

DAS H₂-KOMPETENZPAPIER

zur Beschleunigung der Markteinführung vielversprechender
Ergebnisse aus den Laboren der Wasserstoffforschung
(„faster lab to fab“)



efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen



efzn

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Einleitung und Zielsetzung

In der Rede zur „Zeitenwende“¹ konstatierte Bundeskanzler Olaf Scholz, dass „...eine verantwortungsvolle, vorausschauende Energiepolitik nicht nur entscheidend für unsere Wirtschaft und unser Klima, sondern entscheidend auch für unsere Sicherheit“ sei. Mit der „Zeitenwende“ und der bereits 2021 erfolgten Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes (Treibhausgasneutralität Deutschlands bis 2045²) geht ein umfassender Transformationsprozess des gesamten Wirtschaftsstandorts Deutschland einher, der unter erheblichem Zeitdruck erfolgen muss. Insbesondere die Küstengebiete im Norden stehen vor einer Welle der Industrialisierung³, weil hier die Energie der Zukunft zur Verfügung gestellt wird. Der schnelle Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft gilt dabei als ein wesentlicher „Enabler“ für die Transformation der Energiewirtschaft.

Niedersachsen eignet sich hier aufgrund der einander ergänzenden meteorologischen, geologischen und wirtschaftsgeografischen Standortvorteile im besonderen Maße für den Aufbau einer kompletten Wasserstoff (H₂)-Wertschöpfungskette:

- Niedersachsen stellt im nationalen Vergleich den **prozentual höchsten Anteil erneuerbarer Energieerzeugung**. Zusammen mit dem größten Ausbaupotential für die Erzeugung erneuerbarer Energie aus Windenergie und Photovoltaik ist es bestens für die Produktion von grünem Wasserstoff in Elektrolyseuren geeignet.
- Niedersachsen verfügt über **Europas größte Speicherkapazitäten** in Salzstöcken und Salzkavernen, die bereits heute für die Sicherstellung der nationalen Versorgung als strategische Langzeitspeicher für Erdöl und Erdgas genutzt werden.
- Niedersachsen ist für den **Import und die Verteilung von grünem Wasserstoff** mit Anlandepunkten für Gas und Strom, ausgebauten Hafeninfrastrukturen, Anbindungen an die Verteilnetze und als Zentrum der europäischen Logistikwege optimal für die systemische Rolle einer europäischen Drehscheibe vorbereitet.
- Niedersachsen besitzt als Industrieland selbst bedeutendes Potential zur Erzeugung und **Nutzung von Wasserstoff in den dort angesiedelten Industriezweigen** energieintensiver Branchen wie zum Beispiel die Stahl-, Chemie- und Zementindustrie.
- Niedersachsen hat unter dem Dach des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen (EFZN) eine **stark ausgeprägte Wissenschaftslandschaft in der Komponenten- und Systemforschung für Wasserstoff** aufgebaut. Kristallisationskeim war die Gründung des EFZN-Forschungsverbundes Wasserstoff Niedersachsen im Jahre 2018, der mittlerweile mehr als 20 Forschungsteams und über 50 von verschiedenen Bundesministerien geförderte Projekte vereint. Hinzu kommen die vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur mit 10,5 Mio. € geförderten Innovationslabore für Wasserstofftechnologien (InnoLabs, Laufzeit 2021-2024).

1



¹ Regierungserklärung von Bundeskanzler Olaf Scholz am 27. Februar 2022.

² Die Bundesregierung: Klimaschutzgesetz 2021. Generationenvertrag für das Klima

³ www.faz.net/aktuell/wirtschaft/industrie-folgt-energie-northvolt-als-chance-fuer-norddeutschland-18574794.html

1

Ein Beitrag zum Transformationsprozess des Wirtschaftsstandorts Niedersachsen ist die Erstellung des vorliegenden EFZN-H₂-Kompetenzpapiers.

Zielsetzung ist:

1. den Stand der Forschung und Entwicklung der niedersächsischen Komponenten- und Systemforschung für Wasserstoff transparent zu machen;
2. weitere Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft anzubahnen;
3. die Markteinführung von vielversprechenden Ergebnissen aus den Laboren der Wasserstoffforschung zur Fabrikation zu beschleunigen und auf die nächste Ebene zu heben („faster lab to fab“).



Das H₂-Kompetenzpapier

- stellt das EFZN als „one-stop-shop“ der niedersächsischen Energieforschung vor,
- gibt eine Schnellübersicht zu den Zielen und Inhalten der fünf niedersächsischen Innovationslabore für Wasserstofftechnologien,
- beschreibt die sechs Fokusgruppen des EFZN-Forschungsverbundes Wasserstoff Niedersachsen,
- bietet eine Schnellübersicht aller von 2018 bis 2025 realisierten Projekte des Forschungsverbundes,
- vermittelt Ihnen über einen aktivierten Web-Link Zugang zu weiterführenden Informationen zu allen Innovationslaboren und allen Einzelprojekten des EFZN-Forschungsverbundes Wasserstoff Niedersachsen her.

Das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen – der „one-stop- shop“ für Energieforschung und „Enabler“ der Wasserstoffforschung

Das EFZN ist ein gemeinsames wissenschaftliches Zentrum der Universitäten Braunschweig, Clausthal, Göttingen, Hannover und Oldenburg. Es besteht eine enge Zusammenarbeit mit vielen weiteren universitären und außeruniversitären Energieforschungseinrichtungen innerhalb und außerhalb Niedersachsens. Als zentrale niedersächsische Forschungs-, Vernetzungs- und Kommunikationsplattform bündelt es standortübergreifend die Kompetenzen der Energieforschung im Flächenland Niedersachsen aus den Natur-, Ingenieurs- und Gesellschaftswissenschaften („one-stop-shop“) und führt die Akteure der Transformation des Energiesystems aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft zusammen.

Das EFZN ermöglicht das Platzieren von Wasserstoff-Themenschwerpunkten auf Bundesebene mit gesamt-niedersächsischer Schlagkraft, insbesondere über das **Forschungsnetzwerk Wasserstoff des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)**⁴. Als Element der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung liefert dieses Forschungsnetzwerk Anregungen für die Forschung und Anwendung von Wasserstofftechnologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Eine weitere Vernetzung des EFZN erfolgt durch die Mitarbeit in Strategieprozessen der fünf norddeutschen Bundesländer Bremen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein mit der Leitung der **Norddeutschen Themengruppe Wasserstoff** im Rahmen der Norddeutschen Wissenschaftsministerkonferenz (NWMK). Das EFZN pflegt darüber hinaus einen ständigen Austausch mit anderen vom Land Niedersachsen getragenen Einrichtungen und ist Kooperationspartner im Niedersächsischen Wasserstoffnetzwerk (NWN)⁵.

Durch die bereits seit mehreren Jahren bestehende Mitgliedschaft in verschiedenen internationalen Wasserstoffnetzwerken ermöglicht das EFZN seinen Mitgliedern zudem direkten und offenen Zugang nach Europa – insbesondere als Plattform für Agenda-Setting. Allem voran sei hier **Hydrogen Europe Research**⁶ genannt, ein Zusammenschluss von über 120 Wasserstoffforschungsinstitutionen aus 28 europäischen Ländern. Hydrogen Europe Research bildet zusammen mit der Europäischen Kommission und dem Hydrogen Europe Network⁷, das über 400 Mitglieder aus der Brennstoffzellen- und Wasserstoffindustrie in der EU repräsentiert, die **Clean Hydrogen Joint Undertaking**⁸.

All dies kann von einer einzigen wissenschaftlichen Arbeitsgruppe oder einem einzelnen Forschungsinstitut nicht geleistet werden. Es bedarf vielmehr eines etablierten, gut organisierten Verbundes mit hohem Vernetzungs- und Differenzierungsgrad in der Wasserstoffforschung sowie einem starken Clustermanagement. Diese gelebte Struktur ist ein Alleinstellungsmerkmal für das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, sowohl regional als auch national und europäisch.

2



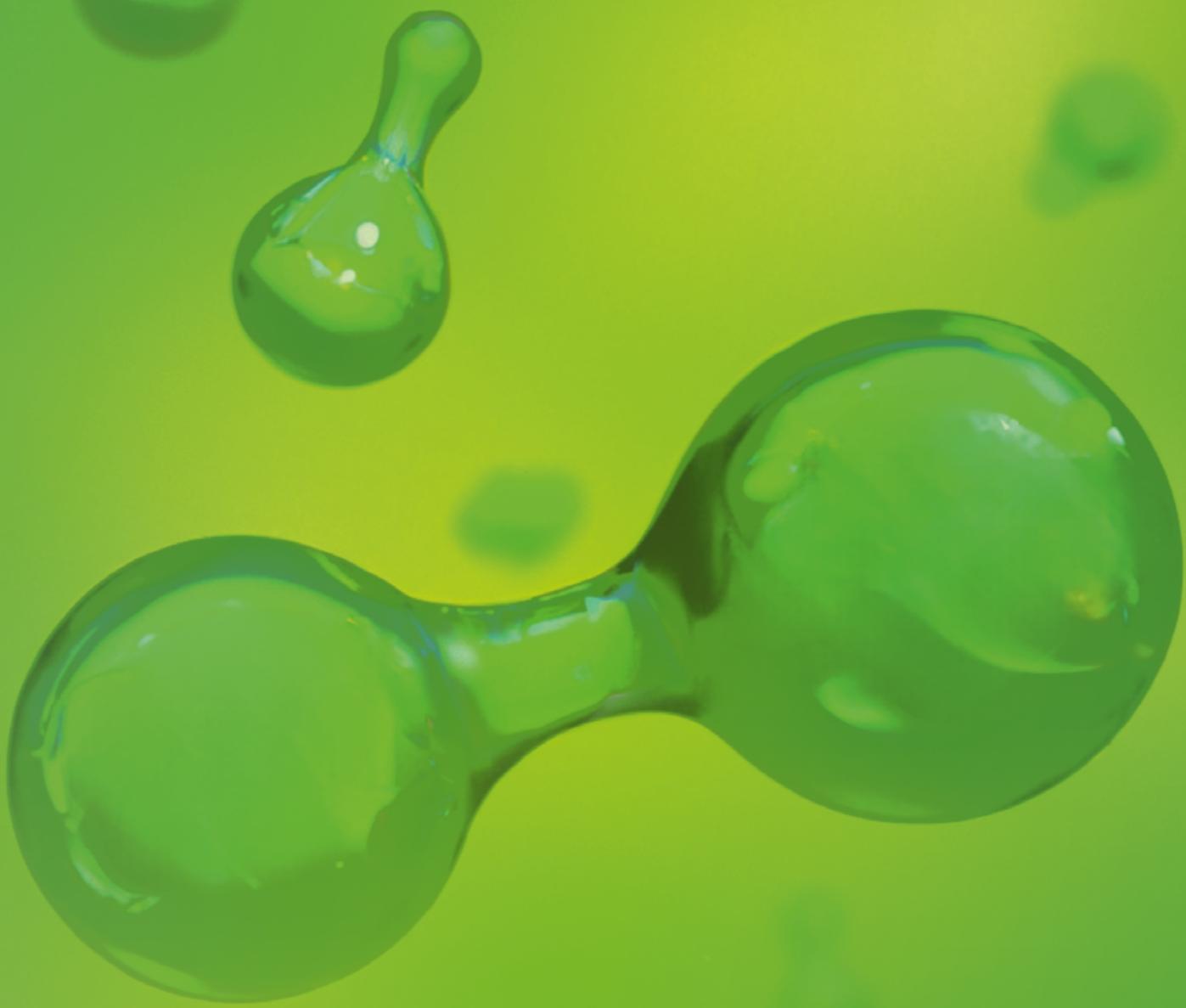
⁴ www.forschungsnetzwerke-energie.de/wasserstoff

⁵ www.wasserstoff-niedersachsen.de/

⁶ hydrogeneuroperesearch.eu/

⁷ hydrogeneurope.eu/

⁸ www.clean-hydrogen.europa.eu/index_en



Die MWK-Innovationslabore:
Kraftvolle Impulse für die
niedersächsische Wasserstoffforschung

3



Die MWK-Innovationslabore: Kraftvolle Impulse für die nieder- sächsische Wasserstoffforschung

Um aktuelle Entwicklungen im Bereich Wasserstoff schnellstmöglich aufgreifen und mitgestalten zu können und die vielfältigen Potentiale von grünem Wasserstoff in den Bereichen Energie, Mobilität und Industrie zu erforschen und nutzbar zu machen, wurde das EFZN im Jahre 2019 vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) mit der Gründung der „Wissenschaftsallianz Wasserstofftechnologie“ als zentrale Forschungs-, Vernetzungs- und Kommunikationsplattform für die Wasserstoffforschung in Niedersachsen beauftragt.

Zur Unterstützung der Zusammenarbeit in der niedersächsischen Wasserstoffforschung wurde die MWK-Förderausschreibung „**Innovationslabore für Wasserstofftechnologien**“ veröffentlicht, die mit **Fördergeldern in Höhe von insgesamt 10,5 Mio. € zum Ziel hatte, Wissenschaft und Praxisakteure zur gemeinsamen Lösung von zentralen wissenschaftlichen, technologischen und ökonomischen Herausforderungen zusammenzubringen und dadurch einen wesentlichen Beitrag zur Technologieentwicklung und Marktdurchdringung von Wasserstoff zu leisten**. Das Auswahlverfahren im Jahre 2020 wurde von der Wissenschaftlichen Kommission Niedersachsen (WKN) begleitet. Im Einzelnen werden fünf niedersächsische Forschungsverbünde gefördert:

1. Das Innovationslabor „**H₂-Wegweiser Niedersachsen**“ untersucht in einem interdisziplinären Ansatz, wie ein wasserstoffbasiertes Energiesystem der Zukunft in Niedersachsen konkret gestaltet werden kann, welche technischen Varianten vorteilhaft sind und welchen Einfluss rechtliche, ökologische und ökonomische Aspekte haben. Die Ergebnisse sollen für eine Konkretisierung der niedersächsischen Wasserstoff-Implementierungsstrategie genutzt werden können. Bei allen Untersuchungen werden die besonderen Randbedingungen, die Niedersachsen für eine Vorreiterrolle beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft prädestinieren, berücksichtigt und auf eine intensive Begleitung durch eine Vielzahl an industriellen Praxispartnern zurückgegriffen. **Weiterführende bzw. tieferegehende Informationen zum Projekt H₂-Wegweiser, insbesondere zu den teilnehmenden Industriepartnern, sind über den Web-Link⁹ (s. Fußnote) für Sie zugänglich gemacht.**
2. Das „**Innovationslabor Wasserelektrolyse (InnoEly)**“ erstellt einen Charakterisierungs- und Modellierungswerkzeugkasten zur Weiterentwicklung von technischen Wasserelektrolyseuren für die Produktion von grünem Wasserstoff. Im Rahmen des Vorhabens werden dabei alle am Markt verfügbaren Elektrollysetechnologien berücksichtigt. InnoEly trägt dazu bei, das Wertschöpfungspotenzial der Wasserstoffwirtschaft in Niedersachsen effizient zu nutzen, die enge Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie weiter zu intensivieren sowie eine zielgerichtete Weiterentwicklung der Elektrollysetechnologien zu ermöglichen. **Weiterführende bzw. tieferegehende Informationen zum Projekt InnoEly, insbesondere zu den teilnehmenden Industriepartnern, sind über den Web-Link¹⁰ (s. Fußnote) für Sie zugänglich gemacht.**



⁹ www.efzn.de/h2-innovationslabore/h2-wegweiser

¹⁰ www.efzn.de/h2-innovationslabore/innoely

¹¹ www.efzn.de/h2-innovationslabore/wave

¹² www.efzn.de/h2-innovationslabore/thewa

¹³ www.efzn.de/h2-innovationslabore/h2-renowe



3. Im Innovationslabor „**Nachhaltige Wasserstoff-Verbrennungskonzepte (WaVe)**“ geht es um die Nutzung von regenerativ erzeugtem grünem Wasserstoff in Verbrennungsprozessen. Es wird in drei Teilprojekten mit jeweils starkem niedersächsischem Fokus geforscht:

- Wasserstoffbasierte Bereitstellung von flexibler Primärregelleistung in thermischen Kraftwerken.
- Substitution von Erdgas durch Wasserstoff bei der Druckluftspeicherung in einer Salzkaverne, insbesondere im von Uniper betriebenen Druckluftspeicherkraftwerk Huntorf (Wesermarsch), als Beispiel für Gasturbinenverbrennung mit Wasserstoff.
- Schadstoffarme und effiziente Wasserstoffmotoren.

Im Rahmen des dreijährigen Innovationslabors werden die Grundprozesse erforscht und das Potenzial für die nachfolgende Umsetzung in industrielle Technologien zusammen mit Industriepartnern abgeschätzt. **Weiterführende bzw. tiefergehende Informationen zum Projekt WaVe, insbesondere zu den teilnehmenden Industriepartnern, sind über den Web-Link¹¹ (s. Fußnote) für Sie zugänglich gemacht.**

4. Das Innovationslabor „**THEWA – Thermomanagement von Wasserstoff-Tankstellensystemen**“ erstellt optimierte Gesamtsystemkonzepte zukünftiger Wasserstoff-Tankstellen für verschiedene exemplarische Anwendungsfälle. Der Fokus liegt auf multimodalen Tankstellen zur Betankung verschiedener Verkehrsträger, wie PKW, Busse oder LKW. Es werden interdisziplinäre Software-Tools für die Entwicklung und Netzwerkplanung von Wasserstoff-Tankstellensystemen entwickelt. Sowohl die Sichtweise des Anlagenbetreibers als auch des Systementwicklers sowie technische und wirtschaftliche Aspekte werden für eine ganzheitliche Systembetrachtung berücksichtigt. Verschiedene Tankstellenkomponenten – wie Wasserstoff-Verdichter und Kälteanlagen – werden theoretisch und experimentell untersucht und optimiert, um die Effizienz und Leistungsfähigkeit zukünftiger Wasserstoff-Tankstellensysteme zu steigern. **Weiterführende bzw. tiefergehende Informationen zum Projekt THEWA, insbesondere zu den teilnehmenden Industriepartnern, sind über den Web-Link¹² (s. Fußnote) für Sie zugänglich gemacht.**

5. Im Innovationslabor „**Wasserstoffregion Nord-West-Niedersachsen (H₂-ReNoWe)**“ wird erforscht, wie das Kraftwerk Huntorf mittelfristig in eine CO₂-vermeidende Betriebsweise überführt werden kann. Das angestrebte Wasserstoff-Druckluftspeicherkraftwerk soll dabei als Nukleus für eine Wasserstoffwirtschaft im Nordwesten Niedersachsens verankert werden. Die Betriebsszenarien werden anhand einer Netz- und Szenarien-Studie zur regionalen energietechnischen Infrastruktur entwickelt und geprüft. Mit dem Einsatz von Wasserstoff in der Rückverstromung besteht die Möglichkeit einer CO₂-freien Energieerzeugung und -speicherung im Megawattbereich sowie der Regelleistungserbringung zur Stabilisierung einer auf erneuerbaren Energien basierenden zukünftigen Stromversorgung. Die Ergebnisse zu Auslegung und Betrieb des Kraftwerks werden anschließend zur Konzeptionierung einer neuen Speicherkraftwerksgeneration auf Basis von Druckluft und Wasserstoff genutzt. **Weiterführende bzw. tiefergehende Informationen zum Projekt H₂-ReNoWe, insbesondere zu den teilnehmenden Industriepartnern, sind über den Web-Link¹³ (s. Fußnote) für Sie zugänglich gemacht.**

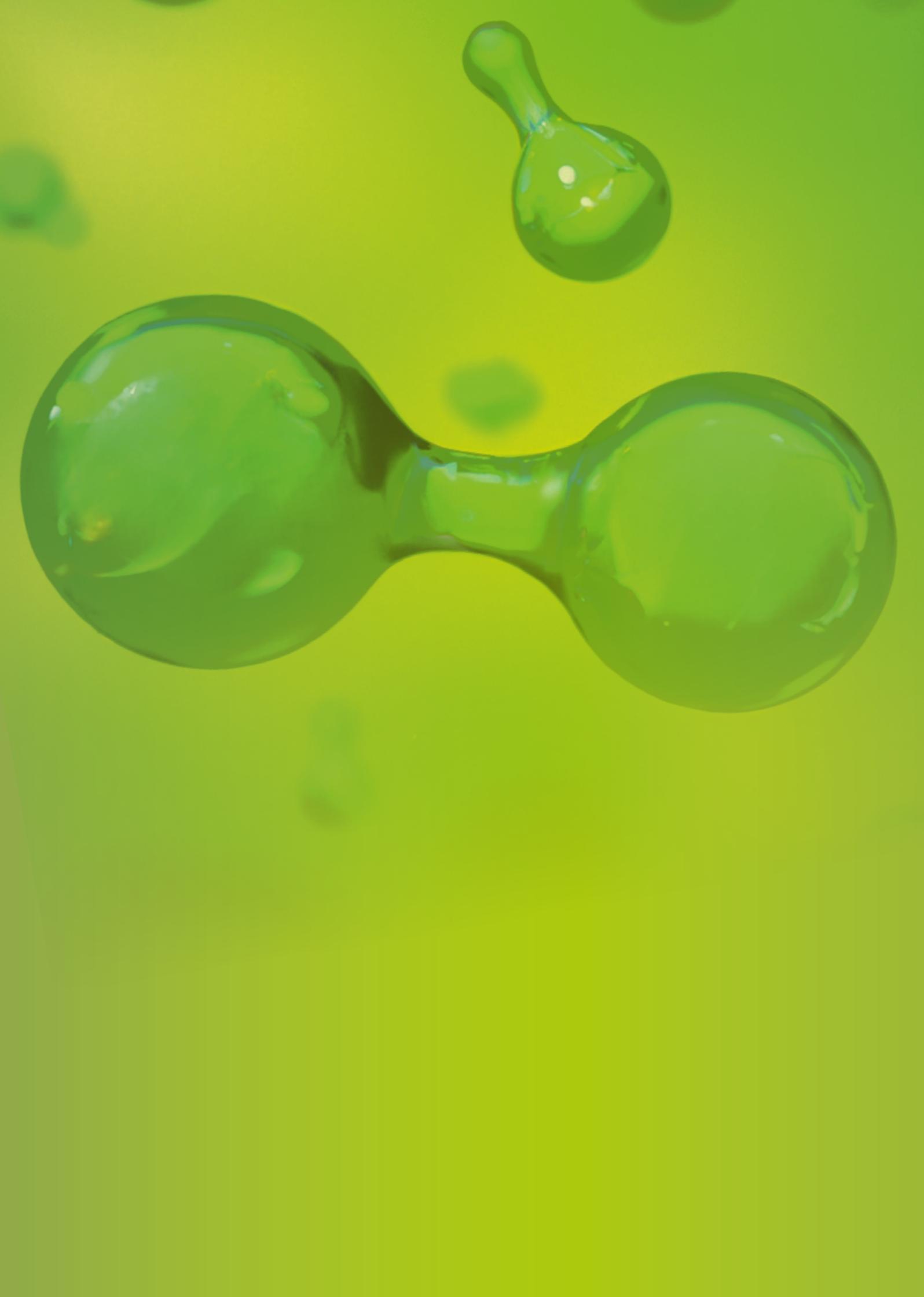
3



H₂-Wegweiser
Niedersachsen



H₂-ReNoWe



Wasserstoffforschung in Niedersachsen

4



Wasserstoffforschung in Niedersachsen

Im Kontext des Einsatzes von Wasserstoff aus regenerativen Quellen bei der Dekarbonisierung / Defossilierung unseres Energiesystems ergeben sich vielfältige Forschungs- und Entwicklungsbedarfe, die gegenwärtig weltweit und insbesondere in Deutschland von verschiedenen Akteuren adressiert werden. In diese Anstrengungen sind auch rund 20 niedersächsische Forscherteams involviert, die sich im **EFZN-Forschungsverbund Wasserstoff Niedersachsen** zusammengeschlossen haben.

Die niedersächsischen Teams haben in einem gemeinsamen Strategieprozess Suchfelder für Wasserstoff-Innovationen abgeleitet und sich dann thematisch entsprechend in sechs Fokusgruppen organisiert.

1. Fokusgruppe „Wasserstoffbereitstellung mittels Wasserelektrolyse“
2. Fokusgruppe „Speicherung von Wasserstoff im Untergrund und Infrastruktur“
3. Fokusgruppe „Nachhaltige Verbrennungskonzepte“
4. Fokusgruppe „Konversion von Wasserstoff in andere Energieträger“
5. Fokusgruppe „Brennstoffzellentechnologien“
6. Fokusgruppe „Energiesystemanalyse mit besonderem Schwerpunkt auf Wasserstoff“

Innerhalb der Fokusgruppen wurden seit der Gründung des EFZN-Forschungsverbundes Wasserstoff Niedersachsen im Jahre 2018 rund 100 Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit einem Gesamtvolumen von über 80 Mio. € konzipiert und realisiert. Im Folgenden werden die einzelnen Fokusgruppen und deren Projekte erläutert und grafisch dargestellt. Weiterführende bzw. tiefergehende Informationen zu einzelnen Projekten sind über einen Web-Link für Sie zugänglich gemacht.



Fokusgruppe
„Wasserstoffbereitstellung mittels
Wasserelektrolyse“

4.1

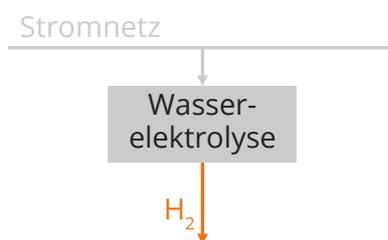


Fokusgruppe „Wasserstoffbereitstellung mittels Wasserelektrolyse“

Der Wasserelektrolyse kommt für die Wasserstoffherzeugung aus erneuerbaren Quellen eine Schlüsselrolle zu. Sie erlaubt die effiziente Wandlung von regenerativer elektrischer Energie und Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Ein konsequenter Aufbau von Elektrolysekapazitäten ist eine Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende.

Die Fokusgruppe „Wasserstoffbereitstellung mittels Wasserelektrolyse“ bündelt die Forschungs- und Entwicklungskompetenzen der niedersächsischen Partner zum Thema Wasserelektrolyse unter dem Dach des EFZN. Der Schwerpunkt liegt auf den aktuell wichtigsten Technologien: der alkalischen Elektrolyse (AEL), der alkalischen Membran-Elektrolyse (AEM), der sauren Membran-Elektrolyse (PEMEL) im Niedertemperaturbereich sowie der Hochtemperatur-Wasserelektrolyse und der Co-Elektrolyse in oxid-keramischen Systemen (SOEC). Dabei wird die gesamte Bandbreite der Technology Readiness Levels (TRL) abgedeckt, d. h. von der Grundlagenforschung über Entwicklung und Optimierung von Membranen und Zellkomponenten hin zur Serienfertigung großskaliger Elektrolyseeinheiten.

I. Wasserstoffbereitstellung mittels Wasserelektrolyse



Forschungsgruppen





In Abbildung 01 werden die im Zeitraum 2018 – 2025 in niedersächsischen Kooperationen realisierten Projekte in dieser Fokusgruppe veranschaulicht:

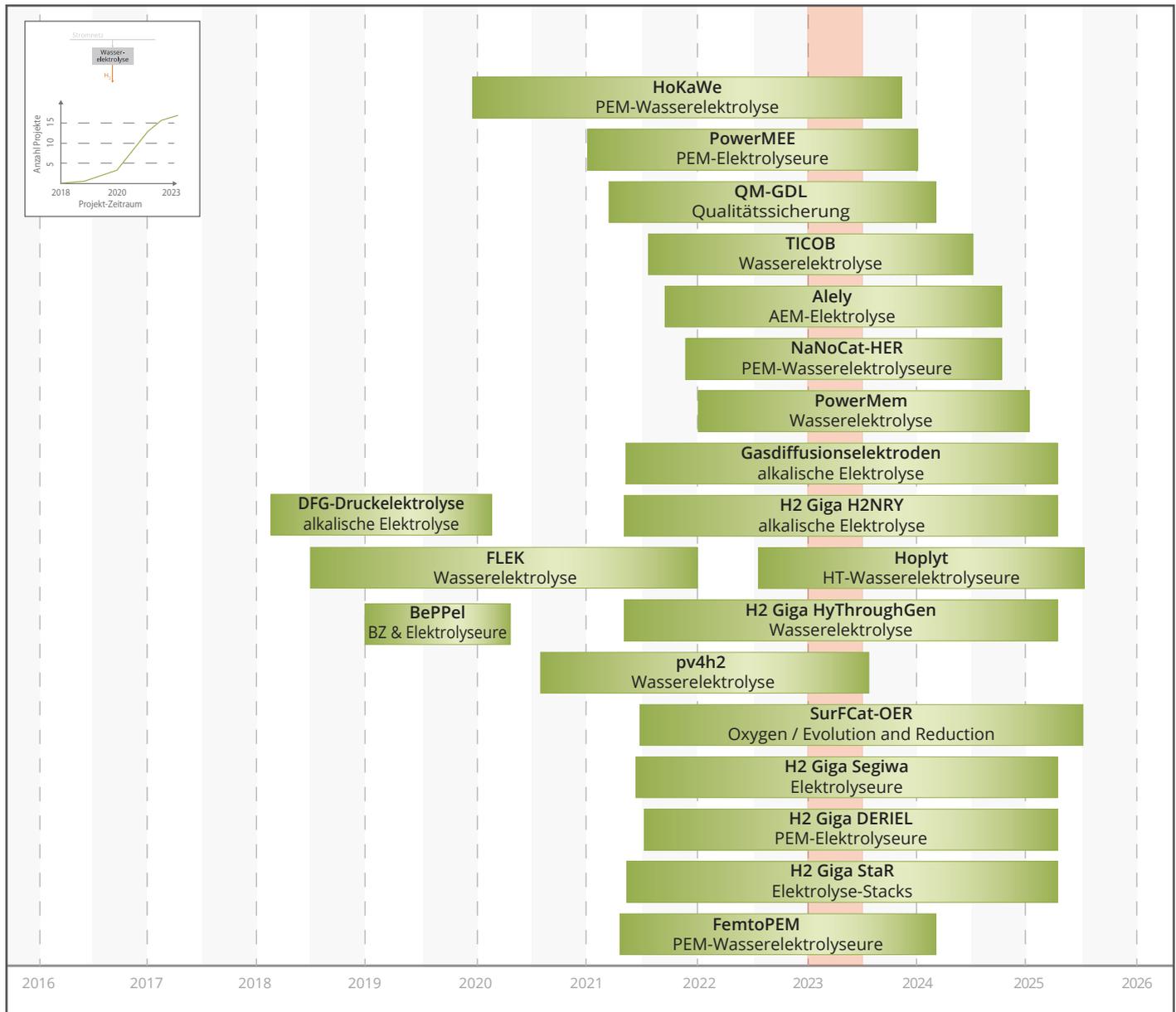


Abb. 01: Projekte in der Fokusgruppe „Wasserstoffbereitstellung mittels Wasserelektrolyse“

Die aktuell laufenden Arbeiten erfolgen in enger Zusammenarbeit innerhalb der Fokusgruppe, mit anderen wissenschaftlichen Partnern im In- und Ausland und insbesondere auch mit Unternehmen der Ausrüster- und Zuliefererbranche, sowohl auf KMU-Ebene als auch mit Großunternehmen. Dabei wird eine große thematische Breite abgedeckt: Auf der Material- und Zellkomponenten-Ebene werden momentan nahezu alle aktiven Einzelschichten (Bipolarplatten, Elektroden, Membranen, ...) adressiert. Schwerpunkt ist dabei die Materialentwicklung und die Materialerprobung mit Blick auf Kosten, Wirkungsgrad und Lebensdauer. Die Arbeiten auf Stack- und Gesamtanlagenebene fokussieren auf Fragen der Gestaltung/Auslegung, des dynamischen Betriebs, der Systemintegration und der Fertigung – auch hier mit Blick auf die übergeordneten Entwicklungsziele:

Kosten, Wirkungsgrad und Lebensdauer. Besonders erwähnenswert ist in diesem Kontext die gegenwärtige Beteiligung aus dem Kreise der Fokusgruppe an zwei der drei Wasserstoff-Leitprojekten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie.

Methodisch verbindendes Element, das gleichzeitig eine große Stärke der Aktivitäten in Niedersachsen darstellt, ist die Verknüpfung von experimentellen Methoden (physikalische Charakterisierung von Materialien/Komponenten, elektrochemische Charakterisierung von Einzelzellen und Stacks, Betrieb von gesamten Elektrolyseanlagen) und modelltheoretischen Ansätzen (physikalisch-chemische Modellierung, Daten-getriebene Modellierung/maschinelles Lernen).



Die im Projekthorizont in Abbildung 01 dargestellten Projekte sind in der folgenden Tabelle 01 einzeln aufgeführt und geben eine Schnellübersicht zum Namen des Projektes, involvierte(r) EFZN-Partner, Projektdauer, Fördermittelgeber, Thema. Weiterführende bzw. tiefergehende Informationen zu den einzelnen Projekten (Fördersumme, Kurzbeschreibung, Zwischen- und Abschlussberichte) sind über den Web-Link für Sie zugänglich gemacht.

Kurzname	Thema	Partner	Beginn	Ende	Förderung	Weblink
DFG-Druckelektrolyse	alkalische Elektrolyse	TUC-ICVT	01.03.2018	31.05.2021	DFG	n.a.
FLEK	Wasserelektrolyse	TUC-EST	01.07.2018	31.12.2021	DFG	n.a.
BePPel	BZ und Elektrolyseure	DLR-TT OL	01.01.2019	31.03.2020	Bund	enargus
pv4h2	Wasserelektrolyse	ISFH LUH-IfES	01.07.2020	30.06.2023	Land Nds.	n.a.
HoKaWe	PEM-Wasserelektrolyse	LUH-IfES	01.12.2020	30.11.2023	Bund	enargus
PowerMEE	PEM-Elektrolyseuren	LUH-IfES	01.01.2021	31.12.2023	Bund	enargus
FemtoPEM	PEM-Wasserelektrolyseure	LUH-IfES IFSH TUC-EST	01.03.2021	29.02.2024	Bund	enargus
QM-GDL	Qualitätssicherung	DLR-TT	01.03.2021	29.02.2024	Bund	enargus
Gasdiffusionselektroden	alkalische Elektrolyse	TUC-ICVT	01.04.2021	31.03.2024	DFG	n.a.
H2 Giga HyThroughGen	Wasserelektrolyse	LUH-IfES	01.04.2021	31.03.2025	Bund	enargus
H2 Giga H2NRY	alkalische Elektrolyse	TUBS-IWF	01.04.2021	31.03.2025	Bund	enargus
H2 Giga StaR	Elektrolyse-Stacks	TUC-EST	01.04.2021	31.03.2025	Bund	enargus
H2 Giga Segiwa	Elektrolyseure	OFFIS LUH IfES	01.05.2021	31.03.2025	Bund	enargus
SurFCat-OER	Oxygen Evolution and Reduction	UOL DLR-TT	01.06.2021	31.05.2024	DFG	n.a.
H2 Giga DERIEL	PEM-Elektrolyseure	LUH-IfES OFFIS	01.06.2021	31.03.2025	Bund	enargus
TICOB	Wasserelektrolyse	LUH-IfES ISFH	01.07.2021	30.06.2024	Bund	enargus
Alely	AEM-Elektrolyse	DLR-VE	01.09.2021	31.08.2024	Bund	enargus
NaNOCat-HER	PEM-Wasserelektrolyseure	TUBS-ITC	01.11.2021	31.10.2024	DFG	n.a.
PowerMem	Wasserelektrolyse	LUH-IfES	01.01.2022	31.12.2024	Bund	enargus
Hoplyt	HT-Wasserelektrolyseure	LUH-IfES	01.08.2022	31.07.2025	Bund	enargus

Ausblick für die Fokusgruppe „Wasserstoffbereitstellung mittels Wasserelektrolyse“

Im Zusammenschluss als niedersächsische Fokusgruppe gehören die involvierten Arbeitsgruppen in puncto Kompetenz, Infrastruktur und Erfahrungen sowohl national als auch international zur Spitzengruppe im Bereich Wasserelektrolyse. Dies ist durch eine große Zahl wissenschaftlicher Publikationen und Zitationen, eine Vielzahl einschlägiger Kooperationen mit großen und kleinen Industriepartnern und eine entsprechende Einbindung in relevante nationale und internationale Gremien belegt. Auch der Projekterfolg der vergangenen Jahre und die damit einhergegangenen Investitionen in Prüf- und Charakterisierungsinfrastrukturen haben diesen Zustand noch weiter manifestiert.

Um diese positive Entwicklung fortzuschreiben, werden wir an der Bündelung der Kräfte in Niedersachsen weiter festhalten und beabsichtigen, die Fokusgruppe gezielt zu erweitern. Der Blick geht dabei auch über die

Landesgrenzen hinaus und greift bereits bestehende bilaterale Partnerschaften auf. Die gegenwärtig breite thematische Ausrichtung im Bereich der Elektrolyseforschung, die sich insbesondere aus der großen Anzahl der aktiven Partner ergibt, soll ebenfalls beibehalten werden und erlaubt es der Fokusgruppe, künftig auch neue Entwicklungen aufzugreifen oder gar auszulösen.

Übergeordnetes Ziel der Anstrengungen der Fokusgruppe bleibt es dabei, die Technologieentwicklungen zur kostengünstigen und effizienten Bereitstellung von grünem Wasserstoff weiter voranzubringen, die damit verbundenen spannenden Forschungsfragen zu lösen und vor allem auch zur Ausnutzung der mit der Technologie verknüpften industriepolitischen Chancen in Deutschland und insbesondere vor unserer niedersächsischen „Haustür“ beizutragen.

„Speicherung von Wasserstoff
im Untergrund und Infrastruktur“

4.2



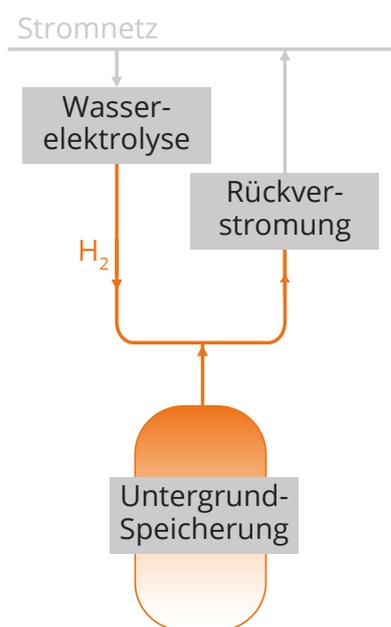
4.2

Fokusgruppe „Speicherung von Wasserstoff im Untergrund und Infrastruktur“

Eine vielversprechende Lösung für die Zwischenspeicherung großer Mengen variabel anfallender regenerativ gewonnener elektrischer Energie ist ihre Wandlung in grünen Wasserstoff und dessen Speicherung im geologischen Untergrund in Salzkavernen und Porenspeichern. Eine Studie im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz¹⁴ hat ergeben, dass für ein Energieszenario im Jahr 2050 mit 100 % erneuerbaren Energien in Deutschland eine Speicherkapazität von ca. 20 Mrd. Normkubikmetern Wasserstoff in Niedersachsen benötigt wird.

In diesem Szenario stellt Niedersachsen auch für andere Bundesländer Speicherkapazität bereit, da sich eine Vielzahl der für solche Speicher infrage kommenden geologischen Formationen in Niedersachsen befinden. Jedoch sind weder die vorhandenen Speicher für den Betrieb mit Wasserstoff ausgelegt, noch sind die notwendige Infrastruktur und Anlagentechnik für den Transport, die Verdichtung und die Rückverstromung von Wasserstoff vorhanden. Die Partner aus der Fokusgruppe „Speicherung von Wasserstoff im Untergrund und Infrastruktur“ widmen sich diesen Themen in enger Zusammenarbeit mit der Industrie.

II. Speicherung von Wasserstoff im Untergrund und Infrastruktur



Forschungsgruppen



¹⁴ Szenarien zur Energieversorgung in Niedersachsen im Jahr 2050 – Gutachten



In Abbildung 02 werden die im Zeitraum 2018 – 2025 in niedersächsischen Kooperationen realisierten Projekte in dieser Fokusgruppe veranschaulicht:

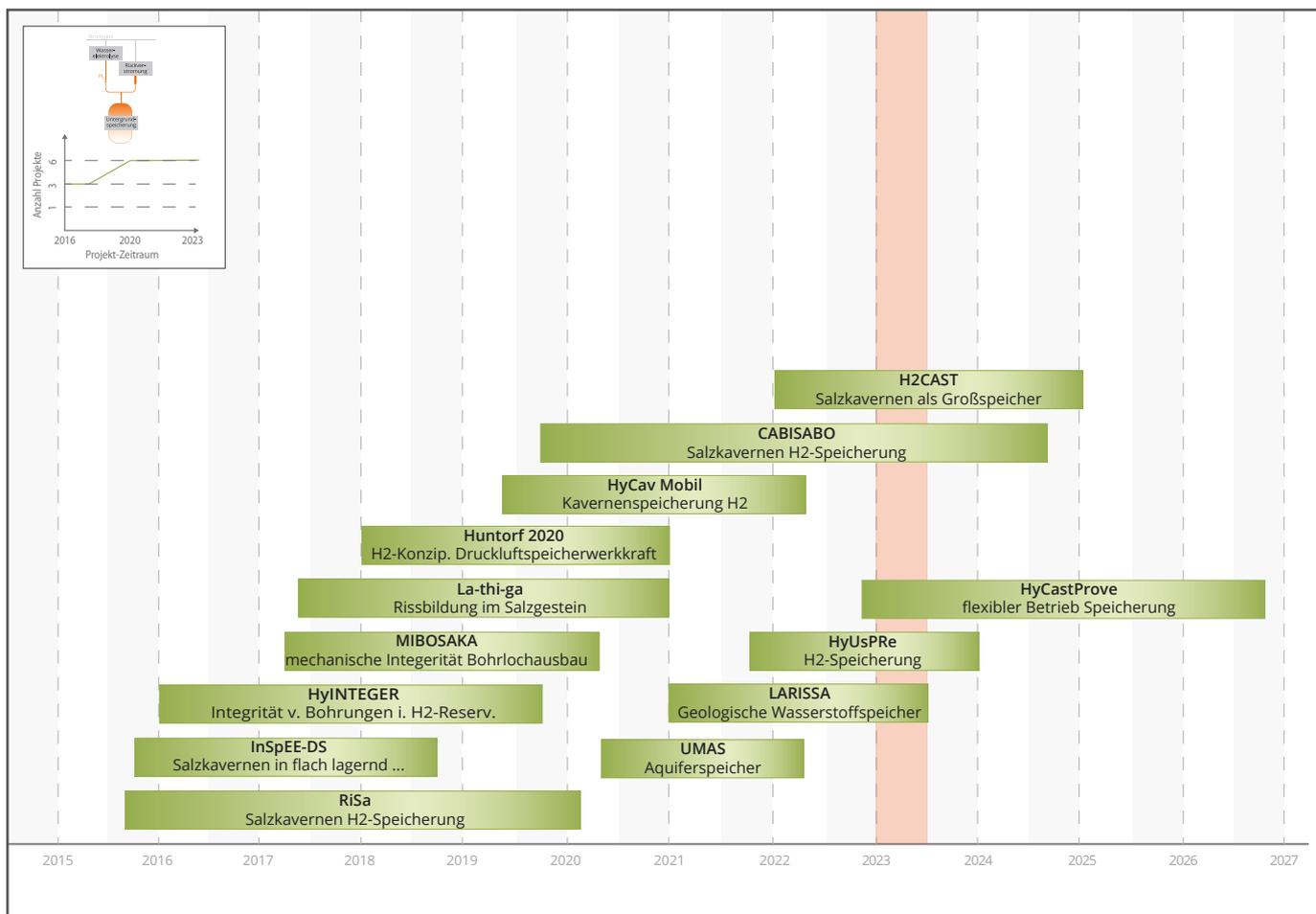


Abb. 02: Projekte in der Fokusgruppe „Speicherung von Wasserstoff im Untergrund und Infrastruktur“

Die beiden Speichertypen, Salzkavernen und Porenspeicher, haben sehr unterschiedliche Charakteristiken. Salzkavernen speichern H₂ und fördern auch H₂ wieder zurück. Dadurch sind sie sehr gut für eine Rückverstromung durch Brennstoffzellen geeignet. Bei Porenspeichern (vorrangig Erdgaslagerstätten) sind die Investitionen für das Kissengas wesentlich geringer, da bereits ein Großteil des Kissengases vorhanden ist. Somit wären sie für große Speichervolumen besser geeignet. Es ist jedoch zu erwarten, dass kein reiner Wasserstoff zurückgefördert werden kann.

Aktuell wird in den verschiedenen Forschungsprojekten die Eignung von Kavernen- und Porenspeichern für die Wasserstoffspeicherung untersucht. Für Kavernenspeicher spielen vor allem die höherfrequenten Lastwechsel auf das umgebende Salzgebirge eine Rolle, da erwartet wird, dass die Speicherzyklen mit Wasserstoff sehr viel kürzer sind und somit mehrere Zyklen pro Jahr gefahren werden können. Diese Effekte werden mit gebirgsme-

chanischen Simulationsmodellen untersucht. Hierbei werden auch die von Erdgas abweichenden thermodynamischen Eigenschaften berücksichtigt.

Für die Porenspeicher beziehen sich die Untersuchungen auf die Speicherintegrität. Wasserstoff kann potentiell geochemische oder bio-reaktive Prozesse im Speicher oder am Übergang zum abdeckenden Gestein auslösen. Diese werden durch Experimente unter simulierten Speicherbedingungen im Labor nachgebildet, um ein besseres Verständnis zu erlangen. Ebenfalls werden numerische Simulationen des Speicherbetriebs durchgeführt, um den Einfluss von bio-reaktiven Prozessen zu untersuchen.

Die Speicherbohrungen sind eine Gemeinsamkeit beider Speichertypen. Für beide Speichertypen muss eine dauerhafte Dichtigkeit bzw. Bohrungsintegrität nachgewiesen werden. Hierfür werden unter anderem Diffusionsraten von Wasserstoff durch verschiedene Materialien gemessen.



Die im Projekthorizont in Abbildung 02 dargestellten Projekte sind in der folgenden Tabelle 02 einzeln aufgeführt und geben eine Schnellübersicht zum Namen des Projektes, involvierte(r) EFZN-Partner, Projektdauer, Fördermittelgeber, Thema. **Weiterführende bzw. tiefergehende Informationen zu den einzelnen Projekten (Kurzbeschreibung, Zwischen- und Abschlussberichte) sind über den Web-Link für Sie zugänglich gemacht.**

Kurzname	Thema	Partner	Beginn	Ende	Förderung	Weblink
RiSa	Salzkavernen H2-Speicherung	LUH-IGTH	01.08.2015	31.01.2020	Bund	enargus
InSpEE-DS	Salzkavernen in flach lagernden Salzschichten	LUH-IGTH	01.10.2015	30.09.2019	Bund	enargus
HyINTEGER	Integrität von Bohrungen in H2-Reservoirs	TUC-ITE	01.01.2016	30.09.2019	Bund	enargus
MIBOSAKA	mechanische Integrität Bohrlochausbau	TUC-IFAD	01.04.2017	31.03.2020	Bund	enargus
La-thi-ga	Rissbildung im Salzgestein	LUH-IGTH	01.06.2017	31.12.2020	Bund	enargus
Huntorf 2020	H2-Konzipierung eines Druckluftspeicherkraftwerk	TUC-EST	01.01.2018	31.12.2020	Bund	enargus
HyCav Mobil	Kavernenspeicherung H2	DLR-VE	01.06.2019	31.05.2022	Bund	enargus
CABISABO	Salzkavernen H2-Speicherung	TUC-IFAD	01.09.2019	31.08.2024	Bund	enargus
UMAS	Aquiferspeicher	TUC-ITE	01.05.2020	31.03.2022	Bund	enargus
LARISSA	Geologische Wasserstoffspeicher	LUH-IGTH	01.01.2021	31.12.2023	Bund	enargus
HyUsPre	H2-Speicherung	TUC-ITE	01.10.2021	31.12.2023	EU	hyuspre
HyCastProve	flexibler Betrieb Speicherung	TUC DLR-VE	01.11.2022	31.10.2026	Bund	enargus
H2CAST	Salzkavernen als Großspeicher	TUC DLR-VE	01.01.2022	31.12.2024	Land Nds.	n.a.

Ausblick für die Fokusgruppe „Speicherung von Wasserstoff im Untergrund und Infrastruktur“

Die Untergrundwasserstoffspeicherung wurde bisher hauptsächlich im Labor und durch numerische Simulationsstudien untersucht. Vereinzelt wurden schon Feldversuche auf kleinem Maßstab in Kavernen und Porenlagerstätten durchgeführt. In naher Zukunft sind weitere Feldversuche und die ersten Pilotanlagen zu erwarten. Hier ist es wichtig, dass diese durch Untersuchungsprogramme umfangreich wissenschaftlich begleitet werden. Es gilt zu untersuchen, ob die im Labor gewonnenen Erkenntnisse auf reale Untergrundspeicher übertragen werden können. Ebenfalls können durch diese Feldversuche die entwickelten Simulationsmodelle kalibriert und validiert werden.

Für die Speicherbohrungen müssen in den nächsten Jahren neue Standards bzw. Leitfäden erarbeitet werden. Dabei muss zwischen der Umrüstung von „alten“ Bohrungen und der Errichtung von Neubohrungen unterschieden werden. Für beide Varianten gilt es geeignete Verfahren, Komponenten und Materialien zu entwickeln.

Ein weiterer in der Forschung bisher wenig berücksichtigter Aspekt ist das Monitoring der zukünftigen Untergrundwasserstoffspeicher. Für untertägige Erdgasspeicher gibt es bereits etablierte Konzepte. Diese müssen um weitere für Wasserstoff relevante Aspekte erweitert werden.



„Nachhaltige
Wasserstoffverbrennungskonzepte“

4.3

„Konversion von Wasserstoff
in andere Energieträger“

4.4



4.3

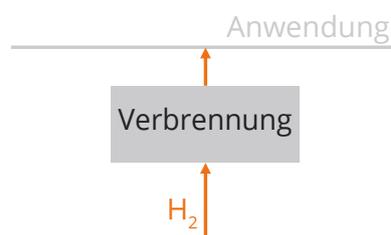
Fokusgruppe „Nachhaltige Wasserstoffverbrennungskonzepte“

Gegenstand der Arbeiten in dieser Fokusgruppe ist die Erarbeitung von Konzepten für eine kontrollierte, direkte Verbrennung von Wasserstoff und die energetische Nutzung der frei werdenden thermischen Energie. Ziel ist beispielsweise die technische Realisierung von geeigneten Hochtemperaturverbrennungsprozessen.

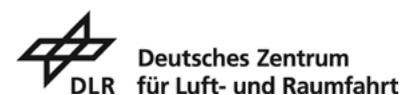
Im Vergleich zu einer Brennstoffzellennutzung erfordert die direkte Verbrennung von Wasserstoff je nach Zielenergie geringere Investitionen, ist aber gleichzeitig ebenso treibhausgasneutral und umweltschonend. Demzufolge wird für diesen Energiewandlungspfad im Mobilitätssektor, in der Wärmenutzung und im Zusammenhang mit Energiespeicherkonzepten und der Sektorenkopplung ein großes Nutzungspotential gesehen.

Dieses Kompetenznetzwerk wird gemeinsam mit dem folgenden in Abbildung 03 dargestellt.

III. Nachhaltige Wasserstoffverbrennungskonzepte



Forschungsgruppen



Fokusgruppe „Konversion von Wasserstoff in andere Energieträger“

Für die Nutzungsrouten, bei denen Wasserstoff als Intermediat auftritt, konzentrieren sich die Forschungs- und Entwicklungsbedarfe auf Prozesse und Systeme zur stofflichen Wandlung von Wasserstoff in andere Energieträger oder chemische Grundstoffe. Neben der Bereitstellung erneuerbarer Produkte deckt dieser Fokusbereich auch die chemische Speicherung von Wasserstoff z.B. in synthetischem Methan oder über flüssige Trägermaterialien (LOHC) ab.

Durch die Umwandlung von Wasserstoff zu Methan kann die umfassend vorhandene Erdgas-Infrastruktur für den Energietransport und die -speicherung weitergenutzt werden. Auch auf der Seite der Endnutzer können vorhandene Anlagen weiter genutzt werden.

Die Weiterkonversion von Wasserstoff in synthetische Kraftstoffe oder chemische Grundstoffe ist für Anwendungen, die auf eine hohe Energiedichte angewiesen sind, unvermeidbar. Beispiele hierfür sind die chemische Industrie, aber auch Mobilitätsanwendungen wie der Langstrecken-Flugverkehr. Durch eine gestufte Abfolge katalytischer Prozesse können aus Wasserstoff und CO₂ beispielsweise Ausgangsstoffe für Kunststoffe oder synthetisches Kerosin hergestellt werden.

4.4

IV. Konversion von Wasserstoff in andere Energieträger

Forschungsgruppen



Distribution Anwendung

Konversion

H₂



In Abbildung 03 werden die im Zeitraum 2017 – 2025 in niedersächsischer Kooperation realisierten Projekte in den Fokusgruppen „Nachhaltige Wasserstoffverbrennungskonzepte“ (unterhalb des Zeitstrahls) und „Konversion von Wasserstoff in andere Energieträger“ (oberhalb des Zeitstrahls) veranschaulicht:

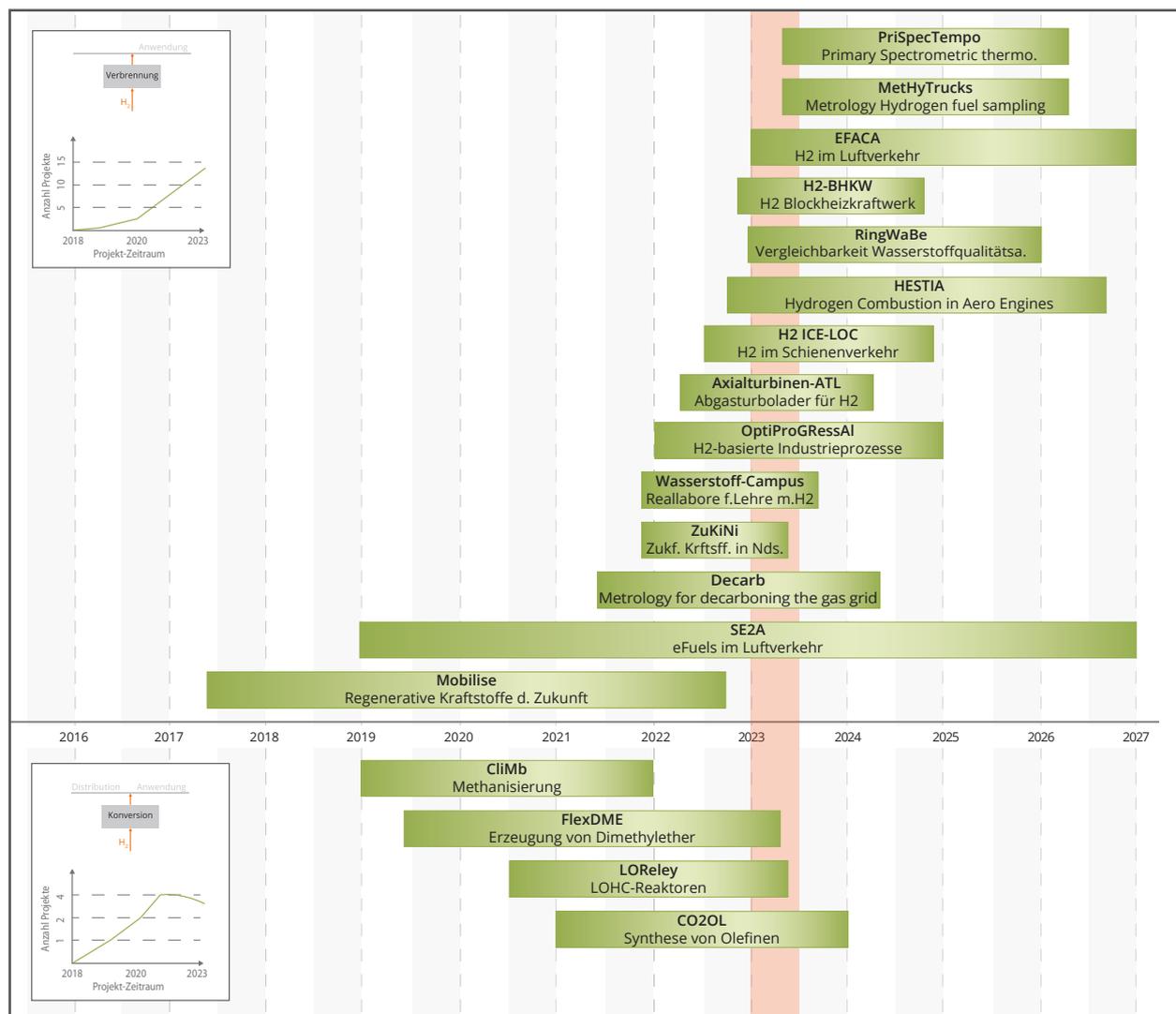


Abb. 03: Projekte in den Fokusgruppen „Nachhaltige Wasserstoffverbrennungskonzepte“ (unterhalb des Zeitstrahls) und „Konversion von Wasserstoff in andere Energieträger“ (oberhalb des Zeitstrahls)

Die **Nutzung von nachhaltig erzeugtem Wasserstoff mittels Verbrennung** ist aufgrund der hohen Verbreitung der entsprechenden Technologien von großem Interesse für die CO₂-freie Zukunft. Dies betrifft einerseits den Mobilitätssektor in der Luftfahrt, in dem die Partner beispielsweise im Excellence-Cluster Sustainable and Energy Efficient Aviation (SE2A) aber auch in neuen EU-Projekten beteiligt sind (HESTIA, EFACA). Gleichfalls sind im Schienenverkehr und für den Straßenverkehr wasserstoffbasierte Verbrennungskonzepte von zunehmendem Interesse, weil sie beispielsweise im Vergleich zu wasserstoffbasierten Brennstoffzellenantrieben eine geringere Systemkomplexität haben und eine erhöhte Robustheit aufweisen. Zudem sind die Reinheitsanforderungen an den Wasserstoff sehr gering (z.B. H₂-ICE-LOC).

Für stationäre Anwendungen ist die direkte wasserstoffbasierte Verbrennung besonders interessant. Dies

zeigt beispielsweise das Projekt H₂-BHKW zur kombinierten dezentralen Strom- und Wärmegewinnung, sowie zahlreiche derzeit in der Antragsphase befindliche Projekte (die hier noch nicht aufgeführt sind). Hierzu zählen auch die Anwendungen in der industriellen Verfahrenstechnik, beispielhaft das Projekt OptiProGRessAl und beispielhaft die Anwendung zur Stahlerzeugung (hier nicht als Projekt aufgeführt).

Sehr interessant ist auch die Weiterverarbeitung von Wasserstoff zu flüssigen Energieträgern (die im regenerativen Fall bei Nutzung von CO₂ aus der Biosphäre als treibhausgasneutrale „eFuels“ bezeichnet werden). Gerade in der Langstreckenmobilität (Luftfahrt, Schifffahrt, Langstrecken-Straßenverkehr) ist der Vorteil der sehr viel höheren Energiespeicherdichte von flüssigen Energieträgern entscheidend (Projekte MOBILISE, SE2A, sowie weitere in der Vorbereitung befindliche Projekte).



Die im Projekthorizont in Abbildung 03 dargestellten Projekte sind in der folgenden Tabelle 03 einzeln aufgeführt und geben eine Schnellübersicht zum Namen des Projektes, involvierte(r) EFZN-Partner, Projektdauer, Fördermittelgeber, Thema. **Weiterführende bzw. tiefergehende Informationen zu den einzelnen Projekten (Kurzbeschreibung, Zwischen- und Abschlussberichte) sind über den Web-Link für Sie zugänglich gemacht.**

Kurzname	Thema	Partner	Beginn	Ende	Förderung	Weblink
Mobilise	Regenerative Kraftstoffe der Zukunft	TUBS, LUH	01.05.2017	31.10.2022	Land Nds.	n.a.
SE2A	eFuels im Luftverkehr	LUH, PTB, TUBS	01.01.2019	31.12.2026	DFG	Hannover Braunschweig
Decarb	Metrology for decarbonising the gas grid	PTB	01.06.2021	31.05.2024	EU	decarb
ZuKiNi	Zukünftige Kraftstoffe in Niedersachsen	LUH	01.12.2021	31.06.2023	EFRE-Nds.	n.a.
Wasserstoff-Campus	Reallabor für Lehre mit H2	LUH	01.12.2021	31.10.2023	Region Hannover	n.a.
OptiProGRessAI	H2-basierte Industrieprozesse	TUBS-IFS	01.01.2022	31.12.2024	Bund	enargus
Axialturbinen-ATL für Magerkonzepte	Abgasturbolader für H2-unterstützte motorische Verbrennung	TUBS	01.04.2022	31.03.2024	Bund, EU	H2-Antrieb
H2 ICE-LOC	H2 im Schienenverkehr	TUBS	18.07.2022	30.11.2024	Stadt Salzgitter	Salzgitter
HESTIA	Hydrogen Combustion in Aero Engines	LUH	01.09.2022	31.08.2026	EU	HESTIA
H2-BHKW	H2-betriebenes Blockheizkraftwerk	LUH	01.11.2022	31.10.2024	Region Hannover	n.a.
RingWaBe	Vergleichbarkeit der Wasserstoffqualitätsanalytik	PTB, u.a.	01.12.2022	31.12.2025	Bund	enargus
EFACA	H2 im Luftverkehr	TUBS	01.01.2023	31.12.2026	EU	cordis
MethyTrucks	Metrology for hydrogen fuel sampling for heavy duty transport	PTB	01.05.2023	30.04.2026	EU	n.a.
PriSpecTemp	Primary spectrometric thermometry for gases	PTB	01.05.2023	30.04.2026	EU	n.a.

Ausblick für die Fokusgruppe „Nachhaltige Wasserstoffverbrennungskonzepte“

Die Nutzung von grünem Wasserstoff wird absehbar mittels Verbrennung eine große Bedeutung erlangen, weil sie vollständig CO₂-frei stattfinden kann und fast keine Schadstoffe (keinerlei Ruß und unverbrannte Kohlenwasserstoffe) aufweist. Eine Herausforderung für die Forschung und Entwicklung verbleibt die Stickoxid-Bildung sowie die sehr hohe Reaktivität der Wasserstoffverbrennung im Vergleich zur Erdgasverbrennung. Zahlreiche Forschungsprojekte sind hier unterwegs, um beispielsweise existierende industrielle Verbrennungssysteme durch Modifikationen zur Wasserstoff-Tauglichkeit zu bringen.

Dies gilt auch für den Sektor der Mobilität. Hier sind allerdings flüssige Energieträger (die in der Zukunft nachhaltig aus „grünem“ Wasserstoff und Kohlenstoff aus der Biosphäre, z.B. aus Biomaterial, hergestellt werden und dann weitgehend CO₂-neutral sind) aufgrund der viel höheren Energiespeicherdichte notwendig. Die Forschung und Entwicklung in diesem Bereich der „eFuels“ hat erst angefangen und wird absehbar sehr an Bedeutung zunehmen. In der Luftfahrt werden hier

beispielsweise die „Sustainable Aviation Fuels - SAF“ diskutiert, die aber dringend durch verbesserte eFuels auch schadstofffrei werden müssen. Ein Ansatz dazu wird im Excellence-Cluster Sustainable and Energy Efficient Aviation (SE2A) erforscht. Weitere Forschungsanträge – beispielsweise zur Schifffahrt mit Ammoniak oder Methanol – sind in Vorbereitung.

Die Themen in der **Fokusgruppe „Konversion von Wasserstoff in andere Energieträger“** reichen von grundlagenorientierten Fragestellungen zur Katalyse und Reaktionstechnik (TRL 3) bis zur Entwicklung von Demonstrationsanlagen (TRL 6 bis 7) zur Erzeugung von erneuerbaren Energieträgern. Dabei vereinbaren sie simulative, experimentelle und konstruktive Aspekte und decken unterschiedliche Zielprodukte, Anwendungsbereiche und Funktionalitäten ab: So kann die Konversion von Wasserstoff sowohl eine reine Speicherfunktionalität (wie z.B. bei der LOHC-Technologie) als auch eine Kopplungsfunktion zwischen Stromsektor und denjenigen Bereichen der chemischen Industrie und Mobilität einnehmen, die auch zukünftig auf energiereiche chemische Verbindungen angewiesen sein werden.



Im Bereich der Methanisierung wird anhand von experimentellen und theoretischen Untersuchungen an Reaktoren mit unterschiedlichen Durchmessern und verschiedenen Pelletformen an der Optimierung von Power-to-Gas-Verfahren gearbeitet. Da zukünftige Konversionsverfahren zur Nutzung regenerativer Energie im Gegensatz zu den bisher üblichen Betriebskonzepten bevorzugt auch einen dynamischen Betrieb zulassen sollten, sind Fragen zum Wärme- und Stofftransport unter fluktuierenden Bedingungen von besonderer Relevanz für die Entwicklung zukünftiger Katalysator-, Reaktor- und Anlagenkonzepte.

Neben den Power-to-Gas-Verfahren liegt ein weiterer Schwerpunkt auf der chemischen Speicherung von Wasserstoff bzw. dessen Konversion in Energieträ-

ger und chemische Grundstoffe. Hier liegt der Fokus einerseits auf der Materialoptimierung und -funktionalisierung, z.B. um die Effizienz von LOHC-Speicherprozessen zu erhöhen, andererseits werden verfahrenstechnische Fragestellungen zur Prozessgestaltung und zum dynamischen Betrieb von Konversionsanlagen sowohl simulativ als auch experimentell bearbeitet.

Die Projekte weisen einen starken Anwendungsbezug und eine intensive Kooperation mit industriellen Partnern auf. Die Förderung erfolgt hier im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms des BMWK, die betrachteten Verfahren sind dabei meist bereits nah an der industriellen Umsetzung. Damit werden neben den rein technischen Fragestellungen auch ökonomische Kriterien relevant und bei den Untersuchungen entsprechend berücksichtigt.

Die im Projekthorizont in Abbildung 03 dargestellten Projekte sind in der folgenden Tabelle 04 einzeln aufgeführt und geben eine Schnellübersicht zum Namen des Projektes, involvierte(r) EFZN-Partner, Projektdauer, Fördermittelgeber, Thema. **Weiterführende bzw. tiefergehende Informationen zu den einzelnen Projekten (Kurzbeschreibung, Zwischen- und Abschlussberichte) sind über den Web-Link für Sie zugänglich gemacht.**

Kurzname	Thema	Partner	Beginn	Ende	Förderung	Weblink
CliMb	Methanisierung	TUC-EST	01.01.2019	31.12.2021	Land Nds.	est.tu-clausthal
FlexDME	Erzeugung von Dimethylether	TUC-CUTEC	01.06.2019	31.05.2023	Bund	enargus
LOReley	LOHC-Reaktoren	FH-HHI TUC EST	01.07.2020	30.06.2023	Bund	enargus
CO2OL	Synthese von Olefinen	TUC-CUTEC	01.01.2021	31.12.2023	Bund	enargus

Ausblick für die Fokusgruppe „Konversion von Wasserstoff in andere Energieträger“

Im Bereich der H₂-Weiterkonversion bringen die beteiligten Arbeitsgruppen ihr spezifisches Know-how in die Projektverbünde ein und leisten sowohl theoretische als auch experimentelle Beiträge zu Entwicklung innovativer Konversionsverfahren. Viele Verfahren im Umfeld von Power-to-X-Prozessen sind im Demonstrationsmaßstab bereits in der Erprobung. Durch die weiter zunehmende Dezentralisierung, Modularisierung und Flexibilisierung von Anlagen und neue Funktionalitäten wie der saisonalen Energiespeicherung stellen sich aber auch neue Fragen und Aufgaben für die niedersächsischen Forschenden. Diese umfassen sowohl Bereiche der Katalyse und Reaktionstechnik als auch apparative, materialwissenschaftliche, regelungstechnische und konstruktive Aspekte. Hier bietet sich das Potenzial, durch eine weitere Vernetzung innerhalb Niedersachsens die nationale und internationale Sichtbarkeit auszubauen und so die Fokusgruppe auf eine breitere Basis zu stellen. Die Besetzung passender Lehrstühle, wie z.B. die Professur „Chemische Energiespeicherung“ an der TU Clausthal, hilft dabei, den Bereich weiter zu entwickeln und zu stärken.

Die enge Vernetzung sowohl mit Forschungs- als auch mit Industriepartnern aus Niedersachsen und darüber

hinaus ist dabei von zentraler Bedeutung, um die eigenen Kompetenzen zielgerichtet zu erweitern und zu komplettieren. Durch die vorhandenen bilateralen Kontakte besteht bereits jetzt ein über Niedersachsen hinausreichendes Netzwerk, welches die eigenen Kompetenzen ergänzt und welches für zukünftige Aktivitäten weiter ausgebaut werden soll.

Perspektivisch gilt es also, die in der Fokusgruppe vorhandenen Kompetenzen und Erfahrungen weiter auszubauen und gleichzeitig die Kooperation auch auf bisher nicht involvierte Arbeitsgruppen und Wissenschaftler:innen zu erweitern. Durch die enge Abstimmung mit den anderen Fokusgruppen können die Arbeiten einen Beitrag über die reine Verfahrensentwicklung hinaus leisten, indem auch Fragen zur Systemdienlichkeit von Konversionsprozessen und Aspekte der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit mitgedacht und bei der Bewertung der unterschiedlichen Prozessrouten berücksichtigt werden. Dabei werden zukünftig modulare und flexible Konzepte, die idealerweise auch dynamisch betreibbar sind, an Bedeutung gewinnen, so dass hier auch in Zukunft relevante Forschungsfragen entlang der Prozesskette zu beantworten sind.

„Brennstoffzellentechnologien“

4.5



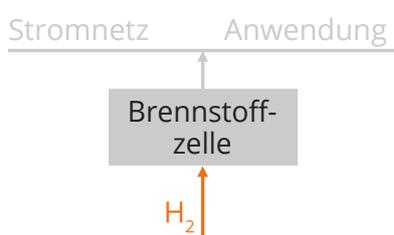
4.5

Fokusgruppe „Brennstoffzellentechnologien“

Brennstoffzellen bieten die Möglichkeit einer besonders effizienten energetischen Nutzung von Wasserstoff mit hohen Wirkungsgraden für die Strom- und Wärmeenergieerzeugung. Weitere Vorteile sind keine Emissionen wie CO_2 und NO_x , ein geräuschloser Betrieb sowie eine Skalierbarkeit über mehrere Größenordnungen, die den Einsatz von Brennstoffzellen in sehr unterschiedlichen Anwendungsbereichen vom Milliwatt- bis Megawattbereich ermöglicht.

Diese Vielfalt der Anwendungsbereiche bildet sich auch in der niedersächsischen Forschung zu diesem Thema ab, die Untersuchungen von mikroskopischen Prozessen auf Elektrodenoberfläche genauso umfasst wie auch Forschung an viel größeren Systemen zur Versorgung von Fähren, Zügen oder Kreuzfahrtschiffen.

V. Brennstoffzellentechnologien



Forschungsgruppen



In Abbildung 04 werden die im Zeitraum 2018 – 2025 in niedersächsischer Kooperation realisierten Projekte in der Fokusgruppe „Brennstoffzellentechnologien“ veranschaulicht:

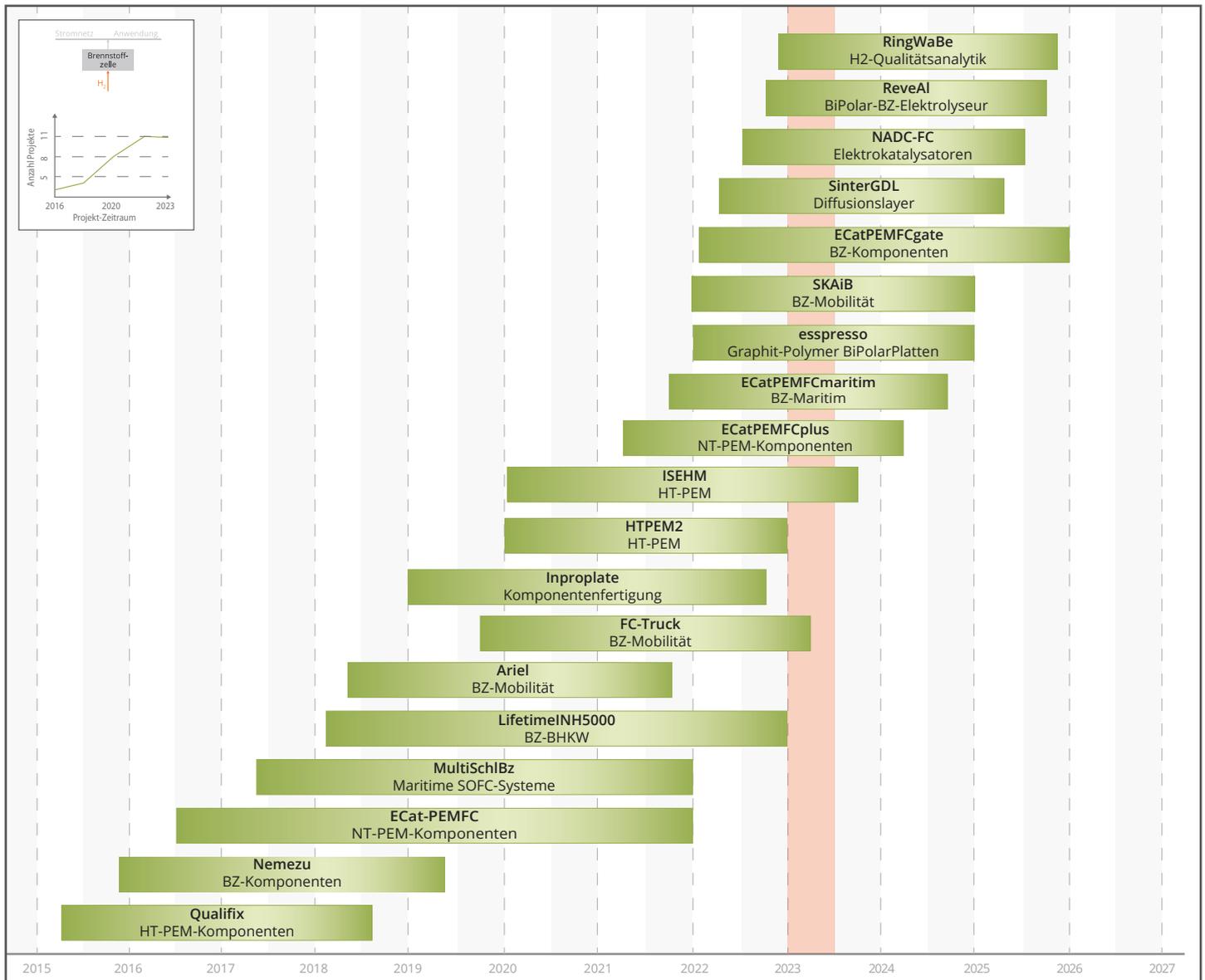


Abb. 04: Projekte in der Fokusgruppe „Brennstoffzellentechnologien“

Die hier aufgelisteten Drittmittel geförderten Projekte zeigen die große Breite, in der das Thema Brennstoffzellentechnologie in den niedersächsischen universitären und außeruniversitären Einrichtungen und zusammen mit der Wirtschaft bearbeitet wird. Dabei wird eine Brücke von der Materialsynthese der Elektrokatalysatoren bis zur Fertigung von Komponenten wie z.B. Bipolarplatten und Katalysator-beschichteten Membranen sowie die Entwicklung von Diagnosemethoden und das grundlegende Verständnis des Nutzungsverhaltens für verschiedene Anwendungsbereiche wie im Verkehrs-, Luftfahrt- und maritimen Sektor geschlagen.

Im Rahmen der geförderten Projekte wird eine Erhöhung der Lebensdauer der Komponenten sowie des Stapels und eine Reduzierung des Gehalts an Edelmetallen angestrebt. Mit diesen Herausforderungen stehen Niedersachsen und Deutschland nicht alleine. Mit europäischen und internationalen Partnern wie in der Schweiz und in Japan ist ein gemeinsames Netzwerk und enge Kooperationen geschaffen worden. Besonders mit dem Partnerland Japan wird eine intensive Zusammenarbeit und Austausch im Bereich der Materialinnovation für Brennstoffzellentechnologie nachhaltig aufgebaut.



Die im Projekthorizont in Abbildung 04 dargestellten Projekte sind in der folgenden Tabelle 05 einzeln aufgeführt und geben eine Schnellübersicht zum Namen des Projektes, involvierte(r) EFZN-Partner, Projektdauer, Fördermittelgeber, Thema. **Weiterführende bzw. tieferegehende Informationen zu den einzelnen Projekten (Kurzbeschreibung, Zwischen- und Abschlussberichte) sind über den Web-Link für Sie zugänglich gemacht.**

Kurzname	Thema	Partner	Beginn	Ende	Förderung	Weblink
Qualifix	HT-PEM - Komponenten	DLR-TT OL	01.05.2015	31.07.2018	Bund	enargus
Nemezu	BZ-Komponenten	DLR-TT OL	01.12.2015	31.05.2019	Bund	enargus
ECat-PEMFC	NT-PEM - Komponenten	TUBS-ITC	01.07.2016	31.12.2021	Bund	enargus
MultiSchIBz	Maritime SOFC-Systeme	IFES-IFT	01.06.2017	31.12.2021	Bund	enargus
LifetimeINH5000	BZ-BHKW	DLR-VE	01.02.2018	31.01.2022	Bund	enargus
Ariel	BZ-Mobilität	TUBS-IMA LUH-TFD	01.06.2018	31.10.2021	Bund	enargus
FC-Truck	BZ-Mobilität	DLR-TT OL	01.09.2019	31.03.2023	Bund	enargus
Inproplate	Komponentenfertigung	DLR-TT OL	01.01.2019	30.09.2022	Bund	enargus
HTPEM2	HT-PEM	DLR-TT OL	01.01.2020	31.12.2022	Bund	enargus
ISEHM	HT-PEM	DLR-TT OL	01.10.2020	30.09.2023	Bund	enargus
ECatPEMFCplus	NT-PEM - Komponenten	UOL-IfC TUBS-ITC	01.03.2021	29.02.2024	Bund	enargus
ECatPEMFCmaritim	BZ- Maritim	TUBS-ITC	01.10.2021	30.09.2024	Bund	enargus
esspresso	Graphit-Polymer. BiPolarPlatten	TUBS	01.01.2022	31.12.2024	Bund	enargus
SKAIB	BZ-Mobilität	TUBS-IFT	01.01.2022	30.06.2025	Bund	n.a.
ECatPEMFCgate	BZ-Komponenten	TUBS-ITC	31.01.2022	31.12.2024	Bund	enargus
SinterGDL	Diffusionslayer	DLR-TT OL	01.04.2022	31.03.2025	Bund	enargus
NADC-FC	Elektrokatalysatoren	TUBS-ITC	01.07.2022	30.06.2025	Bund	n.a.
ReveAl	BiPolar-BZ-Elektrolyseur	LUH-IFES	01.10.2022	30.09.2025	Bund	enargus
RingWaBe	H2-Qualitätsanalytik	DLR-TT OL	01.12.2022	30.11.2025	Bund	enargus

Ausblick für die Fokusgruppe „Brennstoffzellentechnologien“

Die niedersächsische Fokusgruppe Brennstoffzellentechnologie besteht bereits aus international sichtbaren Arbeitsgruppen und hat ein einmaliges Netzwerk aus Expert:innen unter dem Dach des EFZN aufgebaut. Um nicht nur lokal, sondern auch national und international eine der ersten Adressen zu sein, streben wir an, unsere vielfältigen Aktivitäten im Raum Niedersachsen noch stärker zu bündeln und unser Spek-

trum an Know-how, Instrumenten und Ausstattungen weiter auszubauen. Die Breite an Themen, die bisher in der Fokusgruppe bearbeitet werden, soll beibehalten werden und dient als Plattform um die zukünftigen Entwicklungen zur Erhöhung der Effizienz und Lebensdauer der Komponenten bis hin zum System aktiv zu begleiten und sogar zu lösen.



„Energiesystemanalyse
mit besonderem Schwerpunkt auf H₂“

4.6



4.6

Fokusgruppe „Energiesystemanalyse mit besonderem Schwerpunkt auf H₂“

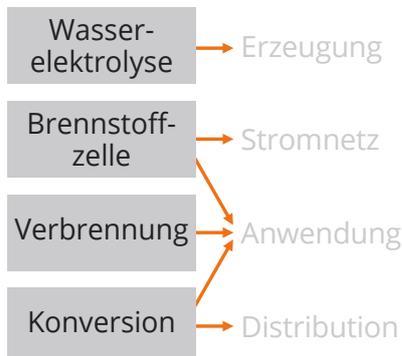
Neben den technologischen Fragestellungen besteht weiterer Forschungsbedarf mit speziellem Fokus auf die Sektorenkopplung und die darauf aufbauenden volkswirtschaftlichen und rechtlichen Betrachtungen sowie Untersuchungen zu den resultierenden Umweltwirkungen. Auf dieser Basis lassen sich im Sinne einer Implementierungsstrategie Aussagen zur Festlegung der Dekarbonisierungsreihenfolge treffen und Zubaukorridore für die einzelnen Wandlertechnologien ermitteln.

Die Energiesystemanalyse kann perspektivisch zur Bestimmung der technischen Randbedingungen für die Integration von Wasserstoff in das Energiesystem und zur Kopplung an das bestehende Energiesystem sowie bei der Definition von Anforderungen an neue Elektrolyseanlagen beitragen.

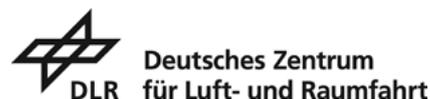
Im Zuge der Sektorenkopplung Strom-zu-Gas und Strom-zu-Mobilität ist es wesentlich, Fragen zum Bedarf an zu installierender oder bestehender Infrastruktur für die Erzeugung, die Speicherung, den Transport sowie die Rückverstromung gasförmiger Energieträger mit integrierter Abwärmenutzung fundiert beantworten zu können.

VI. Energiesystemanalyse mit besonderem Schwerpunkt auf H₂

H₂ - SYSTEM



Forschungsgruppen





Auf Basis dieser Ergebnisse sind die notwendigen Anreizsysteme, staatlichen Regulierungen und Gebühren/Abgaben für Unternehmen zielgerichtet und umfassend zu planen bzw. die Unternehmen bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen einer Wasserstoffwirtschaft zu unterstützen.

In diesem Kontext ist es daher auch erforderlich, die

Bedeutung nicht-technischer Innovationen sowie sozioökonomischer Wechselwirkungen zu untersuchen, um die gesellschaftlichen Bedingungen, Treiber und Hemmnisse einer erfolgreichen Integration von Wasserstoff als Energieträger zu analysieren und robuste Handlungsempfehlungen abzuleiten.

In Abbildung 05 werden die im Zeitraum 2018 – 2025 in niedersächsischen Kooperationen realisierten Projekte in der Fokusgruppe „Energiesystemanalyse mit besonderem Schwerpunkt auf H₂“ veranschaulicht:

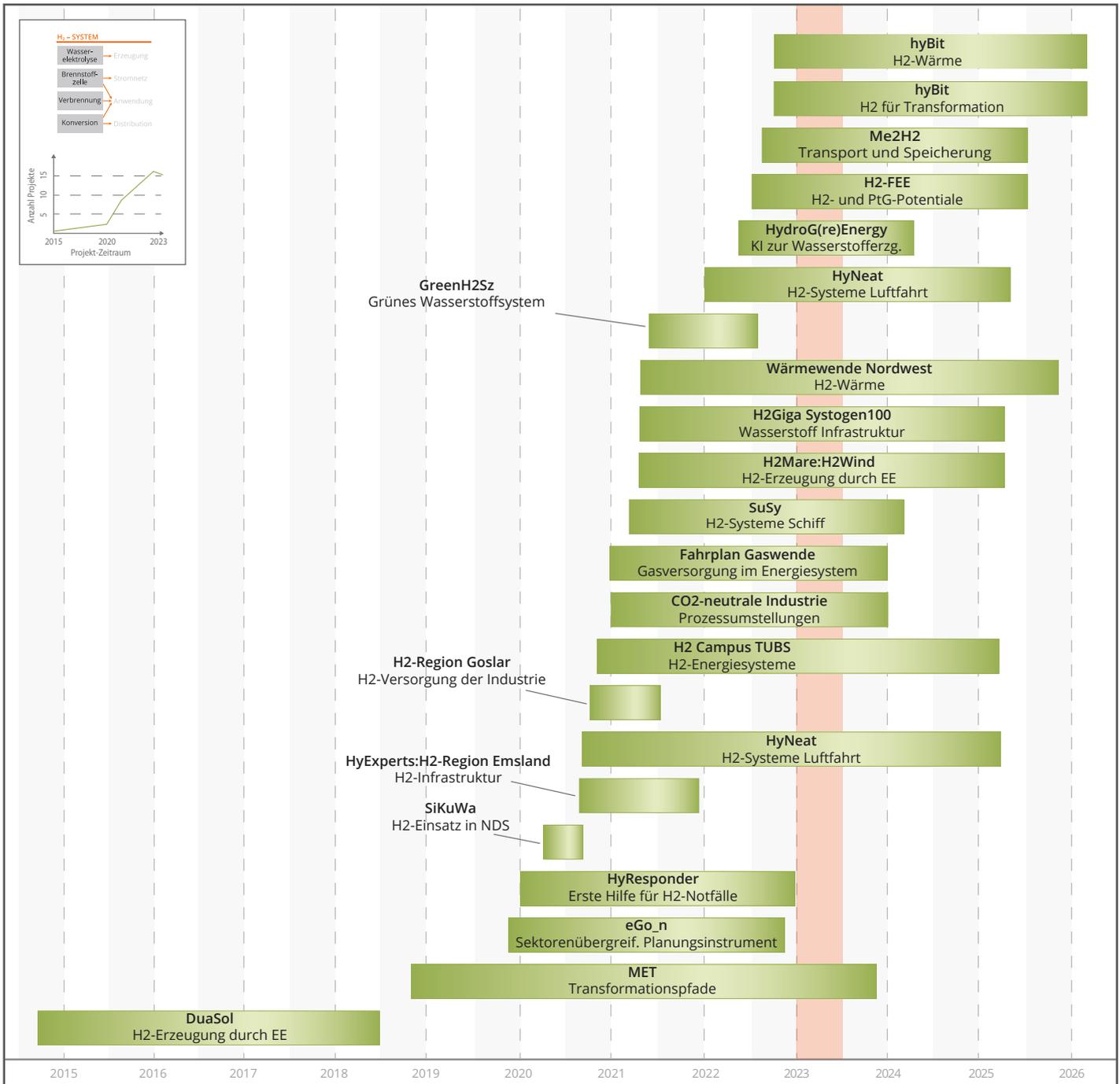


Abb. 05: Projekte in der Fokusgruppe „Energiesystemanalyse mit besonderem Schwerpunkt auf H₂“

Die Vielfalt der Rollen, die das Multitalent Wasserstoff im Energiesystem einnehmen wird, spiegelt sich auch in der Vielfalt der Projektinhalte wieder. Vielen Projekten gemeinsam ist dabei eine disziplinübergreifen-

de Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten aus den jeweiligen Anwendungsbereichen, die in den Projekten genauer untersucht werden, wie einige Beispiele zeigen:



Im Projekt HyNEAT untersucht ein Konsortium aus unter anderem Leibniz Universität Hannover, Technische Universität Braunschweig und Technische Universität Clausthal die Bereitstellung von Wasserstoff aus dem Energiesystem als treibhausgasneutrale Treibstoffoption für den Luftverkehr. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit sowohl mit der Logistikforschung als auch dem niedersächsischen Luftfahrt-Excellence-Cluster SE2A.

Im Projekt SuSy beschäftigt sich das DLR-Institut für vernetzte Energiesysteme mit wasserstoffbasierten Systemen zur Integration von erneuerbarer Energien auf Passagierschiffen. Das Ziel ist eine innovative hybride Energieversorgung, die zukünftig auf unterschiedlichsten Schiffstypen zur

Dekarbonisierung des Seeverkehrs beitragen kann.

Im Projekt H2-FEE entwickelt die LUH gemeinsam mit Partnern eine Methodik zur Standortanalyse für dezentrale Power-to-Gas-Anlagen. Gemeinsam mit der Energiewirtschaft und kommunalen Einrichtungen wird ein Open-WebGIS entwickelt, das die Energiegewende durch Wasserstoff auch im ländlichen Raum voranbringen wird.

Ein wasserstoffbasiertes System in der Praxis schon einmal zu erproben, ist das Ziel des H2-Campus der TUBS. In diesem Projekt soll die gesamte Wasserstoffwandlungskette im universitätseigenen Netz erprobt und befohrt werden. Die Ergebnisse sollen eine spätere energiewirtschaftliche Integration von Wasserstoffanlagen vorbereiten.

Diese und die weiteren im Projekthorizont in Abbildung 05 dargestellten Projekte sind in der folgenden Tabelle 06 einzeln aufgeführt und geben eine Schnellübersicht zum Namen des Projektes, involvierte(r) EFZN-Partner, Projektdauer, Fördermittelgeber, Thema. **Weiterführende bzw. tiefergehende Informationen zu den einzelnen Projekten (Fördersumme, Kurzbeschreibung, Zwischen- und Abschlussberichte) sind über den Web-Link für Sie zugänglich gemacht.**

Kurzname	Thema	Partner	Beginn	Ende	Förderung	Weblink
DuaSol	H2-Erzeugung durch EE	LUH-ITC	01.09.2014	30.06.2018	Bund	enargus
MET	Transformationspfade	LUH-FKP LUH-IFES LUH-IWI	01.12.2018	30.11.2023	Land Nds.	n.a.
eGo_n	sektorenübergreifendes Planungsinstrument	DLR-VE	01.12.2019	30.11.2022	Bund	enargus
HyResponder	Erste Hilfe für H2-Notfälle	DLR-TT OL	01.01.2020	31.12.2022	EU	n.a.
SiKuWa	H2-Einsatz in NDS	IFSH LUH-IFES	01.03.2020	31.07.2020	Land Nds.	n.a.
HyExperts:H2-Region Emsland	H2-Infrastruktur	TUC-CUTECH	01.08.2020	31.12.2021	Land Nds.	n.a.
HyNeat	H2-Systeme Luftfahrt	TUC	01.08.2020	30.04.2025	Bund	enargus
H2-Region Goslar	H2-Versorgung der Industrie	TUC-CUTECH TUC-EST	15.08.2020	31.07.2021	Land Nds.	n.a.
H2 Campus TUBS	H2-Energiesysteme	TUBS	01.11.2020	30.04.2025	Bund	enargus
CO2-neutrale Industrie	Prozessumstellungen	FH-IST	01.01.2021	31.12.2023	Land Nds.	n.a.
Fahrplan Gaswende	Gasversorgung im Energiesystem	DLR-VE	01.01.2021	31.12.2023	Bund	enargus
SuSy	H2-Systeme Schiff	DLR-VE	01.03.2021	28.02.2024	Bund	enargus
H2Mare:H2Wind	H2-Erzeugung durch EE	LUH IFES	01.04.2021	31.03.2025	Bund	enargus
H2Giga Systogen100	Wasserstoff-Infrastruktur	DLR-VE	01.04.2021	31.03.2025	Bund	enargus
Wärmewende Nordwest	H2-Wärme	DLR OFFIS UOL	01.04.2021	30.11.2025	Bund	enargus
GreenH2Sz	Grünes Wasserstoffsystem	FH-IST	01.05.2021	31.06.2022	Land Nds.	n.a.
HyNeat	H2-Systeme Luftfahrt	LUH IFES TUBS-AiP	01.01.2022	30.04.2025	Bund	enargus
HydroG(re)EnergyY	KI zur Wasserstoffherzeugung	TUC	01.05.2022	30.04.2024	Bund	enargus
H2-FEE	H2- und PtG-Potentiale	LUH-FKP, LUH IUP	01.07.2022	30.06.2025	Land Nds.	n.a.
Me2H2	Transport und Speicherung	TUC	01.08.2022	31.07.2025	Bund	enargus
hyBit	H2 für Transformation	OFFIS	01.09.2022	28.02.2026	Bund	enargus
hyBit	H2-Wärme	siz+	01.09.2022	28.02.2026	Bund	enargus

Ausblick für die Fokusgruppe „Energiesystemanalyse mit besonderem Schwerpunkt auf H₂“



Eine effiziente und sichere Integration von Wasserstoff in das Energiesystem ist ein absolutes Schlüsselement für eine erfolgreiche Energiewende. Das Energiesystem wird sich dabei so stark ändern wie noch nie in seiner Geschichte. Grund dafür ist die – durch die Wasserstofftechnologie ermöglichte – umfangreiche Sektorenkopplung, die zu einem „fuel switch“ der Primärenergie führt. Gas, Kohle und Öl werden ersetzt durch erneuerbaren Strom. Die Umwandlungskette in der Energiewirtschaft wird invertiert: Heute werden Brennstoffe in Strom gewandelt, in Zukunft wird Strom zur Herstellung stofflicher Energieträger genutzt.

Diese Transformation und das dadurch sich stetig wandelnde Energiesystem sind zugleich Chance und Herausforderung für die Integration neuer Technologien. Das Fehlen von konstanten und kalkulierbaren systemischen Randbedingungen erschwert oder verhindert im schlimmsten Fall die Umsetzung. Auch das Capacity-Building in der Gesellschaft ist wichtig: Oft wird bei Entscheidungen insbesondere im Infrastruktur- und regulatorischen Bereich vom heutigen Status Quo ausgegangen und absehbare zukünftige Herausforderungen werden noch zu selten mitgedacht. Dies verlangsamt die Energiewende ungemein. Denn jede heute falsch getroffene Weichenstellung muss später noch einmal mühsam nachjustiert werden.

Energiesystemanalyse hilft dabei, robuste Entwicklungspfade für das Energiesystem zu identifizieren, falsche Weichenstellungen zu vermeiden und auch in einem sich wandelnden Energiesystem die richtigen Entscheidungen zu treffen. Die Fokusgruppe arbeitet stark interdisziplinär, um in enger Abstimmung zwischen Energieforschung und technischen und soziologischen Disziplinen die Transformation zu unterstützen. Eine Vernetzung über verschiedene Forschungsstandorte und Fachbereiche hinweg ermöglicht die Entwicklung eines systemischen Gesamtbildes zur Identifizierung von absoluten Notwendigkeiten genauso wie von Synergiepotentialen im Rahmen der Energiesystemtransformation. Im Innovationslabor H₂-Wegweiser wird diese Zusammenarbeit bereits gefördert, sowohl im Konsortium als auch im Austausch mit den anderen Innovationslaboren. Eine Fortführung und Verstärkung dieser Zusammenarbeit kann den Energie- und Wasserstoffstandort Niedersachsen nachhaltig stärken.



Ausblick auf Wasserstoff-Weiterbildung

5

Der Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft ist eines der stärksten Transformationsthemen unserer Zeit. Für alle Projekte, die hier im Rahmen der sechs Fokusgruppen des Forschungsverbundes Wasserstoff Niedersachsen gezeigt wurden, besteht ein hohes Innovationspotential zur Umsetzung in die Praxis. Gleichwohl braucht es Expertenwissen über komplexe Wasserstoffsysteme der Zukunft, damit die Transformation hin zu einer nachhaltigen und klimaneutralen Wirtschaft und Gesellschaft gelingt. Bis 2030 rechnet die Branche mit einem Bedarf von rund 70.000 zusätzlichen Fachleuten. Dafür sind die gezielte Aus- und Weiterbildung für neue Berufsbilder und umfassende Weiterbildungskurse unabdingbar. Das Expertenwissen beschränkt sich nicht nur auf die Erweiterung von Kompetenzen und Qualifikationsständen in Unternehmen, sondern auch auf öffentliche Institutionen der Kommunalpolitik und Verwaltung, etwa bei der Entscheidung und Begleitung von Wasserstoffprojekten, sowie auf Beratungsunternehmen, Banken und Versicherungen bei der Prüfung und Absicherung von großen Wasserstoffinvestitionsvorhaben.

Der seit 2022 angebotene Weiterbildungskurs „Wasserstoff für Fach- und Führungskräfte“¹⁵ bereitet forschungs- und praxisnah auf die komplexen Herausforderungen in diesem innovativen Sektor vor. Das berufsbegleitende Programm wurde in wissenschaftlicher Partnerschaft der Universität Oldenburg, Leibniz Universität Hannover und Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES entwickelt. Kooperationspartner sind das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) und das Oldenburger Energiecluster (OLEC). Förderer sind das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur, die Region Hannover und die Stadt Oldenburg.

Des Weiteren plant das EFZN in Zusammenarbeit mit weiteren niedersächsischen Partnern in naher Zukunft ein Weiterbildungs- und Transferzentrum zur Energiewende. Das Zentrum soll durch Aus- und Weiterbildung einen substanziellen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leisten und niedersächsische Spitzenforschung in nachgefragte Bildungsangebote transferieren. Durch den Aufbau von Short Courses und Zertifikatsprogrammen (Micro-Degrees) soll so kurz- und mittelfristig eine Gegenbewegung zum Fachkräftemangel in Unternehmen und in der Energiewirtschaft erreicht werden.

Bei der Planung des Weiterbildungsangebotes sind die Akteure in Niedersachsen eng mit dem auf europäischer Ebene laufenden Projekt „Green Skills for Hydrogen“¹⁶ verbunden. Das in Zusammenarbeit mit dem Netzwerk Hydrogen Europe Research laufende Projekt hat folgende Ziele:

1. Design und Implementierung einer Hydrogen Skills Strategie
2. Entwicklung, Erprobung und Einführung von Berufsbildungsprogrammen in ganz Europa
3. Aufbau einer Partnerschaft zwischen Industrie und Bildung

Die Ergebnisse aus dem Projekt „Green Skills for Hydrogen“ fließen direkt in die Konzeptionierung des geplanten Weiterbildungs- und Transferzentrums ein.



¹⁵ <https://uol.de/weiterbildung-wasserstoff>

¹⁶ <https://greenskillsforhydrogen.eu/>

Impressum

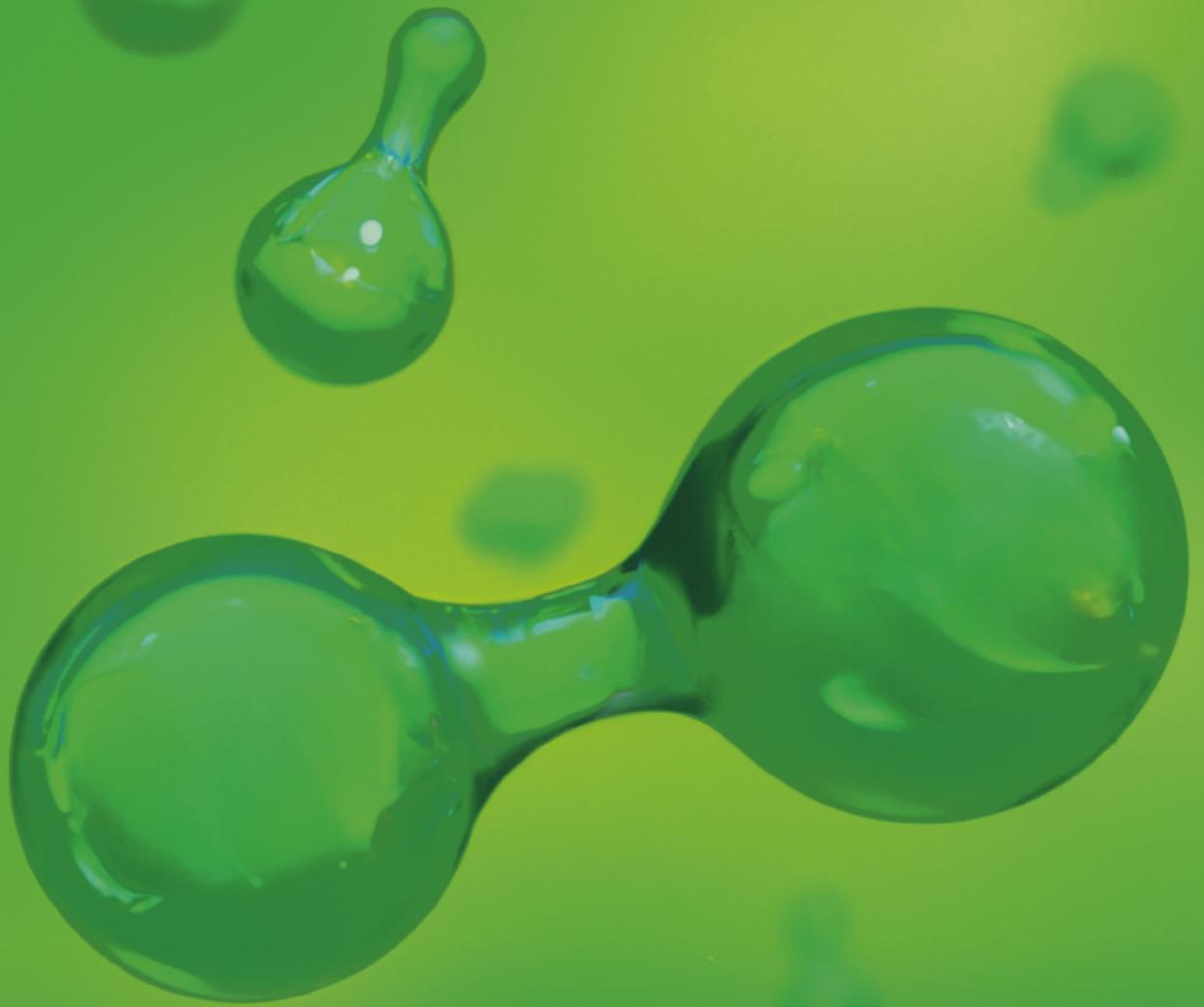
Herausgeber: Vorstand des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen
Am Stollen 19 A
38640 Goslar
www.efzn.de

Gestaltung: design office - Agentur für Kommunikation GmbH, Bad Harzburg

Bildnachweis: Alle Fotos EFEN, Titelmotiv: AdobeStock - Corona Borealis und H₂-Grafik: Adobe-Stock - Sparkzen

Links: Die verknüpften Links wurden zum Veröffentlichungsstand auf ihre Gültigkeit überprüft

Stand: v1 14.03.2023



efzn

**Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen**

Kontakt:

Telefon: +49 (5321) 38 16 80 02
E-Mail: geschaeftsstelle@efzn.de
Internet: www.efzn.de

