House of Energy gefördert.





# Arten und Nutzenpotenziale von Laststeuerungsprogrammen

Marc Fächtenhans und Prof. Dr. Christoph H. Glock (Fachgebiet Produktion und Supply Chain Management, Technische Universität Darmstadt)



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

**Der zunehmende Anteil volatiler erneuerbarer Energiequellen macht es notwendig, den elektrischen Energiebedarf zu flexibilisieren. Laststeuerungsprogramme bieten hierbei kosteneffiziente und zuverlässige Anreize, die von Versorgungsunternehmen zur Lastverschiebung bei den Verbrauchern eingesetzt werden. Dies verbessert die Netzstabilität und beugt Stromausfällen vor, erfordert es aber gleichzeitig, dass industrielle Kunden ihre Produktionsplanung an neuen Kriterien ausrichten.**

Der Energiesektor befindet sich in vielen Industrieländern im Wandel hin zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Mit der EEG-Novelle gibt die Bundesregierung die Zielsetzung vor, dass in Deutschland im Jahr 2030 mind. 80% des verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Energien stammen.<sup>[1]</sup> Betrachtet man in diesem Zusammenhang beispielhaft die Erzeugung von Strom aus Windkraft, so ist dies mit zwei zentralen Schwierigkeiten verbunden. Einerseits besteht die Gefahr eines regionalen Ungleichgewichts zwischen den Standorten der Energieerzeugung, die voraussichtlich häufig in Küstenregionen in Norddeutschland platziert werden, und der Energienachfrage, welche in größeren Teilen in Süd- und Westdeutschland zu finden ist. Hierdurch wird die vorhandene Netzinfrastruktur intensiv belastet. Andererseits unterliegt die Einspeisung von Windenergie natürlichen Schwankungen.<sup>[2]</sup> Um die Netzstabilität auch bei einem zunehmenden Anteil volatiler erneuerbarer Energieerzeugung zu vertretbaren Kosten aufrechtzuerhalten, müssen Verbraucher in der Lage sein, ihren elektrischen Lastbedarf im Zeitverlauf verlagern zu können.<sup>[3]</sup> Um diese Lastverlagerung zu ermöglichen, gibt es verschiedene Arten von Laststeuerung (im Englischen: Demand-Side-Management)<sup>[4]</sup>, die insbesondere im Industriesektor großes Potenzial versprechen, da dieser Sektor im Jahr 2021 ca. 44,5% des Stromverbrauchs in Deutschland verursacht hat.<sup>[5]</sup>

## Was ist Laststeuerung?

Unter Laststeuerung werden Instrumente oder Anreizsysteme verstanden, mit der Versorgungsunternehmen das Verbraucherverhalten ihrer Kunden in Abhängigkeit von der Energieverfügbarkeit beeinflussen können mit dem Ziel, das Energienetz zu stabilisieren und die Energieversorgung sicherzu-

stellen. Steigt die Energienachfrage im Netz, kann das Versorgungsunternehmen mit Hilfe geeigneter Maßnahmen die Lastnachfrage im Netz reduzieren, anstatt die Energieproduktion weiter zu erhöhen. Verbraucher, in der Regel solche mit hohem Energieverbrauch, können sich freiwillig bereit erklären, an einem Laststeuerungsprogramm teilzunehmen. Abhängig vom Laststeuerungsprogramm werden die teilnehmenden Verbraucher entsprechend begünstigt.<sup>[6]</sup>

Eine Anpassung kann hierbei durch kurzfristigen reaktiven externen Zugriff auf einzelne Aggregate durch die Versorgungsunternehmen geschehen. Hierbei können im Fall von Engpässen in der Stromerzeugung durch sogenannte Rundsteueranlagen verbrauchende Anlagen ab- und wieder zugeschaltet werden, die für die täglichen Aktivitäten nicht kritisch sind. Die Stromversorgung anderer Geräte bleibt stabil. Daneben kann der Anreiz zur Verbrauchsanpassung extern durch das Konzept anderer Laststeuerungsprogramme gegeben werden, indem das Nachfrageverhalten wertschöpfungsgetrieben beeinflusst wird. Dabei können Laststeuerungsprogramme in ereignisgesteuerte und preisgesteuerte Programme unterschieden werden. Ereignisgesteuerte Programme bieten Anreizzahlungen für Energieverbraucher in Reaktion auf bestimmte Ereignisse, z. B. extreme Wetterereignisse oder wenn Anlagen zur Stromerzeugung ausfallen.<sup>[7]</sup> Bei ereignisgesteuerten Programmen ist für den Verbraucher nicht völlig transparent, ob ein entsprechendes Ereignis eintritt und ob die Last überhaupt angepasst werden muss.<sup>[8]</sup> Daher ist es für den Verbraucher wichtig, sich im Vorfeld zu vergewissern, ob Flexibilität angeboten werden kann und ob sie über einen bestimmten Zeitraum verfügbar ist. Im Fall von preisgesteuerten Programmen wird der Strompreis vom Energieversorger über den Zeitverlauf

hinweg so angepasst, dass der Energieverbraucher seine Nachfrage entsprechend ändert. Diese Anpassung orientiert sich an den Echtzeit-Stromkosten und wird anhand dynamischer Preistarife abgebildet. In Zeiten hoher Energiepreise reduzieren Verbraucher folglich die Auslastung ihrer Anlagen und damit gleichzeitig die Gesamtenergiekosten.<sup>[4]</sup> Ein Anreiz kann daher auf verschiedene Weisen gesetzt werden, um die Energienachfrage zu beeinflussen, sodass die Nachfrage an das Angebot angepasst wird, um besser auf die Volatilität der Stromerzeugung und somit auf die Energiebereitstellung durch erneuerbare Energien zu reagieren.

## Anwendung und Ausblick

Eine wichtige Komponente der energieeffizienten Produktion ist die Produktionsplanung und hier insbesondere die Reihenfolge, in der Aufträge auf den Maschinen bearbeitet werden. Durch unterschiedliche Maschinenkonfigurationen können intern Kosteneinsparungen durch einen geringeren Energieverbrauch erzielt werden. Werden Laststeuerungsprogramme von Seiten der Energieversorgung eingesetzt, sollten diese bei der Produktionsplanung mitberücksichtigt werden, um eine Verbrauchsflexibilität zu identifizieren, die zum Ausgleich der Stromversorgung in kritischen Zeiten beiträgt, und um die Produktion dennoch wirtschaftlich aufrechtzuerhalten.

Das am Fachgebiet Produktion und Supply Chain Management laufende Forschungsprojekt hat zum Ziel, Wechselwirkungen zwischen Laststeuerungsprogrammen und der Maschinenbelegungsplanung mit variablen Produktionsgeschwindigkeiten zu untersuchen. Konkret wird betrachtet, wie im Rahmen der Maschinenbelegungsplanung durch ein Anpassen der Produktionsgeschwindig-

keit die Wirksamkeit von Laststeuerungsprogrammen erhöht werden kann, wobei sowohl der Energieverbrauch des Systems als auch dessen wirtschaftliche Performance berücksichtigt werden. ◇

## Projekt

### Projektlaufzeit

Mai 2022–Okt. 2022

### Projektleitung

TU Darmstadt – Fachgebiet Produktion und Supply Chain Management

### Finanzierung

Fördervolumen 19.000 €

### Projektförderung

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Landes Hessen (HMWEVW) und im Rahmen der Innovationsförderung des House of Energy gefördert.

House  
of Energy

Innovationsförderung


HESSEN



Hessisches Ministerium  
für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen

## Quellen

- [1] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2022): Osterpaket für Energiewende vom Bundesrat gebilligt. Online verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/novellierung-des-eeq-gesetzes-2023972> (Zugriff am 24.08.2022).
- [2] DENA (2005): Planning of the grid integration of wind energy in Germany onshore and offshore up to the year 2020 (dena grid study), German Energy Agency, February 2005.
- [3] Alizadeh, M. I., Moghaddam, M. P., Amjady, N., Siano, P., & Sheikh-El-Eslami, M. K. (2016). Flexibility in future power systems with high renewable penetration: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1186-1193.
- [4] Hussain, I., Mohsin, S., Basit, A., Khan, Z. A., Qasim, U., & Javaid, N. (2015). A review on demand response: Pricing, optimization, and appliance scheduling. *Procedia Computer Science*, 52, 843-850.
- [5] BDEW (2022): Entwicklung des Stromverbrauchs nach Verbrauchern. Online verfügbar unter: [https://www.bdew.de/media/documents/Nettostrom-verbrauch\\_nach\\_Verbrauchergruppen\\_Entw\\_10j\\_online\\_o\\_dw\\_jaehrlich\\_Ki\\_30052022.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/Nettostrom-verbrauch_nach_Verbrauchergruppen_Entw_10j_online_o_dw_jaehrlich_Ki_30052022.pdf) (Zugriff am 24.08.2022).
- [6] Burns, D., Bialecki, T., Gil, G., Kathan, D., Lee, M. P., Peirovi, S., & Puram, R. (2020). Assessment of Demand Response and Advanced Metering. Federal Energy and Regulatory Commission (FERC), Washington, DC.
- [7] Sun, Z., & Li, L. (2014). Potential capability estimation for real time electricity demand response of sustainable manufacturing systems using Markov Decision Process. *Journal of Cleaner Production*, 65, 184-193.
- [8] Weitzel, T., & Glock, C. H. (2019). Scheduling a storage-augmented discrete production facility under incentive-based demand response. *International Journal of Production Research*, 57 (1), 250-270.

House   
of **Energy**  
Innovationsförderung

## VON HESSEN FÜR HESSEN

Das House of Energy verhilft  
Ihrer Innovation zur Förderung

Ihre **Idee** ist **neu, innovativ** und bringt  
**Energietechnologien** in Hessen voran?

Bewerben Sie sich jetzt mit Ihrer  
**Projektskizze** um **Fördermittel!**

### Weitere Informationen



Vor allem kleinere und kürzere Projekte  
können bei geringem Verwaltungsaufwand  
realisiert werden.

Senden Sie Ihre Projektskizze an  
[Innovationsfoerderung@house-of-energy.org](mailto:Innovationsfoerderung@house-of-energy.org)  
**Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung!**

HESSEN



Hessisches Ministerium  
für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen

# NETZWERK

## Neue Entwicklungen

House  
of Energy   
Forum **Startup+**

Insgesamt sind **rund 140 Startups** und kleine innovative Unternehmen mit Bezug zur Energiewende im House of Energy Netzwerk **Forum Startup+** mit Innovationsteckbrief registriert.

Kompetenzen aller registrierten Startups:  
[www.house-of-energy.org/Startups](http://www.house-of-energy.org/Startups)

**Start up**  
**your**  
**energy**  
**network**

### News

Bleiben Sie informiert und melden Sie sich für unseren [Newsletter](#) an oder folgen Sie uns auf [Twitter](#) und [LinkedIn](#)

[www.house-of-energy.org/newsletteranmeldung](http://www.house-of-energy.org/newsletteranmeldung)



### House of Energy Vorstand

Bei der Mitgliederversammlung wurden turnusmäßig die Vorstandsmitglieder neu gewählt. Wieder gewählt wurden **Prof. Dr. Olaf Berger**, Technische Hochschule Mittelhessen (THM), **Prof. Dr.-Ing. Ingo Jeromin**, Hochschule Darmstadt und **Dr.-Ing. Monika Meyer**, Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU).



**Neu im Amt ist Dr. Joachim Kreysing, InfraserV GmbH & Co. Höchst KG**

**Wir gratulieren und freuen uns auf eine weiterhin gute Zusammenarbeit.**

[www.house-of-energy.org/vorstand](http://www.house-of-energy.org/vorstand)





## Veranstaltungen

Der [Terminkalender auf house-of-energy.org](https://house-of-energy.org) hält 2023 viele interessante Veranstaltungen für Sie bereit. Wir werden neben ausgewählten Präsenz-Veranstaltungen Online- und Hybridformate beibehalten, um unseren CO<sub>2</sub>-Ausstoss möglichst gering zu halten



House   
of Energy

## Das House of Energy

Das House of Energy wurde 2015 als fünftes der hessischen „Houses of“ vom hessischen Wirtschaftsministerium unter Mitwirkung von Wirtschaftsunternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen gegründet. Es wird von drei geschäftsführenden Vorständen geleitet, die operativ durch die Geschäftsstelle unterstützt werden. Diese wird von einem Geschäftsführer geleitet und hat aktuell 18 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen.

Im Januar 2023 umfasst das Mitgliedernetzwerk 46 Unternehmen und Institutionen. Darunter sind zwei hessische Ministerien, acht hessische Wissenschaftseinrichtungen und 36 Wirtschaftsunternehmen. Letztere decken einen Großteil der energiewenderelevanten Themen ab. Dazu gehören beispielsweise Technologie, Mobilität, Wärme und Kälte, IT und Digitalisierung, Datensicherheit, Engineering, Finanzierung, Zertifizierung, Rechtsfragen und Energieversorgung. Die Größe reicht von kleineren und mittleren Unternehmen bis hin zu globalen Spielern.

Die Arbeit der Geschäftsstelle des House of Energy finanziert sich zu je 50% aus Mitgliedsbeiträgen und aus einer Förderung durch das Land Hessen. Sie hat ihren Sitz im Gründerzentrum Science Park in Kassel.

# Neue Mitglieder im House of Energy

Dem House of Energy sind im letzten Jahr neun neue Mitglieder beigetreten, die seitdem das Netzwerk bereichern. Die Unternehmen ergänzen das Kompetenzprofil der Mitglieder in unterschiedlichen Bereichen:



Die **AS Enterprise Engineering GmbH** entwickelt und realisiert Niedertemperaturwärmenetze mit Abwärme von Rechenzentren. Hierfür wurde ein innovatives Konzept entwickelt, mit dem Gebäude im (Alt)Bestand auf eine vollständig CO<sub>2</sub>-freie Beheizung umgerüstet werden können. Durch die Einbindung von Sektorkopplung, Lastmanagement und Lastverschiebung erfolgt die Optimierung des Netzbetriebes. Darüber hinaus werden Konzepte zur Speicherung der Abwärme entwickelt, die eine höhere Jahreswärmenutzung ermöglichen. [www.asenterprise.de](http://www.asenterprise.de)



Die **Danfoss A/S** ist einer der Weltmarktführer auf den Feldern der Wärme-, Kälte- und Antriebstechnik. Das Unternehmen mit Hauptsitz in Dänemark steht unter anderem für eine Vielzahl maßgeblicher Lösungen auf dem Feld der Wärmetechnik – von digitalen Komponenten und Steuerungssystemen für smartes Heizen in Wohn- und Zweckgebäuden bis hin zu Fernwärme- und Warmwasseranlagen für komplette Wohngebiete.

[www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)



Die **DE NORA Deutschland GmbH** ist Weltmarktführer in Herstellung und Vertrieb von Elektroden/Anoden aus Titan und Nickel mit Mischoxid- oder Platinbeschichtungen, Elektrolysesystemen, und Beschichtungen zum Einsatz in elektrochemischen Prozessen und bietet dauerhaft führende Technologien mit einem qualitativ-hochwertigem Portfolio. Projekte zu erneuerbaren Energien bieten weiteres Wachstum im nachhaltigen, innovativen und dynamischen Umfeld. [www.denora.com](http://www.denora.com)



Die **Flughafen GmbH Kassel** betreibt den Regionalflughafen Kassel Airport. Der Betrieb der Infrastruktur und Dienstleistungen für die Luftfahrt gehört genauso zu ihren Aufgaben wie die Entwicklung der Gewerbeflächen am Standort Kassel Calden. In den kommenden Jahren wird das Ziel verfolgt, den Flughafen auf einen CO<sub>2</sub>-neutralen Betrieb umzustellen und die ansässigen Gewerbe mit nachhaltiger Energie zu versorgen.

[www.kassel-airport.de](http://www.kassel-airport.de)





Die **HÜBNER-Gruppe** ist globaler Systemanbieter für die Mobilitätsbranche, die Industrie sowie Life Sciences und Wissenschaft. Weltweit führend ist HÜBNER im Bereich Übergangssysteme für Schienenfahrzeuge und Busse sowie darüber hinaus Anbieter für Fahrwerktechnik, Cockpit-Display-Lösungen und Türdichtungs- und Sicherheitsprofile. International anerkannt ist das Unternehmen zudem als Spezialist für anspruchsvolle Lösungen durch Elastomere, Isolations- und Verbundwerkstoffe. Erfolgreich entwickelt sich der Bereich der Laser-Technologie zum Beispiel mit Anwendungen für die Krebsdiagnostik und Spektroskopie.

[www.hubner-group.com](http://www.hubner-group.com)



Der **PSI-Konzern** entwickelt Softwareprodukte zur Optimierung des Energie- und Materialflusses bei Versorgern (Energienetze, Energiehandel, Öffentlicher Personenverkehr) und Industrie. Gegründet 1969, beschäftigt PSI heute über 2.200 Mitarbeiter an 30 Standorten in 17 Ländern. Nahezu 90 Prozent der Netzbetreiber in Deutschland setzen auf PSI-Lösungen. Aktuell legt PSI den F&E-Fokus verstärkt auf Nachhaltigkeit, Versorgungssicherheit und das intelligente Management erneuerbarer Energien.

[www.psienergy.de](http://www.psienergy.de) | [www.psi.de](http://www.psi.de)



**Smart Wires** ist der weltweit führende Anbieter von Technologien und Dienstleistungen zur Netzoptimierung. Das Leistungsangebot umfasst das Hauptprodukt SmartValve™ – eine innovative digitale FACTS-Leistungsflusssteuerungstechnologie –, die hochmoderne Software SUMO™ sowie eine Reihe von Beratungs- und Consulting-Dienstleistungen, bei denen Stromsystemexperten state-of-the-art Software und Modelle einsetzen. Sie entwickeln Lösungen für Erzeugungs- und Lastanschlüsse, den Betrieb und die Planung von Stromsystemen sowie die Integration von Technologien. [www.smartwires.com](http://www.smartwires.com)



Die **m3 management consulting GmbH** ist der führende Transformationspartner für Unternehmen mit netzbasierten Geschäftsmodellen im Energie- sowie Telekommunikationssektor. Sei es bei der strategischen Ausrichtung, der Konzeption neuer Geschäftsmodelle oder organisationalen und technologischen Herausforderungen – es werden individuelle und nachhaltige End2End-Lösungen geschaffen. m3 unterstützt Unternehmen bei der Entwicklung und der Gestaltung branchenübergreifender Ökosysteme.

[www.m3maco.com](http://www.m3maco.com)



Die **Rittal GmbH & Co KG** ist weltweit ein führender Systemanbieter für Schaltschränke, Stromverteilung, Klimatisierung, IT-Infrastruktur sowie Software & Service. Systemlösungen von Rittal sind in über 90 Prozent aller Branchen weltweit zu finden, etwa im Maschinen- und Anlagenbau, der Nahrungs- und Genussmittelindustrie sowie in der IT- und Telekommunikationsbranche. [www.rittal.com](http://www.rittal.com)

Insgesamt über 40 Mitglieder aus Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung engagieren sich für ein nachhaltiges Energiesystem und decken mit ihrer Kompetenz alle relevanten Themenfelder der Energiewende ab.

[www.house-of-energy.org/mitglieder](http://www.house-of-energy.org/mitglieder)



House   
of Energy  
Forum Startup+



# Innovative Lösungen zur Speicherung von Energie

**Mehr als 140 kleine innovative Unternehmen mit Energiebezug wirken im Innovationsnetzwerk des House of Energy mit. Getreu dem Motto „Impulse für Hessen & Impulse aus Hessen“ bringen sie Kompetenzen aus vielfältigen Bereichen wie Gebäude/Industrie, Versorgungsnetze, Plattformlösungen, Energieerzeugung und Finanzierung ein und unterstützen mit ihren innovativen Lösungen die Transformation des Energiesystems. Da mit dem weiteren Ausbau der wetterabhängigen Erneuerbaren zunehmende Flexibilität benötigt wird, sind Speicher für das Gelingen der Energiewende ein unverzichtbares Instrument. Nachfolgend werden junge Unternehmen aus dem Forum Startup+ vorgestellt, die sich mit Speicherlösungen beschäftigen.**



Kraftblock entwickelt und baut Systeme zur Dekarbonisierung von Wärme für Industrien, Quartiere und Stromerzeugung. Im Kern dieser Systeme steht ein kosteneffizienter Hochtemperatur-Wärmespeicher, der Temperaturen bis 1300 °C speichert. Die Systeme nutzen Abwärme oder erneuerbaren Strom und sind flexibel. Die Speicher sind von vier Megawattstunden bis in den Bereich der Gigawattstunden einfach zu skalieren und damit ein Schlüsselement für die Energiewende in Industrien. Kraftblocks Lösungen sind für jede produzierende Industrie, Müllverbrennungsanlagen, Energiedienstleister und energieintensive Gebäude wie Hochhäuser, Schwimmbäder, Saunen, Bürogebäude oder

Hallen geeignet. Das Speichermaterial besteht aus recycelten und harmlosen Stoffen. Die große Energiedichte von bis zu 1,2 m<sup>3</sup> macht den Speicher im Hinblick auf die Größe zum effizientesten Wärmespeicher und er kann damit auch effektiv mobil genutzt werden. Das Material hält mindestens 15.000 Zyklen oder über 40 Jahre bei einem Zyklus pro Tag.

[www.kraftblock.com](http://www.kraftblock.com)



Das Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende kommt. Für Versorgungsunternehmen bedeutet das: Rasches Handeln ist gefragt, um nicht verpflichtet zu werden und dem Markt hinterherzulaufen. Netzflex bietet Versorgern eine Lösung, die die Last der Haushaltsstromkunden regelbar macht.

Das Unternehmen kennt den Strommarkt, kann KIT, arbeitet mit Leistungselektronik und weiß mit KI umzugehen. Netzflex hat einen bidirektional steuerbaren Speicher für das Niederspannungsnetz entwickelt, der die Last der Kunden für die Versorger nutzbar macht.

Die innovative Technik ermöglicht es den Kunden, sich einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen und mit der Digitalisierung Geld zu verdienen. Netzflex ist sehr interessiert daran, gemeinsam mit potenziellen Kunden Pilotprojekte zur Erprobung zu starten und so dazu beizutragen, sie zu aktiven und profitablen Versorgungsunternehmen zu machen.

[www.NetzFlex.org](http://www.NetzFlex.org)



Drastisch steigende und immer schlechter planbare Energiepreise stellen Unternehmen vor enorme Herausforderungen. phelas hilft Unternehmen, diese Probleme zu lösen, und bietet zukünftig einen erneuerbaren Stromliefervertrag (PPA) mit einem langfristigen und zuverlässigen Strompreis an, welcher die Erzeugung an den Verbrauch des Kunden angleicht und somit das Strommarktrisiko für Unternehmen reduziert.

Ermöglicht wird dieser Stromliefervertrag durch das hausintern entwickelte Stromspeichersystem, das auf einem neuen Ansatz zur Luftverflüssigung basiert. phelas verwendet Luft und Kies als Hauptspeichermedien – beide Materialien sind universell verfügbar und im

Gegensatz zu Lithium-Ionen weniger gefährlich und ressourcenstrategisch abhängig.

Die Technologie bietet einen entscheidenden Kostenvorteil für große Energiemengen und weist gleichzeitig eine hohe Zyklfestigkeit und Umweltverträglichkeit auf. phelas-Energiespeicher eignen sich daher perfekt, um die unkontrollierbare Volatilität der erneuerbaren Energien auszugleichen und somit den Energieverbrauch vollständig und kostengünstig zu dekarbonisieren.

[www.phelas.com](http://www.phelas.com)



Durch die Energiewende gibt es immer stärkere Schwankungen bei der Stromerzeugung. Was also tun, wenn kein Wind weht und die Sonne nicht scheint? Dann braucht es flexible Stromerzeuger, die einspringen.

Als Spezialist für die Optimierung von Energiesystemen sieht VK Energie im Wärmespeicher den Schlüssel zur Flexibilisierung von Erzeugungsanlagen. Durch eine eigenentwickelte Softwarelösung mit patentiertem Verfahren des „Aktiven Wärmespeichermanagements“ können Kunden ihren Strom flexibel zur Verfügung stellen, genau

dann, wenn er am Markt gebraucht wird. Bei den aktuellen sehr hohen Strompreisen ist das wichtiger denn je.

VK Energie ist seit 2017 am Markt und optimiert bereits über 100 Anlagen aus Energieversorgung und Industrie. Durch die Optimierung werden zusätzliche Erlöse für die Anlagenbetreiber erzielt und gleichzeitig CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart. Kurzum: VK Energie gestaltet die Energiewende aktiv mit!

[www.vk-energie.de](http://www.vk-energie.de)

# Bringt das EEG 2023 den notwendigen Schwung für die Energiewende?

Dirk Filzek (House of Energy e.V.)



**Interview mit Timon Gremmels, Bundestagsabgeordneter und Mitglied im Ausschuss für Klimaschutz und Energie. Er ist Mitglied im Vorstand der SPD-Bundestagsfraktion und Vorsitzender der Landesgruppe der hessischen SPD-Bundestagsabgeordneten.**

**In den vergangenen Monaten wurde immer deutlicher, dass Klimaschutz, Energiesicherheit und Energiegerechtigkeit zusammen gedacht werden müssen. Dazu müssen die erneuerbaren Energien rasch und massiv ausgebaut und für alle Sektoren bezahlbar verfügbar gemacht werden. Die Bundesregierung hat diese Herausforderungen erkannt und möchte mit dem EEG 2023 den Ausbau der Erneuerbaren neu ausrichten. Wir sprachen mit dem Bundestagsabgeordneten Timon Gremmels, SPD, darüber, welchen Beitrag zur Energiewende die EEG-Novelle leisten kann und was darüber hinaus zu tun ist.**

Herr Gremmels, die Klima- und Umweltkrise stellt eine Überlebensfrage für die zivilisierte Menschheit dar. Wir müssen es schaffen, die Pariser Klimaziele einzuhalten, um unkontrollierbare Klimafolgen abzuwenden. Das Bundesverfassungsgericht betonte, dass wir ein CO<sub>2</sub>-Restbudget bis zur Temperaturschwelle von 1,5° einhalten können müssen. Reichen die Ziele im EEG 2023 dafür aus?

Das EEG ist seit seiner Einführung unter der Rot-Grünen-Regierung vor über 20 Jahren die Grundlage für die deutsche Energiewende. Die im Januar 2023 in Kraft tretende Novellierung ist die größte Reform seit Bestehen des EEG. Dort haben wir festgeschrieben, dass bis 2030 80% des Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt werden. 2035 werden es schon 100% sein. Ganz konkret bedeutet das, bis 2030 sollen 600 TWh Strom aus Erneuerbaren erzeugt werden. Das entspricht 115 GW Leistung aus Windenergieanlagen an Land und 215 GW Photovoltaik. Damit sind wir ganz klar auf Kurs, die Klimaziele im Energiesektor zu erreichen. Wir steigen sukzessive aus der Kohle aus. Erdgas bildet die fossile Brücke ins erneuerbare Zeitalter. Bei allen Investitionen in die Gasinfrastruktur wird mit-

gedacht, dass der Umstieg auf grüne Wasserstoffderivate möglich ist.

Welche Regelungen im EEG 2023 tragen aus Ihrer Sicht ganz besonders dazu bei, die Energiewende voranzubringen?

Wir haben endlich die Denkweise in den verschiedensten „Energiedeckeln“ überwunden, wie sie unter Wirtschaftsminister Altmaier populär waren. Die Ausbauziele sind ausdrücklich als Mindestziele formuliert. Dazu kommt das überragende öffentliche Interesse, das wir den Erneuerbaren im Gesetztext eingeräumt haben. Das beschleunigt Planungs- und Genehmigungsverfahren. Die Energiewende wurde von den Initiator:innen des EEG stets als Mitmachprojekt gesehen. Für die SPD ist wichtig, dass die Energiewende dezentral und erneuerbar ist. Wenn wir die Bürgerinnen und Bürger mitnehmen, entsteht Akzeptanz und es ergeben sich wirtschaftliche Impulse. Insbesondere haben wir Erleichterungen bei der Bürgerenergie umgesetzt. Konkret haben wir den Radius für die Beteiligung an Bürgerenergieprojekten auf 50 Kilometer ausgeweitet. Das erlaubt auch Stadtbewohner:innen, sich an Projekten in ländlichen Regionen zu beteiligen.

Die De-minimis-Schwellenwerte der EU-Kommission nutzen wir national voll aus. Genossenschaftliche PV-Projekte dürfen bis 6 und Windenergieprojekte bis 18 MW ohne Ausschreibung umgesetzt werden.

Welche neuen Chancen und Geschäftsoptionen bieten sich mit dem EEG 2023 für Akteure der dezentralen Energiewende?

Die Bürgerenergie bringt neue Geschäftsmodelle mit sich. Ob am Haupt- oder Zweitwohnsitz, Bürgerinnen und Bürger können sich unkompliziert zusammenschließen. Darüber hinaus bieten sich bei einer konsequent dezentral ausgerichteten Energieversorgung neue Einnahmequellen für Kommunen. Gemeinden, die auf Ihrem Gebiet den Zubau von erneuerbarer Energie zulassen, sollen dafür mit bis zu 0,2 Cent/kWh vom Anlagenbetreiber kompensiert werden. Weiterhin bietet die Agri-PV neue Geschäftsmodelle für Landwirte. Eine Doppelnutzung von landwirtschaftlichen Flächen zur Energiegewinnung ist nun rechtlich möglich. Das führt zu starken Synergieeffekten auf Flächen, die sonst häufig brach liegen. Doch nicht nur für Landwirte, auch für andere Gewerbetreibende oder Pri-



vatpersonen ergeben sich Möglichkeiten. Wir haben die Einspeisevergütung noch mal angehoben. Eine 10 kWp-PV-Anlage bekommt für die Teileinspeisung 8,6 Cent/kWh, für die Volleinspeisung 13,4 Cent/kWh. Die Schwelle für eine verpflichtende gewerbsteuerliche Behandlung einer PV-Anlage haben wir mit dem Jahressteuergesetz 2022 rückwirkend zum 01.01.2022 auf 30 kW angehoben.

### Welche Entscheidungen zum EEG 2023 wurden im weiteren Verhandlungsprozess im Herbst 2022 getroffen?

Besonders hervorzuheben ist, dass die Spitzenkappung bei PV-Anlagen – also das Abregeln bei 70 % der möglichen Leistungen – auch für Bestandsanlagen bis 7 kW abgeschafft wurde. Auch steckerfertige Balkon-PV-Anlagen können nun sanktionsfrei angeschlossen werden. Ab 01.01.2023 gilt das Gleiche sogar für Neuanlagen bis 25 kW. Darüber hinaus haben wir das faktische Re-Powering-Verbot für PV abgeschafft. Bei Freiflächenanlagen können künftig Module in der laufenden Förderzeit durch neue ersetzt werden. Dafür muss nicht mehr zwangsläufig ein Defekt oder eine Beschädigung vorliegen. Je nach Modulart verliert eine PV-Anlage über die Dauer von 20 Jahren zwischen 10 und 25 % der Leistung. Zusätzlich sind heutige PV-Module viel leistungsfähiger, als sie es noch vor 20 Jahren waren. Die gebrauchten Module können bspw. als Balkon-PV-Anlagen wiederverwendet werden.

### Sie setzen sich entschieden für Sozialverträglichkeit bei der Umsetzung der Energiewende ein. Wie wird dies am besten erreicht?

Die Sozialverträglichkeit erreichen wir, indem

wir die Energiewende weiterhin konsequent als Mitmachprojekt gestalten. Dazu gehört auch, Haushalte mit niedrigen Einkommen bei den Kosten für klimafreundliche Technologien und Sanierungen zu unterstützen. Ein wichtiger Schritt war das CO<sub>2</sub>-Kosten-Aufteilungsgesetz. Mieterinnen und Mieter in schlecht gedämmten Wohnungen oder Häusern werden vor hohen Sanierungskosten geschützt. Für das Jahr 2023 steht noch eine große Novelle des Gebäudeenergiegesetzes an. Wie innerhalb der Koalition vereinbart, sollen ab 01.01.2024 möglichst alle neugebauten Heizungen mit 65 % erneuerbarer Energie betrieben werden. Allerdings ist die Wärmepumpe im Einbau knapp doppelt so teuer wie eine reguläre Gasheizung. Neben der Wärmepumpe müssen wir weitere Alternativen zulassen, zu nennen wären u. a. Wärmequartiere und hybride Heizsysteme. Besonders bei Heizungshavarien wird das nötig sein. Neben den bereits geschilderten Möglichkeiten der Partizipation sind für mich vor allem lokale Energiegemeinschaften und Mieterstromprojekte wichtig.

### Was muss passieren, damit Otto-Normal-Vermieter seinen Mietern tatsächlich Mieterstrom anbietet?

Beim Mieterstrom gilt es das komplexe Zusammenspiel aus Erzeugungsanlage, Messstellenbetreiber, Mieterstrom-Anlagenbetreiber, Hauseigentümer, Verteilnetzbetreiber, Reststromlieferant und dem Mieter zu synchronisieren. Vermieterinnen und Vermieter haben – neben ideellen Gründen – dann ein Interesse am Mieterstrom, wenn dieser unbürokratisch und bestenfalls noch mit einem monetären Gewinn umgesetzt werden kann. Dazu muss das Messstellenbetriebsgesetz novelliert werden. Es sollte gesetzlich gefördert werden, digitale und intelligente Messgeräte

zu verwenden. Nicht jede Mieterstromanlage braucht einen eigenen analogen Zähler. Der Smart-Meter-Gateway-Rollout muss endlich an Fahrt gewinnen. Zudem sollte auch der Mieterstromzuschlag erhöht werden. Mir persönlich ist wichtig, dass auch Mieterstromanlagen den Eigenverbrauch anreizen. Eine einseitige Fokussierung auf Volleinspeiseanlagen ist nicht zielführend.

### Inwiefern werden Quartiersprojekte zur Kopplung der Sektoren (Wärme, Mobilität, Wasserstoff) mit dem EEG 2023 unterstützt und vereinfacht? Und welche weiterführenden Initiativen gibt es diesbezüglich?

Im EEG 2023 sind Fragen zu Quartierskonzepten und der Sektorkopplung noch nicht ausreichend geklärt. Wir haben aber im Entschließungsantrag zum Gesetz festgehalten, dass wir uns dem im parlamentarischen Prozess in den kommenden Monaten widmen werden. Um Quartierskonzepte nachhaltig zu fördern, brauchen wir vor allem eine klare Definition von Quartieren. Auf europäischer Ebene ist die Rechtslegung bereits einen Schritt weiter. Wir müssen national endlich nachziehen. Als Definition eine bestimmte Anzahl an Anschlüssen, die an einem Strang liegen, festzuschreiben, scheint mir ein gangbarer Weg. Ein Schlüssel zum Erfolg ist auch die Frage der Netzentgelte. Viele dezentrale Power-to-X-Konzepte werden durch hohe Netzentgelte unrentabel. Diesen Umstand werden wir bei der Reform des Strommarktdesigns adressieren.

### Wird es eine „gemeinsame Eigenversorgung“ im Sinne einer erweiterten Eigenverbrauchsanlage geben, bei der eine Bürgerenergiegemeinschaft oder mehrere



**re Gewerbebetriebe den Strom von Erzeugungsanlagen verschiedener Standorte oder Eigentümer unkompliziert bündeln und gemeinsam nutzen können, ohne dass formale und aufwändige Stromlieferbeziehungen zwischen den Beteiligten erforderlich werden?**

Ich würde es begrüßen, wenn wir zeitnah eine niedrigschwellige Lösung für eine „gemeinsame Eigenversorgung“ hinter dem Netzanschlusspunkt finden würden. Dafür wären definitorische Anpassungen im EEG und im EnWG nötig. Zunächst muss festgeschrieben werden, was unter „Eigenversorgung“ zu verstehen ist. Darüber hinaus muss-

te auch beim „Energieförderer“ zwischen den Anwendungsfällen differenziert werden. Ich stehe im intensiven Austausch mit dem Ministerium und den gesellschaftlichen Interessensgruppen, um hier bald ein Konzept vorlegen zu können.

.....  
**Was ist zum Energy Sharing konkret geplant und wann soll das in Kraft treten?**

Sowohl im Entschließungsantrag zum EEG 2023 als auch in den Verhandlungen zum Energiesicherungsgesetz hat sich die Ampelkoalition der Ausarbeitung von Energy-Sharing-Konzepten gewidmet. Energy-Sha-

ring-Projekte sollen einen wichtigen Beitrag für das Erreichen der Ziele beim Ausbau erneuerbarer Energien und von Sektorkopplung leisten. Das EEG 2023 schafft mit der Abschaffung der EEG-Umlage eine entscheidende Vereinfachung. Im Weiteren sollen erstens die ungeklärten definitorischen Fragen zur Ausgestaltung von Energy Sharing geklärt werden. Zweitens ist für einen attraktiven Rahmen für Energy-Sharing-Projekte, wie bereits angesprochen, eine Reform der Netzentgelte notwendig. Im weiteren Verlauf der Wahlperiode müssen die Beschlüsse des Entschließungsantrags in gesetzliche Regelungen überführt werden.

**Wäre es denkbar, PV-Neuanlagen EU-beihilfefrei zu regeln, um schnell und unbürokratisch auf möglicherweise weiter steigende Anlagenkosten reagieren zu können?**

Es kann sich durchaus rechnen, mit einer PV-Anlage ins unternehmerische Risiko zu gehen. Anlagenbetreibern bietet sich die Möglichkeit der Direktvermarktung. Das ist risikvoll, weil den Ausgaben keine feste Vergütung gegengerechnet werden kann. Zeitgleich können aber auch größere Profite erzielt werden. Das hängt dann von der Marktlage ab und von den Finanzierungskosten der Anlage. Besonders angesichts der aktuell hohen Strompreise wird die Direktvermarktung immer attraktiver.

**Nachfragegetriebene Vermarktungsmodelle wie der Eigenverbrauch und Green PPAs können rasch zusätzliche private Investitionen in die Energiewende auslösen. Bürger und Unternehmen wollen ihren eigenen Strom beziehen, sich gegen steigende Strompreise absichern und ihre Klimabilanz verbessern. Viele solcher Modelle bleiben auch mit dem EEG 2023 nur schwer umsetzbar. Welche Maßnahmen müssen getroffen werden, um nachfragegetriebene Vermarktungsmodelle zum Fliegen zu bringen?**

Aktuell erfolgt die Förderung der erneuerbaren in Deutschland für Anlagen über 100 kW nach dem System der gleitenden Marktprämie. Für die kommenden Jahre muss es unser Ziel sein, erneuerbare Energien auch ohne Förderung konkurrenzfähig zu machen. Bereits heute sind ja die Gestehungskosten einer kWh aus Sonnen- oder Windenergie geringer als aus Kohle, Gas oder Öl. Damit die Erneuerbaren noch stärker zum Zuge kom-

men, brauchen wir vor allem Investitionen in die Netzinfrastruktur und die Speicherkapazitäten. Die Europäische Kommission hat die strategische Bedeutung von Stromabnahmeverträgen für erneuerbare Energien erkannt und bereits angekündigt, zusätzliche Leitlinien für PPA-Rahmenregelungen vorzulegen. Da müssen wir auch national dranbleiben und dem PPA-Markt in Deutschland Aufwind geben. Gerade auch vor dem Hintergrund der Erlösabschöpfung im Rahmen der Strompreisbremse bleibt das herausfordernd.

**Welche nicht-gesetzlichen Hindernisse für den Ausbau der erneuerbaren Energien und die Sektorenkopplung müssen jetzt ausgeräumt werden und welche Initiativen gibt es dafür?**

Die Bundesregierung hat bspw. die Verordnung zum Nachweis von elektrotechnischen Eigenschaften von Energieanlagen (NELEV)

novelliert. Damit wurde das „Anlagenzertifikat unter Auflagen“ ermöglicht. Anlagenbetreiber von PV-Neuanlagen mit einer Leistung von 135 bis 950 kW haben künftig 18 Monate Zeit, um die nötigen technischen Zertifikate für die Inbetriebnahme nachzureichen. Das heißt, die Anlagen können ohne Verzögerung einspeisen. Ein weiteres Hindernis ist der Fachkräftemangel. Es fehlt nicht nur an Solarteur:innen und Elektroingenieur:innen, sondern auch an qualifizierten Jurist:innen und Handwerker:innen. Die im Koalitionsvertrag vereinbarte Qualifizierungsoffensive werden wir konsequent umsetzen.

**Die Akteure benötigen Planungssicherheit für die Zukunft. Wie kann der Rahmen nachjustiert werden, falls die Energie- und Klimaziele nicht erfüllt werden?**

Zunächst ist es wichtig, dass die Zielerreichung in den einzelnen Sektoren regelmäßig





vom Expertenrat für Klimafragen überprüft wird. Das Parlament wird dann über die Ergebnisse der Evaluation unterrichtet. Die Folgen einer Zielverfehlung sind für jeden Sektor unterschiedlich. Der Regierung stehen verschiedene Instrumente zur Verfügung. Erstens kann das Ordnungsrecht nachgeschärft werden. Zweitens können Fördergelder erhöht werden. Und drittens tragen auch Informationskampagnen zum Erfolg bei. Am besten ist ein Mix aus allen drei Punkten.

.....  
**Die Dürreperiode im Hochsommer 2022 führte zu exorbitanten Börsenstrompreisen und flexible Gaskraftwerke kamen – trotz der Gaskrise – verstärkt zu Einsatz. Wie geht das politische Berlin mit dem Thema Wasserverfügbarkeit in Bezug auf die Energieversorgung um?**

Die Dürresommer der letzten Jahre haben zu einem historischen Niedrigstand des Grund-



wassers und der Gewässer in Deutschland geführt. Für die Übergangszeit sind wir gut beraten, die Transportrouten für Kohle auch über die Schiene zu organisieren. Die Probleme der französischen AKWs aufgrund der mangelnden Kühlung durch Niedrigwasser sollte uns ein weiterer Appell sein, tunlichst keine Renaissance der Kernkraft einzuläuten. Zeitweise waren 29 der 53 französischen AKWs nicht am Netz. Erneuerbare Energien aus Deutschland haben die französische Stromversorgung sichergestellt. Die Lösung für das Dilemma kann nur der konsequente Ausbau der erneuerbaren Energien sein. So können wir am einfachsten unsere Wasserreserven schonen.

.....  
**Für welche weiteren Initiativen für Umweltschutz und Energiewende setzen Sie sich persönlich ein?**

Ich bin privat gerade dabei, mir eine Balkon-PV-Anlage zuzulegen. In meiner Heimat bin ich zudem in der Bürgerenergie engagiert. Ich bin Mitglied der Energiegenossenschaft Kassel-Söhre und der Strom für mein E-Auto kommt von heimischen erneuerbaren Energien. Ich erlebe die Energiewende selbst als Mitmach-Projekt und es macht Spaß, sich vor Ort mit Gleichgesinnten für den Ausbau der Erneuerbaren zu engagieren.

.....  
**Herr Gremmels, haben Sie vielen Dank für dieses Gespräch!**

[df]

# Sicherheit und Resilienz der Energieversorgung im Kontext der Energiewende – Grundlagen und regionale Handlungsoptionen

Prof. Dr.-Ing. Peter Birkner (House of Energy e.V.)

**Die Energiepolitik strebt seit vielen Jahren drei Ziele an. Die Energieversorgung soll umweltverträglich, wirtschaftlich und sicher sein. Informell kam hinzu, dass die eingesetzten Technologien auch akzeptiert sein müssen. Der Fokus lag in der letzten Dekade auf Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit. Die Energiewende erfordert jedoch enorme Investitionen. Dennoch dürfen Strom-, Gas- und Ölpreise Bürger und Wirtschaft nicht überfordern. Die Versorgungssicherheit wurde primär auf die technische Infrastruktur wie Kraftwerke und Netze projiziert. Die vertragliche Bindung von Importpartnern wurde als ausreichend angesehen. Die Sicht auf die Gasversorgung war mehr wirtschaftlich als sicherheitspolitisch bestimmt. Dies trug zu Wohlstandsmehrung bei, barg aber auch Risiken. Sicherheit und Resilienz wurden mit Blick auf Russland nur unzureichend berücksichtigt. Der 24.02.2022 legte dies schonungslos offen und erforderte eine kurzfristige Neubewertung. Diese ist in den Kontext der Langfriststrategie der Energiewende zu stellen.**

## Energiesystem heute und morgen

Deutschland befindet sich auf dem Weg, das nationale Energiesystem fundamental umzubauen und neu zu strukturieren. Das bisher durch die Nutzung fossiler und nuklearer Energieträger geprägte System wird in ein Sys-

tem überführt, das schwerpunktmäßig auf regenerativen Primärenergien basiert. Im Ziel sind die wichtigsten grünen Endenergieträger Elektrizität und Wasserstoff. Diese Energieträger werden in Deutschland selbst bereitgestellt werden, aber nach heutiger Einschätzung sind zusätzlich Importe aus Europa und anderen Ländern erforderlich.



Als Importkanäle sind elektrische Leitungen, Pipelines, aber auch Tankschiffe vorgesehen.

Die zu betrachtenden Sektoren in Deutschland sind Strom, Verkehr und Wärme (bzw. Kälte). Mit Blick auf die Anteile am Endenergiebedarf repräsentieren aktuell Strom und Verkehr je rund 25 %, während Wärme (bzw. Kälte) für etwa 50 % steht <sup>[1]</sup>.

Im Zuge dieses Transformationsprozesses erfolgt in Deutschland der Ausstieg aus der Nutzung von Kernenergie, Stein- und Braunkohle. Diese Energieträger können als heimisch angesehen werden. Sie spielen im Wesentlichen im Stromsektor eine Rolle und sollen durch erneuerbare Energien sowie interimistisch durch Erdgas abgelöst werden. Die Sektoren Verkehr und Wärme sind heute durch den Einsatz von Erdöl und Erdgas geprägt, die im Wesentlichen durch die Energieträger Strom und Wasserstoff sowie Fernwärme abgelöst werden. Im Schiffs- und Flugverkehr werden künftig zudem synthetische Kraftstoffe zum Einsatz kommen. Die aktuellen Stromanwendungen bleiben erhalten.

Seit vielen Jahren spielen Erdöl im Verkehrssektor sowie Erdöl und Erdgas im Wärme- und Kältesektor eine dominierende Rolle. Die Importabhängigkeit Deutschlands ist hier sehr hoch. Insbesondere betragen die Anteile Russlands bei Erdgas etwa 55 % und bei Erdöl rund 35 % <sup>[2]</sup>. Dies führte zu einer ausgeprägten Abhängigkeit des deutschen Energiesektors von Russland. Reziprok spielten die Einnahmen aus dem Export fossiler Energien für den russischen Staatshaushalt eine zentrale Rolle. Schließlich führte die russische Transportinfrastruktur – Pipelines für Erdgas und Erdöl – im Wesentlichen nach Europa. Das Geschäftsmodell „Energie gegen Devisen“ schien in Verbindung mit der politischen Ma-

xime „Wandel durch Handel“ als stabil und erlaubte in wirtschaftlicher Hinsicht eine Antwort auf das kostengünstige Erdgas, das die Wirtschaftsnation USA durch massiven Einsatz der umstrittenen Fracking-Technologie für die heimische Wirtschaft bereitstellte.

Dieses Modell kollabierte mit dem russischen Überfall auf die Ukraine am 24.02.2022 quasi über Nacht. Die Gaslieferungen aus Russland endeten sechs Monate später am 31.08.2022. Die bisherige Haupttransportleitung North Stream 1 wurde zudem am 26.09.2022 durch eine Explosion zerstört. Die parallel verlaufende Leitung North Stream 2, die zwar betriebsbereit war, aber aus politischen Gründen nicht genutzt wurde, wurde zeitgleich zum Teil zerstört. Diese Vorgänge bewirkten eine singuläre Energiekrise in Deutschland und Europa. Der Preis für Erdgas stieg in dieser Region deutlich an. Der über den Börsenmechanismus des „Energy only Market“ (EoM) an den Gaspreis gekoppelte Strompreis verhielt sich ähnlich. Infolgedessen sind Deutschland und Europa für einen mittelfristigen Zeitraum eine hochpreisige Region für Energie. Dies bringt wirtschaftliche Herausforderungen mit sich, da die Gaspreise beispielsweise in den USA unverändert niedrig bleiben.

Die zu lernende Lektion kann kurz mit „Sicherheit hat einen Preis“ umschrieben werden.

### Die Begriffe Sicherheit, Zuverlässigkeit und Resilienz

Der deutsche Begriff **Sicherheit** hat im englischsprachigen Raum die beiden Äquivalente „Safety“ und „Security“. Ein technisches Sys-

tem kann Gefahren für den Menschen hervorrufen. Sicherheitsmaßnahmen („Safety“) versuchen, das Unfallrisiko zu minimieren. Auf der anderen Seite kann aber auch der Mensch bewusst oder unbewusst eine Gefahr für den störungsfreien Betrieb eines technischen Systems darstellen („Security“). In diesem Falle ist das System vor dem Menschen zu schützen. Eine sichere Energieversorgung bedeutet also, dass von den Systemen keine Gefahr für den Menschen ausgeht und andererseits die Energieversorgung so strukturiert ist, dass sie durch menschliche Eingriffe nicht gestört werden kann. Typische Instrumente sind Schutzmaßnahmen, Redundanz und Diversität.

Der Begriff der **Zuverlässigkeit** oder besser Unzuverlässigkeit kommt ins Spiel, wenn es um die Wahrscheinlichkeit des Eintritts von Störungen oder (Teil-)ausfällen geht. Störungen können dabei technische Ursachen haben oder von Menschen herbeigeführt werden.

**Resilienz** schließlich beschreibt die Robustheit eines technischen Systems im Falle von Störungen. Der Begriff kommt vom lateinischen „resilire“ und bedeutet abprallen. Zur Systemresilienz zählen damit das Vorhersehen und Einplanen von Störungen, die Begrenzung ihrer Auswirkungen, die Fähigkeit der Erholung des Systems und die Anpassungsfähigkeit. Typische Strategien sind Dezentralisierung, Diversifizierung, Adaptivität und Redundanz.

Mit Blick auf die bisherige Energieversorgung Deutschlands ist festzuhalten, dass durch den Fokus auf russisches Erdöl und Erdgas das Thema Sicherheit der Energieversorgung (im Sinne von „Security“) nur unzureichend umgesetzt war. Auch das Thema Resilienz war in seinen Dimensionen allenfalls rudimentär ausgeprägt.

Im Kern sind Sicherheit und Resilienz technisch umso einfacher zu gewährleisten, je geringer der Energiebedarf ist.

Sicherheit und Resilienz beziehen sich aber nicht nur auf die Primärtechnik. Durch die Annäherung von Digitalisierung und Energietechnik bekommen diese beiden Begriffe eine zusätzliche Bedeutung mit Blick auf operative Technologie (OT) und Informationstechnologie (IT). Daten und Information sind zu schützen und die Folgen von Manipulationen zu minimieren. Das „Internet of Things“ (IoT) verstärkt diese Forderung nach robuster Software und robustem Datenmanagement.

## Das System der Energiewende

Global basiert die Energieversorgung immer noch zu rund 85 % auf fossilen Primärenergien [3]. Nur rund 15 % sind regenerativ oder nuklear und damit klimaneutral. Dies zeigt die enorme Herausforderung, den Anstieg des globalen Mittelwertes der Temperatur auf maximal 2 K zu begrenzen. Insoweit ist das primäre Ziel die Herstellung der globalen Klimaneutralität in allen Sektoren. Klimaneutralität bedeutet, die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre nicht weiter zu erhöhen. Es sind alle Technologien zu betrachten, die diesem Ziel dienen. Insbesondere sind dies erneuerbare, dekarbonisierte fossile und nukleare Energien. Der Begriff der Klimaneutralität ist deutlich breiter gefasst als der Begriff der grünen Energiequellen. Nicht alle eingesetzten Technologien sind als langfristig nachhaltig zu klassifizieren. Die Taxonomie der Europäischen Union trifft hierzu nicht unumstrittene Festlegungen.

Die in Deutschland angestrebte Energiewende fokussiert auf ein Energiesystem,

das auf grünen, erneuerbaren Energiequellen basiert. Nukleare und dekarbonisierte fossile Energieträger werden ausgeschlossen. Diese Strategie stellt damit im Kontext der Dekarbonisierung einen spezifischen, eng gefassten Umsetzungspfad dar.

Die grundlegenden Säulen einer grünen Energiewende sind die Bereitstellung grüner Endenergien und eine deutliche Reduktion des Bedarfs an Endenergieträgern. Dennoch werden diese beiden Säulen nicht ausreichen, um die Klimaneutralität zu erreichen. Es existieren eine Reihe von Produktionsprozessen, wie z.B. die Herstellung von Zement, die aus chemischen Gründen Kohlendioxid freisetzen. Damit wird im Rahmen einer grünen Energiewende das Thema Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid („Carbon Capture and Storage“ – CCS) eine Rolle spielen. Alternativ sind Kompensationen wie Aufforstung oder eine Erweiterung von Moorflächen denkbar.

## Die grüne Energiewende ist von der Nutzenergie her zu denken.

Nutzenergie repräsentiert die Energie, die der Nutzer benötigt. Es handelt sich z. B. um Wärme, Kälte, Mobilität, Antriebe, Beleuchtung, Information und Kommunikation.

Die erste Frage, die sich stellt, ist die Frage nach dem Umfang der benötigten Nutzenergie. Kann der Nutzenergiebedarf sinnvoll reduziert werden? Dies ist ein Aspekt der Suffizienz. Ansatzpunkte sind Verzicht und intelligenter Energieeinsatz. Dies bedeutet, dass die Digitalisierung einen wichtigen Beitrag zur intelligenten Bedarfsreduktion leisten kann. Exemplarisch kann hier auf den Energiebedarf im Kontext der Parkplatzsu-

che in urbanen Räumen oder den Heizenergiebedarf in Wohn- oder Nichtwohngebäuden verwiesen werden. Wie sieht es mit der Heizenergie im Falle eines temporären Leerstands aus?

Die zweite Frage bezieht sich auf die Bereitstellung der Nutzenergie. Wie viel Endenergie ist zur Deckung des Nutzenergiebedarfs erforderlich? Den besten Wirkungsgrad bietet die elektrische Energie. Um also den Bedarf an Endenergie zu reduzieren, ist eine Elektrifizierung der Energieanwendungen anzustreben. Zentrale Technologien sind batterie- oder leitungsgebundene Elektromobilität sowie elektrische Wärme- und Kälteversorgung mittels Wärmepumpen oder Kompressionskälteanlagen.

Durch Elektrifizierung der Nutzenergie kann der Endenergiebedarf gemäß eigener Einschätzung um rund 40 % reduziert werden. Allerdings bedarf die verstärkte Nutzung regenerativer Primärenergieträger der Koordination und damit des Einsatzes der Digitalisierung. Die physikalischen Eigenschaften der erneuerbaren Energien erfordern dies. Sie sind im Allgemeinen gekennzeichnet durch eine geringe Energiedichte, eine geringe zeitliche Verfügbarkeit sowie eine intermittierende und volatile Leistungsbereitstellung. Natürlich gibt es bei den genannten Parametern abhängig von Region und Art der regenerativen Energiequelle eine große Bandbreite. Diese reicht von weniger als 1.000 Volllaststunden bei Photovoltaik bis hin zu nahezu 8.760 Volllaststunden bei Geothermie. Dennoch wird die gesicherte Leistung nun nicht mehr durch einzelne Kraftwerke bereitgestellt werden, sondern durch einen sich ständig verändernden Mix aus flexiblen Quellen und Senken. Die Konsistenz des Energiesystems der Zukunft wird bestimmt durch die zeitliche Verfügbarkeit

regenerativer Energien, die installierbare Erzeugungsleistung, den Bedarf an Endenergie und die Flexibilität von Erzeugern und Verbrauchern. Je flexibler Quellen und Senken eingesetzt werden können, desto geringer ist die erforderliche Leistung der Infrastruktur.

**Im Prinzip ist das künftige Energiesystem eine Art „Tetris-Spiel“, bei dem Erzeugungs- und Bedarfsmuster permanent in einer Region passend kombiniert werden müssen. Leitungs- und rohrbasierte Infrastrukturen sind das verbindende Element. Die Digitalisierung übernimmt die Steuerung.**

Mathematisch ausgedrückt ist Flexibilität die zeitliche Ableitung der Leistung und beantwortet die Frage nach ihrer zeitlichen Anpassbarkeit. Flexibilität wird für das globale Systemgleichgewicht zwischen Erzeugung und Bedarf, aber auch für die Vermeidung von lokalen Engpässen in der Netzinfrastruktur eingesetzt werden. Hierzu wird häufig der Begriff „Smartness“ verwendet.

Das beschriebene System greift zur Erreichung von Stabilität auf Strategien wie Dezentralisierung, Diversifizierung, Adaptivität und Redundanz zurück. Dies sind aber gleichzeitig auch Strategien, die die Resilienz stärken. Das System der Energiewende erhöht damit die Resilienz der Energieversorgung.

Mit Blick auf Importe sind regenerative Energien primär heimische Energiequellen. Allerdings wird Deutschland als dicht besiedeltes

Industrieland nach allgemeiner Einschätzung ergänzend regenerative Energieträger importieren müssen. Hier ist auf die Diversität der Bezugsquellen zu achten. Weiterhin geht es nicht ausschließlich um den Aspekt der Energie, sondern auch um die Rohstoffe, die zur Herstellung der neuen Technologien erforderlich sind. Es ist ebenfalls auf sichere und resiliente Wertstoffströme zu achten und am besten eine Kreislaufwirtschaft zu etablieren. Dies entspricht dem Gedanken der Nachhaltigkeit. Die Kreislaufwirtschaft ist mehr als die Wiederverwendung von Rohstoffen („Recycling“). Sie beginnt mit der Vermeidung und Minimierung des Stoffeinsatzes, der in direktem Bezug zur benötigten Endenergie steht, und schließt eine langlebige und instandsetzungsfähige Konstruktion mit ein.

## Energieträger der Zukunft

Das Energiesystem der Zukunft wird deutlich von elektrischer Energie geprägt sein. Nur so lässt sich die erforderliche Reduktion des Endenergiebedarfs darstellen. Elektrizität kann mit hohem Wirkungsgrad in die gewünschte Nutzenergie umgewandelt werden. Standardmäßig wird elektrische Energie mittels Leitungen transportiert. Allerdings gibt es im Mobilitätsbereich viele Anwendungen, bei denen eine (Ober-)Leitung nicht einsetzbar ist und es ist entsprechend auf mobile elektrische Speicher auszuweichen. Elektrizität wird überwiegend aus heimischen erneuerbaren Energien erzeugt werden. Je geringer der Bedarf an der Endenergie Elektrizität ist, desto sicherer und resilienter stellt sich das Energiesystem dar. Gleichzeitig nimmt der Infrastrukturbedarf ab. Dies erhöht die Umsetzungsgeschwindigkeit der Energiewende und senkt die Investitionen. Dennoch spielt das transeuropäische Verbundnetz eine große Rolle. Es trägt zur Systemstabilisierung bei und ermöglicht den Im-

port erneuerbarer Energien.

Dieser wird durch (Gleich-)Stromleitungen, aber auch durch chemische Energieträger erfolgen. Hier sind Wasserstoff und Ammoniak von großer Bedeutung. Elektrische Energie hat eine geringe Energiedichte und erfordert für den Transport großer Energiemengen enorme Leitungskapazitäten. Daher sind chemische Energieträger besser für Importe geeignet. Wasserstoff kann mittels Elektrolyse sehr gut auf Strombasis aus Wasser hergestellt werden. Dieser ist gut in Rohrsystemen transportierbar. Wird allerdings ein Transport über Tankschiffe erforderlich, so setzt dies eine Verflüssigung des Wasserstoffs bei  $-253\text{ °C}$  voraus. Der dazu erforderliche Energieaufwand ist erheblich. Aus diesem Grund wird häufig über die „Einlagerung“ von Wasserstoff in Stickstoff nachgedacht. Drei Stickstoffatome können ein Wasserstoffatom in Form von Ammoniak binden. Stickstoff kann mittels Luftverflüssigung gewonnen werden und die Herstellung von Ammoniak ist durch das Haber-Bosch-Verfahren großtechnisch erprobt. Die Verflüssigung erfordert  $-33\text{ °C}$ . Ammoniak kann als Chemikalie, z. B. bei der Herstellung von Düngemitteln, als Brennstoff und zur (Rück-)gewinnung von Wasserstoff eingesetzt werden. Auch Wasserstoff bietet neben dem Einsatz als Energieträger weitere Optionen. Er kann als langfristiges Speichermedium zur Beherrschung der „Dunkelflaute“ dienen und als Brennstoff bei mobilen und stationären Anwendungen eingesetzt werden. Er ist eine Basischemikalie und ein Reduktionsmittel in der Verfahrenstechnik.

Die Liste der Endenergieträger der Zukunft wird weitere synthetische Kraftstoffe wie Methanol oder synthetisches Kerosin umfassen. Schließlich können auch Fernwärme und -kälte zum Bereich der Endenergiesysteme gezählt werden.

Die höchste Effizienz bei Energieanwendungen erreicht man bei Nutzung von Elektrizität. Allerdings ist die Effektivität in vielen Fällen begrenzt. Der erwünschte Effekt wird nicht erreicht. Daher ist unter Akzeptanz von Effizienzverlusten der Übergang auf einen anderen Endenergieträger erforderlich. Allerdings ist der technische Fortschritt in Betracht zu ziehen. Beispielsweise hat sich die Batterietechnik mit Blick auf Preis, Gewicht und Kapazität in der letzten Zeit enorm weiterentwickelt. Anwendungen, die noch vor wenigen Jahren als prädestiniert für den Einsatz von Wasserstoff erschienen, können künftig im Sektor Elektrizität bedient werden.

Basierend auf eigenen Überlegungen dürfte sich aus heutiger Sicht der Stromeinsatz in Deutschland in etwa verdoppeln, während Wasserstoff einschließlich Ammoniak in etwa zwei Dritteln des heutigen Erdgas-einsatzes entsprechen wird.

## Regionale Handlungsoptionen

Die Konsistenz des Energiesystems der Zukunft wird durch die künftig verfügbaren Technologien bestimmt und es findet ein

Übergangsprozess vom aktuell vorhandenen System zum Zielsystem statt. Die Anforderungen können heute genauer definiert werden als die konkrete technische Umsetzung. Zudem wird es regionale Ausprägungen geben, da sowohl die Verfügbarkeit regenerativer Energiequellen als auch Umfang und Form des Energiebedarfs erheblich variieren. Allgemein hat jede Region folgende Zielfunktion zu optimieren:

$$| \text{Gesamtkosten} | =$$

$$| \sum \{ \text{Kapitalkosten Infrastruktur} + \text{Kosten Energieimport} - \text{Erlöse Energieexport} \} |$$

$$\rightarrow \begin{cases} \text{Min. falls Gesamtkosten} > 0 \\ \text{Max. falls Gesamtkosten} < 0 \end{cases}$$

Die Gesamtkosten sind zu minimieren. Negative Kosten sind als Erlöse zu verstehen und damit zu maximieren. Das Funktionieren des Energiesystems, der Schutz der Umwelt und die Akzeptanz der Bevölkerung sind unverzichtbare Randbedingungen. Nicht zuletzt müssen alle technischen Systeme den An-

forderungen des Ordnungsrahmens genügen und unter diesen Bedingungen muss ein positiver Business Case erreichbar sein, um die Finanzierung sicherzustellen.

Mit Blick auf das **Bundesland Hessen** können einige Anregungen gegeben werden. Hierzu sind zuerst wichtige Eckpunkte zu betrachten. Hessen hat 6,3 Millionen Einwohner, die schwerpunktmäßig im Ballungsraum Frankfurt-Rhein-Main leben. Die Fläche des Landes beträgt rund 21.000 km<sup>2</sup>, wovon etwa ein Sechstel versiegelt ist <sup>[4]</sup>. Die Bevölkerungsdichte ist sehr inhomogen verteilt. Der Mittelwert für das Bundesland liegt über dem Bundesdurchschnitt. Der Raum Frankfurt-Rhein-Main stellt aufgrund folgender Faktoren mit Blick auf die Energieversorgung eine überregionale Singularität dar:

- Bevölkerungszahl und Bevölkerungsdichte sind sehr hoch.
- Die chemische Industrie ist energieintensiv und stark vertreten.
- Frankfurt ist ein internationaler Verkehrsknotenpunkt mit Blick auf Luft-, Schienen-, Wasser- und Straßenverkehr.
- Aufgrund seiner Lage im Herzen Europas ist Hessen verkehrstechnisch ein Durchgangsland.
- Der Strombedarf der Rechenzentren, die nach dem Modell des „Colocation“ arbeiten, ist sehr hoch und steigt weiter. Dies ist eine Konsequenz eines der weltweit größten Internetknoten DE-CIX.

Hessen hat einen überdurchschnittlichen Energiebedarf, da das Bundesland hoch industrialisiert ist.



siert ist, eine hohe Bevölkerungszahl aufweist und insbesondere in der Region Frankfurt-Rhein-Main überregionale Dienstleistungen erbringt. Die Konzentration an Energiesenken ist auf kleiner Fläche sehr hoch.

Hessen wird aller Voraussicht nach auch im Kontext der Energiewende Energieimportland bleiben. Die strategischen Handlungsfelder stellen sich exemplarisch wie folgt dar:

- Bedarf an Endenergie (überproportional) senken,
  - Nutzung von Abwärme optimieren,
  - erneuerbare Wärmequellen wie Geothermie nutzen,
  - Öffentlichen Nahverkehr im urbanen Umfeld und „Shared Economy“ ausbauen,
  - erneuerbare Energiequellen im ländlichen Raum entsprechend der Akzeptanz der Bevölkerung mit Blick auf die eingesetzte Technologie weiter ausbauen,
  - erneuerbare Energiequellen im urbanen und semiurbanen Raum ausbauen und dazu vorhandene Flächen wie Dächer oder Straßenränder nutzen,
  - Flexibilitäten und Energiespeicher durch Sektorenkopplung im urbanen Raum ausbauen,
  - multimodale und vernetzte Energiestrukturen etablieren,
  - Anschluss Hessens an die neuen Transportnetze für Wasserstoff sicherstellen,
  - Netzinfrastrukturen in Hessen ausbauen und durch „Smartness“ optimiert nutzen,
  - Importquellen für Strom und Wasserstoff sichern,
  - Digitalisierung im Sinne der Energiewende einsetzen.
- Weiterhin gibt es für Hessen enorme Chancen im Export von Technologien und Dienstleistungen. Der Wissenschafts- und Tech-

nologiestandort Hessen hat viel zu bieten. Insbesondere können die Erfahrungen im Kontext der singulären Eigenschaften an vielen anderen Orten auf der Welt genutzt werden.

## Zusammenfassung und Ausblick

Energiewende ist ganzheitlich zu denken. Wichtige Aspekte sind Materialien, Technologie, Energiesystem, Finanzierung, Rechtsrahmen, Akzeptanz der Bürger und Verfügbarkeit der erforderlichen Fachkräfte. Energiewende ist alles andere als eine Verlängerung des Heute ins Morgen. Technologien, die unsere besondere Aufmerksamkeit erfordern, sind beispielsweise Redox-Flow-Batterien, organische Solarzellen und Brennstoffzellen. Sie haben das Potenzial, die Konsistenz des Energiesystems der Zukunft zu beeinflussen. Energiewende erfordert einerseits eine regionale Umsetzungsstrategie und gleichzeitig ein Konzept, das die Interaktionen mit den benachbarten Regionen optimiert. In vielerlei Hinsicht führt die Energiewende zu einem multidimensional vernetzten und multimodalen Energiesystem. ◊

## Quellen

- [1] Agentur für Erneuerbare Energien – Endenergieverbrauch nach Strom, Wärme und Verkehr  
<https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/endenergieverbrauch-strom-waerme-verkehr>
- [2] Die Bundesregierung – Energiesicherheit und Energieversorgung  
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/krieg-in-der-ukraine/alternative-oelimporte-polen-2027924>
- [3] BP – Statistical Review of World Energy 2022  
[https://www.bp.com/de\\_de/germany/home/presse/nachrichten/statistical-review-of-world-energy-2022.html](https://www.bp.com/de_de/germany/home/presse/nachrichten/statistical-review-of-world-energy-2022.html)
- [4] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie – Umweltindikatoren Hessen: Flächenverbrauch  
<https://www.hlnug.de/themen/nachhaltigkeit-indikatoren/indikatorensysteme/umweltindikatoren-hessen/flaechenverbrauch>





# Aufbau der Wasserstoffwirtschaft in den USA

Dirk Filzek (House of Energy e. V.)

**Wie gehen die USA den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft an? Und was ist für die amerikanisch-deutsche Zusammenarbeit wissenswert?**

Um diese Fragen ging es im Juni 2022, als eine deutsche Delegation auf amerikanische Einladung die einmalige Chance hatte, sich in den USA mit Vertreter:innen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zu treffen und über den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft auszutauschen. Das House of Energy war Teil der achtköpfigen Delegation aus Deutschland.

Dieser Artikel stellt einige zentrale Erkenntnisse dar und gibt Einblicke in die politischen Instrumente und Fördermechanismen, die eine nennenswerte Dynamik auslösen dürften.

In jedem Fall gibt es neue Möglichkeiten für eine amerikanisch-deutsche Zusammenarbeit im Bereich der Klimatechnologien. Deutsche Unternehmen können den Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft in den USA unterstützen und andersherum amerikanische Unternehmen den Markthochlauf in Deutschland. Innovative Produkte und Fachexpertise werden wechselseitig benötigt.

## Die USA und Deutschland stehen vor ähnlichen Herausforderungen

Die Wasserstoffwirtschaft wird weltweit als Hoffnungsträger für den Klimaschutz und wichtiges Element bei der Transformation der Energiesysteme angesehen. Dementsprechend dürfte der weltweite Bedarf an Wasserstoff und wasserstoff-basierten Syntheseprodukten bis 2050 massiv ansteigen. Auch in den USA wird sauberer Wasserstoff als ein entscheidender Weg betrachtet, um die Dekarbonisierungsziele zu erreichen. Beim Hochfahren der Wasserstoffwirtschaft stehen die USA aktuell vor ähnlichen Herausforderungen wie Deutschland bzw. die EU: Zeitgleich sind Investitionen in die gesamte Wertschöpfungskette von der Erzeugung bis zur Nutzung von Wasserstoff sowie in die sektorenübergreifende Infrastruktur für Transport, Speicherung und Lieferung notwendig. Hierin besteht ein Henne-Ei-Problem: Wenn ein Wirtschaftsunternehmen in einen bestimmten Teil der Wertschöpfungskette investieren möchte, muss auch der weitere Teil der Wertschöpfungskette vorhanden sein. Und: Qualifizierte Arbeitskräfte in ausreichender Zahl sind unerlässlich. Daher müssen Regierungen den Markthochlauf für sauberen Wasserstoff unterstützen. Die USA fördern – vergleichbar wie Deutschland – regionale Hubs für sauberen Wasserstoff. Zusätzlich geben sie Zuschüsse für die Produktion sauberen Wasserstoffs (mit Steuergutschriften von bis zu 3 \$ pro kg Wasserstoff!) und fördern auch die benötigten Primärenergiequellen und die inländische Komponentenerstellung.

## Energiepolitische Ziele in den USA

Die Biden-Administration hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2035 eine CO<sub>2</sub>-neutrale Stromversorgung und bis zum Jahr 2050 sektorenübergreifend Netto-Null-Emissionen zu erreichen. Das US-Energieministerium (DOE) strebt mit der „Energy Earthshot“-Initiative von Juni 2021 an, die Kosten für sauberen Wasserstoff in einer Dekade auf 1 \$ pro 1 kg zu senken (das 1-1-1-Ziel des „Hydrogen Shot“)<sup>[1]</sup>. Anders als die EU werden die USA sehr wahrscheinlich keine CO<sub>2</sub>-Bepreisung auf dem Weg dorthin einführen. Im September 2022 legte das US-Energieministerium einen Entwurf für eine Nationale Wasserstoffstrategie vor<sup>[2]</sup>.

Wichtig zu wissen ist, dass sich Energiepolitik der einzelnen Bundesstaaten in den USA deutlich unterscheidet, auch weil die strukturellen Voraussetzungen und Interessenlagen sehr verschieden sind. Zum Beispiel hat Kalifornien, die fünfgrößte Industrieregion der Welt, ehrgeizige Klimaziele, die sie mit erneuerbaren Energien erreichen möchte. Dazu wurde bereits 2018 die „Senate Bill 100“ erlassen<sup>[3]</sup>. Andere Bundesstaaten setzen schwerpunktmäßig auf Wasserstoff aus Kernenergie oder fossilen Quellen in Verbindung mit CCS (Carbon Capture and Storage).

## Infrastrukturgesetz von 2021

Die Grundlage für langfristige Investitionen in die Modernisierung der amerikanischen Infrastruktur legt das überparteiliche Infrastrukturgesetz (Infrastructure Investment and Jobs Act) von November 2021<sup>[4]</sup>. Dies beinhaltet Investitionen in saubere Energienetze. Mit dem Ziel, eine emissionsfreie Zukunft zu erreichen, soll in den USA die Strominfrastruktur modernisiert, die Versorgung mit sauberer,

zuverlässiger Energie gewährleistet werden und modernste Energietechnologien sollen eingesetzt werden. Außerdem werden neue Programme zur Förderung der Entwicklung, Demonstration und Einführung modernster sauberer Energietechnologien finanziert, um den Übergang zu einer emissionsfreien Wirtschaft zu beschleunigen.

## Inflation Reduction Act (IRA) von 2022

Im August 2022 wurde ein milliardenschweres und über 700 Seiten starkes Gesetzespaket vom US-Senat verabschiedet und von US-Präsident Joe Biden unterzeichnet: der Inflation Reduction Act (IRA)<sup>[5]</sup>. Bei dem umfassenden Klima-, Sozial- und Gesundheitspaket handelt es sich um ein Investitionsprogramm von 430 Milliarden Dollar, das die inländische Wirtschaft ankurbeln und die Inflation mittelfristig senken soll.

Mit dem Gesetzespaket werden Investitionen in saubere Energie und Klimaschutzmaßnahmen in einem historischen Maßstab von 369 Milliarden Dollar gesichert. Die Wirtschaft erhält Anreize für Klimaschutzmaßnahmen und erneuerbare Energien, was den technologischen Fortschritt und private Investitionen stärken soll. Die Klimaschutzmaßnahmen sollen zu einer Reduzierung des US-amerikanischen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um rund 40 Prozent bis zum Jahr 2030 führen (im Vergleich zu 2005).

Um den Aufbau einer sauberen Energieinfrastruktur zu incentivieren, adressiert diese Gesetzgebung eine breite Palette an Energiestrategien und unterstützt diese mit Steuererleichterungen und Förderungen. Dazu zählen Erneuerbare-Energien-Projekte mit Photovoltaik, Windenergie und Geothermie, Energiespeichersysteme sowie Energieeffizienz und Elektrifizierung im Gebäudebe-

reich. Auch wird die „qualifizierte“ Produktion der dafür notwendigen Komponenten unterstützt, sofern diese im US-amerikanischen Inland geschieht. Um den Verkehrssektor zu dekarbonisieren, gibt es Zuschüsse für den Kauf von Elektroautos und es werden Investitionen in wasserstoffbasierte Systeme wie Brennstoffzellenfahrzeuge, CO<sub>2</sub>-neutrale Kraftstoffe und entsprechende Tankstellen gefördert. Zuschüsse gibt es ebenfalls für die Dekarbonisierung von Branchen wie Stahl, Zement und Aluminium sowie für Maßnahmen in Richtung einer klimaverträglichen Landwirtschaft. Weiterhin werden Kohlenstoffabscheidung und -speicherung stärker angereizt, ebenso Kernenergie. Ein Novum ist die Bepreisung des Methanausstoßes bei der Förderung von Gas und Öl im Rahmen des Methane Emissions Reduction Program (MERP).

Auch speziell für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft sind wirkungsvolle Anreize im Inflation Reduction Act vorgesehen. Besonders erwähnenswert ist die erstmalig in den USA eingeführte Steuergutschrift für die Produktion von sauberem Wasserstoff. Produzenten von Wasserstoff erhalten einen Zuschuss, sofern die Treibhausgasintensität des von ihnen produzierten Wasserstoffs unter einem bestimmten Schwellenwert liegt. Diese Steuergutschrift wird im Folgenden näher beschrieben.

### Steuergutschriften bis zu 3 \$/kg für „qualifizierten sauberen Wasserstoff“

Um „qualifizierten sauberen Wasserstoff“ zu fördern, werden in gestaffelten Schritten Steuergutschriften bis zu 3 \$/kg Wasserstoff gewährt. Diese Gutschriften sind abhängig von der Höhe der Lebenszyklus-Treibhausgasemissionen (gemessen in Kohlendioxid-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>-Äq)). Auch die Löhne der

Mitarbeiter im jeweiligen Projekt fließen in die Bewertung ein.

Anlagen für Wasserstoff mit Lebenszyklusemissionen von 0–0,45 kg CO<sub>2</sub>-Äq pro kg H<sub>2</sub> erhalten die 100%ige Steuergutschrift von 3 \$/kg. Bei 0,45–1,5 kg CO<sub>2</sub>-Äq werden 33,3 % der maximalen Steuergutschrift bzw. 1 \$/kg gewährt, bei 1,5–2,5 kg CO<sub>2</sub>-Äq nur noch 25 % bzw. 0,75 \$/kg und bei 2,5–4 kg dann 20 % bzw. 0,60 \$/kg (Basissatz). Anstelle der Steuergutschrift für die Wasserstoffproduktion kann eine gestaffelte Investitionssteuergutschrift gewählt werden.

Damit soll Wasserstoff auf Basis diverser Produktionsverfahren hergestellt und Wasserstoff aus erneuerbaren Energien ebenfalls zu konkurrenzfähigen Preisen produziert werden können.

### Definition von sauberem Wasserstoff

Im U.S. Inflation Reduction Act von 2022 wird „qualifizierter sauberer Wasserstoff“ (qualified clean hydrogen) anhand eines Emissionsgrenzwertes von 4 kg Kohlendioxidäquivalent (CO<sub>2</sub>-Äq) pro Kilogramm Wasserstoff definiert, wobei die Lebenszyklus-Treibhausgasemissionen „well-to-gate“ (von der Quelle bis zur Verwendung) zugrunde gelegt werden. Alles über 4 kg berechtigt nicht mehr für Steuergutschriften und weitere Anerkennungen.

Im U.S. Infrastructure Investment and Jobs Act aus dem Jahr 2021 wurde zunächst eine Emissionsgrenze für „clean hydrogen“ von 2 kg CO<sub>2</sub>-Äq/kg H<sub>2</sub> eingebracht, die allerdings ausschließlich die Emissionen am Ort der Produktionsstätte berücksichtigt und nicht den gesamten Lebenszyklus (Stichworte sind z. B. Methanschlupf in Erdgasnetzen oder der voll-

ständige Lebenszyklus des radioaktiv strahlenden Materials).

Im September 2022 veröffentlichte das US Energieministerium einen Leitfadentwurf, der einen ersten Vorschlag für einen Standard für die saubere Wasserstoffproduktion (Clean Hydrogen Production Standard – CHPS<sup>(6)</sup>) enthält. Dieser Leitfaden wurde entwickelt, um die Anforderungen aus dem Infrastrukturgesetz von 2021 zu erfüllen, und er ist konsistent mit der Definition für „qualifizierten sauberen Wasserstoff“ aus dem Inflation Reduction Act von 2022.

### Acht Milliarden Dollar für Wasserstoff-Hubs

Im November 2021 erhielt das US-Energieministerium 8 Milliarden US-Dollar zur Finanzierung von mindestens vier Wasserstoff-Hubs in den USA im Rahmen des Infrastructure Investment and Jobs Act.

Ein landesweites Netzwerk regionaler Wasserstoff-Hubs soll Amerikas saubere Wasserstoffwirtschaft ankurbeln und gut bezahlte Arbeitsplätze schaffen. Mithilfe dieser Hubs sollen Interessengruppen auf allen Stufen der Wertschöpfungskette zusammengebracht werden, um die Kosten für Produktion, Transport, Speicherung und Nutzung von sauberem Wasserstoff in den verschiedenen Wirtschaftssektoren zu senken.

Bei der Auswahl der Wasserstoff-Hub-Projekte sollen diejenigen mit den niedrigsten Lebenszyklus-Treibhausgasemissionen (THG) bevorzugt werden. Dabei soll das gesamte Spektrum an Produktionstechnologien zum Einsatz kommen können, inbegriffen sind erneuerbare und nuklearbasierte Elektrolyse sowie Erdgasreformierung mit Kohlenstoffabscheidungs- und Speichersystemen.

Mindestens vier Wasserstoff-Hubs sollen gefördert werden, wobei jeweils mindestens ein Hub seinen Schwerpunkt auf grünem Wasserstoff aus erneuerbaren Energien haben soll, einer auf blauem Wasserstoff aus fossilem Gas mit Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS) sowie einer auf rosa bzw. gelbem Wasserstoff aus Kernkraft. Der Fokus liegt auf Großprojekten mit einer Produktionskapazität von 50 bis 100 Tonnen Wasserstoff pro Tag. Eine räumliche Vernetzung von Produktion und Nachfrage soll gegeben sein. Die Projekte müssen nach Ablauf der letzten Finanzierungstranche auch ohne staatliche Unterstützung wirtschaftlich lebensfähig sein.

Im September 2022 kündigte das US-Energieministerium die Möglichkeit an, sechs bis zehn Clean Hydrogen Hubs mit anfänglich 7 Mrd. Dollar zu unterstützen.

Auch außerhalb der sauberen Wasserstoff-Hubs sieht der Infrastructure Investment and Jobs Act von 2021 die Förderung von sauberem Wasserstoff vor. Zum Beispiel werden 1 Milliarden Dollar für ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur Optimierung der Elektrolyse bereitgestellt<sup>[7]</sup>. Weitere 500 Millionen Dollar umfasst ein Programm zur Förderung neuer Technologien und Verfahren zur Herstellung, Verarbeitung, Lieferung, Speicherung und Verwendung von sauberem Wasserstoff<sup>[8]</sup>.

## Energiepartnerschaft USA-Deutschland

Im Juli 2021 riefen Präsident Biden und die damalige Bundeskanzlerin Merkel eine Klima- und Energiepartnerschaft zwischen den USA und Deutschland ins Leben<sup>[9]</sup>. Diese Partnerschaft soll das Engagement für das Klima stärken und die Zusammenarbeit an den für die Beschleunigung des weltweiten Übergangs

zu „Netto-Null“ erforderlichen Strategien und nachhaltigen Technologien vertiefen. Gemeinsam wollen die USA und Deutschland eine weltweite Führungsrolle bei der Entwicklung innovativer Werkzeuge einnehmen, die benötigt werden, um die globale Energiewende zu beschleunigen und bis spätestens 2050 Netto-Null-Emissionen von Treibhausgasen in den Volkswirtschaften zu erreichen. Schwerpunkte der Zusammenarbeit liegen in den drei Bereichen Klimaschutzmaßnahmen, energiewendebezogene Technologien sowie Energiewende in Schwellenländern.



Nachhaltige Wasserstofftechnologien sind Teil der Energiepartnerschaft. Vier Arbeitsgruppen organisieren diese Partnerschaft in den Bereichen Wasserstoff, Offshore-Windenergie, emissionsfreie Fahrzeuge und Zusammenarbeit mit Drittstaaten. Die vier Arbeitsgruppen haben alle erstmals im Frühjahr 2022 getagt. In Sachen Wasserstoff sind die USA derzeit weltweit zweitgrößter Produzent und Verbraucher und unterhalten mehr als die Hälfte der weltweit installierten Pipelines. Im Juni 2022 fand ein gemeinsamer Workshop zur Wasserstoff-Zertifizierung statt.

Auch eine umweltpolitische Zusammenarbeit wurde vereinbart. Die deutsch-amerikanische Kooperation soll sich unter anderem auf die Themen Natürlicher Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft, Meeresschutz erstrecken.

## Über die Delegationsreise

Die einwöchige Delegationsreise zum Thema „U.S. Hydrogen Sector and the Transformation in Renewable Energy“ war Teil des vom US-Außenministerium gesponsorten International Visitor Leadership Program (IVLP).

Zur deutschen Delegation zählten Vertreter/innen des BMWK, des BMDV, der NOW, des BDEW, des Fraunhofer IWES, der Erneuerbare Energien Hamburg Clusteragentur, der IHK Hamburg sowie des House of Energy. Seit 1940 werden diese beruflichen Besucherprogramme zu vielfältigen Themen durchgeführt, um das gegenseitige Verständnis zwischen Führungskräften der Vereinigten Staaten und anderer Nationen zu fördern und die außenpolitischen Ziele der US-Regierung zu unterstützen.

Die Delegation traf sich in Washington D.C. und Los Angeles mit US-amerikanischen Vertreter:innen aus Wirtschaft, Wissenschaft und

Politik, die sowohl für die US-amerikanische Bundesebene als auch für einzelne Bundesstaaten stehen. Dazu zählten u. a. das U.S. Außenministerium, die Clean Hydrogen Future Coalition (CHFC), die Clean Air Task Force (CATF) sowie der California Hydrogen Business Council (CHBC). Die Fuel Cell & Hydrogen Energy Association (FCHEA) lud zu einem runden Tisch mit einer Reihe von Mitgliedsunternehmen, so auch Bloom Energy. Von Seiten der Wissenschaft stellten das National Fuel Cell Research Center an der University of California, Irvine, sowie die California State University in Los Angeles ihre Projekte und Erkenntnisse vor. Weiterhin berichteten die energiepolitischen Sprecher der Senatoren Graham (South Carolina, Republikaner) und Coons (Delaware, Demokrat) und es gab ein Treffen mit der Delegation der deutschen Industrie und Wirtschaft in Washington, D.C.

## Unterstützung durch die Clean Air Task Force (CATF)

Die Clean Air Task Force (CATF) traf sich in Washington D.C. mit der deutschen Delegation und unterstützte die Recherchen und die Überprüfung der Fakten für diesen Artikel. Die CATF ist eine globale gemeinnützige Organisation, die sich für den Schutz vor den schlimmsten Auswirkungen des Klimawandels einsetzt, indem sie die rasche Entwicklung und den Einsatz von kohlenstoffarmen Energien und klimaschützenden Technologien vorantreibt. Seit 25 Jahren bringt die Clean Air Task Force internationale anerkannte Expertise in die Klimapolitik ein und engagiert sich für die Erforschung potenzieller Lösungen. Dabei versteht sich die CATF als ein pragmatischer, ideologiefreier Interessenverband, der Ideen für die Bewältigung des Klimawandels einbringt. CATF hat Büros in Boston, Washington D.C. und Brüssel und beschäftigt Mitarbeiter:innen, die virtuell auf der ganzen Welt arbeiten<sup>[10]</sup>.

## Fazit

Die USA machen aktuell deutlich, dass es ihnen mit dem Klimaschutz ernst ist. Die aktuelle Neuausrichtung bei der Unterstützung der Transformation der Energiesysteme könnte weltweite Strahlkraft entfalten. Der Aufbau der Wasserstoffwirtschaft wird angereizt, indem mit politischen Instrumenten und Subventionen die Produktion von sauberem Wasserstoff und gleichermaßen auch die benötigten Primärenergiequellen und die inländische Komponentenherstellung unterstützt werden. Von Bedeutung ist ebenfalls die Förderung von mehreren regionalen Wasserstoff-Hubs, in denen im großen Maßstab Wasserstoff produziert und verwendet und die dafür notwendige Infrastruktur aufgebaut werden soll. Dabei unterscheidet sich die US-amerikanische Definition von sauberem Was-

serstoff von der deutschen. Ein Wermutstropfen ist die fehlende CO<sub>2</sub>-Bepreisung in den USA. Im September 2022 legte das US-Energieministerium einen Entwurf für eine Nationale Wasserstoffstrategie vor.

Da die USA beim Markthochlauf der Wasserstoffwirtschaft an einem ähnlichen Punkt stehen wie Deutschland und im Zuge der Klimaschutzmaßnahmen einen großen Eigenbedarf an Wasserstoff werden decken müssen, bleibt abzuwarten, ob die USA relevante Mengen an Wasserstoffderivaten an Deutschland exportieren können. Hilfreich dabei wäre eine einheitliche Zertifizierung von Wasserstoff.

Mittelfristig werden an den Märkten Lernkurven erwartet, die zu sinkenden Kosten für die Elektrolyse und für die Erzeugung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Energiequellen führen. Mit der Zeit dürfte dies zu Preisvorteilen von Wasserstoff auf Basis erneuerbarer Energien gegenüber Wasserstoff auf fossiler Basis führen.

Jetzt ist die richtige Zeit, um Kooperationen mit US-amerikanischen Partnern zu vertiefen und gemeinsam mit Unternehmen, die in den USA ansässig sind, die Transformation der Energiewelt voranzutreiben. Innovative Produkte und Fachexpertise werden wechselseitig benötigt. Für Hersteller von Wasserstofftechnologien kann es interessant sein, sich den amerikanischen Markt näher anzuschauen. Ansprechpartner für deutsche Unternehmen sind die German Trade & Invest (GTAI) in Berlin<sup>[11]</sup>, die Delegation der deutschen Industrie und Wirtschaft in Washington D.C.<sup>[12]</sup> sowie die Fuel Cell & Hydrogen Energy Association (FCHEA)<sup>[13]</sup>. ◇



## Quellen

- [1] Energy Earthshot Initiative (inkl. Hydrogen Shot) von Juni 2021:  
<https://www.energy.gov/policy/energy-earthshots-initiative>
- [2] DOE National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap (Draft) von September 2022:  
<https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/clean-hydrogen-strategy-roadmap.pdf>
- [3] Kalifornisches Energiegesetz Senate Bill 100 aus dem Jahr 2018:  
[https://leginfo.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=20172018oSB100](https://leginfo.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=20172018oSB100)
- [4] Infrastructure Investment and Jobs Act von November 2021:  
<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684/text>
- [5] Inflation Reduction Act (IRA) von August 2022:  
<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376/text> und <https://www.congress.gov/117/bills/hr5376/BILLS-117hr5376enr.pdf>
- [6] Leitfadentwurf zum Clean Hydrogen Production Standard – CHPS von September 2022:  
<https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/clean-hydrogen-production-standard.pdf>
- [7] 1 Billion Dollar-Förderung für Elektrolyseure:  
<https://www.energy.gov/bil/clean-hydrogen-electrolysis-program>
- [8] 500 Milliarden Dollar-Förderung Clean Hydrogen Manufacturing:  
<https://www.energy.gov/bil/clean-hydrogen-manufacturing-recycling>
- [9] Energiepartnerschaft USA-Deutschland:  
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/informationsblatt-zur-klima-und-energiepartnerschaft-zwischen-den-usa-und-deutschland-1942702>
- [10] Clean Air Task Force (CATF):  
<https://www.catf.us/de>
- [11] German Trade & Invest:  
<https://www.gtai.de/de/trade/usa/branchen/usa-bereitet-foerderung-von-wasserstoffprojekten-vor-688194#toc-anchor--1>
- [12] Delegation der Deutschen Wirtschaft in Washington, DC:  
<https://washington.usa.ahk.de/>
- [13] Fuel Cell & Hydrogen Energy Association:  
<https://www.fchea.org/>

# GASTBEITRÄGE

## Ineffizienz und Emissionseinsparungen: **Quantitative Ergebnisse auf sektoraler Ebene**

Larissa Fait und Prof. Dr. Heike Wetzel (Universität Kassel), Prof. Dr. Jens Krüger und Moritz Tarach (Technische Universität Darmstadt)

**In einem gemeinsamen BMBF-geförderten Verbundprojekt<sup>1)</sup> untersuchten Projektteams der Technischen Universität Darmstadt und der Universität Kassel Einsparpotentiale schädlicher Treibhausgasemissionen in den wichtigsten Industriesektoren Deutschlands und weiterer EU-Mitgliedsstaaten. Die quantitativen Analysen zeigen erhebliche Potentiale für Emissionsreduzierungen durch Effizienzverbesserungen.**

## Effizienzverbesserungen für den Klimaschutz

Der Klimawandel ist eines der gravierendsten globalen Probleme unserer Zeit mit massiven gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen in der Gegenwart und in der Zukunft. Eine wesentliche Ursache des Klimawandels ist der Treibhauseffekt, der durch den Ausstoß von Treibhausgasen im Zuge chemischer Prozesse im Rahmen der Produktion von Gütern und Dienstleistungen befeuert wird. Im Mittelpunkt des Projektes „Makroökonomische Ineffizienz und Einsparpotentiale für Emissionen: Analysen unter Berücksichtigung heterogener Industriestrukturen“ stand die Untersuchung von Ineffizienzen in Produktionsprozessen europäischer Länder auf sektoraler Ebene, deren Abbau mit einer Reduktion von Treibhausgasemissionen verbunden ist und somit, neben anderen klimapolitischen Maßnahmen, zur Abmilderung des Klimawandels beitragen kann.

Das Hauptziel des Projektes bestand in der Quantifizierung und statistischen Absicherung von Einsparpotentialen klimaschädlicher Emissionen durch Verbesserung der Effizienz innerhalb bestehender Industriestrukturen und -prozesse sowie der Abschätzung der Kosten, die mit einer Realisierung dieser Einsparpotentiale verbunden sind. Damit wurden verschiedene Fragestellungen adressiert, u. a. inwieweit die aktuelle Wertschöpfung mit weniger Emissionen erzielbar ist, in welcher Größenordnung sich Reduktionspotentiale durch Effizienzverbesserung befinden und welchen Beitrag Effizienzsteigerungen zur Erreichung der Klimaziele leisten können. Hierfür wurde die makroökonomische Umwelteffizienz (d. h. die Fähigkeit von Volkswirtschaften, ihre Wirtschaftsleistung möglichst emissionsarm zu erbringen)

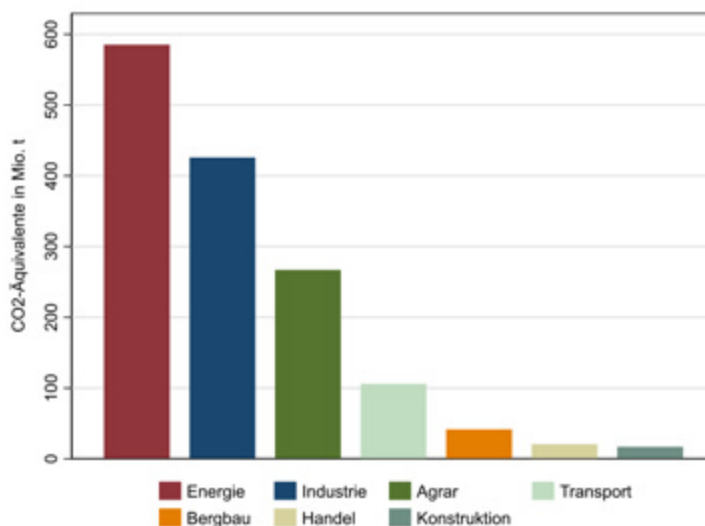
für insgesamt 16 europäische Länder und sieben relevante Wirtschaftssektoren untersucht. Die Stichprobe erfasst damit ca. 80 % der gesamten europäischen Treibhausgasemission zwischen 2012 und 2016.

## Große Einsparpotentiale im Energiesektor

Insgesamt ergeben die Analysen ein erhebliches Einsparpotential von rund 1,45 Mrd. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, was 47 % der durchschnittlichen Emissionen zwischen 2012 und 2016 entspricht. Somit kann eine Steigerung der produktiven Effizienz einen erheblichen Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen und zur Erreichung der Klimaziele leisten. Die Einsparpotentiale variieren allerdings stark zwischen den betrachteten Ländern und Sektoren, sodass künftige Emissionsreduktionsziele unbedingt länder- beziehungsweise sektorspezifisch angepasst sein sollten. Die absolut größten Emissions-einsparungen werden für den Energiesektor ermittelt und entsprechen rund 40 % der Gesamtemissionen des Sektors. Aber auch

im Industrie- und Agrarsektor ergeben die Analysen beträchtliche Einsparpotentiale von gut 50 % der Gesamtemissionen. Im Transportsektor hingegen betragen die ermittelten Einsparpotentiale nur knapp 30 % der Emissionen, was die sektorale Heterogenität in Bezug auf Treibhausgaseinsparung durch Effizienzverbesserung unterstreicht. Auf Länderebene sind die Einsparpotentiale häufig proportional zur Wirtschaftskraft. Zudem werden erhebliche Einsparpotentiale vor allem für Länder identifiziert, die im betrachteten Zeitraum einen großen Anteil an Kohle- und Erdgas im Energiemix aufweisen oder viel Viehwirtschaft betreiben.

Bei der Formulierung von Reduktionszielen sollten heterogene Industriestrukturen berücksichtigt werden, da die Größe der Einsparpotentiale zwischen den Wirtschaftssektoren stark variiert.



Kumulierte Einsparpotentiale nach Sektoren (Mittelwerte für 2012–2016) (eigene Darstellung).

### Aktuelle Emissionspreise bilden die tatsächlichen Vermeidungskosten von Emissionen nicht korrekt ab.

Bei der Abschätzung der Kosten für die Realisierung der identifizierten Einsparpotentiale fällt auf, dass die Vermeidungskosten deutlich über aktuellen Preisniveaus für Emissionen liegen. Die durchschnittlichen Kosten für die Sektoren Energie, Agrarwirtschaft, Industrie und Transport liegen bei über 500 €/Tonne CO<sub>2</sub>. Aber auch bei den Emissionsvermeidungskosten gibt es deutliche Unterschiede zwischen den betrachteten Ländern und Sektoren. So sind im Vergleich beispielsweise kostengünstige Reduktionen im Energie- und Agrarsektor möglich. Hier liegen die durchschnittlichen Kosten zwischen 127–148 €/Tonne CO<sub>2</sub>, was aber immer noch weit über

dem durchschnittlichen Preis für Emissionszertifikate des Europäischen Emissionshandelsystems im letzten Jahr liegt <sup>[2]</sup>.

### Effizienzsteigerungen können einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten, sind aber allein nicht ausreichend.

Weitergehende Analysen für eine größere Länderstichprobe, jedoch ohne die Berücksichtigung sektoraler Unterschiede, zeigen darüber hinaus, dass bei einer Trendfortschreibung bis 2050 das Niveau der effizienten Emissionen, d. h. die verbleibenden Emissionen nach Abzug der Einsparpotentiale, deutlich unter dem Niveau der tatsächlichen Emissionen liegt. Demnach könnten Effizienzsteigerungen rund 50 % der erforderlichen

derlichen Treibhausgasreduktionen bewirken. Dies impliziert allerdings auch, dass für eine Klimaneutralität und Netto-Null-Emissionen bis 2050 reine Effizienzverbesserungen nicht ausreichen und zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind.

Der Umfang der Realisierbarkeit der Einsparpotentiale sind jedoch mit großer Unsicherheit behaftet und der erforderliche Zeithorizont bis zur Realisierung lässt sich nicht aus den Analysen ableiten. Hier spielen die erst langfristig wirkenden und mit großer Unsicherheit behafteten Aspekte technologischer Neuerungen und deren Diffusion über Länder- und Sektorgrenzen hinweg eine bedeutsame Rolle. ◇

## Quellen

[1] Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01LA1822 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

[2] Jahresbericht 2021 Auktionierung (EU ETS), [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/versteigerung/2021/2021\\_Jahresbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/versteigerung/2021/2021_Jahresbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

Fait, L., Wetzel, H. (2022), The Value of Greenhouse Gas Emission Reduction in Europe, MAGKS Discussion Paper No. 21-2022.

Krüger, J., Tarach, M. (2022), Greenhouse Gas Emission Reduction Potentials in Europe by Sector: A Bootstrap-Based Nonparametric Efficiency Analysis, *Environmental and Resource Economics* 81, 867-898.

Fait, L., Krüger, J., Tarach, M., Wetzel, H. (2022), Trend Projections of Greenhouse Gas Emission Reduction Potentials: A Bootstrap-Based Nonparametric Efficiency Analysis, Available at SSRN: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4107819>

# Alle sind gefragt: **Hessische Energiewende jetzt!**

Kaya Kinkel (Sprecherin für Energie der Landtagsfraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN)

**Der Klimawandel und seine Folgen beschäftigen uns als Gesellschaft nun schon seit vielen Jahren und die Dringlichkeit, mit der wir die Klimakrise lösen müssen, steigt praktisch täglich. Maßnahmen, die den Ausstoß von Treibhausgasen effektiv reduzieren, sind gefragt und dringend nötig, doch vor Ort noch viel zu oft umstritten. Die wichtigsten Pfade zur Klimaneutralität sind die Energie- und Wärmewende. Der Beitrag, den Stromverbrauch und Heizleistung sowie der Verkehrssektor zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Hessen leisten, ist enorm. So kamen laut Monitoringbericht der Landesregierung zur Energiewende in Hessen 2022 92% der insgesamt 38 Mio. Tonnen der in Hessen emittierten CO<sub>2</sub>-Äquivalente aus der Bereitstellung von Energie.**

Windkraft, Photovoltaik (PV) und natürlich die beste Art der Energie – die, die gespart und daher gar nicht erst benötigt wird – sind die tragenden Säulen der hessischen Energiewende. In Hessen wurden bereits im Jahr 2011 im Rahmen des Hessischen Energiegipfels überparteilich die Ziele vereinbart, dass eine achtzigprozentige Energieversorgung aus erneuerbaren Energien in den Bereichen Strom und Wärme bis 2030 und eine einhundert-

prozentige bis zum Jahr 2050 erreicht werden sollen. Der russische Angriffskrieg auf die Ukraine hat uns schmerzhaft vor Augen geführt, wie hoch unsere Abhängigkeit von fossilen Energieträgern ist und wie sehr es nicht nur energiepolitisch, sondern auch sicherheitspolitisch notwendig ist, die erneuerbaren Energien in noch kürzerer Zeit auszubauen. Angesichts der an Dramatik zunehmenden Klimakrise haben wir zudem unsere Klimaziele



nachgeschärft: Das aktuell beratene Klimaschutzgesetz für Hessen sieht deshalb vor, dass wir bereits 2045 klimaneutral werden. Um bei der Energiewende auf Kurs zu kommen, benötigen wir mindestens 80% erneuerbare Energien bis 2030.

## Die drei Säulen der Energiewende in Hessen

Mangelnde Planungssicherheit war lange Jahre das Defizit der Energiewende. Neue Hürden wie die EEG-Ausschreibungsmodelle und das Ausbremsen der Photovoltaik hatten spürbare Auswirkungen auf die Dynamik des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Hessen. Auf Landesebene setzen wir daher auf produktive, kooperative Zusammenarbeit aller politischen Ebenen, auch mit den zuständigen Stellen im Bund, bei denen wir seit dem Regierungswechsel ein großes Engagement bei Energiewendethemen spüren. Der Zubau von Windkraftanlagen in Hessen erfolgt stetig und derzeit ist eine Leistung von 2.300 Megawatt installiert – gemeinsam mit den anderen erneuerbaren Energien liefern sie die Hälfte des in Hessen produzierten Stroms. Alle Erneuerbaren können damit theoretisch ca. 2,6 Mio. Haushalte mit Strom versorgen. Dennoch ist mehr Tempo beim Ausbau von innovativen Energiewende-Technologien – von der Windkraft über Photovoltaik bis hin zur Nutzung von grünem Wasserstoff – gefragt. Für bessere Planungssicherheit wurde in Hessen mit der Verwaltungsvorschrift Windkraft indes Klarheit für die Genehmigungsbehörden geschaffen, damit Genehmigungsprozesse für Windkraftprojekte klareren Grundlagen folgen und damit schneller genehmigt werden, um ihren Beitrag zur Energiewende leisten zu können – und zwar im Einklang mit dem Artenschutz. Denn Klima- und Artenschutz gehen Hand in Hand.

Weiterhin wurden in Hessen über die drei Regionalversammlungen knapp zwei Prozent der Landesfläche als Windvorrangflächen ausgewiesen. Entsprechende Projekte für windenergiesensible Arten sorgen zusätzlich für Einklang von Energiewende und Artenschutz. Darunter fallen ein forstwirtschaftlicher Nutzungsverzicht auf relevanten Flächen, zum Beispiel im Umfeld von wiederkehrend genutzten Schwarzstorchnistplätzen, Schutzzonen für betroffene Fledermausarten, Untersuchungen zum Lebensraum und Verhalten des Großen und Kleinen Abendseglers und weitere Maßnahmen. Für Schwarzstorch- und Rotmilan-Schutzzonen wurden in einem Gutachten ca. 80.000 Hektar als geeignet identifiziert, in denen bereits über 35 Horstschutzzonen errichtet wurden. Um den Zubau von neuen Anlagen sowohl für Bürger:innen, Projektierer und Kommunen so transparent wie

Die zweite tragende Säule der Energiewende ist die Photovoltaik, deswegen muss uns der flächendeckende Ausbau gelingen, insbesondere auf den bereits versiegelten Flächen, aber auch auf Freiflächen. Hier erwarten wir von der Bundesebene, dass Hürden für Anschaffung und Betrieb von Photovoltaik für die Endnutzer:innen abgebaut und die bundespolitischen Rahmenbedingungen stimmig ausgestaltet werden. Das jüngste Entbürokratisierungs- und Steuerentlastungspaket war hier ein wichtiger und richtiger Anfang. Photovoltaik ist längst keine experimentelle Technologie mehr. Aufgestellte Anlagen arbeiten häufig nicht nur wirtschaftlich, sondern werfen zum Teil auch beachtliche Renditen ab und der Ausbau der Photovoltaik boomt. Im ersten Halbjahr 2022 lag der Photovoltaik-Zubau in Hessen bei 189,8 Megawatt (MW). Zum Vergleich: Im ersten Halbjahr 2021 wurden 99,2 MW zu-



möglich zu gestalten, wird in Hessen Wert auf transparente Vergabe- und Genehmigungsprozesse gelegt. Zusätzliche Mitarbeiter:innen bringen in den Genehmigungsbehörden und bei Gerichten zukünftig mehr dringend benötigtes Tempo in den Ausbau.

gebaut. PV liegt also voll im Trend, deshalb gilt es, Interessierte mit allen Informationen zu versorgen, die sie brauchen, um sich den Wunsch nach eigenem Sonnenstrom erfüllen zu können. Das Solarkataster ist ein niedrigschwelliger Solar-Check für ganz Hessen,

bei dem auf den ersten Blick eine grundlegende Eignung von Dächern und Flächen für Photovoltaik festgestellt werden kann. Mit der Freiflächen-Solarordnung wurde zudem ermöglicht, dass in sogenannten „Benachteiligten Gebieten“ Photovoltaikanlagen auch abseits der Dächer errichtet werden können.

Die dritte Säule der Energiewende ist, Einsparpotenziale zu nutzen, damit abgebaute fossile Kapazitäten nicht 1:1 und mit großem Aufwand mit erneuerbaren Energien kompensiert werden müssen. Diese Potenziale sind riesig – sie zu aktivieren ist eine Kernaufgabe aller, die an der Energiewende arbeiten. Hier steht die LandesEnergieAgentur (LEA) interessierten Bürger:innen, Unternehmen und Kommunen mit Informationen, Beratungen und Förderangeboten zur Seite. Im Einklang mit Energieeinsparung ist auch die Wärmewende zu nennen, denn ein riesiger Teil unseres Energieverbrauchs entsteht beim Heizen. Um das Ziel der Wärmewende zu erreichen, sind zwei Faktoren von zentraler Bedeutung. Zunächst soll nach dem Grundsatz „efficiency first“ die Sanierungsquote im hessischen Bestand auf mindestens 2 % pro Jahr erhöht werden, um den Wärmebedarf zu senken. Energieeffizienz und Energieeinsparung sind der schlafende Riese der Energiewende. Der verbleibende Energiebedarf muss mit erneuerbaren Energien gedeckt werden. Die Möglichkeiten hierfür sind vielfältig und reichen von Wärmenetzen über Geothermie, Wärmepumpen, Solarthermie und in bestimmten Fällen auch Brennstoffzellenheizungen. Insbesondere durch die gestiegenen Heizkosten rückt die Wärmewende stärker in den öffentlichen Fokus und immer mehr Menschen machen sich Gedanken darüber, woher ihre Wärme kommt. Diese Situation müssen wir nutzen und durch Informationen, Beratung und Unterstützung

zu dezentraler und zentraler Wärmeversorgung die Wärmewende voranbringen.

Die Diskussion um Laufzeitverlängerungen von Atomkraftwerken darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass nukleare Energie weder Sparmaßnahmen ersetzen noch andere Herausforderungen in Energiefragen lösen kann. Atomkraft ist längst die teuerste Art der Stromerzeugung geworden. Über das letzte Jahrzehnt sind die Kosten für Atomstrom um 23 Prozent auf 128 EUR pro Megawattstunde gestiegen. Die Kosten für Strom aus erneuerbaren Energien sind hingegen stark gesunken: für Solarstrom um 88 Prozent auf 36 EUR pro Megawattstunde, für Windstrom um 69 Prozent auf 35 EUR. Darüber hinaus ist Atomkraft klimaschädlich und gefährlich, und nach wie vor ist die Endlagerfrage ungelöst. Atomenergie ist daher kein Bestandteil einer erneuerbaren Energieversorgung.

### **Scheindebatten vermeiden: Clean Energy anstatt Hochrisikotechnologie**

Damit die gewaltige Transformation im Energiesektor möglich wird, muss sich auch die Leitungsinfrastruktur entsprechend verändern. Der Ausstieg aus der Kohleverstromung und die deutschlandweite Umstellung auf eine dezentralere Stromproduktion durch bspw. Photovoltaik sowie On- und Offshore-Windkraft mit Schwerpunkten in windreichen Gebieten schafft einen insgesamt volatileren Strom, der von einem flexiblen und leistungsfähigen Stromnetz in die Bedarfsgebiete transportiert werden muss. Das Stromnetz der Zukunft muss also sowohl den zunehmend dezentral produzierten Strom aus erneuerbaren Energien effizient aufnehmen und verteilen als auch die dominanten Erzeugungsorte der erneuerbaren Energien im

Norden der Bundesrepublik Deutschland mit den industriellen Großverbrauchern im Süden verbinden können. Ein adäquater Netzausbau ist unabdingbar, wenn wir das Ziel der Energiewende erreichen wollen. Dabei muss klar sein, dass insbesondere neue Stromleitungen ein hohes Konfliktpotenzial vor Ort haben können. Hier gilt es, durch maximale Transparenz und Beteiligung einen Interessensausgleich zu schaffen, der zur Vermeidung von Konflikten führt. Es gilt, bei allen Projekten jeweils den konfliktärmsten Korridor auf Basis geeigneter einheitlich anzuwendender fachlicher und objektiver Kriterien zu ermitteln.

In Sachen Stromverbrauch ändert sich die Lage insbesondere im Rhein-Main-Gebiet stetig, denn es hat sich zu einem Hotspot für Rechenzentren entwickelt. Gemessen am täglichen Datendurchsatz gilt der DE-CIX – der Internetknoten Frankfurt – inzwischen als der größte Internetknotenpunkt der Welt. Hier gilt es den Blick auf den Stromverbrauch und die Klimawirkung von Datenzentren zu richten, denn die fortschreitende Digitalisierung ist für einen wachsenden Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Der wachsende Flächenverbrauch von Rechenzentren sowie der hohe Stromverbrauch für die Kühlung und der dadurch entstehende hohe CO<sub>2</sub>-Ausstoß sind Herausforderungen, die durch das Wachstum der Branche entstehen. Die Kühlung der Server benötigt dabei den meisten Strom und ist der Hauptkostentreiber für die Anbieter. Lösungen bietet die Nutzung der Abwärme in Form von Wärmenetzen. So kann die Effizienz und Klimabilanz von Rechenzentren verbessert werden – in Frankfurt ist das Potenzial enorm. Rein rechnerisch könnte – im Einklang mit energetischer Sanierung – allein die Abwärme der Rechenzentren die komplette Wärmeversorgung

Frankfurts übernehmen. Hier gilt es vor allem, technische und planerische Herausforderungen pragmatisch zu meistern – wie die Nutzbarmachung der von den Rechenzentren erzeugten Niedertemperatur-Abwärme. Weitere Ansatzpunkte sind u. a. die in Rechenzentren eingesetzte Hardware, IT-Management und die Wasserkühlung. Darüber hinaus können moderne, effizientere Kühlttechnologien eine Chance sein, um Energie einzusparen. Digitale Technologien und die Digitalbranche müssen, insbesondere in und um den DE-CIX, ihren Teil dazu beitragen, dass Deutschland und Hessen ihre Klimaziele erreichen. Dabei ist die passgenaue Unterstützung und klare Leitplanken durch die Politik wichtig, damit die rasante technische und wirtschaftliche Entwicklung der Branche im Einklang mit der Klimaneutralität erfolgt.

### Die Zeit drängt: Was wird jetzt wichtig für Energie- und Wärmewende?

Die erneuerbaren Energien sind und bleiben die beste Lösung für kommende energiepolitische Herausforderungen. Ein weiterer Schritt, um den Ausbau voranzubringen, ist das neue Hessische Energiegesetz. Es beinhaltet zahlreiche Maßnahmen, die die Energiewende in Hessen voranbringen sollen. Es enthält neben Maßnahmen wie eine Photovoltaik-Pflicht für Parkplätze ab 50 Stellplät-

zen auch die Verpflichtung, alle Dächer von Landesgebäuden mit Photovoltaik auszurüsten. Weiterhin ist die Wärmeplanung zukünftig für Kommunen ab 20.000 Einwohner:innen verpflichtend und die Energieversorger müssen einen Fahrplan zur Dekarbonisierung ihrer Wärmenetze vorlegen. Es reicht nicht, im Falle der Energiewende den Fokus einseitig auf die Stromverbräuche zu legen. Denn gerade in Zeiten von Gasknappheit müssen wir allen Menschen ermöglichen, die Wärmewende zu schaffen, damit die Verbraucher:innen in Hessen nicht weiter von instabilen Weltmarktpreisen der fossilen Energien abhängig sind. Auch die sogenannte „graue“ Energie, der Energieeinsatz bei Baumaßnahmen und der Herstellung von Baustoffen und Produkten, nimmt das neue Energiegesetz ins Visier und wird so Teil der Energiewende in Hessen. Nachdem die Bundesregierung sich für ihr eigenes Energiepaket Impulse aus Hessen geholt hatte, ist das novellierte Energiegesetz ein weiterer Beitrag dazu, dass in unserem Bundesland beste Bedingungen für die Erneuerbaren herrschen.

Die Krise unseres auf den fossilen Energiequellen basierenden Energiesystems gibt uns Hausaufgaben auf. Wir müssen die schnelle Trans-

formation im Energiesektor schaffen und dürfen dabei aus wirtschaftlicher, sozialer und aus ökologischer Sicht niemanden zurücklassen.

Klimawandel und Gas-Knappheit aufgrund des russischen Angriffskrieges auf die Ukraine haben die Dringlichkeit der geschilderten Maßnahmen weiter erhöht. Der richtige Zeitpunkt, um neue Maßnahmen zu ergreifen, ist deswegen: Jetzt sofort! Ein wichtiger Faktor dafür sind die richtigen politischen Rahmenbedingungen. In Hessen arbeiten wir kontinuierlich an der Verbesserung dieser Rahmenbedingungen – das muss auch im Bund weiterhin passieren, um das volle Potenzial der Erneuerbaren zu wecken. Die Krise unseres auf den fossilen Energien basierenden Energiesystems gibt uns Hausaufgaben auf. Wir müssen die schnelle Transformation im Energiesektor schaffen und dürfen dabei aus wirtschaftlicher, sozialer und aus ökologischer Sicht niemanden zurücklassen. ◇

### Quellen

[1] Bundesverband Musterspiele: <https://www.bv-musterspiele.de>

[2] Umweltbundesamt SP: <https://www.umweltbundesamt-sp.de>

[3] APTV: <https://www.aptv.loipsum.de>

# Die Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke (IEEKN) – eine Bundesinitiative und ihre Aktivitäten in Hessen

Meltem Akan und Stephanie Ley (LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH)

**Unternehmen tragen einen großen Teil zum Gelingen der Energie- und Wärmewende bei. Viele Unternehmen stehen dabei vor ähnlichen Herausforderungen. Die Zusammenarbeit in einem Netzwerk bietet ihnen deshalb viele Vorteile. Gemeinsam können sie Energie und CO<sub>2</sub> einsparen und von den gegenseitigen Erfahrungen lernen. In Hessen koordiniert die LandesEnergieAgentur Hessen (LEA Hessen) die Netzwerke und ist dabei insbesondere Ansprechpartner für die Netzwerkträgerinnen und -träger.**

## Was ist ein Energieeffizienz- und Klimaschutznetzwerk?

Die Idee der Netzwerke ist einfach: Unternehmen gehen in den gezielten Austausch zur Steigerung der Energieeffizienz und Einsparung von Treibhausgasemissionen – und erhalten so praxistaugliche Maßnahmen, um den eigenen Betrieb voranzubringen. Ziel der Netzwerke ist eine dauerhafte Steigerung der Energieeffizienz der Unternehmen und eine spürbare Senkung der Energiekosten und der Umwelteffekte.

Ein Netzwerk besteht meist aus 8 bis 15, mindestens jedoch aus fünf Unternehmen oder Unternehmensstandorten und läuft in der Regel über zwei bis drei Jahre. Währenddessen gibt es mehrere Netzwerktreffen pro Jahr.

Sowohl Branchen-Netzwerke als auch branchenübergreifende Netzwerke sind in Hessen im Bereich Energieeffizienz und Klimaschutz aktiv – und das ist gut so. In energieintensiven Branchen macht ein Branchen-Netzwerk durchaus Sinn. Gleichzeitig zeigt die Erfahrung, dass Einsparpotenziale und Lerneffekte gerade zwischen Unternehmen entstehen, die branchenfremd sind. Denn Gemeinsamkeiten lassen sich nahezu immer finden und für gute Lösungen hilft oft der Blick über den Tellerrand.

## Die Vorteile eines Netzwerks

Die Unternehmen profitieren von der Teilnahme an einem Netzwerk auf mehreren Ebenen:

- qualifizierte Energieberatung
- systematischer, zielgerichteter und unbürokratischer Erfahrung- und Ideenaustausch
- Vernetzung mit Akteurinnen und Akteuren aus Politik und Wirtschaft vor Ort
- professionelle Unterstützung bei der Beantragung von Fördermitteln

.....

**Die Zusammenarbeit in diesen Netzwerken führt zu deutlichen Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen, einer Steigerung der Energieeffizienz und einer höheren Wettbewerbsfähigkeit.**

.....

## Koordination der Netzwerke

Koordiniert werden die einzelnen Netzwerke über sogenannte Netzwerktägerinnen und -träger. Das können Städte und Gemeinden sein, aber auch Organisationen oder Verbände wie etwa Industrie- und Handelskammern.

Der Wunsch, sich in einem Netzwerk zu Energieeffizienz und Klimaschutz auszutauschen, kommt von allen Akteurinnen und Akteuren. Für das Initiieren (d. h. die Akquise von Mitgliedern) ist die Trägerorganisation zuständig. Auch ein Unternehmen kann sich dazu entscheiden, Träger eines Netzwerks zu werden. Nach der Gründung eines Netzwerks findet zunächst eine Potenzialerhebung durch Energieberatende statt. Anschließend werden (unverbindliche) Einsparziele definiert und die anonymisierten Ergebnisse des gesamten Netzwerks immer wieder gemessen und diskutiert.

## Netzwerke in Hessen

Seit Beginn der Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke (IEEKN) 2014 haben sich in Hessen Unternehmen zu mehr als 20 Netzwerken zusammengetan. Aktuell sind sechs Netzwerke in Hessen aktiv und eins befindet sich in Gründung. Alleine seit letztem Jahr haben die hessischen Netzwerke insgesamt 161.773 t CO<sub>2</sub>äqui/a eingespart. Im Durchschnitt sind das 32.345 t CO<sub>2</sub>äqui/a pro Netzwerk.

## Quellen

[1] LandesEnergieAgentur Hessen: <https://www.lea-hessen.de/unternehmen/energieeffizienz-und-klimaschutz-netzwerke-kennenlernen/>

[2] Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke (IEEKN): <https://www.oeffizienznetzwerke.org/>



### 3 Fragen an Meltem Akan, Projektmanagerin bei der LEA Hessen für die IEEKN

#### Welche Rolle spielt die LEA Hessen für die Energieeffizienz- und Klimaschutznetzwerke?

Wir als LEA Hessen sind die regionale Koordinationsstelle für das Land Hessen. Wir bündeln und koordinieren die regionalen Aktivitäten und stehen für Fragen zur Verfügung. Die Netzwerkträger und -trägerinnen unterstützen wir in ihrer Arbeit und sorgen für Austausch zwischen den verschiedenen (Netzwerk-)Akteuren und Akteurinnen. Auf Bundesebene betreut die Geschäftsstelle der Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutznetzwerke (IEEKN) die Netzwerkarbeit.

#### Wie sieht das in der Praxis aus?

Das Netzwerk wird zunächst bei der bundesweiten Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutznetzwerke angemeldet. Dabei kann die LEA Hessen bereits unterstützen. Nach der Anmeldung wird der Netzwerkträger oder die -trägerin auf regionaler Ebene von der LEA Hessen betreut. Wir stehen dabei nicht nur für Fragen zur Verfügung, sondern unterstützen auch bei Netzwerktreffen – etwa mit Vorträgen. Weiter bringen wir auf eigenen Veranstaltungen alle hessischen Netzwerkträger und -trägerinnen zusammen. Denn nicht nur die Mitgliedsunternehmen einzelner Netzwerke möchten voneinander lernen, auch die Träger und Trägerinnen der Netzwerke profitieren vom Austausch mit anderen.

#### Welche positiven Aspekte kannst du bei der Netzwerkarbeit beobachten?

Zu erleben, wie sich verschiedene Organisationen zu einem Netzwerk zusammenschließen, um gemeinsam an mehr Nachhaltigkeit zu arbeiten, ist inspirierend. Es macht große Freude zu beobachten, wie viel Know-how sich über die Zusammenarbeit bildet und wie branchenübergreifende Synergien entstehen. ◇



Meltem Akan, Projektmanagerin bei der LEA Hessen





# Heute Flexibilität für morgen schaffen – wirtschaftlich und zukunftssicher

Dr.-Ing. Thomas Walter (Easy Smart Grid GmbH)

**Energieflexibilität ist für die Energiewende ebenso wichtig wie Investitionen in erneuerbare Stromerzeugung. Auch wenn der Ausbau Erneuerbarer noch lange nicht abgeschlossen ist, müssen wir jetzt beginnen, an der Flexibilisierung des Energiesystems zu arbeiten. Die Umstellung von Wärme und Mobilität auf Strom aus Sonne und Wind bietet eine gewaltige Chance, Flexibilität zu geringen Kosten bereitzustellen und die Abhängigkeit von Gas auch im Stromsektor zu reduzieren. Intelligente Lösungen für deren Nutzung bieten schon heute Mehrwert, mit dem Entwickler und Betreiber von Liegenschaften für Wohnen, Gewerbe und Industrie Investitionen kurzfristig rentabel und zukunftssicher gestalten können.**

## Energetische Flexibilität kann einfach und kostengünstig sein

Im historisch gewachsenen Energiesystem liefern Kraftwerke nicht nur Energie, sondern auch die Flexibilität, um Erzeugung und Verbrauch stets im Gleichgewicht zu halten: Erzeugung passt sich dem Verbrauch an, was bei fossil – also mit chemisch gespeicherter Energie – befeuerten Kraftwerken recht einfach ist. Bald jedoch sollen Sonne und Wind die Basis der Energieversorgung sicherstellen, die sich nicht nach dem aktuellen Energieverbrauch richten können. Deshalb bedarf es anderer Flexibilitäten, um jederzeit Angebot und Nachfrage aufeinander abzustimmen. Bisher dachte man dabei neben Gaskraftwerken vor allem an elektrische Speicher, also Batterien oder Kombinationen von Elektrolyseuren mit Brennstoffzellen bzw. BHKW. Tatsächlich kann jedoch Flexibilität auch mit einfacher Lastverschiebung bereitgestellt werden – und dazu noch mit sehr viel geringeren Investitionen, Betriebskosten und Verlusten: Nutzt ein elektrischer Verbraucher (ob Wärmepumpe, Ladepunkt eines E-Autos oder Waschmaschine) Energie nicht im Zeitraum A, sondern B, ist der Effekt aus Netzsicht so, als hätte man eine virtuelle Batterie installiert, die im Zeitraum A einspeist und im Zeitraum B geladen wird.

.....

**Der richtige Zeitpunkt, um mehr Flexibilität für das Energiesystem zu schaffen, ist jetzt!**

.....

## Sektorkopplung aktiv als Flexibilitätsquelle gestalten

Gerade beginnt die Umstellung bei der Wärmeversorgung von Erdgas auf Wärmepumpen und bei der Mobilität von Verbrennern auf Elektrofahrzeuge. Beide elektrifizierte Sektoren können dann große virtuelle Speicher für das Stromsystem bereitstellen, die einen Bruchteil der Kosten verursachen, die Batterien benötigen würden. Dazu müssen jedoch einige Randbedingungen frühzeitig beachtet werden: Ein größerer Warmwasserspeicher vergrößert die Kapazität einer virtuellen Batterie und kann damit Energie über längere Zeiträume verschieben, also einen höheren Beitrag für das Energiesystem leisten. Bei Neubau oder Sanierung kann ein größerer Warmwasserspeicher kostengünstig eingebaut werden, in den nächsten Jahrzehnten des Betriebs würde man ihn dagegen kaum austauschen. Ähnliche Überlegungen sind zum flexiblen Laden von Elektrofahrzeugen sinnvoll: Damit sie flexibel geladen werden können, sollten sie längere Zeit stehen, wenn reichlich Erneuerbare produziert werden. In einem PV-geprägten Umfeld ist das tagsüber und daher eher am Arbeitsplatz als zu Hause. Solche Maßnahmen erhöhen den Mehrwert von Flexibilität auf der Verbrauchsseite. Wenn es zudem noch gelingt, die Verbrauchsmuster lokal besser an die Erzeugung anzupassen, wird zudem weniger Netzausbau benötigt. Mit all diesen Maßnahmen sollte sofort begonnen werden, damit sie morgen wirksam sein werden. Man muss mit Energieflexibilität also nicht warten, bis die Rückspeisung vom Auto ins Netz (V2G) und drastische Preissenkungen bei Batterien verfügbar werden oder regenerative Erzeugung so stark ausgebaut sein wird, dass die so erzeugten Überschüsse groß genug sind, dass sie sinnvoll in Wasserstoff und E-Fuels umgewandelt werden können.

## Flexibilitätspotenziale intelligenter heben

Damit wir fossile Energieträger auch in ihrer Rolle als Flexibilitätsquellen ersetzen können, müssen die aufgezeigten Alternativen auch intelligent genutzt werden, also wertschöpfend für ihre Besitzer und gleichzeitig systemdienlich integriert werden. Traditionelle Methoden wie Fernsteuerung durch die Netzleitzentrale oder einen Aggregator wurden hierfür nicht entwickelt und versagen angesichts der großen Zahl und der Kleinteiligkeit der Flexibilitätsquellen. Die oft vorgeschlagene Nutzung von Börsenpreisen erzeugt Netzengpässe im Verteilnetz sowie Instabilität durch Gleichzeitigkeitseffekte bei der automatisierten Reaktion darauf. Zunehmend setzt sich daher die Erkenntnis durch, dass nur dynamische Stromtarife geeignet sind, die vielen verschiedenen Kunden gehörende Flexibilität zu heben und zu koordinieren. Wichtig ist hierbei vor allem das Wort „dynamisch“: Es bedeutet zum einen, dass der Preis auf die tatsächliche Netzsituation reagiert (vorab verhandelte Börsenpreise tun das nicht). Zudem muss er die Dynamik des Energiesystems reflektieren, wofür Börsenpreise mit 15 Minuten viel zu lange gültig sind. Zwei besonders wichtige Vorteile dynamischer Preiskomponenten seien hier genannt: Sie sorgen automatisch für die Nutzung der kostengünstigsten Flexibilitätsquellen und deren faire wie transparente Vergütung und sie vermeiden Haftungsfragen, die auftreten können, wenn Externe steuernd in Prozesse anderer eingreifen (meine Autobatterie ist schneller gealtert, weil der Aggregator/Netzbetreiber sie falsch geladen hat) und damit die Bereitschaft schmälern, Flexibilität überhaupt bereitzustellen. Wenn schon der Autohersteller smartes, preisbasiertes Laden implementiert hat, kann er auch für Qualität und Haltbarkeit

seines Produktes eintreten. (Eine detaillierte Diskussion dazu in „Zum effizienten Marketdesign für Energiesysteme mit dominierender erneuerbarer Erzeugung“ in den Energie-wirtschaftlichen Tagesfragen <sup>[1]</sup>).

## Flexibilitäten effizient nutzen

Wenn dynamische Preise eine intelligente Methode sind, Flexibilität zu heben – wozu kann diese dann effizient genutzt werden? Dynamische Arbeitspreise sind geeignet, flexible Lasten dazu zu veranlassen, ihren Verbrauch hin zu Zeiten zu verschieben, bei denen großer (erneuerbarer) Erzeugung nur geringer Verbrauch gegenübersteht. Das ermöglicht, mehr Strom aus Sonne und Wind zu nutzen. Dynamische Netzentgelte können dagegen helfen, Netzbetriebsmittel wie Leitungen oder Transformatoren zu entlasten, und helfen so Netzbetreibern, ihre Infrastruktur effizienter zu nutzen. In beiden Fällen wird systemdienliches Verhalten belohnt und beide lassen sich auch kombinieren. Damit ist es möglich, dass gleichzeitig Netznutzer mit Flexibilität Geld verdienen, im Energiesystem mehr Erneuerbare genutzt werden können und der Netzausbaubedarf verringert wird.

## Mehrwerte für das Energiesystem, die Kunden und das Klima schaffen. Aber bitte gleichzeitig!

Die europäische Gesetzgebung hat mit dem „Clean Energy“-Paket bereits die Voraussetzungen zur Einführung dynamischer Endkunderstarife geschaffen. Auch nach § 14c EnWG sollen Netzbetreiber Flexibilität mit Marktmethode beschaffen. Natürlich braucht es Zeit, bis bisher weithin unbekannt dynamische Tarife umfassend verfügbar sein werden. Damit aber heute schon die Voraussetzungen zur Bedienung zukünftigen Flexibilitätsbedarfs geschaffen werden, ist es hilfreich, wenn sich schon heute damit Mehrwert erzeugen lässt. Das ist möglich, wenn sie Eigenverbrauch lokal erzeugten Stroms in Wohnimmobilien oder Gewerbearealen steigern und/oder Spitzenlasten senken. Mit einer neuen Technologie von Easy Smart Grid können dazu dynamische Preissignale auch lokal erzeugt werden und eine automatisierte Lastverschiebung auslösen. Mehrwert entsteht dabei durch flexible Reaktionen von Lasten oder Erzeugungsanlagen, eine Abrechnung dynamischer Tarife ist nicht unbedingt notwendig. Es handelt sich dann um eine neue Form der Automatisierung nach

dem Schwarmprinzip, die bei Vorhandensein vieler kleiner Flexibilitäten vorteilhaft ist. So kann man schon heute Flexibilitäten schaffen und etwaige Mehrkosten über den erzielten Mehrwert refinanzieren. Sobald externe dynamische Preissignale verfügbar sein werden, weil diese auf Verteil- oder Übertragungsnetzebene eingeführt werden oder Nachbarn sich zu größeren Energiegemeinschaften zusammenschließen, werden die flexiblen Anlagen einfach auf diese Preissignale umgestellt und reagieren dann zum Nutzen einer größeren Einheit.

## Gute Ansätze aufgreifen und weiterentwickeln

Damit Investitionen werthaltig bleiben, sollte man bei Entscheidungen darüber die absehbaren Entwicklungen des Umfeldes berücksichtigen. Energieflexibilität ist bei den zunehmenden und auch kurzfristigeren Preisschwankungen von Energie eine Option, die man nicht bereuen wird, weil ihr Wert wächst. Easy Smart Grid hat gemeinsam mit Partnern im klimafreundlich entwickelten Wohnquartier SoLAR Allensbach gezeigt, wie energetische Flexibilität aus Wärmepumpen und BHKW, smartem Laden von E-Fahrzeugen und der Verschiebung des Betriebszeitraums von Hausgeräten im Wohnumfeld wirtschaftlich bereitgestellt, geerntet und betrieben werden kann <sup>[2]</sup>. Das Foto rechts zeigt die inzwischen bezogene Siedlung im Bau. Die internationale Renewables Grid Initiative großer Netzbetreiber und Umweltorganisationen hat dieses Projekt mit ihrem „Good Practice Award of the Year 2021“ ausgezeichnet, weil es durch Nutzung systemdienlicher dynamischer Energiepreissignale die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern reduzieren, Stromkosten senken und Netzentlastung erreichen kann <sup>[3]</sup>. Easy Smart Grid freut sich darauf, die dort gemachten Er-







fahrungen an Unternehmen weiterzugeben, die aktiv die Energiewende vorantreiben und wirtschaftliche attraktive Projekte umsetzen wollen, die das Wohnen und Arbeiten energetisch grüner, kostengünstiger und resilienter machen. Besonders wertvoll für die Energiewende wäre das, wenn dabei auch Windenergie, Kälteanwendungen, Industrieprozesse und Flexibilität, z. B. aus der Was-

serinfrastruktur, einbezogen und damit das Portfolio der bei SoLAR Allensbach genutzten Komponenten erweitern würden.

Der Autor möchte sich herzlich bei allen bedanken, die SoLAR Allensbach und den Good Practice Award 2021 möglich gemacht haben. ◇

*Drohnenfoto „SoLAR Allensbach“ März 2021*  
© Easy Smart Grid GmbH

## Quellen

- [1] „Zum effizienten Marktdesign für Energiesysteme mit dominierender erneuerbarer Erzeugung“. Thomas Walter in „Energiewirtschaftliche Tagesfragen“, Ausgabe 04/2022. <https://www.energie.de/et/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/zum-effizienten-marktdesign-fuer-energiesysteme-mit-dominierender-erneuerbarer-erzeugung>
- [2] Projektseite „SoLAR Allensbach“: <https://solarlago.de/solar-allensbach/>
- [3] Broschüre „Good Practice Award of the Year 2021“ der Renewables Grid Initiative [https://renewables-grid.eu/fileadmin/user\\_upload/RGI\\_Award-2021\\_web\\_compressed.pdf](https://renewables-grid.eu/fileadmin/user_upload/RGI_Award-2021_web_compressed.pdf)





# Wasserstoff: Zertifikate werden zum Erfolgsfaktor

Marcus Bahr (TÜV Hessen)

**Versorgungssicherheit ist ein menschliches Grundbedürfnis. Die Auswirkungen des Krieges in der Ukraine sorgen für Unsicherheit, vor allem im Bereich der Energieversorgung. Doch wie kann ein hoch explosives Gas wie Wasserstoff die Versorgungssicherheit zuverlässig absichern?**

In der Energiepolitik ist die Versorgungssicherheit die zentrale Aufgabe. Mit dem Angriffskrieg der russischen Regierung in der Ukraine hat sich die Bedeutung dieser Aufgabe auf dramatische Weise gezeigt. Speziell die Abhängigkeit Deutschlands vom Energieträger Erdgas wurde deutlich, denn zu Kriegsbeginn kamen etwa 55 Prozent des in Deutschland genutzten Erdgases aus Russland. Das spielte vor allem bei der Wärmeversorgung und der Stromerzeugung eine wichtige Rolle und deckte etwa 27 Prozent des Primärenergieverbrauchs ab.

Mit dem Angriffskrieg beschleunigte sich abermals der Wandel der Energiewirtschaft. Nicht erst seit den rasant sichtbar werdenden Folgen der Klimakrise steht die Branche vor der Herausforderung, sich von fossilen Energieträgern und unsicheren Exportstaaten zu verabschieden. Der Ausbau der erneuerbaren Energien vermindert zwar klimaschädliche Emissionen – doch der Ertrag aus Sonnen- und Windkraft schwankt noch zu stark, um die Versorgungssicherheit dauerhaft zu gewährleisten.

## Nachhaltiger Baustein der Energiewende

Bei der Suche nach alternativen Energiequellen kann Wasserstoff eine wichtige Lösung sein – und zu einem bedeutenden Energieträger der Zukunft werden. Experten erwarten, dass das Gas zum zentralen Baustein der erfolgreichen Energiewende avancieren wird. Auch vor dem russischen Angriffskrieg war geplant, Erdgas mittelfristig mit dem Energieträger Wasserstoff zu ersetzen, etwa in herstellenden Industriebetrieben oder bei der Stromproduktion in Kraftwerken. Damit stünde das vielseitige Element nicht nur im Periodensystem, sondern auch bei der Energiewende an erster Stelle.

### Grüner Wasserstoff gilt als zentraler Baustein einer erfolgreichen Energiewende

Ein Vorteil bei Einsatz von Wasserstoff ist die bereits bestehende und weitverzweigte Gasinfrastruktur. Ein einziger Energieträger kann somit die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr versorgen. Im Fall von Wasserstoff wird gleichzeitig ein nachhaltiges und integriertes Energiesystem etabliert. Mit einigen Anpassungen kann der Energieträger zudem in Privathaushalte und auch an Industriestandorte geliefert werden. Vor diesem Hintergrund ist es mehr als nachvollziehbar, dass Wasserstoff als Schlüsseltechnologie auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft gilt.

Entscheidend für den Weg zur Klimaneutralität ist der grüne Wasserstoff. Bei der Elektrolyse wird Wasser in die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Der zur Erzeugung verwendete Strom wird ausschließlich

aus regenerativen Energiequellen gewonnen. Auch die Endprodukte Wasserstoff und Sauerstoff schaden dem Klima nicht, weshalb grüner Wasserstoff klimaneutral ist. Nach der Elektrolyse kann der Energieträger direkt am Produktionsstandort genutzt – oder über umgerüstete Pipelines zu den Verbrauchern transportiert werden. Experten schätzen, dass in Deutschland bis 2030 rund 5.100 km Leitungen den Energieträger befördern können.

### Zuverlässige Nachweise nachhaltiger Energie

Die Wasserstoffstrategie der Europäischen Union sieht vor, dass bis 2024 eine Elektrolysekapazität von 6 Gigawatt aufgebaut werden soll. Das Ergebnis ist die Produktion von bis zu 1 Million Tonnen grünem Wasserstoff, zunächst hauptsächlich für industrielle Zwecke. Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, legt die EU-Strategie die Messlatte sukzessive höher. Schon 2030 soll die Elektrolyseleistung auf mindestens 40 Gigawatt ansteigen und mehr als 10 Millionen Tonnen erneuerbaren Wasserstoff produzieren. Große Abnehmer für den klimaneutralen Energieträger finden sich in der Chemiebranche. Dort könnten zahlreiche Produktionsprozesse unverändert weiterlaufen.

Doch woher wissen private und gewerbliche Verbraucher, dass der verwendete Wasserstoff wirklich grün ist? Erst zuverlässige Nachweise von seriösen Prüfunternehmen können Gewissheit geben. Ein transparenter Zertifizierungsprozess ist darüber hinaus eine Voraussetzung für den Handel mit erneuerbarem Wasserstoff und die Etablierung eines globalen Markts. Der Wert zu einem harmonisierten und weltweit gültigen System ist allerdings weit. Unterschiedliche Interessen

der Produktionsländer von grünem Wasserstoff stehen einem global harmonisierten System bisher im Weg.

Für Unternehmen, die ihre saubere Herstellung nachweisen wollen, entsteht ein Dilemma. Denn ohne einheitliche Standards lassen sich regionale Nachweise nicht vergleichen. Die Lösung sind freiwillige Zertifizierungssysteme auf der Basis von transparenten Kriterien. Damit wird der erzeugte Wasserstoff eindeutig beschrieben, identifizierbaren und quantifizierbaren Quellen zugeordnet – und Unternehmen können sich bereits heute im internationalen Wasserstoffmarkt positionieren. Gesetzliche Anforderungen werden mit der Zeit folgen. ◊

# Memory-Stahl-Verbinder für Carbonbeton

Professor Dr.-Ing. Mazen Ayoubi (Fb1, Frankfurt University of Applied Sciences)

**Carbonbeton rückt aufgrund der nachhaltigen, ressourcenschonenden und materialsparenden Eigenschaften als zukunftsweisende Alternative zum Stahlbeton immer stärker in den Fokus der Baubranche. Neuartige Verbindungselemente für dünnwandige Carbonbetonbauteile wurden auf Basis von Memory-Stahl (Formgedächtnislegierungen [FGL]) entwickelt und als stabile, kraftschlüssige und linienförmige Verbindung für großformatige Fassadenelemente eingesetzt. Im Rahmen des Forschungsprojektes TAVIMBA (Thermisch aktivierte Verbindungselemente im modularen Bauen) wurden die Befestigung und Verbindung von Konstruktionen aus Carbonbeton innovativ eingesetzt.**

## Dünnwandige Betonelemente

Neue Bewehrungsarten wie Carbon benötigen weniger Betondeckung und können daher zur Konstruktion filigraner Strukturen mit weniger Materialvolumen eingesetzt werden. Die Krafteinleitung und Verankerung in der Betonmatrix für solche filigranen Strukturen hemmen die Etablierung, da der Lasteinleitungsbereich bei solchen Verbindungselementen jedoch große Geometrien voraussetzt. Darüber hinaus ergeben sich aus den notwendigen Randbedingungen der Montage weitere Mindestabmessungen oder Hürden für den effizienten Einsatz der dünnwandigen Bauelemente, wie sie mit den Bauelementen aus Carbonbeton realisiert werden können. Der Einsatz von neuartigen Memory-Stahl-Verbindern auf Basis von Formgedächtnislegierungen strebt an, die Lasteinleitung ohne lokale Vergrößerung des Betonvolumens

sicherzustellen, den Montageaufwand hinter den dünnwandigen Elementen zu minimieren, die Anzahl der Verbindungselemente zu verringern und dabei die Flexibilität für eine Justage auf der Baustelle zu erhalten sowie einen Beitrag zur Nachhaltigkeit im Bauwesen zu leisten.

## Memory-Stahl

Memory-Stahl, bestehend aus Formgedächtnislegierungen, zeichnet sich durch die Eigenschaft aus, mittels thermischer Energiezuführung selbstständig vorherige Formen einnehmen zu können. Im Rahmen des Forschungsprojektes TAVIMBA wurde eine Legierung verwendet, welche nach mechanischer Verformung im martensitischen Zustand (bei Raumtemperatur) durch thermische Aktivierung die ursprüngliche Gestalt wieder annimmt, die das Bauteil vor dem Umformprozess

besessen hat. Dieser Einwegeffekt eignet sich für Verbindungselemente wie zum Beispiel Schrumpfhülsen<sup>[1,2]</sup>. Wird die eingesetzte Formgedächtnislegierung auf Eisenbasis (Fe-28Mn-6Si-5Cr) bei niedrigen Temperaturen verformt, so bilden sich Versetzungen in der martensitischen Phase aus, wobei große Wege zurückgelegt werden können, ohne dass atomare Nachbarschaftsverhältnisse verloren gehen. Wird das Material anschließend erwärmt, so bewegen sich die positiv geladenen Atomrümpfe in Richtung ihres früheren Nachbarn zurück. Je nach Legierung kann dieser Effekt mehrere Prozent der Ausgangslänge betragen<sup>[2,3]</sup>.

**Wir brauchen im gesamten Bauwesen einen Paradigmenwechsel, um die Baustoffe nachhaltig einzusetzen und effizienter zu verwenden. Innovationen sind Treiber des Wandels!**

## Verbinder

Zur Erprobung der im Rahmen des Forschungsprojekts TAVIMBA (Thermisch aktivierte Verbindungselemente im modularen Bauen) entwickelten Verbindungselemente wurden die vorgehängten Carbonbetonfassadenplatten gewählt. Solch dünnwandige Platten mit einer Dicke von 30 mm werden über den Verbinder aus der Formgedächtnislegierung mit der tragenden Außenwand kraftschlüssig verbunden. Die Kraftübertragung zwischen der Fassadenplatte und dem Verbindungsstift erfolgt über modifizierte JORDAHL-Montageschienen, welche kraftschlüssig mit dem Beton mittels eines für dünne Bauteile entwickelten Verankerungssystems verbunden sind. Nach dem Umformprozess (Bild 1, a) wird der nicht aktivierte Stift in die Schiene eingeführt (b). Anschließend erfolgt die Aktivierung des Formgedächtnislegierungsverbinders durch eine externe Stromzufuhr an ein innenliegendes Heizelement. Die Temperaturerhöhung des Verbinders führt dann zur Akti-

vierung der Formgedächtnislegierung und zur kraftschlüssigen Verbindung zwischen Verbindungsstift und Schiene infolge einer Längsausdehnung der Stifte aus der Formgedächtnislegierung (c)<sup>[3]</sup>.

## Prototypen

Mit verschiedenen physikalischen Befestigungsprinzipien wurden verschiedene Prototypen hergestellt und anschließend getestet. Auf Grundlage der Ergebnisse wurde im Anschluss der Fokus auf eine Vorzugsvariante gelegt. Parallel zu den experimentellen Versuchsergebnissen wurden Simulationsmodelle erstellt, um mechanische Wirkungsweisen visuell abzubilden und gezielt optimieren zu können. Die Ausgangslage für die nachfolgend beispielhaft aufgezeigten Optimierungsschritte bildeten Auszugsversuche (s. Bild 2)<sup>[3]</sup>.

Die ersten Ergebnisse der numerischen Simulation zeigten eine unvollständige Ausnutzung der Funktionsfläche in der Höhe.



Bild 1: Umform- und Aktivierungsprozess mit a) Stauchen, b) Einsetzen, c) Aktivieren und Erzeugen der Klemmkraft, © PohlCon GmbH



Bild 2: Auszugsversuche unter Laborbedingungen, © PohlCon GmbH



Aufgrund der Dehnung gegen die Schenkel der eingesetzten Schiene biegen sich diese V-förmig auf und machen somit nur den unteren Teil der Funktionsfläche für die Verbindung nutzbar (s. Bild 3). Diese Erkenntnis initiierte eine neue Konzipierung der Kontaktfläche mit geringerer Höhe. Mit einem Optimierungsschritt konnten so 30 % Material eingespart werden, ohne die Wirkung der Verbindungsstifte deutlich zu beeinflussen. Das eingesparte Material wurde in eine Verlängerung der Probe investiert, um mit gleichem Einsatz mehr Schubspannung aufnehmen zu können und damit mehr Sicherheit für das Befestigen der Fassadenplatten zu generieren [3].

### Innovation braucht Mut. Agile Innovationsmethoden ermöglichen Ressourcen

### zu sparen, Material und Kosten durch Optimierungs- prozesse zu sparen!

### Feldversuche/ Demonstratoren

Die unter Laborbedingungen erhaltenen Erkenntnisse wurden in diversen Feldversuchen eingesetzt, um gezielte Aussagen für den Einsatz unter Realbedingungen treffen zu können. Ein beispielhafter Versuchsaufbau bildet die neuen Parameter der Memory-Stahl-Verbinder vollständig ab (s. Bild 4) und demonstriert die praktische Umsetzbarkeit des neuentwickelten Verbindungskonzeptes für sehr dünne Fassadenplatten. Jede Seite dieses Aufbaus repräsentiert dabei verschiedene Anwendungen im Fassadenbau. Eine Seite hält neun kleine Fassaden-

platten (1,2 m x 0,9 m x 0,03 m). Diese Anordnung der Platten stellt die Justierbarkeit des Gesamtkonzeptes auf die Probe. Durch die Möglichkeit der Verschiebung der eingesetzten Verblenderkonsole<sup>[5]</sup>, als Bindeglied zwischen Rahmen und Fassadenplatte, um mehrere cm in drei Raumrichtungen lassen sich die Fassadenplatten im Verhältnis zu umliegenden gut ausrichten. Besonders die Verwendung der kompakten Bauform der Verblenderkonsole bringt weitere Vorteile für das Gesamtkonzept im Vergleich zu konventionellen Fassadenbefestigungssystemen, statt das Einsetzen innenliegender Fassadenplatten, ohne umliegende demontieren zu müssen [3]. Die zweite Seite des praktischen Versuchsaufbaus trägt eine große Fassadenplatte (2,4 m x 2,4 m x 0,03 m), welche mit nur vier Verbindern aus Memory-Stahl gehalten wird. Diese große stockwerkübergreifende Fassadenplatte gibt den Lastfall vor, welcher auf die neun kleinen Fassadenplatten übertragen wurde.

Die Aktivierung der Verbinder aus der Formgedächtnislegierung erfolgt nicht vorab im Labor, sondern direkt bei der Montage und ohne mechanische Zugänglichkeit. In die Bohrungen der Verbinder wird eine Heizpatrone eingeführt, welche über Drähte elektrisch beheizt wird. In diesem Versuchsaufbau konnte mit aufklebbaren Temperaturindikatoren die ausreichende Erwärmung der Verbinder verifiziert werden (s. Bild 4, rechts). Die Verankerung zwischen Schiene und Fassadenplatte ist bei diesem Versuchsaufbau konservativ mit kleinen Kopfbolzen umgesetzt. Dieses Gesamtkonzept zeigte in Laboruntersuchungen für den betrachteten Lastfall sehr gute Leistung<sup>[6]</sup>. Zusätzliche Langzeitversuche unter verschiedenen Randbedingungen, Bewitterung und Laststufen an der Frankfurt University of Applied Sciences sichern das gesamte Konzept auch

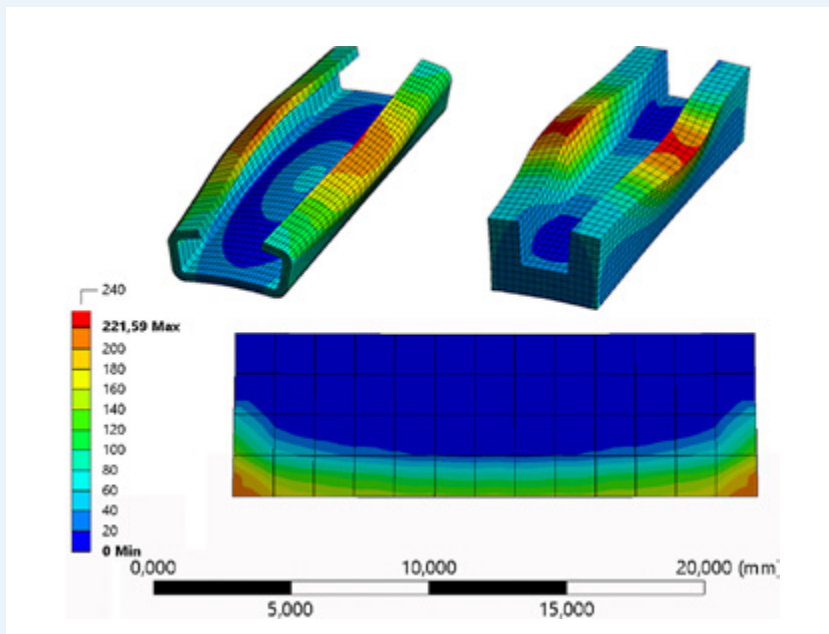


Bild 3: Numerische Simulationen und Optimierung der linienförmigen Verankerung [4]





Bild 4: Praktische Umsetzung des neuen Verbindungskonzeptes [6]



Bild 5: Langzeitversuche zur Dauerhaftigkeit des neuen Verbindungskonzeptes aus Memory-Stahl

langfristig und in Bezug auf die Dauerhaftigkeit (s. Bild 5). Mit der Außenaufstellung ist die innovative Verbindung der vollständigen Bewitterung ausgesetzt. Korrosive Einflüsse auf die Verbindung stehen bei allen Feldversuchen unter Langzeitbeobachtung (s. Bild 5). Die dabei gewonnenen Ergebnisse fließen in die Optimierungsprozesse und Weiterentwicklung des Verbinders ein [3].

## Fazit

Der Einsatz von Memory-Stahl-Verbindern auf Basis von Formgedächtnislegierung als aktiver Verbinder bietet anhand der durchgeführten Untersuchungen eine Alternative zur Kräfteinleitung in dünnwandige Beton-elemente mit hohen Auszugwiderständen bezogen auf den Materialeinsatz. Die Symbiose aus Laborversuchen und begleitenden

Simulationen ermöglicht eine zielgerichtete Optimierung der Anwendungsparameter. Beispielhaft wurde dies auf der Seite der Probengeometrie dargestellt. In Feldversuchen entfaltet sich das Potenzial des Formänderungsprozesses. Es ist nun möglich, Fassadenplatten ohne physischen Zugang zur Fugestelle zu montieren. Dies erhöht die Sicherheit für das ausführende Personal auf den Baustellen. Aufgrund der kompak-

ten Verbindung zwischen tragenden Bauteilen und Fassadenplatte lassen sich einzelne innenliegende Elemente austauschen, ohne hierfür umliegende Fassadenplatten demontieren zu müssen. Die Versuche unter Witterungsbedingungen an der Frankfurt University of Applied Sciences zeigen, dass die gewählte Formgedächtnislegierung auf Eisenbasis mit ihrem hohen Mangan-Anteil eine gute Widerstandskraft gegen Korrosion aufweist. In Kombination mit weiteren Schutzmaßnahmen wie Verzinken oder dem Einsatz von Edeltählen zwischen tragenden Bauteilen und Formgedächtnislegierung zeigt das Gesamtkonzept der Verbindung bisher eine gute Witterungsbeständigkeit auf<sup>[3]</sup>. Das Forschungsprojekt eröffnet in vielen Sparten neue Entwicklungsmöglichkeiten und Einsparpotenziale beim Ressourcen und Energie sparen im Bauwesen. Die Innovation leistet durch geringeren Materialeinsatz und die damit verbundene Reduzierung des Be-

tonvolumens einen entscheidenden Beitrag bei der Senkung des Energieverbrauchs im Bausektor.

Dieses Projekt entstand in Zusammenarbeit der Projektpartner PohlCon GmbH (Division JORDAHL), dem Institut für Massivbau – Technische Universität Dresden, dem Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik sowie der CARBOCON GmbH. Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03ZZ1038A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. ◇

## Quellen

- [1] Langbein, S.; Czechowicz, A. (2013), Konstruktionspraxis Formgedächtnistechnik. Wiesbaden: Springer Verlag, S. 5.
- [2] Awaji Materia Co., LTD.: Shape memory alloy. Datenblatt Fe-28Mn-6Si-5Cr. [http://www.awaji-m.jp/english/r\\_and\\_d/pdf/memory\\_alloy.pdf](http://www.awaji-m.jp/english/r_and_d/pdf/memory_alloy.pdf) Zugriff am 28.06.2022.
- [3] Ayoubi, M., Sobotta, S.: Memory-Stahl-Verbinder für Bauelemente aus Carbonbeton. In: BFT INTERNATIONAL Betonwerk + Fertigteil-Technik, VOL. 88, 2022, S. 52–57.
- [4] Ayoubi, M.; Sobotta, S.; Schlüter, D.; Michler, H.; Kropp, T.; Thüsing, K.; Kallnick, S.; Schumann, A. (2021): Aktive Verbinder für Bauelemente aus Carbonbeton. Bautechnik 98, H. 6, S. 399–409. <https://doi.org/10.1002/bate.202000088>
- [5] Pohlcon GmbH.: JORDAHL® Verblenderkonsole JVAeco+. JVA-NU4,5-132. Online unter <https://jordahl-group.com/produkte/fassadenbefestigung/jordahl-verblenderkonsole-jvaeco> Zugriff am 28.06.2022.
- [6] Thüsing, K.; Sobotta, S.; Schlüter, D.; Hoinka, J.; Ayoubi, M.; Kropp, T.; Schumann, A.; Drossel, W.-G. (in Vorbereitung): Iron based shape memory alloy active assembly connectors for civil structures. Structural Concrete.

# Die Publikationsreihe PERSPEKTIVEN

**Einmal jährlich erwartet Sie ein Spektrum spannender Inhalte.  
Die nächste Ausgabe der PERSPEKTIVEN erscheint in 2024!**



Mit den PERSPEKTIVEN geben wir fachliche Einblicke in die Themen des House of Energy. Neben Ergebnissen der Arbeit des House of Energy enthalten die Perspektiven auch Experten-Beiträge. Die Publikation bildet unterschiedliche Sichtweisen ab. Die Texte stammen von der Geschäftsstelle, den Mitgliedern oder Gastautoren. Es handelt sich um Analysen, Projektbeschreibungen oder die Darstellung von Projektergebnissen. Auch Produkte von Unternehmen, Technologien oder Forschungsergebnisse finden ihren Platz.

Reichen Sie ein Thema ein, das Sie bewegt und dessen Veröffentlichung Ihnen wichtig ist.



## Ihre Vorteile


- Wichtige Entscheider der Energiebranche erfahren von Ihrem Thema.
- Ihr Wissen leistet einen Beitrag zum Gelingen der Energiewende.
- Sie erhalten die Publikation in print und digital zur eigenen Verbreitung.
- Ihr Beitrag ist für Sie kostenfrei.

Ob politisch, wissenschaftlich oder wirtschaftlich – wir treffen eine interessante Auswahl und freuen uns über Ihren Beitrag an [kommunikation@house-of-energy.org](mailto:kommunikation@house-of-energy.org)



# Smartes Tankgerät für Wasserstoff holt die Energieproduktion in die heimische Garage

Prof. Dr.-Ing. Enno Wagner (Studiengangsleiter Mechatronik, Frankfurt University of Applied Sciences)



**In einem aktuellen Forschungsvorhaben untersucht ein Team der Frankfurt University of Applied Sciences (Frankfurt UAS) die Möglichkeit, die Wasserstoffproduktion für Heimanwendungen attraktiv zu gestalten. Dabei wird mittels Elektrolyse Wasser in die Hauptbestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Die Speicherung des Wasserstoffs erfolgt in handelsüblichen Gasflaschen. Der Weg zum ersten Prototyp war mit einigen Herausforderungen gepflastert.**

## Ziel ist eine Anlage für Privathaushalte

Das Forschungsprojekt „Smartes Tankgerät für Wasserstoff“ verfolgt die Idee, die Herstellung von Wasserstoff so zu vereinfachen, dass ein Einsatz auch in Privathäusern gelingt. Es soll möglich sein, Wasserstoff mittels Elektrolyse in einer kleinen Anlage herzustellen, die problemlos in einen Keller oder eine Garage passt und die mit regenerativer Energie, beispielsweise Solarstrom aus der hauseigenen Photovoltaik-Anlage, betrieben wird. Auf diesem Weg hätten Privathaushalte eine Möglichkeit, CO<sub>2</sub>-neutrale Energie zu gewinnen – und vor allem zu speichern.

Wasserstoff wird als Energieträger in der Zukunft eine große Rolle spielen. Mit diesem Projekt, das durch das Förderprogramm „Forschung für die Praxis“ des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst (HMWK) unterstützt wird, wollen wir die Alltagstauglichkeit der Wasserstoff-Technologie verdeutlichen. Fahrzeuge der nächsten Generation der Elektromobilität werden neben Akkumulatoren auch Brennstoffzellen mit an Bord führen, die mit gasförmigem Wasserstoff betrieben werden. Könnte man sogenannten grünen Wasserstoff selbst herstellen und in die Drucktanks der Fahrzeuge komprimieren? So lautete eine der Leitfragen. Unser Team aus Studierenden und einem Doktoranden sollte nach der Entwicklung einer Prototyp-Anlage in einem zweiten Schritt eine konkrete Anwendung für den gespeicherten Wasserstoff finden. Gearbeitet wird derzeit daran, ein elektrisch betriebenes Lastenfahrzeug zu entwickeln, dessen Energiespeicher kein Akku ist, sondern Wasserstoff, der mittels einer Membran-Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt wird.

Das seit 2020 laufende Projekt bietet zahlreiche interdisziplinäre Schnittstellen, einen sehr guten Praxisbezug, die Verknüpfung mit der Lehre sowie vielfältige Möglichkeiten für weiterführende Studierenden-Projekte und Forschungsvorhaben. Die Relevanz des Projekts ergibt sich nicht nur aus den praktischen Anwendungsmöglichkeiten. Es passt auch gut in die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Mit dieser Strategie möchte die Bundesregierung einen kohärenten Handlungsrahmen für die künftige Erzeugung, den Transport, die Nutzung und Weiterverwendung von Wasserstoff schaffen – und damit für entsprechende Innovationen und Investitionen.

Derzeit wird am Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften der Frankfurt UAS das Labor für Brennstoffzellentechnik<sup>[1]</sup> aufgebaut, das die wichtige und zukunftsweisende Elektrolyse- und Brennstoffzellen-Technologie erforscht und in unterschiedlichen Projekten zur Anwendung bringt.

- Die Effizienz und die Kosten der elektrochemischen Energiewandlung mit Wasserstoff sind derzeit noch verbesserungswürdig.
- Bei der Forschungsfrage, ob Wasserstoff in kleinen smarten Geräten in Privathaushalten sinnvoll zum Einsatz kommen kann, steht daher eine deutliche Steigerung des Wirkungsgrades der elektrochemischen Energiewandlung im Vordergrund.
- Auch die konsequente Betrachtung der Energiewertigkeit und die Frage nach dem Zweck der Energienutzung werden fokussiert.

- Nur mit flexiblen, hocheffizienten und intelligent gesteuerten Systemen aus verschiedenartigen Energiespeichern wird man künftig dem tages- und jahreszeitlich stark schwankenden Stromangebot aus Wind- und Photovoltaikanlagen begegnen können.

## Grundlagenforschung abgekoppelt

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollte im ersten Schritt ein kleiner Prototyp des Konzeptes realisiert werden. Die Versuchsanordnung: Mit einem kommerziellen Elektrolyseur mit rund 500 W elektrischer Leistung wird Wasserstoffgas hergestellt. Um den Einsatz von schweren und lauten Verdichtermaschinen zu umgehen, wird eine innovative elektrochemische Zelle aufgebaut, die leise und hocheffizient Wasserstoffgas verdichten und kleine Gaskartuschen befüllen kann. Um den zu erwartenden Wirkungsgrad der elektrochemischen Verdichtung gegenüber dem Stand der Technik zu verbessern und auf teure Edelmetalle verzichten zu können, sollten vor allem Membranen im alkalischen Milieu mit günstigen Nickel-Katalysatoren zum Einsatz kommen. Neben der Erforschung der elektrochemischen Verdichtung sollten vor allem das Zusammenspiel der mechatronischen Komponenten und die Systemtechnik erprobt werden. Als Ergebnis ist auch die Skalierbarkeit zu größeren Systemen zu beurteilen.

Schon kurz nach Projektstart hat sich gezeigt, dass die Entwicklung eines smarten Tankgerätes für Wasserstoff mit großen Herausforderungen verbunden ist, bedingt durch das komplexe Zusammenspiel unterschiedlicher Anforderungen. Von der Grundlagenforschung an alkalischen Membranen und





Prof. Dr. Enno Wagner bespricht im Brennstoffzellenlabor mit einer Studentin die Versuchsanordnung.

Elektroden über die Konstruktion einer druckstabilen Zelle bis zur Systemtechnik eines anspruchsvollen Gerätes waren vielfältige Aufgaben und Problemstellungen zu lösen. Dies schien aufgrund der begrenzten Projektdauer nicht in einem umfassenden Ansatz lösbar zu sein, in dem mehrere Entwicklungsschritte aufeinander aufbauen. Aus diesem Grund hat sich die Projektleitung frühzeitig dazu entschlossen, zwei parallele Entwicklungsstränge gleichzeitig zu verfolgen: einen für die Grundlagenforschung und einen für die Entwicklung der Systemtechnik.

**Die Energiewende zu einer CO<sub>2</sub>-neutralen Wirtschaftsweise bringt spannende Fragestellungen zur Speicherung der**

**erneuerbaren Energien mit. Mit innovativer Forschung im Bereich der Elektrolyse und Brennstoffzellentechnik arbeitet die Frankfurt University of Applied Sciences an Lösungen für die Praxis.**

**Hocheffiziente Wasserstoffproduktion mit Wirkungsgraden von rund 100 Prozent**

In einem ersten wissenschaftlich geprägten Entwicklungszweig wurde daher die Grundlagenforschung an alkalischen Membranen und Elektroden fokussiert. Im Rahmen einer

teilweise über das Projekt finanzierten Doktorarbeit wurde eine bestehende alkalische Elektrolysezelle in Betrieb gesetzt. Um die geforderte hohe Effizienz zu erreichen, war es erforderlich, eine Versuchsapparatur aufzubauen, die auch bei höheren Temperaturen von bis zu 120 °C beständig gegenüber der hochkorrosiven Kalilauge (KOH) ist. Hierzu wurden insbesondere eine spezielle drehzahlgeregelte Pumpe und eine mit Thermalöl gefüllte Temperiereinheit angeschafft und in Betrieb genommen.

Bei zunächst niedrigen Drücken von bis zu 5 bar betrachtete unser Team Druck- und Temperatureinfluss auf das elektrochemische Verhalten unterschiedlicher alkalischer Membranen im Elektrolysemodus. Neben einer Separatorfolie (PESU) aus der Bat-

terietechnik wurden verschiedene alkalische Membranen der Firma Fumatech BWT GmbH untersucht. Hierbei wurden kostengünstige Gasdiffusionselektroden des Projektpartners Gaskatel (Gesellschaft für Gassysteme durch Katalyse und Elektrochemie mbH)<sup>[2]</sup> eingesetzt. Das Unternehmen konnte für das Projekt gewonnen werden, um zusätzliches Know-how einzubringen. Auf der Wasserstoffseite kamen eine Raney-Nickel-Elektrode (NiH<sub>3</sub>), auf der Sauerstoffseite eine bifunktionale Nickel-Grafit-Elektrode (NiC) zum Einsatz. Durch ein versehentliches Vertauschen der Elektroden erzielten wir in einer Messreihe deutlich bessere Ergebnisse als mit dem Standardaufbau, was vermutlich auf die Porengröße und den dadurch begünstigten Wasserhaushalt der Elektro-

de zurückzuführen ist. Das hierbei zugrunde liegende physikalisch-chemische Verhalten wird im weiteren Verlauf der Doktorarbeit tiefergehend untersucht. Mit der Anschaffung und Erprobung eines Impedanzspektroskopie-Messgerätes machten wir einen großen Schritt in Richtung hochqualitativer wissenschaftlicher Analysemethodik der Elektrochemie.

Als wesentliches Ergebnis der Grundlagenforschung ist die hocheffiziente Wasserstoffproduktion mit Wirkungsgraden von rund 100 Prozent zu nennen. Bei kleinen und mittleren Stromdichten (bis 100 mA/cm<sup>2</sup>) arbeitet die Elektrolysezelle unterhalb der thermoneutralen Spannung von 1,48 V, was bedeutet, dass niederwertige Wärme in Wasserstoff

umgesetzt wird. Gelänge es, dieses Verhalten in einer technischen Anwendung nutzbar zu machen, könnte grüner Wasserstoff sehr viel effizienter und damit kostengünstiger als heute hergestellt werden.

### Umwege bei der Entwicklung eines ersten Prototyps

Im parallelen eher anwendungstechnisch geprägten Entwicklungszweig bauten wir zwischenzeitlich ein erstes Funktionsmuster des smarten Tankgerätes im Labormaßstab auf. Hierzu schafften wir einen 3-zelligen Druckelektrolyseur der Firma HIAT mit der Standard-PEM-Technologie an. Hiermit kann direkt verdichteter Wasserstoff von bis zu 45 bar bereitgestellt werden, ohne dass ein



*Kernstück bei der Projektentwicklung im Labor ist der Elektrolyseur, in dem der Wasserstoff mittels Strom hergestellt wird. Für dessen Betrieb wurde die komplette Systemtechnik installiert, die auch für größere Tankgeräte benötigt wird.*

nachgeschalteter Verdichter benötigt wird. Für den Betrieb des Elektrolyseurs wurde die komplette Systemtechnik installiert, die auch für größere Tankgeräte benötigt wird, so dass die Skalierbarkeit gegeben ist. Insbesondere sind hierfür ein Vorratsbehälter für deionisiertes Wasser mit Temperaturregelung, eine Umwälzpumpe und ein Filter erforderlich.

Leider wurde im Zuge der ersten Messungen aufgrund einer mangelnden Qualitätsüberwachung des deionisierten Wassers im Chemielabor der Elektrolyseur kontaminiert, so dass dieser eingeschickt und repariert werden musste. Als wesentliches Ergebnis dieses Missgeschicks wurde daher der Ionenaustauscher in den Wasserkreislauf integriert und eine regelmäßige Qualitätskontrolle des Laborwassers vorgeschrieben. Bei der Konstruktion eines größeren Gerätes im Zuge eines Folgeprojektes oder einer ersten technischen Anwendung sollte daher unbedingt eine ständige elektronische Leitfähigkeitsmessung des Wassers in die Steuerungselektronik integriert werden.

Da der produzierte Wasserstoff noch große Anteile Wasser mit sich führt, ist ein Wasserabscheider zu integrieren. In größeren Anlagen sollte das Wasser aus Gründen der Wirtschaftlichkeit zurückgeführt und wiederverwendet werden. Für die Betankung von kommerziellen Brennstoffzellenfahrzeugen sind zudem eine katalytische Gasreinigung sowie eine Trocknungseinheit vorzusehen. Es wurde ein entsprechendes Trocknungskonzept mittels Molsieben zur Sicherstellung der Gasqualität 5,0 (Reinheit: 99,999 Prozent) erarbeitet.

Für die interne Verwendung des Wasserstoffs im Labor war eine Trocknung nicht erforderlich. Wir konnten ohne Probleme eine Befüllung von Stahlkartuschen mit rund 45 bar

durchführen, die aktuell für den Betrieb eines Lastenfahrads mit Brennstoffzelle und für weitere Anwendungen eingesetzt werden. Auch der Brennstoffzellenversuchsstand wird nun aus dem Tankgerät über Druckminderer mit Wasserstoff und Sauerstoff (mit Drücken im Bereich von 1 bis 4 bar) versorgt. Ein kontinuierlicher Betrieb von alkalischen Brennstoffzellen ist hiermit gut durchführbar.

Neben der mechanischen Konstruktion des Funktionsmusters wurde die komplette Messtechnik mit Temperatur-, Druck-, Strom- und Spannungserfassung in einem industrietauglichen Schaltkasten implementiert und mittels Modbus an einen Laborrechner angeschlossen. Für die Steuerung der Versuchsanlage wurde mit dem Programm LabView eine benutzerfreundliche verfahrenstechnische Benutzeroberfläche programmiert. Per Remote-Control ist hiermit eine Überwachung der Versuche auch aus anderen Räumen, Stockwerken oder Gebäuden der Hochschule möglich.

### **Herausforderung: Bildung explosionsfähiger Gemische vermeiden**

Da Wasserstoff ein hochentzündliches Gas ist, das mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch bilden kann, wurde (mit Unterstützung des Sicherheitsbeauftragten) ein vollständiges Sicherheitskonzept der Versuchsanlage ausgearbeitet. Neben der Unterweisung der Mitarbeitenden, der Gefahrenkennzeichnung und der Dichtheitsprüfung mittels Wasserstoffsensoren wurde der Ansatz verfolgt, die Bildung explosionsfähiger Gasgemische von Grund auf zu vermeiden. Hierzu wurde die Behältergröße für Wasserstoff begrenzt und der Betrieb auf den Laborabzug eingeschränkt. Durch die Luftabsaugung tritt hier eine so starke Verdünnung auf, dass sich

selbst im ungünstigsten Fall kein explosionsfähiges Gemisch ansammeln kann.

**Das Projekt zeigt, dass aus der Zusammenarbeit von Lehre, Forschung, Industrie und staatlicher Förderung praktische und anwendbare Technologien für eine umweltfreundlichere Zukunft entwickelt werden können.**

Die im Rahmen der Projektlaufzeit erzielten Arbeitsergebnisse sind insgesamt als großer Erfolg anzusehen und im Detail gut bis sehr gut ausgeführt. Wesentliche Ergebnisse wurden im Februar 2022 auf der Konferenz Catalysis and Chemical Engineering (CCE) in San Francisco/USA in einer wissenschaftlichen Veröffentlichung vorgestellt.<sup>[3]</sup> Mit der erfolgreichen Durchführung des Projektes wurde eine sehr gute Basis für weitere Forschungsarbeiten und Projekte geschaffen.

Insgesamt zeigt das Projekt deutlich, dass aus der Zusammenarbeit von Lehre, Forschung, Industrie und staatlicher Förderung praktische und anwendbare Technologien für eine umweltfreundlichere Zukunft entwickelt werden können. Auch in Zukunft soll der parallele Ansatz aus Grundlagenforschung und anwendungsnahe Systemtechnik weiterverfolgt werden. Es ist geplant, öffentliche Mittel für eine weitere Doktorarbeit im Bereich der alkalischen Elektrolyse- und Brennstoffzellen sowie ein Drittmittelprojekt zum Bau einer Erzeugungsanlage für Wasserstoff auf einem landwirtschaftlichen Betrieb durchzuführen. ◇





## Quellen

- [1] <https://www.frankfurt-university.de/brennstoffzellenlabor>
- [2] Die Gaskatel GmbH wurde 1997 von Mitgliedern der Arbeitsgruppe Winsel im Fachbereich Physik der Universität Kassel gegründet. Seitdem beschäftigt sich das Team – Physiker/-innen, Chemiker/-innen, Ingenieurinnen und Ingenieure sowie Laborantinnen und Laboranten – mit der Weiterentwicklung, der Herstellung und dem Vertrieb u. a. von Brennstoffzellen und Elektrolyseuren.  
<https://gaskatel.de>
- [3] Wagner, E., Delp, E.(2022): Bifunctional catalysts for energy storage with high-efficient fuel cells, Conference Paper at the CCE2022, San Francisco, CA, United States

# Pfade zur hessischen Klimaneutralität – Optionen für das hessische Energiesystem

Leon Flöer (ehemals TU Darmstadt), Julia Barbosa und Prof. Dr. Florian Steinke (TU Darmstadt)

**Hessen hat sich politisch das Ziel gesetzt, Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen. In einer Masterarbeit an der TU Darmstadt wurde daher modellbasiert für Hessen untersucht, welche Transformationsschritte für die kostenoptimale Erreichung dieser Ziele notwendig sind. In der Arbeit werden vier verschiedene Szenarien betrachtet, die neben unterschiedlichen Vorgaben bei den Treibhausgas-Reduktionszielen auch unterschiedliches gesellschaftliches Verhalten miteinbeziehen. Aus der Untersuchung ergibt sich, dass die Transformation zu einem Energiesystem führt, das auf erneuerbaren Energien, grünem Wasserstoff und einem elektrifizierten Verkehrs- und Wärmesektor basiert.**

Die Annahmen und Ergebnisse der Masterarbeit werden im Folgenden kurz dargestellt. Die vollständige Arbeit sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse inklusive der abgeleiteten Empfehlungen für Entscheidungsträger finden sich unter [1].

## Untersuchungsmethodik

Zur Untersuchung des Energiesystems wird ein mathematisches kostenoptimierendes Modell verwendet. Mit Hilfe des Modells können sowohl Betriebs- als auch Investitionsgrößen gleichzeitig bestimmt werden. Darüber

lassen sich wichtige Kennwerte eines Energiesystems und deren Entwicklung ableiten wie z. B. der Primärenergiebedarf, die eingesetzten Energieträger oder die installierten Leistungen verschiedener Erzeugungstechnologien. Für das Modell ist die Vorgabe der Bedarfswerte für Strom, Wärme und Kraftstoffe notwendig. Weiterhin können als Rahmenbedingungen der CO<sub>2</sub>-Preis sowie die erlaubten CO<sub>2</sub>-Emissionen in einem Jahr vorgegeben werden. Die Erzeugungstechnologien und Energieträger werden im Modell mit Kosten und technologischen Parametern wie z. B. dem Wirkungsgrad dargestellt.



Über den Vergleich von berechneten und realen Kenngrößen für das Jahr 2020 wird sichergestellt, dass das Modell das hessische Energiesystem ausreichend genau beschreibt. Zur Untersuchung des zukünftigen hessischen Energiesystems werden vier Szenarien betrachtet, die von „Mini-Szenarien“ flankiert werden. Über die „Mini-Szenarien“ lassen sich für bestimmte Parameter verschiedene Entwicklungen untersuchen, z. B. unterschiedliche Preise für den Import von grünem Wasserstoff.

Vorstellung der Szenarien mit den wichtigsten Vorgaben:

- **Business As Usual (BAU):** einzige Vorgabe ist der CO<sub>2</sub>-Preis aus dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG)
- **Referenz:** CO<sub>2</sub>-Preis entsprechend BEHG, Einhalten der Emissionsreduktionsziele des Klimaschutzgesetzes (KSG) von 65 % bis 2030, 88 % bis 2040 und Klimaneutralität in 2045 gegenüber 1990
- **Suffizienz:** Identische Vorgaben zum Referenz-Szenario, reduzierter Energieverbrauch und verändertes Mobilitätsverhalten aufgrund der Annahme suffizienten Verbraucherverhaltens
- **BANANA (Built Absolutely Nothing Anywhere Near Anybody):** Identische Vorgaben zum Referenz-Szenario, Einschränkung des Ausbaus von Windkraftanlagen auf 100 MW pro Jahr, verändertes Mobilitätsverhalten (Anteil Verbrennungsmotoren 2045: noch 30 %)

## Ausgangslage Hessen

Für die Untersuchung ist 2020 das Referenzjahr, aufgrund der Covid-19-Pandemie werden jedoch die Werte aus 2019 für 2020 verwendet. In der Arbeit werden CO<sub>2</sub>-Emissionen entsprechend der sogenannten Scope-2-Betrachtung ermittelt. In der Scope-2-Betrachtung werden alle Emissionen berücksichtigt, die während der Erzeugung der verwendeten Energieformen Strom, Wärme und Kraftstoffe entstanden sind (Erzeugerbilanz). Die Wahl der Scope-2-Betrachtung ist darin begründet, dass eine Verlagerung der Stromerzeugung aus CO<sub>2</sub>-intensiven Erzeugungstechnologien in umliegende Bundesländer nicht zu einer Verringerung der Gesamtemissionen in Hessen führen soll. Dies ist der Fall bei einer Scope-1-Betrachtung, in der nur die auf einem Gebiet entstehenden Emissionen betrachtet werden (Quellenbilanz). Für Hessen hat diese Auswahl erheblichen Einfluss auf die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf-

grund des hohen Anteils an Stromimporten (vgl. Bild 1). Im Jahr 2020 lag deren Anteil bei etwa 50 %.

## Zukünftige Entwicklung im Stromsektor

Vor der Darstellung der wichtigsten Ergebnisse ist anzumerken, dass die Studie vor dem russischen Angriff auf die Ukraine am 24. Februar 2022 durchgeführt wurde und von einer Gasverfügbarkeit zu historischen Preisen der Jahre 2010 bis 2019 ausgeht.

Die Modellergebnisse zeigen, dass durch die Sektorkopplung sich nahezu eine Verdopplung des Strombedarfs bis 2045 auf 60 bis 70 TWh in Abhängigkeit vom Elektrifizierungsgrad im Verkehrs- und Wärmesektor ergibt. Bereits bis 2030 steigt der Strombedarf um 20 bis 50 %. Zur Deckung des Strombedarfs werden im Jahr 2045 hauptsächlich Photovoltaik- und Windkraftanlagen sowie

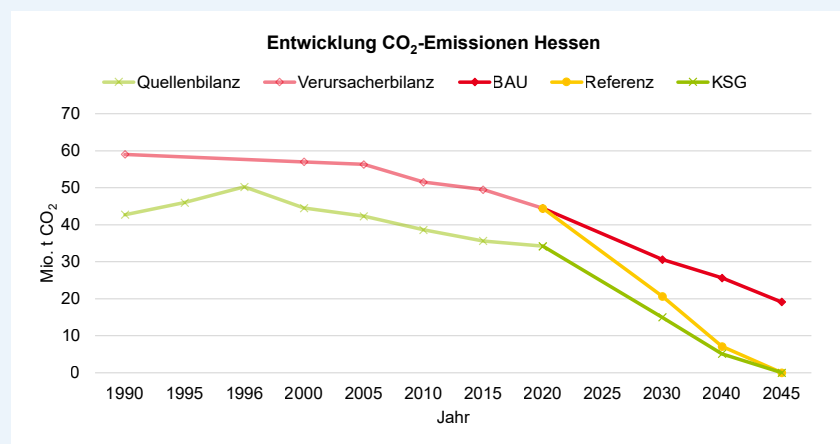


Bild 1: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen Hessens in den verschiedenen Szenarien. Referenz inkludiert die Szenarien BANANA und Suffizienz (es werden die gleichen Emissionsziele vorgegeben). Für die Verursacherbilanz (Scope 2) ist von höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1990 und 2000 im Vergleich zur Darstellung auszugehen aufgrund einer unzureichenden Datenlage. Die Trendlinie KSG (Bundes-Klimaschutzgesetz) zeigt den politisch vorgegebenen Reduktionspfad bezogen auf die Quellenbilanz (Scope 1).

Gas- und Wasserstoffkraftwerke eingesetzt. Auf dem Weg dorthin werden bis 2025 die restlichen Kohlekraftwerke in Hessen stillgelegt. Weiterhin nimmt der Import von Strom eine Hauptrolle bei der Stromversorgung bis in die 2030er Jahre ein.

Der steigende Strombedarf und die notwendige Dekarbonisierung der Stromversorgung führen zu einem erheblichen Ausbaubedarf von Wind- und Photovoltaikanlagen.

Im Jahr 2045 werden die ausgeschriebenen Windkraftflächen in den Regionalplänen (2-Prozent-Regel) im gesamten Umfang (14 GW) benötigt. Die installierte Leistung für Photovoltaikanlagen liegt zwischen 9 bis 15 GW in 2045.

Bereits bis 2030 ist auf einem kostenoptimalen Pfad eine Verdreifachung der bisher installierten Leistung von ca. 2 GW auf 6 GW für Windkraftanlagen notwendig. Der Wert kann bis zu 9 GW erreichen in Abhängigkeit von der Entwicklung der Stromimporte. Die Diskrepanz bei den Photovoltaikanlagen ergibt sich aus der Abhängigkeit vom Fortschritt des Ausbaus von Windkraftanlagen sowie der Entwicklung der Stromnachfrage und des Wasserstoffpreises. Für die restlichen erneuerbaren Energieträger ist kein nennenswerter Ausbau zu erwarten, da die Potenziale nahezu vollständig ausgereizt sind. Dabei führt der eingeschränkte Zeitraum für die Zielerreichung zu Ausbauraten, die um den Faktor 3 höher sind als die bisher erreichten Höchstwerte in Hessen. Daraus ergeben sich Ausbauraten für Windkraftanlagen von 0,7 bis 0,9 GW pro Jahr und für Photovoltaikanlagen von 0,6 bis 1,1 GW pro Jahr im Zeitraum von 2030 bis 2040. Bei reduzierten Stromimporten sind Ausbauraten für Windkraftanlagen von bis zu 0,75 GW pro Jahr für den Zeitraum 2020 bis 2030 notwendig.

## Flexibilisierung der Nachfrage

Die Fluktuation der PV- und Windkraftanlagen in der Erzeugung führt zu einem erheblichen Anstieg an Optionen zur Flexibilisierung der Stromerzeugung und -nachfrage. Insbesondere Elektrolyseure, Batterien und Power-to-Heat-Systeme in Kombination mit Wärmespeichern werden eingesetzt, um Schwankungen im Zeitraum von Stunden bis wenigen Tagen auszugleichen. Für Zeiten, in denen die Erzeugung länger ausfällt wie im Falle einer Dunkelflaute werden hauptsächlich flexible Kraftwerke mit Wasserstoff und Gas als Brennstoff eingesetzt. Die Residuallast beläuft sich auf 8 bis 10 GW in 2045.

## Wärmesektor

Im Wärmesektor lassen sich für den Gebäudebereich eindeutige Technologiepfade ableiten. 2030 wird der Wärmebedarf für Haushalte und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) aus einem Mix von Technologien bereitgestellt, der angeführt wird von Wärmepumpen mit einem Anteil von 35 bis 50 %, gefolgt von Gas, Fernwärme und Biomasse.

Auf einem kostenoptimalen Pfad werden bis 2030 alle Ölheizungen ersetzt. Bereits 2040 beruht die Wärmeversorgung für Haushalte und GHD einzig auf Wärmepumpen und Fernwärme.

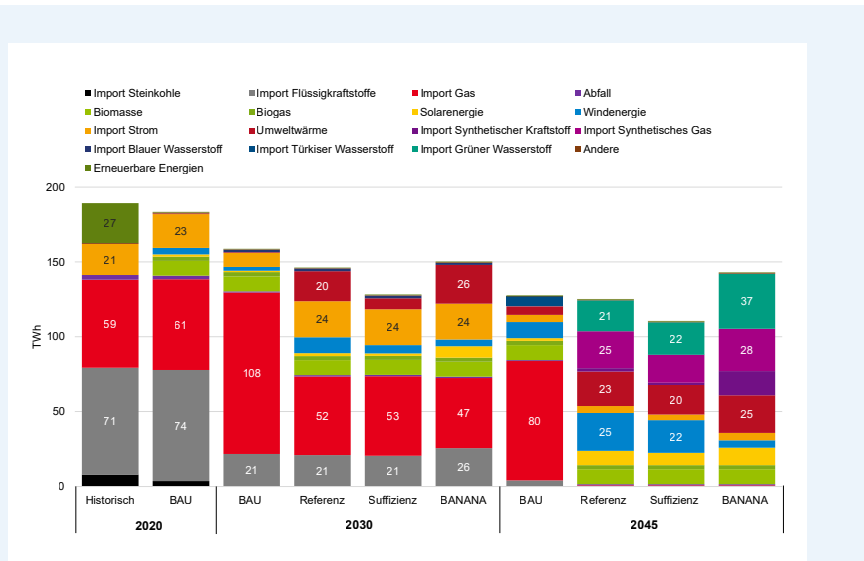


Bild 2: Entwicklung des Primärenergiebedarfs in den Jahren 2020, 2030 und 2045.



Sanierungen zeigen sich als ein funktionales Instrument, um den Wärmebedarf zu reduzieren (37 bis 57 % gegenüber 2020), sollten aber im Lebenszyklus eines Gebäudes betrachtet werden. Zur Erzeugung von Fernwärme erweisen sich vorhandene und zukünftige Potenziale der Abwärmenutzung in Kombination mit Wärmepumpen als kostenoptimale Option. Bis 2045 ist mit einer Verdopplung des Fernwärmeanteils (30 %) gegenüber dem heutigen Level zu rechnen.

Im Industriebereich zeigen sich diese eindeutigen Entwicklungen nicht – aufgrund der unterschiedlichen benötigten Temperaturniveaus. Im Niedertemperaturbereich (< 150 °C) sind Hochtemperaturwärmepumpen die optimale Lösung, insofern ein Einsatz möglich ist. Dahingegen erfolgt im Mittel- und Hochtemperaturbereich keine Elektrifizierung. Eine Kombination von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen als Brennstoffe ist die kostenoptimale Lösung.

## Verkehrssektor

Im Verkehrssektor ist die Elektrifizierung ebenfalls treibender Faktor für die Reduktion der THG-Emissionen. Im Jahr 2035 werden im Pkw-Bereich auf einem kostenoptimalen

Pfad einzig batterieelektrische Fahrzeuge gefahren. Bereits ab 2020 wären auf einem kostenoptimalen Pfad keine Verbrennungsmotoren neu zugelassen worden.

**Im Jahr 2030 ist ein Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge von 50 bis 60 % am Pkw-Bestand notwendig, um die Klimaschutzziele einzuhalten.**

Als Antriebstechnologie für Pkw nimmt die Brennstoffzelle keine relevante Rolle ein bei der Dekarbonisierung. Fällt die Betrachtung auf den gesamten Personenverkehr, zeigt sich, dass eine Veränderung vom Individual- zum öffentlichen Verkehr am effektivsten ist, um die Klimaschutzziele zu erreichen, aufgrund des verringerten Energiebedarfs durch den geringeren Verbrauch pro Personenkilometer. Bei der Betrachtung des Güterverkehrs lassen sich folgende Trends ableiten. Im Straßengüterverkehr nehmen Batterien mit sinkendem Transportgewicht an Relevanz zu, während bei steigendem Transportgewicht Brennstoffzellen und Oberleitungen als Option in Frage kommen. Synthetische Kraftstoffe werden in der Binnenschifffahrt

und dem Flugverkehr eingesetzt, da der Einsatz von Wasserstoff durch die aufwendige Speicherung und die Energiedichte bisher keine Option ist. <sup>[2]</sup>

## Rolle von Wasserstoff

Bereits in den vorherigen Abschnitten werden Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe als Technologieoption aufgeführt. Im Folgenden wird dies zusammengeführt.

**Hessen benötigt in 2045 Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe im Umfang von 46 bis 82 TWh.**

Die Diskrepanz ist auf Unterschiede in der Elektrifizierung und im Ausbau erneuerbarer Energien zurückzuführen. Werden die Potenziale der Windkraft genutzt und wird der Verkehrs- und Wärmesektor nahezu vollständig elektrifiziert, reduziert sich der Wasserstoffbedarf auf 46 TWh. Bei einer Entwicklung wie im BANANA-Szenario erhöht sich der Bedarf auf 82 TWh. Trotz der Diskrepanzen bleiben die Verwendungsbereiche dieselben: Brennstoff im Hochtemperaturbereich und in Kraftwerken, Kraftstoff im Verkehrsbereich (Schwerlast), Lastausgleich (Elektrolyseure) sowie als Rohstoff in der chemischen Industrie. In Hessen liegt innerhalb einer kostenoptimalen Betrachtung der Anteil der Eigenerzeugung bei maximal 15 %. Somit wird Hessen von Wasserstoffimporten abhängig sein.

## Wie sehen die Auswirkungen der erhöhten Energiepreise im Zuge des Krieges in der Ukraine auf das Energiesystem aus?

Zur Berücksichtigung der stark angestiegenen Preise für die Energieträger Gas, Steinkohle und Öl wird in einem zusätzlichen Szenario untersucht, wie der Anstieg der Preise das Modell beeinflusst. Insgesamt zeigt sich, dass die ansteigenden Energiepreise keine nennenswerten Auswirkungen auf die Ausbaupfade haben, denn die Transformationen sind ohnehin notwendig, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Einzig bei blauem und türkischem Wasserstoff auf Basis von Gas führen die Preise dazu, dass der Preisvorteil gegenüber grünem Wasserstoff nahezu verschwindet und somit die Rolle als Übergangstechnologie an Relevanz verliert.

## Einfluss des Verbraucherverhaltens

Im Gegensatz zum Referenz-Szenario führt das Verbraucherverhalten im BANANA-Szenario zu erheblich höheren Kosten sowie vermehrten Importen von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen. Dies ist auf die Einschränkungen im Ausbau der Windkraft zurückzuführen, die durch die höhere installierte Leistung von Photovoltaikanlagen nicht ausgeglichen werden können. Windkraftanlagen sind somit essenziell für das Erreichen der Klimaschutzziele und führen zu erheblichen Kosteneinsparungen.

Im Gegensatz dazu führt suffizientes Verhalten zu einer signifikanten Reduktion des notwendigen Zubaus und der installierten Leistung von PV- und Windkraftanlagen sowie einer geringeren Geschwindigkeit der Elektrifizierung im Wärmesektor. Somit ist

suffizientes Verhalten eine Option, um die Klimaschutzziele mit einem deutlich geringeren Kostenaufwand zu erreichen. Die heutige Diskussion über das Einsparen von Gas (Wärme) und Strom sollte somit über den Zeitraum bis 2024 weitergeführt werden.

„Damit eine realistische Chance besteht, die weltweiten Klimaschutzziele einzuhalten, sollten suffiziente Verhaltensmuster von der breiten Bevölkerung übernommen werden.“

## Vergleich und Einordnung zu bestehenden Deutschland-Studien

Wird die Arbeit einem Vergleich mit den bereits vorhandenen Studien für Deutschland<sup>[3]</sup> unterzogen, ergeben sich neben vielen Gemeinsamkeiten insbesondere für 2030 Unterschiede im Fortschritt der Transformation des Wärme- und Verkehrssektors. Beispielsweise liegt der Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge bei 20 bis 45 % in den Deutschland-Studien und für Hessen bei 50 bis 60 %. Begründet ist dies in den unterschiedlichen Ausgangslagen Hessens und Deutschlands. Hessens Energiesektor war bereits 1990 in hohem Maße dekarbonisiert aufgrund des Einsatzes von Atomkraftwerken zur Stromerzeugung (Anteil ca. 60 %). Hingegen waren 1990 die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland auf einem Allzeithoch aufgrund der Eingliederung der neuen Bundesländer<sup>[4]</sup>. Somit besteht für die Einhaltung der deutschen Klimaschutzziele in Hessen nicht die Notwendigkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um 65 % zu reduzieren. Für ein zukünftiges Monitoring ist zu empfehlen, den Fortschritt



Deutschlands und Hessens gemeinsam zu betrachten.

## Diskussion

Die Ergebnisse stellen mögliche Zielpfade für ein klimaneutrales Hessen dar und bieten eine Orientierung für das notwendige zukünftige Handeln. Die getroffenen Annahmen unterliegen in der Realität dynamischen Entwicklungen, die zu Abweichungen gegenüber den Ergebnissen führen können. Dennoch erlaubt das Modell qualitative Ergebnisse zur Größenordnung der wichtigsten Kennwerte insbesondere in den Jahren 2030, 2040 und 2045. Insgesamt zeigt sich, dass über jeden Sektor hinweg eine Notwendigkeit der massiven Beschleunigung der Transformation zu erkennen ist. Insbesondere für den Ausbau von Windkraft- und Photovoltaikanlagen sowie den Wechsel zu Wärmepumpen und batterieelektrischen Fahrzeugen ist dies als Kernergebnis festzuhalten.



Die Ergebnisse werfen weitere Fragen auf:

- Wie können die notwendigen Ausbau-raten erreicht werden? Sind weitere Instrumente auf Landesebene nötig?
- Insbesondere für PV-Anlagen, E-Pkws im Individualverkehr und Wärmepum-pen liegt die Entscheidung beim Bürger: Wie lässt sich eine breite Informations-lage zu diesen Themen in der Gesell-schaft ermöglichen?
- Führen Personalmangel bei Solarinstallateuren sowie lange Lieferzeiten zu Engpässen? Sind die Ausbauziele schlicht nicht mehr erreichbar?
- Wie ist mit der Abhängigkeit zu China umzugehen? Herstellung von PV-Anlagen in Hessen (Deutschland) wieder attraktiv machen?

Inwiefern die erwähnten Spannungsfelder die Transformation beeinflussen werden, wird von den gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Anstrengungen abhängen. Zusammenfassend zeigt sich, dass das zukünftige hessische Energiesystem auf den drei Säulen erneuerbare Energien, effiziente Nutzung von Strom im Verkehrs- und Wärmesektor sowie grüner Wasserstoff basieren wird. ◇

## Quellen

- [1] L. Flör (2022): Anhang – Pfade zur hessischen Klimaneutralität, Masterarbeit TU Darmstadt 2022.  
<https://www.eins.tu-darmstadt.de/eins/news-detail/pfade-zur-hessischen-klimaneutralitaet-47>
- [2] S. Kühnel, F. Hacker und W. Görz (2018): „Oberleitungs-LKW im Kontext weiterer Antriebs- und Energieversorgungsoptionen für den Stra-ßengüterfernverkehr“, Öko-Institut, Berlin.
- [3] Stiftung Klimaneutralität et al. (2022): Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien.  
<https://www.stiftung-klima.de/de/themen/klimaneutralitaet/szenarienvergleich/>
- [4] S. Schmidt-Rohr & J. Dubois (2021): „Treibhausgasbilanz für das Land Hessen Bilanzjahr 2019“, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klima-schutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden.





# Der Wald im Klimawandel: Nachhaltigkeit und Biodiversität

Forstdirektor Uwe Zindel (vom 1. Juli 2006 bis 31. Dez. 2022 Leiter des Hessischen Forstamts Wolfhagen)

**Unsere Waldbäume sind durch die Folgen des Klimawandels unter extremer Belastung. Gleichzeitig sind die Wälder Hoffnungsträger für den Klimaschutz – in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Bindung, die saubere und nachwachsende Ressource Holz sowie den Ausbau grüner Technologien.**

**Über die multifunktionale Bedeutung heimischer Wälder und ihre nachhaltige Nutzung.**

## Herausforderung Klimawandel

Der Wald ist für viele Menschen ein Ort der Ruhe und Erholung, er bietet vielen Arten Lebensraum, bewaldete Kuppen sind aus Effizienzgründen in der Zielplanung für Windparks und die Ressource Holz ist unverzichtbarer Rohstoff einer nachhaltigen Entwicklung. Wald und Klima stehen in einer beachtlichen Wechselwirkung. Bäume schützen den Boden vor direkter Sonne, geben im Som-

mer Wasserdampf ab (Transpiration) und kühlen so die bodennahe Atmosphäre. Bäume nehmen CO<sub>2</sub> aus der Luft auf, binden daraus den Kohlenstoff und geben Sauerstoff frei – eine natürliche Klimaschutzwirkung bei immer höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Diese Emissionen sind seit 1960 weltweit von rund 9 Giga-Tonnen (9 Mrd. t) auf knapp 40 Giga-Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr angestiegen.<sup>[1]</sup> Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre hat

sich von vorindustriell rund 280 ppm auf über 400 ppm entwickelt <sup>[2]</sup>. Daraus resultiert die gegenwärtige Klimaveränderung, die in den „warming stripes“ des britischen Klimaforschers Ed Hawkins sehr deutlich zum Ausdruck kommt (Abb. 1).

Die prognostizierten Folgen werden als Bedrohung für die Menschheit eingestuft, sollte es nicht gelingen, die globale Erwärmung auf max. + 2,0 °C (möglichst + 1,5 °C) gegenüber der mittleren Temperatur des vorindustriellen Zeitalters zu begrenzen. Um die globale Erwärmung so gering wie möglich zu halten, sind erhebliche Kraftanstrengungen in allen CO<sub>2</sub>-relevanten Bereichen erforderlich. Neben der Vermeidung und Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und sehr aufwendigen technischen Möglichkeiten zur Absenkung des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre sind die Wälder unverzichtbar in ihrer natürlichen CO<sub>2</sub>-Senkenleistung.

In einem Kubikmeter Holz wird der Kohlenstoff einer Tonne CO<sub>2</sub> gebunden. Damit die globalen Wälder ihre CO<sub>2</sub>-Bindung voll entfalten können, muss auf drei Ebenen ange setzt werden:

- Die gezielten Waldzerstörungen in den großen Waldökosystemen, insbesondere in den Tropen und Subtropen, müssen gestoppt und Nutzungen restriktiv an nachhaltige Konzepte gebunden werden <sup>[3]</sup>.
- Wiederaufforstungen zerstörter Wälder und aussichtsreiche Projekte zum Aufbau neuer Wälder sind zu planen und voranzutreiben. Die semi-humiden und semi-ariden Klimazonen kommen als Suchräume in Frage (Beispiel: Initiative AFR100 in 10 afrikanischen Staaten).

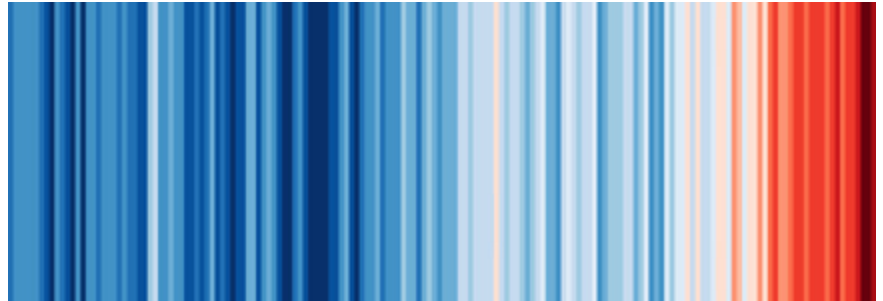


Abb. 1: Die "warming stripes" von Prof. Ed Hawkins geben die weltweiten Temperaturdaten im Zeitraum 1850 bis 2017 wider. Jeder Streifen steht für ein Jahr. Die Farbe visualisiert die jeweilige Abweichung der weltweiten Durchschnittstemperatur nach unten (blau) oder oben (rot).

→ In den traditionell nachhaltig bewirtschafteten Wäldern (Sekundärwälder) der gemäßigten Breiten muss die stoffliche Holznutzung nachhaltig so nutzbar bleiben, dass so viel Kohlenstoff wie möglich in langlebigen Holzprodukten (Baustoffe, Möbel) gebunden wird und energiebelastete Baustoffe (Stahl, Beton, Kunststoff) durch Holz ersetzt werden, wo immer dies möglich ist.

## Wälder in Mitteleuropa

Bis auf wenige sehr abgelegene und unzugängliche Areale sind die Wälder in Deutschland und Mitteleuropa sogenannte Sekundärwälder, d. h. sie sind durch viele hundert Jahre andauernde menschliche Nutzung geprägt. Die Entwicklung unserer Gesellschaft wäre ohne diese Ressource so nicht möglich gewesen. Erst ein massiver Holzbedarf hat vor rund 300 Jahren Anlass zur strikten Bindung der Holznutzung an das Nachwachsen gegeben. Forstordnungen und Waldgesetze haben das Umsteuern zum Wiederaufbau der ausgeräumten Wälder festgeschrieben.

Durch die Vermessung der Wälder (18./19. Jahrhundert) und ein darauf aufsetzendes Inventur- und Planungssystem in Deutschland – den regelmäßig wiederkehrenden Forstein-

richtungsplan für 10 (bis 20) Jahre – konnte der Wiederaufbau ertragreicher Waldstrukturen gelingen. Gegenüber dem Geburtsjahr der Forstlichen Nachhaltigkeit (v. Carlowitz – 1713) haben unsere Wälder heute eine zehnfach höhere Substanz an Holz.

Das Waldsterben durch sauren Regen ab Mitte der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde zur nächsten großen Herausforderung für unsere Wälder. Die Waldböden waren in der durchwurzelten Schicht auf breiter Fläche stark übersäuert. Grund war jahrzehntelanger Eintrag schwefeliger Säure aus der Verbrennung fossiler Energieträger. Gravierende Schädigungen der für die Wasser- und Nährstoffaufnahme verantwortlichen Wurzeln führten zum Absterben bei den älteren Bäumen und im versauerten Boden konnten die Samen der Bäume nicht mehr erfolgreich keimen – die natürliche Erneuerung der Wälder blieb aus. Mit der Großfeuerungsanlagenverordnung von 1983 in Deutschland und der Einführung der Katalysatoren in den Kraftfahrzeugen konnte schließlich auch in dieser Bedrohung die Wende eingeleitet werden. Die wichtige Abgasfilterung vollzog sich wegen der schädlichen Wirkungen der Luftschadstoffe auf die menschliche Gesundheit dann auch zunehmend international.

Nun hat sich der globale Klimawandel über Jahrzehnte zur existenziellen Bedrohung entwickelt – nicht nur für die Waldbesitzer und die Waldwirtschaft in Mitteleuropa, sondern für die Bevölkerungen vieler Länder mit ohnehin schon angespannter Wasserversorgung. Zunehmend häufigere und länger anhaltende Trockenphasen im Frühjahr und Sommer hier bei uns spiegeln die globale Entwicklung wider. Die große Hoffnung ist, dass die sehr kritische Phase seit 2018, die zur bisher noch nie dagewesenen Zerstörung gewohnter Waldbilder im zentralen Europa seit Beginn der Wetteraufzeichnung (1880) geführt hat, sich nicht in der gleichen Dynamik weiter fortsetzt.

Die zerstörerischen Prozesse in der Vergangenheit konnten mit konsequentem Handeln



*Bild 1: Der grüne Weg – stabiler arten- und altersgemischter Dauerwald entfaltet nachhaltig die höchste Klimaschutzleistung  
Foto: Autor*

noch immer abgewendet werden. In der Frage des derzeitigen weltweiten Klimawandels erfordert das nötige Gegensteuern aber ein viel umfassenderes und einschneidenderes globales Handeln. Die bereits aufgezeigten Maßnahmenbündel reichen bis hin zur optimierten CO<sub>2</sub>-Bindung durch die Holzproduktion in den nachhaltig bewirtschafteten Sekundärwäldern.

### **Klimaschutzbeitrag heimischer Wälder**

Der Beitrag der Wälder unserer Region für den Klimaschutz hängt sehr davon ab, dass die Waldstrukturen stabil bleiben, weiter nachhaltig genutzt werden und besonders viel der genutzten Holzmasse aus dem CO<sub>2</sub>-Kreislauf entnommen wird. Dann kann die gesamte Leistung der Wälder für den Klimaschutz, die sich als Summe von Waldspeicher (lebende und tote Biomasse), Produktspeicher (langlebige Holzprodukte) und Substitutionseffekten (Holz als Ersatz energiebelasteter Baustoffe) darstellt, auf ein Maximum hin entwickelt werden.

Es wurde für mich zur besonderen Herausforderung, mit dem Team im Forstamt Wolfhagen an der Stabilität unserer Wälder zu arbeiten. Die zunehmend kritischeren Wachstumsbedingungen gaben den Impuls für das vom Bundesumweltministerium geförderte Projekt „Erfolgreiche Klimaanpassung im Kommunalwald“. In diesem Projekt hat das Forstamt mit Unterstützung der Uni Kassel und der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt im Zeitraum 2014 bis 2017 Weichenstellungen für resilienteren, risikoärmeren Waldaufbau in unserer Region herausgearbeitet. Die waldbaulichen Aussagen lassen sich auch auf andere Regionen übertragen.

Aus den eigenen waldbaulichen Erfahrungen, der Reflexion auf die Dauerwald-Erkenntnisse der „Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft“ und in der Projektbefassung mit den Fragen von Resilienz unter extremer werdenden Bedingungen kann resümiert werden, dass ein wesentlicher Schlüssel zur Vermeidung labiler Waldverhältnisse in stetiger Pflege und wiederkehrenden Baumentnahmen zur Entspannung der Konkurrenzverhältnisse im Wald liegt. Lässt man wachsen, ohne zu steuern, entwickeln sich regelmäßig überdichte, einförmige Strukturen aus dünnen Bäumen mit kleinen Kronen und wenig Wurzelmasse. Solche Wälder sind in der Regel Stressgesellschaften, mangelversorgt, anfällig für Stürme und anfällig für Schadorganismen.

Zur Stabilität trägt auch besonders die Beteiligung von Baumarten bei, die mit länger andauernder Trockenheit noch relativ gut umgehen können wie z. B. unsere Eichen. Das Spektrum an heimischen Baumarten, die sich für produktive Wälder eignen, ist allerdings durch die Eiszeiten im Zusammenwirken mit den südlichen Gebirgsbarrieren (Pyrenäen, Alpen, Karpaten) nur noch sehr gering. Deshalb sollten zur Erhöhung der Diversität geeignete mediterrane Arten und die hier bereits etablierten klimatoleranten nordamerikanischen Arten in den Waldentwicklungszielen auch ihre Berücksichtigung finden.

Das Risiko für Ausfälle und für Strukturstörungen steigt mit fehlender Diversität, dem Dichtstand und der Höhe der Bäume. Treten dann großflächige Schäden (Kalamitäten) im Wald auf, fällt einerseits die Bindung von CO<sub>2</sub> auf den Kalamitätsflächen aus und zusätzlich folgt ein Zersetzungsschub, der den in toter Holzmasse und dem Boden gespeicherten Kohlenstoff „veratmet“. Für solche



Waldflächen wird dann aus der hohen CO<sub>2</sub>-Bindungsleistung einer intakten Waldstruktur eine CO<sub>2</sub>-Emissionsfläche. Die CO<sub>2</sub>-Senkenleistung baut sich in der Folge erst sehr langsam wieder auf.

Die Bäume der Sekundärwälder sollen nicht mehr „in den Himmel“ wachsen müssen und früh Platz zur Entfaltung erhalten. Gepaart mit Diversität reduziert sich das Verlustrisiko gravierend und in stabilen Dauerwaldstrukturen bleibt der Holzzuwachs und damit die CO<sub>2</sub>-Bindung dauerhaft auf hohem Niveau.

## Nutzung und Biodiversität

In der Waldpflege und Bewirtschaftung wird in Deutschland traditionell auf multifunktionale Nachhaltigkeit geachtet. Es geht um den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen, um Biodiversität, um soziale Verantwortung und um wirtschaftliche Leistungsfähigkeit gleichermaßen. Biotop- und Artenschutz sind festes Programm im Wirtschaftswald – für Forstleute wie für Waldbesitzer. So belegen die Bundeswaldinventuren (BWI) auch die ökologische Wertigkeit unserer Wälder und die BWI 3 von 2011 bescheinigt Hessen den Spitzenplatz unter den Bundesländern in Sachen Mischwald und Naturnähe.

Vor 300 Jahren waren die Wälder ausgeräumt und blankgefegt – Totholz war Mangelware. Heute verbleiben abgestorbene Bäume im Wirtschaftswald und über gezielte Naturschutzmaßnahmen und Programme werden Habitat- und Horstbäume erhalten und aktiv Biotope für Totholzbewohner geschaffen. Die Lebensgrundlagen für die waldgebundene Flora und Fauna verbessern sich allgemein durch die Regulierung von Konkurrenzverhältnissen um Wasser, Licht und Nährstoffe über zielgerichtete Entnahme von Bäumen. Beispielhaft ist in diesem



Zusammenhang der Frauenschuh (Orchidee) anzuführen. Seine Vorkommen sind den zuständigen Forstleuten bekannt und erhalten durch angepasste Lichtregulierung optimale Entwicklungsbedingungen. So verwundert es nicht, dass seit Beginn der Artenerfassung in Thüringen vor 250 Jahren im bewirtschafteten Wald keine vorkommende Pflanzenart ausgestorben ist <sup>[4]</sup>.

Wir können uns heute über stabile Vorkommen von Frauenschuh, Schwarzstorch, Wildkatze und Hirschkäfer freuen. In Naturschutzkonzepten werden wechselnde örtliche Schwerpunkte für ökologischen Verbesserungen im Wald gesetzt – im Forstamt Wolfhagen steht z. B. aktuell die Renaturierung verschlammter und zugewachsener Tümpel und Teiche im Wald als Lebensräume für Amphibien und viele andere Arten an.

Es gibt reichlich sensible Lebensräume und schützenswerte Strukturelemente im Wald. Unser Wald ist aber ein dynamisches System, das auf der großen Waldfläche in Deutschland auch einen fließenden Wechsel von Lebensräumen für die heimischen Arten garantiert. Einseitige Sichten auf die komplexen Zusammenhänge im Wald und daraus abgeleitete Forderungen nach restriktivem Flächenschutz – quasi „per Käseglocke“ – verfehlen ihr Ziel, weil bzw. wenn sie die natürliche Dynamik ausblenden.

Die Übernutzungen in historischer Zeit haben ein vielfältiges Landschaftsmosaik mit ökologischen Nischen entstehen lassen. Heute werden diese Lebensräume durch regelmäßige Pflege erhalten. So hat sich unser Wald als Rückzugsgebiet vieler Arten bewährt, nicht trotz, sondern gerade durch waldbauliche Licht- und Konkurrenzregulierung.

## Konkurrierende Erwartungen

Das Verhältnis der Menschen zum Wald ist ein besonderes. In historischer Zeit haben wir uns aus dem Wald grundversorgt („Hölzernes Zeitalter“). Heute steht der Wald sehr im Mittelpunkt der Interessen von Freizeitgestaltung und Erholung. Daran knüpft sich auch eine allgemeine Erwartung an freie Zugänglichkeit und ungestörten Freizeitgenuss in einer schönen Waldlandschaft („Waldästhetik“).

Diese Erwartungen treffen regelmäßig auf die waldwirtschaftliche Nutzung des fast einzigen Rohstoffs, über den Deutschland massenhaft verfügt. Obwohl Holz uns täglich umgibt, wird der Wirtschaftszweig, der ihn gewinnt und formt – das Cluster Forst und Holz –, kaum wahrgenommen oder nur als störend empfunden. Dabei hängen laut der Clusterstatistik des Thünen-Instituts <sup>[5]</sup> über eine Millionen Arbeitsplätze am Holz – das sind mehr, als die Automobilindustrie

mit dem kompletten Zulieferbereich zu bieten hat.

Der darin zum Ausdruck kommende Konflikt, den Wald zu nutzen oder lieber nicht zu nutzen, bricht heute auch in Bezug auf die Einführung grüner Technologien immer wieder auf. Zum Beispiel wird in der Frage von Windenergieanlagen die Anlagenleistung als Argument für Planungen auf Waldstandorten angeführt. Die Wälder befinden sich – historisch bedingt – in den windhöffigen Höhenlagen. Im öffentlichen Diskurs sind dann,

neben den wichtigen Schutzaspekten, auch Erwartungen an eine ungestörte Waldlandschaft mit prägend.

Hinsichtlich der Windenergie im Wald ist die Ambivalenz unterschiedlicher Ziele keineswegs einfach aufzulösen. Es geht um viel und die Standpunkte sind jeweils fundiert begründet. Die konkurrierenden Sichtweisen und Ansprüche müssen schließlich im Rahmen der Genehmigungsverfahren zu sorgfältig abgewogenen Konsensentscheidungen geführt werden.

Am Beispiel der Windenergie werden die vielfältigen Erwartungen an den Wald aus den verschiedensten Blickwinkeln und die Facetten seiner Leistungen für die Gesellschaft besonders deutlich.

### Fazit

Auf einen vereinfachten Nenner gebracht, lehrt die Waldhistorie, dass es der Natur egal ist, ob Waldstrukturen für eine längere Zeitphase zerstört werden. Über sehr lange Zeiträume betrachtet hat es umwälzende na-



Abb. 2: „Eierlegende Wollmilchsau“ – sinnbildlich für den Wald, der vielen Ansprüchen gerecht werden soll – und kann!



türliche Veränderungen – z.B. durch die Eiszeiten – gegeben. Wir sind uns aber wegen der vielfältigen Erwartungen der heutigen Gesellschaft darin einig, dass unser Wald so bleiben soll, wie wir ihn bisher kennen: nachhaltig schön, vital, artenreich und leistungsfähig.

Deutschland braucht seinen Wald mit all seinen Leistungen, u. a. auch der Klimaschutzleistung. Wald bietet uns den saubereren Rohstoff „in perpetuum“.

Die Strategien des Waldbaus zielen darauf, das Perpetuum in seiner höchstmöglichen Gesamtwirkung für die Zukunft nachhaltig zu sichern. So manche Branche könnte sich in der perspektivischen Ausrichtung an der modernen Waldwirtschaft orientieren.

Der erforderliche Schutz des Klimas kann uns hoffentlich noch gelingen. Dazu bedarf es aber erheblicher globaler Anstrengungen, die von massiven Änderungen im Umgang mit fossilen Energieträgern über verstärkte Anwendung grüner Technologien bis hin zur nachhaltigen Nutzung nachwachsender Ressourcen – wie dem Holzzuwachs aus unseren Wäldern – reichen. ◇



## Quellen

- [1] Statista Research Department 2022. <https://de.statista.com>
- [2] Umweltbundesamt 2022. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentration>
- [3] Claude Martin, 2015. Endspiel – Wie wir das Schicksal der tropischen Regenwälder noch wenden können. Oekom-Verlag – ID: 128-50040-1010-1082.
- [4] Schulze, E.D. & Ammer, C., 2015. Konflikte um eine nachhaltige Entwicklung der Biodiversität: Spannungsfeld Forstwirtschaft und Naturschutz. *Biologie in unserer Zeit*, 45, 304–314. Doi: 10.1002 / binz, 201510574.
- [5] Becher, G. & Weimar, H., 2020. Stand der Clusterstatistik für das Jahr 2017 und Entwicklung für den Zeitraum 2000 bis 2017. *Holz-Zentralblatt* 6, 2020, 132–133.

Die Bedeutung der sogenannten „kleinen erneuerbaren Energien“

## Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie im Gesamtbild einer 100 %-Versorgung mit erneuerbaren Energien

Hans-Josef Fell und Lena Tischler (Energy Watch Group)

**Auch wenn Photovoltaik und Windkraft in einem erneuerbaren Energiesystem unbestritten den Löwenanteil der Energie erzeugen werden, sind Wasserkraft, Bioenergie und Geothermie als sogenannte „kleine erneuerbare Energien“ mitnichten vernachlässigbar. Ihre Relevanz ergibt sich einerseits aufgrund des reinen Potenzials dieser Energien für den Ersatz fossiler und atomarer Energieträger, andererseits vor dem Hintergrund ihrer Netzdienlichkeit sowie aus zahlreichen nicht-energetischen Funktionen. Statt der Diskussionen um ein Verbot braucht es daher endlich geeignete politische Rahmenbedingungen und eine massive Beschleunigung des naturverträglichen Ausbaus dieser wichtigen Säule unseres zukünftigen Energiesystems.**

Ob Pandemie, Krieg oder Klimakrise – der Umstellung auf 100 % erneuerbare Energien kommt bei der Bewältigung der komplexen Krisen unserer Zeit eine elementare Rolle zu. Fossile Energieträger sind für zwei Drittel der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Damit sind sie nicht nur Haupttreiber des Klimawandels, sondern auch ein enormes Risiko für die menschliche Gesundheit. Gleichzeitig verdeutlicht Putins Krieg in der Ukraine, welche fatalen geopolitischen Folgen unsere fossile Abhängigkeit hat. Zudem ist die derzeitige Energiepreiskrise entgegen der öffentlichen Meinung nicht nur Resultat der Energieabhängigkeit von Russland, sondern auch das Ergebnis der zunehmenden Knappheit fossiler Rohstoffe weltweit.

Es geht daher bei den derzeitigen energiepolitischen Diskussionen neben Energiesicherheit, sauberer Luft, Atomgefahren und geopolitischen Spannungen um nichts Geringeres als um die Abwendung des irreversiblen Eintritts in die unbeherrschbare Heizeit der Erde und die Erhaltung der menschlichen Zivilisation. Doch obwohl die Ampelkoalition den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland schneller vorantreibt als vorangegangene Regierungen, scheint manchen politischen Akteur:innen die Dringlichkeit der Lage noch immer nicht in ihrer Gänze bewusst zu sein.

Dringend erforderlich wäre in Anbetracht der sich gegenseitig beschleunigenden globalen Krisen – Klimakrise, Gesundheitskrise, Energie(preis)krise, Kriege – das Ausschöpfen des Potenzials aller vorhandenen heimischen erneuerbaren Energien. Denn auch wenn Photovoltaik und Windkraft in einem erneuerbaren Energiesystem unbestritten den Löwenanteil der Energie erzeugen werden, sind Wasserkraft, Bioenergie und Geothermie als sogenannte „kleine erneuerbare

Energien“ mitnichten vernachlässigbar.

Aufgrund der natürlichen Schwankungen von „Sonne und Wind“ steht die Bundesregierung vor der Aufgabe, diese in eine verlässliche „Rund-um-die-Uhr-Energieversorgung“ zu integrieren. Doch statt den Ausbau von Wasserkraft, Bioenergie und Geothermie als verlässliche heimische Energiequellen ebenfalls massiv voranzutreiben, wird ihre Nutzung durch ungünstige politische Rahmenbedingungen sogar noch erschwert.

Dabei ist ihr Potenzial nicht zuletzt vor dem Hintergrund der dringend erforderlichen Unabhängigkeit von russischer Energie enorm: Einer neuen Studie der Energy Watch Group<sup>1</sup> zufolge könnten allein Wasserkraft und Bioenergie mehr als 50 % der russischen Energielieferungen ersetzen. Bei der heimischen Tiefengeothermie sind es sogar 60 %<sup>2</sup>.

Für eine zu 100 % erneuerbare Energieversorgung mit einer Bedarfsdeckung in allen Sektoren bedarf es insbesondere der folgenden vier Maßnahmen:

#### 1. **Ein Energie-Mix aus allen verfügbaren erneuerbaren Energien**

Bioenergie, Wasserkraft und Geothermie tragen schon heute einen erheblichen Teil zur deutschen Energieerzeugung bei, insbesondere in einem vollständig erneuerbaren Energiesystem sind sie jedoch unverzichtbar, um Schwankungen von PV und Windkraft auszugleichen.

#### 2. **Eine bedarfsorientierte Stromnachfrage**

Besonders Industrieunternehmen, doch auch Privatpersonen haben die Mg-

lichkeit, Strom vermehrt abzunehmen, wenn die Netze mit Solar- und Windenergie gefllt sind, und die Abnahmemenge in Flauten zu reduzieren.

#### 3. **Nutzung der gesamten Vielfalt existierender Speicher**

Diese reicht von Batterien über Wärme- und Pumpspeicher bis hin zu grünem Wasserstoff, der schwerpunktmäßig für nicht elektrifizierbare Bereiche genutzt werden sollte.

#### 4. **Ausgleich durch Stromleitungen**

Notwendig ist in Deutschland insbesondere ein Ausgleich zwischen Nord, Süd und dem Alpenraum mit seiner Wasserkraft. Um jedoch übermäßigen Fernleitungsbau mit hohen Netzgebühren zu reduzieren, muss der Ausbau der Verteilnetze stärker in den Mittelpunkt gerückt werden.

Die Wichtigkeit des dezentralen Ausbaus von Wasserkraft, Bioenergie und Geothermie ergibt sich einerseits aufgrund des reinen Potenzials dieser Energien für den Ersatz fossiler und atomarer Energieträger, andererseits vor dem Hintergrund ihrer Netzdienlichkeit sowie aus zahlreichen nicht-energetischen Funktionen:

### **Netzdienlichkeit dezentraler kleiner erneuerbarer Energien**

Aus dem Umbau des Energiesystems mit steigendem Anteil fluktuierender erneuerbarer Energieformen ergeben sich neue Herausforderungen an einen stabilen Netzbetrieb, sowohl für Übertragungs- als auch für Verteilnetze. Vor diesem Hintergrund gewinnt der Ausbau von Wasserkraft, Geothermie und Bioenergie an Bedeutung, da sie

<sup>1</sup> Traber & Fell (2022).

<sup>2</sup> Medick & Wortmann (2022).

die Schwankungen von Wind und Sonne ausgleichen helfen, den Netzausbaubedarf verringern und so die Kostendynamik wie auch die Akzeptanzproblematik der Energiewende abmildern. Sie sind auch in Dunkelflauten und Netzengpassituationen verfügbar und senken so den Speicherbedarf. Damit sparen diese Technologien viele Milliarden Euro jährlich auf dem Weg in eine nachhaltige Zukunft.

Auch die Geothermie dient der verlässlichen Stromerzeugung rund um die Uhr. Zugleich hat die Oberflächengeothermie eine besondere energetische Bedeutung bei der Ablösung von Öl- und Gasheizungen mit Wärmepumpen sowie als Langzeitwärmespeicher. Durch Rückgriff auf diese kann beispielsweise Überschussenergie vom Sommer in den Winter gebracht werden.

## Wichtige nicht-energetische Funktionen der kleinen erneuerbaren Energien

**Wasserkraftanlagen** verfügen über weitreichende ökologische und gesamtgesellschaftliche Relevanz und erfahren durch die Klimakrise eine immer größere Bedeutung bei der Klimafolgenabwehr. Zu den wichtigen Funktionen zählt die Wasserrückhaltung durch die mit der Wasserkraft verbundenen Wehre, die im Fall von Starkregenereignissen zum Hochwasserschutz, aber auch bei Dürre und Trockenphasen zur Grundwasserbildung und -erhaltung, zum Erhalt von Feuchtgebieten und Lebensräumen sowie in vielen Fällen auch zur Sicherung der Trinkwassergewinnung maßgeblich beitragen. So hat etwa das Herausreißen von Wehren im oberen Ahrtal, begründet mit der ökologischen Verbesserung der Fließgewässer, zu einer deutlichen Erhöhung der Hochspitze und so zu einer Schadenserhöhung in der Katastrophe geführt. Darüber hinaus befördern Wasserkraftanlagen regionale Wertschöpfung, die Gewässerreinigung, bspw. durch die Herausnahme von Plastikmüll, oder die Sauerstoffanreicherung von Fließgewässern.



Etwa 7.600 **Wasserkraftanlagen** erzeugen ca. 4 % des produzierten Stroms<sup>3</sup> in Deutschland und tragen damit zur Vermeidung von rund 7 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei. Neben der emissionsfreien Energiegewinnung, die dem Klima- und Ressourcenschutz dient, leisten gerade die kleinen dezentralen Anlagen in den ländlichen Räumen einen wertvollen Beitrag zur Netzstabilität und zur Reduzierung der Netzverluste sowie der durch die Energiewende erforderlichen Netzausbaukosten.

Die **Bioenergie** sorgt ebenfalls für stabile Netze. Biogasanlagen können ihre Stromproduktion in Zeiten niedriger Residuallast reduzieren und Stromerzeugungskapazitäten in Zeiten mit geringer Einspeisung aus fluktuierenden Stromerzeugern bereitstellen. Eine flexible Steuerung von Biogasanlagen ermöglicht die bedarfsgerechte Stromproduktion, die strommarkt-, wärmebedarfs- und verteilnetzorientiert erfolgen kann. Zudem kann ökologisch angebautes Pflanzenöl auch als Kraftstoff in der Landwirtschaft schnell und kohlenstoffsenkend auch ohne Lebensmittelkonkurrenz Erdöl ersetzen.

Mehr denn je offenbart die aktuelle Energiekrise unsere starke fossile Abhängigkeit von Russland, die die Energieversorgung von Haushalten und Industrie zunehmend unplanbar und unbezahlbar werden lässt. Die Förderung von **Tiefengeothermie** schafft vor diesem Hintergrund eingespeist in Fern- und Nahwärmenetze Preisstabilität und Investitionssicherheit. Seit Monaten befinden sich die Erdgaspreise auf einem Allzeithoch, die Preise für Erdgas auf den Großhandelsmärkten liegen teilweise zwischen 80–100 €/MWh. Genau diese nicht beherrschbaren Preis- und Versorgungsrisiken stellen auch ein enormes Risiko für die Zukunftssicher-

3 Umweltbundesamt (2019).



heit des Wirtschaftsstandorts Deutschland dar. Die Preise für erneuerbare Energien hingegen sinken seit Jahren und liegen bereits seit 2021 deutlich unter jenen der fossilen Energien, wie eine im Herbst 2021 veröffentlichte Studie der EWG<sup>4</sup> zeigte.

Zudem ist die Förderung der Geothermie mit der Gewinnung anderer relevanter Rohstoffe verknüpft. So kann durch Nutzung der Tiefenerdwärme mehr als klimaschützende heimische Wärme und Strom gewonnen werden. Insbesondere aus den heißen Aquiferen des Oberrheingraben können zusammen mit der Energie auch große Mengen Lithium gefördert werden – ein wesentlicher Grundstoff für die Batterieproduktion. Insbesondere der Umstieg auf die Elektromobilität wird den Bedarf an Rohstoffen substantiell erhöhen.

Auch die **Bioenergie** verfügt neben ihrer netzdienlichen Eigenschaft über vielfältige Vorteile. Flexible dezentrale Speicherkraftwerke dämpfen Energiepreise und unterstützen die Wärmewende. Die Biogaserzeugung sichert Einkommen im ländlichen Raum und kann mit zunehmendem Rückgang des Fleischkonsums auch die Wertschöpfung aus der Tierzucht ersetzen. Die systematische Verlagerung von Zersetzungsprozessen in Fermenter mindert THG-Emissionen aus der Landwirtschaft, Anbau und Nutzung von Wildpflanzenkulturen und Dauergrünland sorgen für Kohlenstoffbindung und Humusaufbau.

So sind entgegen der unter dem Narrativ „Teller oder Tank“ geführten Argumentation auch die für die Biokraftstoffproduktion genutzten Ölpflanzen essenziell im Hinblick auf ihre Eigenschaft als wertvolle Kohlenstoff-

senken. Sie liefern neben dem Pflanzenölkraftstoff, der gerade in Landmaschinen Erdöl ersetzen kann, gleichzeitig immer auch wertvolle Proteine für die menschliche wie tierische Ernährung, Grundstoffe für Biokunststoffe der Chemieindustrie sowie Faserstoffe für Textilien. Die Reststoffe der Pflanzen, die keine energetisch stoffliche Verwendung erhalten, können Biogasanlagen zugeführt werden und liefern so Energie und über das Gärsubstrat Dünger als Ersatz für den durch den Ukrainekrieg besonders teuer gewordenen Mineraldünger. Es ist nicht zeitgemäß, dass regional erzeugte Biokraftstoffe als tragende Säule zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-, Energie- und Nahrungsmittelabhängigkeit abgeschafft werden sollen. Für eine wachsende Weltbevölkerung und eine durch Klimawandel bedrohte Land- und Forstwirtschaft benötigen wir mehr und nicht weniger Photosynthese.

Die erläuterten Punkte verdeutlichen die Absurdität der derzeitigen Debatten um eine Reduzierung der sogenannten „kleinen erneuerbaren Energien.“ Seit Langem als „Nischen-Technologien“ kleingeredet, stehen sie politisch enorm unter Druck. Dabei sind Wasserkraft, Geothermie und Bioenergie nicht nur für ein erneuerbares Energiesystem unersetzlich, sondern auch für unsere Energieunabhängigkeit von Russland. Statt der Diskussionen um ein Verbot braucht es daher endlich geeignete politische Rahmenbedingungen und eine massive Beschleunigung des naturverträglichen Ausbaus dieser wichtigen Säule unseres zukünftigen Energiesystems. ◇

## Quellen

Traber, Thure & Fell, Hans-Josef (2022): Kleinwasserkraft und Bioenergie sind für die Energiewende und den notwendigen Ausstieg aus russischen Energielieferungen unverzichtbar. [https://www.energywatchgroup.org/wp-content/uploads/Studie-Kleinwasserkraft-Bioenergie-Russland\\_FINAL\\_SM-1.pdf](https://www.energywatchgroup.org/wp-content/uploads/Studie-Kleinwasserkraft-Bioenergie-Russland_FINAL_SM-1.pdf)

Medick, Jakob & Wortmann, David (2022): White Paper: Die Tiefengeothermie als Schlüssel zur Energie- und Versorgungssicherheit für Bevölkerung und Industrie in Deutschland. [https://www.dwr-eco.com/wp-content/uploads/20220616\\_Geothermie\\_WhitePaper\\_Final-1.pdf](https://www.dwr-eco.com/wp-content/uploads/20220616_Geothermie_WhitePaper_Final-1.pdf)

Umweltbundesamt (2019): Nutzung von Flüssen: Wasserkraft. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/fluesse/nutzung-belastungen/nutzung-von-fluessen-wasserkraft#wasserkraftnutzung-global>

Traber, Thure; Fell, Hans-Josef; Marquitan, Sophie (2021): Eine Vollversorgung mit 100% Erneuerbaren Energien inklusive Speicher ist bereits heute wettbewerbsfähig und würde Energiekosten senken. Eine Darstellung am Beispiel Deutschland. <https://www.energywatchgroup.org/wp-content/uploads/Kurzstudie-Energiekosten-2021.pdf>

<sup>4</sup> Traber, Fell & Marquitan (2021).

# Direkte Leitungsverbindungen im Kontext der Energiewende

## – Eine technische und juristische Einschätzung

Prof. Dr.-Ing. Peter Birkner (House of Energy e.V.) und Prof. Dr. Hans-Peter Schwintowski (Humboldt Universität zu Berlin)

**Ein besonderer Schwerpunkt der Energiewende liegt auf der elektrischen Infrastruktur. Auch wenn das Energiesystem der Zukunft nicht ausschließlich elektrisch sein wird, wird Strom die zentrale Endenergieform sein. Elektrizität leistet einen wesentlichen Beitrag, den Bedarf an Endenergie zu senken. Durch die Kerntechnologien Elektromobilität und Wärmepumpe wird der Endenergiebedarf für Verkehr und Wärme deutlich sinken. Der Bedarf an elektrischer Energie wird jedoch gleichzeitig signifikant steigen. Eine Verdoppelung in Deutschland ist zu erwarten. Dies bedeutet deutlich höhere Anforderungen an das elektrische Netz, denn es müssen die stark schwankenden Leistungen von Erzeugern und Verbrauchern ausgleichen. Die Energieflüsse auf den Leitungen werden bidirektional sein und die installierte elektrische Leistung wird um einen Faktor acht ansteigen. Energiewende ist damit nicht nur eine Infrastrukturwende, sondern auch eine Leistungswende und erfordert einen starken Netzausbau. Ein anderer Ansatz besteht darin, Quellen direkt und außerhalb des allgemeinen Netzes mit Senken zu verbinden. Diese direkten Leitungsverbindungen vermeiden Schwankungen im allgemeinen Netz und geben Kapazitäten für andere Verteilungsaufgaben frei.**

### Einführung und technische Problemstellung

Ein Energiesystem, das weitestgehend auf der Nutzung von grünen Energiequellen basiert, ist multimodal ausgeprägt, jedoch gleichzeitig stromfokussiert. Unter multimodal ist der parallele und konzertierte Einsatz verschiede-

ner Energieformen zu verstehen. Dies erlaubt die stabile, sichere, zuverlässige und resiliente Bereitstellung der vom Kunden benötigten Nutzenergie, wobei die jeweiligen Beiträge der Energieformen zeitlich differieren können. Neben elektrischer Energie sind Wasserstoff, Fernwärme und synthetische Brennstoffe die hauptsächlich genutzten Endenergieformen. Das dominierende Stromsyste-

tem basiert überwiegend auf regenerativen Energien und wird geprägt von leistungsstarken, volatilen und intermittierenden Stromquellen mit geringen Nutzungsdauern. Der Bedarf an elektrischer Energie wird deutlich zunehmen. Nur über die Elektrifizierung von Anwendungen können die Effizienzziele erreicht werden. In Deutschland dürfte sich der Strombedarf gegenüber dem bisherigen in etwa verdoppeln. Die installierte Erzeugungsleistung wird hingegen überproportional und deutlich stärker ansteigen. Ein Faktor zehn ist hier nicht zu hoch gegriffen. Die sichere Beherrschung dieser Leistung, d.h. die Schwankung zwischen Überschuss und Mangel, ist die eigentliche technische Herausforderung der Energiewende.

Die Stromsenken werden vor allem in den Anwendungsfeldern Mobilität, Wärme- und Kältebereitstellung sowie industrielle Produktion entsprechend ebenfalls stark zunehmen. Auch sie sind leistungsstark, volatil und intermittierend.

Erzeugungs- und Nutzungsmuster sind regelmäßig zeitlich und örtlich voneinander entkoppelt. Dabei weist jedes Muster für sich häufig eine raumbezogene Synchronität auf. So scheint die Sonne in einer ganzen Region zeitgleich und alle Fotovoltaikanlagen produzieren oder es ist in einer ganzen Region kalt und alle Wärmepumpen laufen. Sonnenschein und Kälte treten jedoch nur selten gemeinsam auf.

Entsprechend technisch anspruchsvoll ist es, die Leistungsunterschiede in den Dimensionen Zeit und Ort zu überbrücken. Dies gilt umso mehr, als die Änderungsgradienten im Vergleich zum bisherigen System sowohl auf der Nutzungs- als auch auf der Erzeugungsseite deutlich höher sind. Zudem besteht eine Wechselwirkung zwischen der Aufrecht-

erhaltung der Leistungsbilanz in einem größeren Gebiet zu jedem Zeitpunkt und der örtlich auftretenden Netzbelastung. Auch wenn die Leistungsbilanz in einem großräumigen Stromsystem ausgeglichen ist, bleibt die Frage der örtlichen Verteilung von Quellen und Senken relevant. Diese bestimmt die Belastung in allen Leitungen des Netzbereichs. Eine definierte Zuordnung A der von den Senken abgerufenen Leistung zu allen verfügbaren Quellen kann zu Netzüberlastungen führen, während eine andere definierte Zuordnung B der gleichen Leistung vom Netz beherrscht wird. Auch die Verknüpfung der Leitungen – der sogenannte Schaltzustand – spielt hierbei eine Rolle.

Als technische Optionen zur Aufrechterhaltung der Leistungsbilanz bei gleichzeitiger Vermeidung von Netzüberlastungen stehen neben zusätzlichen klassischen Leitungen nutzungs- und erzeugungsseitige Flexibilität, Sektorenkopplung und Speicher zur Verfügung. Um den Infrastrukturbedarf zu minimieren, bieten sich zelluläre Strukturen an. Energiezellen orientieren sich am Aufbau elektrischer Systeme und versuchen in einem begrenzten Raum, der von einer – galvanisch verbundenen – elektrischen Spannungsebene definiert wird, den permanenten Ausgleich zwischen Energieangebot und -nachfrage möglichst herzustellen. Dabei kommen Technologien in dem Maße zum Einsatz, das wirtschaftlich darstellbar ist. Das zugrunde gelegte Zeitraster beträgt maximal 15 min. Zielgröße ist die Minimierung des residualen Leistungsaustauschs an der Schnittstelle zur vorgelagerten Spannungsebene. Diese hat analog die Aufgabe, alle in sie eingespeisten Differenzen summarisch mit der gleichen Logik und wirtschaftlich darstellbar zu kompensieren und so wiederum eine möglichst kleine residuale Leistungsunterschied für die übernächste Spannungsebene zu erreichen.

Das europäische Verbundnetz ist die höchste Spannungsebene, in der alle verbleibenden Differenzen durch die klassische Frequenzleistungsregelung summarisch, aber ohne Leitungsüberlastung auszugleichen sind. Dieses Vorgehen erlaubt die Beherrschung der dezentral hohen Einspeise- und Entnahmeleistungen, ohne die Transformationsquerschnitte zwischen den Spannungsebenen übermäßig und mit hohen Investitionen ausbauen zu müssen.

Einzelne Energiezellen sind jedoch nicht nur über die vorgelagerte Spannungsebene miteinander verbunden, sondern auch über die Endenergien Wasserstoff und Fernwärme ist ein Energieaustausch möglich. Weiterhin darf der Energieaustausch mittels mobiler Batterien in Elektrofahrzeugen nicht vernachlässigt werden. Das Stichwort hierzu lautet „Bidirektionales Laden“ und weist ein enormes Potential auf. Bild 1 stellt die Situation beispielhaft dar.

Energiezellen im Sinne der genannten Struktur können Industrieareale, Wohnquartiere oder Gewerbegebiete sein. Übergeordnet folgen die Hochspannungsnetze sowie als oberste Ebene das europäische Verbundnetz. Innerhalb dieser Strukturen sind Energiequellen und -senken alternativ an öffentliche oder nichtöffentliche elektrische Netze einer geeigneten Spannungsebene angeschlossen. Diese wiederum ist über Transformatoren mit der nächsthöheren Spannungsebene verbunden.

Ergänzend können einzelne Energiequellen und -senken – oder Kombinationen von beiden – auch direkt mit Leitungen verbunden sein. Diese Leitungen verlaufen parallel zu den – in der Regel öffentlichen – elektrischen Netzen. Im Kontext der beschriebenen Situation kann mit dieser zusätzlichen individuel-





## Zusammenfassung wesentlicher juristischer Ergebnisse

1. Von der Netzzugangs- und Netzentgeltregulierung freigestellt sind im deutschen Energierecht Direktleitungen (§ 3 Nr. 12 EnWG) und Anschlussleitungen. In beiden Fällen kommt es nicht auf die Leitungslänge oder darauf an, ob die Leitungen Straßen unter- oder überqueren müssen.
2. Wenn und soweit die Leitungen über öffentlichen Grund geführt werden müssen, besteht ein Anspruch auf das Wegerecht nach § 46 EnWG. Soweit privater Grund in Anspruch genommen werden muss, müssen die Leitungsbetreiber mit dem Eigentümer der privaten Grundstücke über das Wegerecht und über die Höhe eines angemessenen Entgeltes dafür verhandeln. Abgesichert werden können Nutzungs- und Wegerechte über eine beschränkt persönliche Dienstbarkeit (§ 1090 BGB). Auch die Einräumung eines Nießbrauchs wäre zulässig.
3. Freigestellt von der Regulierung sind darüber hinaus völlig autarke Erzeugungsinselformen und Kundenanlagen (§ 3 Nr. 24 a/b EnWG). Es handelt sich regelmäßig um kleine geografisch begrenzte Anlagen. Der BGH geht von einer Größe von ca. 10.000 m<sup>2</sup> und einem Jahresverbrauch von nicht mehr als 1000 MW/h aus.
4. Die danebenstehenden geschlossenen Verteilernetze spielen in der Praxis keine Rolle mehr. Auch Industrienetze (Arealnetze) gehören zu den regulierten Netzen.
5. Netzentgelte werden in Deutschland entfernungsunabhängig nach dem Prinzip der „Briefmarke“ gebildet. Es gibt keinen

Anreiz, Strom dezentral zu erzeugen, weil die Netzentgelte bundesweit gleich sind. Damit wird der Grundsatz der Verursachungsgerechtigkeit verletzt. Zugleich wird der Anreiz, möglichst schnell und nachhaltig erneuerbare Energien kundennahe zu erzeugen, unterbunden.

6. Letztlich verwirklicht das deutsche Energierecht derzeit den Gedanken einer möglichst umfassenden nachhaltigen Erzeugung von erneuerbaren Energien durch kundennahe Erzeugungsanlagen nicht.

## Zusammenfassung wesentlicher technischer Ergebnisse

1. Die Anschlussleitung hat sich im Gültigkeitsbereich des EnWG durchgesetzt und ist eine weitverbreitete Einrichtung.
2. Die rechtlichen Hürden für Direktleitungen – direkter Leitungsverbindungen außerhalb öffentlicher Netze – sind deutlich höher und es liegt zudem nur eine bedingte Rechtsicherheit vor. Technisch ist zumindest eine temporäre Abkopplung vom Netz erforderlich. Obwohl dies unter bestimmten Umständen realisierbar ist, verkompliziert es die Umsetzung. Damit werden aktuell Direktleitungen tendenziell Ausnahmen bleiben.
3. Eine wichtige technische Option zur Optimierung des Netzausbaus kommt damit nur in wenigen Fällen zu Anwendung. Dies lässt insgesamt steigende Kosten für den Netzausbau vermuten, da es physikalisch gilt, deutlich höhere und stärker schwankende elektrische Leistungen mittels elektrischer Netze zu beherrschen.

## Ausblick

Bundeswirtschaftsminister Robert Habeck angekündigt, die Bedingungen für die regionale Eigennutzung von selbsterzeugtem regenerativem Strom kurzfristig verbessern zu wollen. Dies könnte dem technischen Instrument der Direktleitung neuen Auftrieb verschaffen und so die Bildung zellulärer Energiesysteme unterstützen. ◇

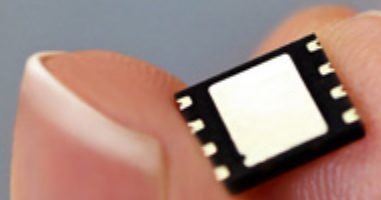
Die Langfassung dieses Beitrags ist in den ASPEKTEN No. 8 erschienen und in der Online-Mediathek des House of Energy zu finden. Sie enthält Ausführungen zu folgenden Themen:

- Direktleitungen
- Wegerechte
- Anschlussleitungen
- Diskussion und Thesen
- Inselnetze
- Kundenanlagen
- Geschlossene Verteilernetze
- Arealnetze
- Energieversorgungsnetze
- Parallelnetze



# eSIM: Warum die neue Mobilfunk-Technologie Erfolgsfaktor der Energiewende ist

Dipl.-Ing. Ulrich Kaindl und Dipl.-Inf. Dennis Paul (Wireless Logic mdex GmbH)



**Es ist unstrittig, dass die Digitalisierung Voraussetzung für die erfolgreiche Flexibilisierung der Energiewirtschaft ist. Daraus entstehen aber nicht einfach nur größere Datenmengen. Vielmehr verändern sich Art und Struktur der Datenübertragung grundlegend. Verschiedene Anwendungsszenarien erfordern unterschiedliche Sendereichweiten, Latenzen oder Gebäudepenetration. Das Problem: Der Over-the-Air-Datenaustausch in Verteil- und Übertragungsnetzen läuft oft noch über veraltete SIM-Karten. Der Erfolg der Energiewende hängt auch von der raschen Umstellung auf die neue eSIM-Technologie eUICC ab.**

## Prognose und Steuerung als Herausforderung

BDI-Präsident Siegfried Russwurm erwartet durch die Energiewende „eine beispiellose Transformation in allen Bereichen von Wirtschaft, Staat und Gesellschaft“: Den über die bisherigen Planungen hinausgehenden Infrastrukturausbau für Strom-, Wasserstoff-, Fernwärme- und CO<sub>2</sub>-Netze, Lade- und Wasserstofftankinfrastruktur und Verkehrswege schätzt der Industrieverband auf einen Wert von 145 Mrd. Euro.

In der Energiewirtschaft ist der zukünftig zu erwartende Management- und Prognoseaufwand längst angekommen.

„80 % des Stroms aus erneuerbaren Energien, ein Zubau von 200 GW an Photovoltaik und 15 Mio. Elektrofahrzeuge bis 2030 – das sind Zahlen, die uns als Netzbetreiber [...] sehr stark beschäftigen“, sagt Franziska Heidecke, Leiterin Digitalisierung und Innovation bei ED Netze .

Besondere Bedeutung für die Netzbetriebsführung kommt KI-basierten Prognosemodellen zu. Im Gegensatz zu Standardlastprofilen, die über Mittelwertbildung von über Jahre gesammelten Messwerten errechnet wurden, müssen zukünftig eine Vielzahl von Daten erfasst werden. Das Beratungsunternehmen Umlaut Energy klassifiziert die fünf Datenquellen Netzbetrieb (Netzauslastungs- und Wartungsdaten), Erzeuger (Erzeugungs-, Sensor- und Wetterdaten), Verbraucher (Eigenverbrauchs- und Eigenerzeugungsdaten), Speicher und Sektorenkopplung (Speicher, Power-to-X, Elektromobilität) und Strommarkt (Marktdaten, Preismodelle).

Die große Bandbreite qualitativ unterschiedlicher Daten und deren räumlich und zeitlich entkoppelte Gewinnung erfordert mithin eine stark diversifizierte Konnektivität. Weite Teile der Kommunikation erfolgt Over-the-Air (OTA) über das Mobilfunknetz, allerdings über veraltete SIM-Karten.

Das Subscriber Identification Module (SIM) wurde bereits im Jahr 1991 eingeführt. Seither ist die SIM-Karte bis auf die Verkleinerung vom Full-Size-Format 1FF (85 x 54 x 0,76 mm) auf Nano-Format 4FF (12,3 x 8,8 x 0,67 mm) praktisch unverändert im Einsatz.

Dabei hat diese Technologie gravierende Nachteile, wenn Daten an bisher nicht erschlossenen Standorten erfasst werden müssen. Eine herkömmliche SIM-Karte für die industrielle Nutzung ist nur für einen Temperaturbereich von -25 °C bis +85 °C vorgesehen. Das schränkt bereits den Einsatz in Ortsnetzstationen (ONS) ein. Zudem ist die SIM-Karte aufgrund der Ladeschublade weder resistent gegen mechanische Einwirkung noch gegen Feuchtigkeit. Das Modul eignet sich also nur bedingt z. B. für den industriellen mobilen Einsatz. Doch auch ohne Witterungseinflüsse altert eine SIM-Karte jedes Mal, wenn sie sich im Mobilfunknetz anmeldet. Die Herstellerangaben für mögliche Authentifizierungsvorgänge schwanken zwischen 100- und 500.000 Einsätzen. Darüber hinaus ist eine SIM-Karte nicht physisch gegen Fremdzugriff abgesichert – ein Problem bei den hohen Sicherheitsanforderungen kritischer Infrastrukturen (KRITIS).

## eSIM wird zum Flexibilitätsinstrument



*Kleiner als ein Centstück: Eine eSIM ist nur 6 x 5 mm groß.*

Die 2015 erstmals in Großserie verbaute eSIM (embedded SIM) bietet dagegen bereits physisch zahlreiche Vorteile in industriellen Anwendungsszenarien. Es handelt sich nicht mehr um eine Plastikkarte, sondern um einen Chip, der auf den Platinen der Endgeräte fest verlötet wird. Dieser Baustein ist mit 6 x 5 mm nur noch etwa halb so groß wie die Nano-SIM. So ist eine direkte Integration zum Beispiel in vernetzten Sensoren wesentlich einfacher. Bezogen auf die Energie- und Versorgerbranche spielt die Bauweise außerdem eine besondere Rolle aufgrund der häufig schwierigen Umgebungen etwa bei hohen Temperaturen in Ortsnetzstationen. Eine eSIM ist für den Betrieb bei Umgebungstemperaturen zwischen -40 °C bis +105 °C geeignet <sup>[4]</sup>. Als Chip im WLCSP-Gehäuse ist die eSIM zudem hermetisch versiegelt und noch widerstandsfähiger gegen Feuchtigkeit, Bewegungen, Vibrationen und Stöße. So abgesichert liegt die Lebensdauer einer eSIM unabhängig von der Anzahl der Authentifizierungen bei bis zu 17 Jahren.

Der entscheidende Vorteil der eSIM liegt jedoch in der Bereitstellung, dem Management und der Überwachung der Verbindungen über das Mobilfunknetz. Hinter der eSIM als Format steckt nämlich die Technologie eUICC (Embedded Universal Integrated Circuit Card). Das mit einer eSIM ausgerüstete Endgerät wird entweder über ein auf dem

Chip vorkonfiguriertes Standard-Profil oder über WLAN aktiviert und erst im Feld individuell konfiguriert. So können auch große Bestände an Anlagen und Endgeräten mit eSIM-Chips gleichzeitig vernetzt werden.

Die OTA-Bereitstellung erlaubt es, sehr effizient günstigere Tarife oder neue Netzstandards zu adaptieren oder aber den Mobilfunknetzbetreiber komplett zu wechseln. Darüber hinaus ist es möglich, auch mehrere Netzbetreiberprofile auf einer einzigen eSIM gleichzeitig zu verwalten und zum Beispiel Netzausfälle zu überbrücken. Der Aufwand für den physischen Austausch ganzer SIM-Kartenbestände entfällt.

Insbesondere die Möglichkeit, über eUICC mit geringem Aufwand neu entwickelte Datenübertragungsstandards adaptieren zu können, ist ein entscheidender Flexibilisierungsfaktor bei der Energiewende. eSIMs sind mit allen derzeitigen Netzstandards 2G, 4G, NB-IoT, LTE-M und 5G kompatibel.

In der öffentlichen Wahrnehmung gilt zwar 5G wegen der erheblichen Werbeaufwendungen der Mobilfunk-Netzbetreiber als die Zukunftstechnologie schlechthin. 5G bietet im Enhanced Mobile Broadband (eMBB) bei einer Frequenz von 3,6 GHz sehr hohe Datenübertragungsraten von bis zu 1 Gbit/sek., hat aber nur eine Reichweite von einem Kilometer und eine schwache Gebäude- und Innenraumdurchdringung.

Obwohl Stromnetz Berlin, die Deutsche Telekom und Ericsson schon im Jahr 2017 mit dem Projekt 5Grid den Einsatz von 5G im Stromnetz untersucht haben, ist das mobile Breitband eher für die Audio- und Videoverarbeitung prädestiniert. Für die Digitalisierung der Energiewende mit Messdatenerfassung, Fehleridentifikation, Fernsteuerung

oder Spannungsregelung liegen niederfrequente Lösungen wie NB-IoT (Narrowband for Internet of Things) oder LTE-M (Long Term Evolution for Machines) schon aus Effizienzgründen näher.

### Energiesparende Netzstandards für den Datenverkehr

Die beiden Netzstandards gehören zum Low Power Wide Area Network (LPWAN) und wurden von Beginn an zur Vernetzung von Anlagen des Industrial Internet of Things (IIoT) entwickelt. Der Nutzwert liegt in sparsamem Energieverbrauch und hoher Reichweite. LPWAN ist besonders effizient, wenn nur sporadisch oder in geringem Umfang Daten übertragen werden, und damit optimal für viele Bereiche der Energiewirtschaft geeignet.

NB-IoT ist eine besonders kostengünstige LPWAN-Technologie. Die Vorteile sind die Batterielebensdauer bis zu 10 Jahre, große Sendereichweite und die deutlich bessere Gebäude-Penetration als bei anderen Standards (vgl. Grafik 3). Die Datenübertragungsraten sind mit einigen zehn Kilobyte pro Sekunde sehr niedrig, die Latenzen mit bis zu 20 Sekunden dagegen sehr hoch.

Daher eignet sich NB-IoT am besten für sehr kleine Datenmengen unter 5 MB pro Monat, bei denen lange Latenzzeiten toleriert werden. Dafür können sich diese Endgeräte an Orten befinden, an denen andere Technologien nur schwer ein Signal erhalten würden. Ein Beispiel dafür sind die Vernetzung von intelligenten Messsystemen (iMSys) und Smart Meter Gateways. Diese sind oft tief im Gebäudekern verborgen, senden aber Messwerte nur unregelmäßig und als kleine Datenmengen.

Um den Energieverbrauch zu senken, werden zwei Technologien eingesetzt. Der erweiterte diskontinuierliche Empfang (eDRX) schaltet das Gerät zwischen dem Empfang von Daten auch über längere Zeiträume ab. Zusätzlich kann der Power Saving Mode (PSM) das Funkgerät komplett herunterfahren. Beim erneuten Einschalten muss sich das Gerät jedoch nicht wieder mit dem Netzwerk verbinden.

Im Vergleich zu NB-IoT bietet LTE-M höhere Datenraten und geringere Latenzzeiten. Zu einem späteren Zeitpunkt unterstützt LTE-M auch Sprachübertragung (VoLTE). Dies ist zum Beispiel bei der Gebäudevernetzung wie etwa bei Notrufsystemen in Aufzügen oder in U-Bahnen nützlich. Die Innenraumdurchdringung und Reichweite übertrifft 5G deutlich. Die Akkulaufzeit ist der von NB-IoT fast ebenbürtig.

Beide Technologien werden kontinuierlich weiterentwickelt und können bei der Vernetzung von Anlagen mit der eUICC-Technologie zukunftssicher adaptiert werden.

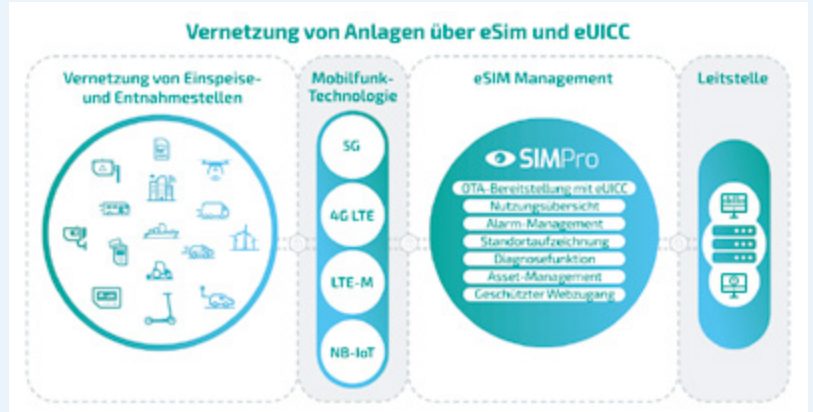
Allerdings haben die Mobilfunknetzbetreiber kein intrinsisches Interesse an eSIMs und eUICC, da damit der Anbieterwechsel vereinfacht wird. Ursprünglich hatten nämlich Hardwarehersteller wie Apple und Samsung die Entwicklung kleinerer und flexiblerer SIM-Chips vorangetrieben. Erst mit dem Wegfall der SIM-Schublade war es möglich, Wearables für Endverbraucher auf den Markt zu bringen. Erst dadurch wurden geringe Gehäusegrößen etwa bei Fitness-Trackern und vernetzten Uhren möglich. Auch in Smartphones sind mittlerweile eSIMs verbaut, um mehr Raum für Antennen, Kühlung oder Schnittstellen zu schaffen.

Die über eSIMs und eUICC ermöglichte Flexi-



bilisierung der Konnektivität setzt allerdings die Steuerung und Überwachung einer Vielzahl unterschiedlicher Datenverbindungen, Komponenten und Technologien voraus. Für Erzeuger und Netzbetreiber bedeutet das einen erheblicher Aufwand an Know-how und Ressourcen außerhalb der eigentlichen Kernkompetenz.

Diese Aufgaben übernehmen Service-Anbieter als virtuelle Netzbetreiber, die ihrerseits Verträge mit Mobilfunknetzbetreibern unterhalten und so jeweils passende Konnektivität anbieten. Die Struktur einer virtuellen Vernetzung mit SIM-Management ist in Grafik 1 am Beispiel von SIMPro von Wireless Logic mdex dargestellt. Die Anlagen und Endgeräte von Erzeugern, Netzbetreibern, Verbrauchern und Strommarkt-Teilnehmern werden je nach Anwendungsszenario über 5G, 4G LTE, NB-IoT oder LTE-M angeschlossen. Mit einem einzigen Vertrag stehen sämtliche Tarife und Netzstandards des Portfolios ohne aufwändige Auswahl und Kontrahierung einzelner Verträge zur Verfügung. Über abgeschirmte Verbindungen fließt der Datenverkehr von der Anlage im Feld zur jeweiligen Leitstelle.



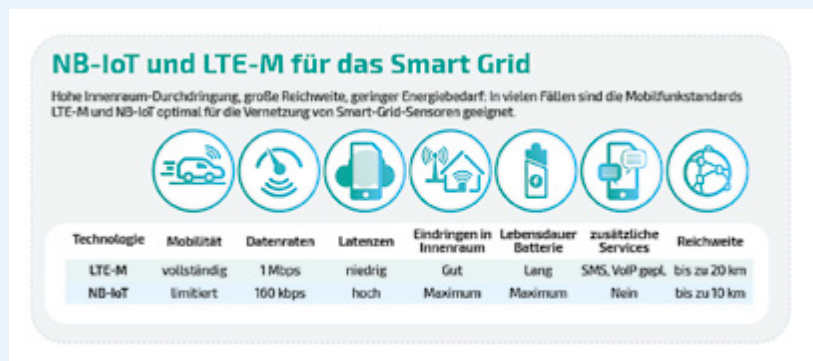
Grafik 1: Struktur gemanagter Datenverbindungen über eSIM/eUICC



Grafik 2: Mobilfunkstandards: Beispiele für Anwendungsszenarien

Nach der OTA-Bereitstellung verfügt der Nutzer mit dem SIM-Management-Portal SIMPro über eine vollständige Übersicht des gesamten SIM-Kartenbestandes inklusive Datenverbrauch mit Alarmfunktion, gesicherten VPN-Zugängen, Diagnosefunktionen und Standortaufzeichnung. Da die Überwachung mehrerer SIM-Management-Systeme einzelner Anbieter entfällt, reduziert sich der Netzbetriebsaufwand abermals.

Mittlerweile ist es Standard, dass Neugeräte wie etwa Smart-Meter-Gateways oder auch 450-MHz-Router mit fest verbauten eSIMs ausgerüstet sind. Allerdings befinden sich



Grafik 3: NB-IoT und LTE-M für das Smart Grid



zum Beispiel bei herkömmlichen Ortsnetzstationen immer noch Tausende von veralteten SIM-Karten im Einsatz. Der vollständige Austausch von Hardware-Altbeständen ist im gegebenen Kosten- und Zeitrahmen der Energiewende kaum möglich.

Die gute Nachricht ist, dass mittlerweile auch SIM-Karten in herkömmlichen Formfaktoren der Größen 2FF, 3FF und 4FF mit eUICC-Technologie angeboten werden. So können bestehende SIM-Karten-Bestände gegen

eUICC-kompatible Karten in den bekannten Formfaktoren ausgetauscht werden.

Es ist offensichtlich, dass die Qualität der Datenverbindungen die Achillesferse in der Digitalisierung der Energiewirtschaft ist. Vor diesem Hintergrund gewinnt die Feststellung, dass die Energiewende im eigentlichen Sinne eine Flexibilitätschwende ist, noch mehr Bedeutung <sup>[5]</sup>. Ohne auf spezifische Anwendungsszenarien angepasste Konnektivität und dynamische Adaption sich verän-

dernder Datenströme wird es kaum möglich sein, Informationssysteme zukunftssicher aufzustellen. ◊

## Quellen

- [1] Bundesverband der deutschen Industrie e. V.: Handlungsempfehlungen zur Studie Klimapfade 2.0 <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-handlungsempfehlungen-zur-studie/>
- [2] Martin, Anja: „Messtrategie für das Niederspannungsnetz von ED Netze“, in: EW – Magazin für die Energiewirtschaft, 27.02.2022 <https://www.energie.de/ew/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/messtrategie-fuer-das-niederspannungsnetz-von-ed-netze>
- [3] Heinemann, Antonia, Bracht, Detert: KI-basierte Prognosen: Die Energiewende stellt Netzbetreiber vor neue Herausforderungen, 10.6.2022, in Netzpraxis <https://www.energie.de/netzpraxis/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/ki-basierte-prognosen-die-energiewende-stellt-netzbetreiber-vor-neue-herausforderungen>
- [4] GSMA: eSIM Consumer and IoT Specifications. <https://www.gsma.com/esim/esim-specification/>
- [5] Birkner, Peter, Kuppers, Stefan, Zdrallek, Markus: Flexibilität – Das zentrale Element des Energiesystems der Zukunft, in Perspektiven 2020/2021, S. 118 ff. <https://www.house-of-energy.org/mediathek>



