

HYSTARTER KONZEPT

WASSERSTOFF IM
LANDKREIS REUTLINGEN



Herausgeber



LANDKREIS
REUTLINGEN

Projektleitung

Landratsamt Reutlingen

Kreisamt für nachhaltige Entwicklung

Julia Bernecker (j.bernecker@kreis-reutlingen.de)

Dr. Meike Widdig (m.widdig@kreis-reutlingen.de)

Unter Beteiligung von

Bioenergie Aichelau GmbH & Co. KG, Bottenschein Reisen GmbH & Co. KG, Erneuerbare Energien Neckar-Alb eG, FairEnergie GmbH, FairNetz GmbH, Handwerkskammer Reutlingen, Hochschule Reutlingen, Hohensteiner Bioenergie GbR, HöRa Naturenergie GmbH & Co. KG, KlimaschutzAgentur im Landkreis Reutlingen gGmbH, IHK Reutlingen, Kreisbauernverband Reutlingen e.V., Landkreis Tübingen, Robert Bosch GmbH, Ruoff Energietechnik, Schwäbische Alb-Bahn GmbH, SchwörerHaus KG, SolarComplex AG, Stadtwerke Metzingen.

BOTTENSCHHEIN
REISEN



BOSCH
Technik fürs Leben



Erneuerbare Energien Neckar-Alb eG

EKPO FUEL CELL TECHNOLOGIES

FairEnergie

FairNetz

**Hohensteiner
Bioenergie**

HöRa
Naturenergie

**Landkreis
Tübingen**

**HOF
ARNOLD**



**Handwerkskammer
Reutlingen**

**Schwörer
Haus**
Hier bin ich daheim

RUOFF
Neue Energie

**KLIMASCHUTZAGENTUR
LANDKREIS REUTLINGEN**



IHK Industrie- und Handelskammer
Reutlingen
Reutlingen | Tübingen | Zollernalb

**Kreisbauernverband
Reutlingen e.V.**

**LANDKREIS
REUTLINGEN**

solarcomplex:
sonne • wind • wärme

SWM
Stadtwerke
Metzingen

Autoren

Verantwortlich:

Patrick Steiger und Anke Schmidt (Nuts One GmbH)

Unter Mitarbeit von:

Dr. Frank Koch und Frederik Budschun (EE ENERGY ENGINEERS GmbH)

Laura Wienpahl, Tim Röpcke und Ciara Dunks (Reiner Lemoine Institut)

Dr. Hanno Butsch und Fabian Rottmann (Becker Büttner Held Consulting AG)

Stand: Oktober 2021

Die Strategiedialoge zu HyStarter wurden im Rahmen des HyLand-Programms durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) beauftragt und durch die NOW GmbH koordiniert.



Beauftragt durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Vergabe und Projektbegleitung durch:



Vorwort



Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Leserinnen und Leser,

der Klimawandel lässt sich nicht mehr abwenden, aber wir haben noch die Chance ihn einzudämmen - wenn wir jetzt die richtigen Maßnahmen ergreifen und die Weichen in eine klimaneutrale Zukunft stellen.

Der Landkreis Reutlingen leistet bereits seit vielen Jahren einen Beitrag zum Klimaschutz in der Region: Seit 1989 wird für alle Gebäude des Landkreises ein aktives Energiemanagement betrieben. Dadurch konnten die CO₂-Emissionen pro Mitarbeiterin und Mitarbeiter kontinuierlich gesenkt werden. Seit 2012 beteiligt sich der Landkreis außerdem sehr erfolgreich am European Energy Award®. Mit der Handlungsstrategie Klimaschutz wurde 2018 der gesamte Landkreis noch stärker in den Fokus gerückt. Ein wichtiges Ziel haben wir uns im letzten Jahr gesetzt: eine weitestgehend klimaneutrale Landkreisverwaltung bis spätestens 2040. Das hat der Kreistag mit dem Beitritt zum Klimaschutzpakt Baden-Württemberg beschlossen.

Die Transformation in eine CO₂-neutrale Gesellschaft stellt uns vor große Herausforderungen. Wasserstoff- und Brennstoffzellen werden einen entscheidenden Beitrag zur Energie- und Verkehrswende leisten und sind somit ein wichtiger Teil unserer ambitionierten Klimaschutzpläne.

Daher freut es mich außerordentlich, dass wir als HyStarter-Region die Chance bekommen haben, in das wichtige Thema der Wasserstoffwirtschaft einzusteigen. Entstanden sind ein sehr engagiertes Netzwerk und viele erfolgversprechende Projektideen, die im vorliegenden Konzept beschrieben sind.

Möglichst viele dieser Ideen wollen wir in den nächsten Jahren umsetzen. Die erfolgreichen Bewerbungen als „Modellregion Grüner Wasserstoff“ Baden-Württemberg und als HyExperts-Region sind dabei wichtige Schritte. Sie zeigen auch: Wir sind auf dem richtigen Weg. Diesen werden wir gemeinsam mit unserem HyStarter Netzwerk weitergehen.

Mein herzlichster Dank gilt allen beteiligten Akteuren für ihr großes Engagement! Zusammen können wir die Zukunftstechnologie Wasserstoff in unserer Region zum Einsatz bringen.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "U. Fiedler". The signature is written on a light-colored, textured background.

Dr. Ulrich Fiedler

Landrat des Landkreises Reutlingen

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	VIII
1. ZUSAMMENFASSUNG.....	1
2. HYSTARTER-REGION REUTLINGEN.....	2
2.1 Unsere HyStarter-Akteure	3
2.2 Wo wir herkommen – Wo wir hin wollen	4
2.3 Energie und Klimaschutz: Ausgangslage & Ziele.....	7
3. POTENZIALE DES WASSERSTOFFEINSATZES	12
3.1 Wasserstoffnutzung in Deutschland	12
3.2 Potenziale für Wasserstoff in Baden-Württemberg und im Landkreis Reutlingen.....	14
4. VISION FÜR DEN LANDKREIS REUTLINGEN.....	16
5. BAUSTEINE DES REGIONALEN HANDLUNGSKONZEPTS	19
5.1 Wasserstofferzeugung, Verteilung und Speicherung	20
5.1.1 Wasserelektrolyse	21
5.1.2 Biogas-Dampfreformierung.....	32
5.1.3 Wasserstoff-Verteilung	36
5.2 Wasserstoff-Einsatz in Mobilitätsanwendungen.....	41
5.2.1 Wasserstoff im ÖPNV	42
5.2.2 Wasserstoff im SPNV	44
5.2.3 Brennstoffzellen-Müllsammelfahrzeuge	46
5.2.4 Brennstoffzellen-LKW	48
5.2.5 Fazit: BZ-Fahrzeuge können schon heute eingesetzt werden.....	48
5.3 Einsatz in der Gebäudeenergieversorgung.....	49
5.4 Wasserstoff-Einsatz in der Industrie	52
5.5 Verknüpfung der Bausteine/Modellierung eines Energiesystems	53
5.6 Betreibermodelle	57
6. FAHRPLAN ZUR UMSETZUNG DES ZIELSYSTEMS	59
6.1 Vorbereitungsphase: Planungs- und Umsetzungshorizont ab 2021.....	60
6.2 Demonstrationsphase: Planungs- und Umsetzungshorizont ab 2023/24	62
6.3 Regionale Wasserstoffwirtschaft auf Basis von Erneuerbaren Energien: Planungs- und Umsetzungshorizont ab 2030	62
7. UNTERSTÜTZUNGSBEDARFE BEIM SYSTEMAUFBAU	63
7.1 Fördermöglichkeiten verstetigen.....	63
7.2 Klare Politische Rahmenbedingungen.....	67
8. REFLEKTION UND AUSBLICK.....	68
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	69
TABELLENVERZEICHNIS	70
QUELLENVERZEICHNIS.....	71
ANHANG.....	75

Anhang 1: Akteursübersicht.....	75
Anhang 2: Maßnahmen (M1-M7) zur Umsetzung der regionalen Ziele & Vorhaben.....	80
2.1 Akteurskreis und Koordination von Wasserstoffvorhaben im Landkreis (M1)	80
2.2 Nachwuchsförderung & wissenschaftliche Begleitung für H ₂ -Projekte (M2)	80
2.3 Wasserstoff-Erzeugung (M3)	81
2.4 Fahrzeugbeschaffung (M4).....	82
2.5 Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur (M5).....	84
2.6 Wasserstoff in der Industrie (M6)	84
2.7 Wasserstoff in der Gebäudeenergieversorgung (M7).....	85

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AEM	Anion Exchange Membrane
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BBHC	Becker Büttner Held Consulting
BEE	Bundesverband Erneuerbare Energien
BEV	Battery Electric Vehicle (Batterieelektrisches Fahrzeug)
BGA	Biogasanlage
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BZ	Brennstoffzelle
CAPEX	Investitionsausgaben (engl. Capital expenditure)
CCfD	Carbon Contracts for Difference
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CVD	Clean Vehicle Directive
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
ENP	Energienutzungsplan
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EU	Europäische Union
Fa.	Firma
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)
ft	Fuss (engl. Feet)
H ₂	Wasserstoff
HRS	Hydrogen Refueling Station (Tankstelle)
IBN	Inbetriebnahme
ICE	Internal Combustion Engine (Verbrennungsmotor)
ISO	Internationale Organisation für Normung
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LEP	Landesentwicklungsprogramm
LK	Landkreis
LRA	Landratsamt
MW	Megawatt
NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NOW	Nationale Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NWS	Nationale Wasserstoffstrategie
O ₂	Sauerstoff
OEM	Original Equipment Manufacturer (engl./hier gleichzusetzen mit Fahrzeughersteller)
OPEX	Betriebskosten (engl. operational expenditure)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PEM	Proton Exchange Membrane
PtG	Power-to-Gas
PV	Photovoltaik
RLI	Reiner Lemoine Institut
SAB	Schwäbische Alb-Bahn
SOFC	Festoxidbrennstoffzelle (engl. solid oxide fuel cell)
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
WEA	Windenergieanlage

1. ZUSAMMENFASSUNG

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien sollen zu einem Baustein der regionalen Energie- und Verkehrswende werden. Der Landkreis Reutlingen unterstützt die klimapolitischen Ziele des Bundes sowie des Landes und möchte durch innovative Lösungen einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Region leisten. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) geförderten HyStarter-Projektes wurde ein regionaler Akteurskreis aufgebaut, der im Laufe von zwölf Monaten die Potenziale und Grenzen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien diskutiert und Handlungsansätze für den Landkreis entwickelt hat. Die Ergebnisse sind in dieser Konzeptstudie festgehalten.

Die HyStarter-Akteure sind sich einig, dass der eingesetzte Wasserstoff möglichst CO₂-neutral und regional erzeugt werden soll, um die Wertschöpfung vor Ort zu stärken. Der Pfad der Elektrolyse mit Photovoltaik- und Windstrom soll dafür von den Akteuren ebenso wie die Wasserstofferzeugung über den Weg der Biogasdampfreformierung verfolgt werden.

Auf Seiten der Bedarfe wird ein möglichst breites Spektrum an Anwendungen verfolgt. Die drei großen Themen Wasserstoffeinsatz in der Industrie, in der Mobilität und im Gebäudereich finden alle in unterschiedlicher Konkretisierung Berücksichtigung in diesem Konzept. Bedeutende Kriterien bei der Identifizierung der Bedarfe waren neben der Einwirkung auf die klima- und verkehrspolitischen Ziele des Landkreises auch eine möglichst realistische Umsetzungsperspektive und eine schnelle Sichtbarkeit von (Pilot) Projekten. Konsequenterweise sind es vor allem die Anwendungen im Personenverkehr (ÖPNV und SPNV), die einen zentralen Baustein des Konzeptes darstellen.

Zur besseren Einordnung wurde ein regionales Energiesystem für die HyStarter-Region Reutlingen modelliert, in welches die ermittelten Wasserstoffbedarfe sowie die Erzeugungskapazitäten bzw. -potenziale eingeflossen sind. Die Ergebnisse zeigen, dass bereits heute ausreichend Wasserstofferzeugungskapazitäten vorhanden sind, um die regionalen Bedarfe vollständig zu decken.

Das Ende der HyStarter-Arbeiten bildet gleichzeitig den Beginn der weiteren umsetzungsorientierten Arbeit der Akteure. Hierfür wurden bereits vielfältige Anstrengungen unternommen. Der Landkreis hat sich zusammen mit der Stadt Ulm, dem Alb-Donau-Kreis und vielen weiteren Partnern als Modellregionen Grüner Wasserstoff Baden-Württemberg beworben und wurde als eine von zwei Regionen ausgewählt. Die Modellregion „Hy-FIVE“ umfasst die Region Mittlere Alb-Donau mit den Landkreisen Reutlingen, Alb-Donau-Kreis und die Stadt Ulm sowie die Landkreise Ostalbkreis, Heidenheim und Tübingen und die Stadt Schwäbisch Gmünd. Die beteiligten Akteure in der Modellregion können in den nächsten Jahren mit bis zu 33 Mio. Euro Förderung aus EU- und Landesmitteln für Wasserstoffaktivitäten rechnen. Darüber hinaus hat sich der Landkreis Reutlingen mit weiteren Akteuren aus dem HyStarter-Netzwerk erfolgreich um eine HyExperts-Förderung beworben und wird auch in diesem Rahmen die Wasserstoffaktivitäten fortführen können. Die bisherige aktive und zielorientierte Zusammenarbeit lässt den baldigen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in der HyStarter-Region Reutlingen erwarten.

2. HYSTARTER-REGION REUTLINGEN

Der Landkreis Reutlingen wurde am 9. September 2019 zu einer von neun HyStarter-Regionen in Deutschland auserkoren (vgl. Abbildung 1). Die HyStarter-Regionen bilden die erste Stufe des Dachprogramms „HyLand“ – Sektorenkopplung mit Wasserstoff. Das HyStarter-Projekt wurde von der Nationalen Organisation für Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) GmbH und dem Projektträger Jülich (PTJ) begleitet und vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) beauftragt. Das dreistufige HyLand-Programm verfolgt die Ziele, bei der Sensibilisierung für das Thema Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien und der initialen Organisation der Akteurslandschaft zu unterstützen (HyStarter), die Erstellung von integrierten Konzepten und tieferegehenden Analysen zu finanzieren (HyExperts) sowie die Beschaffung von Anwendungen und die Umsetzung von Konzepten zu fördern (HyPerformer).



Abbildung 1: Die neun HyStarter Wasserstoff-Regionen in Deutschland (2019-2021) (© NOW GmbH)

Über einen Zeitraum von zwölf Monaten wurden sechs Strategiedialoge mit einem regionalen Akteurskreis durchgeführt, um das Thema Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien zu diskutieren und konkret auf die Region zugeschnittene Handlungsansätze zu entwickeln. Im Zuge der Konzeptentwicklung wurden die Potenziale, die Chancen und die Grenzen der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien für die Sektorenkopplung in einer auf erneuerbaren Energien basierenden Energiewirtschaft identifiziert sowie geeig-

nete Systemlösungen zur Umsetzung entwickelt. Die Diskussionen wurden in einem Kernteam geführt und münden als Ergebnis in diese Konzeptstudie. Die Region wurde von der Nuts One GmbH inhaltlich und organisatorisch unterstützt und vom gesamten HyStarter-Projektconsortium bestehend aus Spilett new technologies (Projektleitung HyStarter), Reiner-Lemoine-Institut (RLI), Becker Büttner Held Consulting (BBHC) und EE - Energy Engineers begleitet.

In Vorbereitung des Dialogprozesses wurde ein Kick-off-Treffen mit den Initiatoren (Landratsamt Reutlingen und Robert Bosch GmbH Reutlingen) durchgeführt. Die HyStarter-Region Landkreis Reutlingen hat ihren Dialogprozess im Sommer 2020 begonnen. Um die Dialogteilnehmerinnen und -teilnehmer zu identifizieren und erste Handlungsansätze zu sammeln, wurde der erste Dialog in einem größeren Kreis online mit 53 Personen durchgeführt.

Begleitend zum Dialogprozess wurden Tiefeninterviews mit allen Teilnehmenden geführt sowie bilaterale Abstimmungen mit einzelnen Akteuren realisiert. Aufgrund der Coronapandemie konnte nur ein Dialog in Präsenz durchgeführt werden. Um für eine stärkere und verbindlichere Vernetzung der Akteure zu sorgen, arbeiteten neben den Dialogen mehrere themenspezifische Kleingruppen (online) zusammen. Die Arbeit wurde zudem durch mehrere Online-Fachauskünfte mit unterschiedlichem thematischem Fokus bereichert. Die Teilnehmenden am Dialogprozess erhielten keine Vergütung durch das HyStarter-Projekt, sondern haben aus eigenem Engagement und individueller Motivation teilgenommen. Das Landratsamt Reutlingen hat in die HyStarter-Aktivitäten ebenfalls den angrenzenden Landkreis Tübingen eingebunden, mit dem auch in anderen Bereichen ein enger Austausch stattfindet.

2.1 UNSERE HYSTARTER-AKTEURE

Der HyStarter-Kreis besteht aus Akteuren unterschiedlicher Branchen:

Aus dem Energiebereich sind zum einen als Energieversorger und Netzbetreiber die *Fair-Energie GmbH* und *FairNetz GmbH* sowie die *Stadtwerke Metzingen* beteiligt. Zum anderen sind erneuerbare Energieerzeuger wie die Bürgerenergiegenossenschaft *ErneuerbareEnergien Neckar-Alb eG* und die *SolarComplex AG* als Betreiber von PV-, Windkraft- und Holzenergieanlagen und von Nahwärmenetzen sowie Biogasanlagenbetreiber wie *Bioenergie Aichelau GmbH & Co. KG*, *HöRa Naturenergie GmbH & Co. KG* und *Hohensteiner Bioenergie GbR* mit an der HyStarter-Arbeit beteiligt. Darüber hinaus wirken die *Schwörer-Haus KG*, die als Fertighausbauer ihre Holzreste zu Ökostrom recyceln sowie die *Ruoff Energietechnik*, die Beratung und Installation von PV-Anlagen vornimmt, im Projekt HyStarter mit. Außerdem wurde der HyStarter Akteurskreis von der SOWITEC group GmbH unterstützt. Aus dem Mobilitätsbereich sind die *Bottenschein Reisen GmbH & Co. KG*, die über eine eigene Busflotte für Stadt- und Überlandverkehre verfügt, als auch die *Schwäbische Alb-Bahn GmbH* als Anbieter von Personen- und Güterverkehr auf der Schiene mit dabei.

Industrieseitig wird der Akteurskreis durch die *Robert Bosch GmbH*, Entwickler von Brennstoffzellen und Nutzer von Wasserstoff in der Halbleiterindustrie sowie die *ElringKlinger AG* (jetzt *EKPO Fuel Cell Technologies GmbH*), einem Hersteller und Entwickler von PEM-Brennstoffzellen, unterstützt.

Auf wissenschaftlicher Seite engagiert sich die *Hochschule Reutlingen* im Wasserstoff-Akteurskreis, während über die *Industrie und Handelskammer Reutlingen* und die *Handwerkskammer Reutlingen* eine Vernetzung von Technologiepartnern erfolgt. Die *Klimaschutz-Agentur im Landkreis Reutlingen gGmbH* übernimmt ebenfalls eine wichtige Multiplikatorenrolle im Bereich des erneuerbaren Energien-Einsatzes und Energieeffizienz. Weiterhin wird der Akteurskreis vom *Kreisbauernverband Reutlingen e.V.* und dem *Landkreis Tübingen* als *RegioWIN FORTUNA²* Leadpartner bereichert. Temporär wurde der Akteurskreis von dem Brennstoffzellen-Produzenten *cellcentric GmbH & Co. KG* und dem Fahrzeughersteller *Daimler AG* unterstützt.

2.2 WO WIR HERKOMMEN – WO WIR HIN WOLLEN



Abbildung 2: Die Lage der HyStarter Region LK Reutlingen in Deutschland (© LRA Reutlingen)

Das Landratsamt Reutlingen und die Robert Bosch GmbH Reutlingen haben jeweils eine HyStarter-Bewerbung eingereicht und während des Auswahlprozesses einem Zusammenschluss zugestimmt. Beide Akteure sehen Wasserstoff und Brennstoffzellen als Schlüsseltechnologien für eine sektorgekoppelte, erneuerbare Energiewirtschaft und für den Wirtschaftsstandort Reutlingen. Sie möchten Impulse in der Technologieführerschaft setzen. Mit dem HyStarter-Projekt wird angestrebt, umsetzungsfähige Wasserstoff-Projekte zu initiieren und dabei die Gegebenheiten der Region – u.a. die Biogasanlagen, die aus dem EEG fallen, die regionale Topografie und den Wirtschaftsstandort – zu berücksichtigen.

Der Landkreis Reutlingen (vgl. Abbildung 2) bildet zusammen mit dem Landkreis Tübingen und dem Zollernalbkreis die Region Neckar-Alb und gehört zur europäischen Metropolregion Stuttgart. Der Landkreis ist mit 1.093 km² der größte Landkreis dieser Region, in dem 287.000 Personen in 26 Städten und Gemeinden leben. Reutlingen ist die jüngste Großstadt Baden-Württembergs und zugleich die größte Stadt (etwa 116.000 Einwohnerinnen und Einwohner)¹ sowie Kreisstadt des Landkreises Reutlingen.² Unweit befinden sich die Städte Tübingen (12 Kilometer westlich), Stuttgart (31 Kilometer nördlich) und Ulm (57 Kilometer östlich).

¹ [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021a]

² [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021b]

Der Landkreis Reutlingen zählt zu den wirtschaftsstarken Gebieten des Landes Baden-Württemberg mit Zukunftschancen.³ Das Albvorland ist industriell geprägt und traditionelle, leistungsfähige Handwerksbetriebe, mittelständische Unternehmen, weltweit bekannte Industrieunternehmen und Neugründungen von Medizin- und Biotechnologiefirmen sind hier angesiedelt.⁴ Die relevanten Wirtschafts- und Produktionszweige im Landkreis sind Elektrotechnik und Elektronik, Maschinenbau und Automatisierung, Handel, Logistik sowie ein breites Spektrum von (innovativen) Dienstleistungen.⁵ Insgesamt beherbergt Reutlingen über 5.000 Betriebe, vor allem im mittelständischen Bereich, darunter auch Weltmarktführer.

Die Robert Bosch GmbH, Mitinitiator des HyStarter-Projektes, setzt am Standort Reutlingen bereits heute auf ein smartes Energiekonzept: Die Abwärme aus Produktionsprozessen und Versorgungstechnik wird umfassend genutzt sowie Kühlwasser- und Heizsysteme über KWKK und Wärmepumpen gekoppelt. Das reduziert den Verbrauch fossiler Brennstoffe und spart Strom für die Erzeugung von Kühlwasser. Weitere Teile des Energiekonzepts sind ein Blockheizkraftwerk (BHKW), Wärmepumpen, Rauchgaswärmetauscher sowie Solarthermie- und Photovoltaik-Anlagen. Der Wärmebedarf der modernen Chipfabrik wird zu 90 Prozent regenerativ durch Abwärmenutzung erzeugt, der Elektroenergiebedarf wird zu 100 % aus Grünstrom gedeckt. Die Energieeffizienz der vorhandenen Anlagen und Systeme wird kontinuierlich durch Identifikation und Realisierung neuer Energieeinsparmaßnahmen gesteigert. Dabei werden durch Optimierungen in den Produktionsverfahren sowie in der Anlagentechnik am Standort Reutlingen jährlich rund 5.200 MWh Strom und 4.300 MWh Erdgas eingespart. Damit trägt der Standort Reutlingen wesentlich zu den Klimaschutzzielen der Robert Bosch GmbH bei.

Reutlingen ist außerdem ein attraktiver Bildungsstandort: Seit 150 Jahren bildet die Hochschule Reutlingen in verschiedenen Fachrichtungen, u.a. im Bereich der Dezentralen Energiesysteme und Energieeffizienz aus. Für den entsprechend qualifizierten Nachwuchs in Wissenschaft und Wirtschaft sorgen darüber hinaus die European School of Business, die Kreisberufsschulen sowie die nahegelegenen Universitäten Tübingen und Stuttgart. Als Konsortialpartner im RegioWIN-Netzwerk FORTUNA² Neckar-Alb⁶ treibt der Landkreis seit 2015 auch die wirtschaftliche Regionalentwicklung unter Nachhaltigkeitsaspekten voran. In diesem Rahmen wurde u.a. im Februar 2018 das „Virtuelle Kraftwerke Neckar-Alb“ am Standort der Hochschule Reutlingen offiziell in Betrieb genommen. Unter Beteiligung verschiedenster Partner in der Region wird das Projekt durch das Reutlingen Research Institute und das Reutlinger Energiezentrum der Hochschule Reutlingen koordiniert. Bei dem Demonstrationsvorhaben handelt es sich um einen Zusammenschluss von verschiedenen dezentralen Anlagen, die über intelligente Technik miteinander vernetzt werden, um eine optimale Steuerung zu ermöglichen. Das Netzwerk „Virtuelles Kraftwerk Neckar Alb“ ist

³ [Handelsblatt o.J.] Im Zukunftsatlas 2019 belegte der Landkreis Reutlingen Platz 98 von 401 Landkreisen, Kommunalverbänden und kreisfreien Städten in Deutschland und zählt damit zu den Regionen mit „leichten Zukunftschancen“; <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/zukunftsatlas-2019/>

⁴ [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021c] <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Landkreis-Politik/Unser-Landkreis>

⁵ [STADT REUTLINGEN o. J.] <https://www.reutlingen.de/de/Wirtschaft/Wirtschaftsstandort/Standortvorteile>

⁶ [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021g] <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Wirtschaft-Bildung/Regio-WIN-Region>

grundsätzlich an dem Thema Wasserstoff interessiert und plant ein Exponat für die Öffentlichkeit zum virtuellen Kraftwerk, in das auch das Thema Wasserstoff eingebunden werden soll. Derzeit ist bereits ein BHKW angeschlossen, das teilweise mit Wasserstoff betrieben wird. Im September 2016 wurde an der OMV-Tankstelle in Metzingen eine Wasserstoffzapfsäule installiert. Daraufhin haben die Gewerblichen Schulen Metzingen zwei Jahre lang ein Wasserstofffahrzeug (B-Klasse von Mercedes) getestet (01/17 bis 12/18). Das Fahrzeug wurde von Lehrerinnen und Lehrern und Schülerinnen und Schülern gefahren.

Der Landkreis Reutlingen treibt seit Jahrzehnten aktiv einen Prozess der nachhaltigen Regionalentwicklung in der Region voran, der auf den Klimaschutz einzahlt. Im Rahmen der Regionalentwicklungsprogramme PLENUM (Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt) und Regionen Aktiv wurden zwischen 2001-2013 viele regionale Projekte, Produkte und Netzwerke initiiert, die die Region zu einer Modellregion für nachhaltige Entwicklung gemacht hat und den Weg für das erste Biosphärengebiet in Baden-Württemberg bereitet hat. 2008 wurde das Biosphärengebiet Schwäbische Alb gegründet und 2009 als UNESCO-Biosphärenreservat anerkannt. Der Landkreis ist mit 563 km² und damit mit mehr als der Hälfte der Kreisfläche⁷ Teil des Biosphärengebiets. Das Biosphärenreservat Schwäbische Alb trägt dazu bei, dass der Tourismus zu einem starken und gleichzeitig nachhaltigen Wirtschaftszweig geworden ist, der weiterentwickelt werden soll. Das „Tor zur Schwäbischen Alb“ erfährt überregionale Bekanntheit und Beliebtheit für Tagestouristinnen und -touristen u.a. durch das Schloss Lichtenstein, das Haupt- und Landgestüt Marbach, den Burgruinen im Lautertal sowie die auf 271 Metern begehbare Bärenhöhle, eine Tropfsteinhöhle bei Sonnenbühl-Erpfingen.⁸ Über das „Schwäbische Streuobstparadies“⁹ wird die einzigartige Kulturlandschaft der Streuobstwiesen erhalten und für Bevölkerung und Tourismus vermarktet. Etwa 52 % der Landkreisfläche (rund 43.000 Hektar) werden landwirtschaftlich genutzt und von rund 1.150 Betrieben bewirtschaftet.¹⁰ Der Landschaftserhaltungsverband (LEV) trägt zusammen mit der Unteren Naturschutzbehörde dazu bei, Natur und Kulturlandschaft im Landkreis zu schützen, zu bewahren und zu entwickeln.¹¹ Insgesamt 94 Landschafts- und 45 Wasserschutzgebiete sind im Landkreis verortet.¹² Zudem wurden verschiedene Regionalentwicklungsinitiativen zum Erhalt der Kulturlandschaft gegründet.¹³ Aktuell unterstützt das Landratsamt als LEADER-Region Mittlere Alb¹⁴ speziell die ländlich geprägten Kommunen „auf der Alb“.

Der Landkreis Reutlingen ist schon lange im Klimaschutz aktiv und begreift diese Aufgabe als Chance für eine regionale Wertschöpfung zur Stärkung der Region durch nachhaltige Investitionen und die Schaffung innovativer Arbeitsplätze.¹⁵

⁷ [Biosphärengebiet Schwäbische Alb, 2021] Flächendaten: <https://www.biosphaerengebiet-alb.de/images/lebensraum/Basisinfo/2008-04-21%20RP%20Flaechendaten%20BG.pdf>

⁸ Ebd.

⁹ [Schwäbisches Streuobstparadies e.V., o.J.] <https://www.streuobstparadies.de/>

¹⁰ [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021d] <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Service-Verwaltung/Buergerservice-A-Z/Landwirtschaftsamt>

¹¹ [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021e] <https://www.kreis-reutlingen.de/1013>

¹² [WEIDINGER, 2015] Elke Weidinger (2015): Landwirtschaft im Landkreis Reutlingen - Zwischen Innovation und Tradition. In: Landinfo 5/2015, S.8-12.

¹³ [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021f] <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Wirtschaft-Bildung/Nachhaltigkeit>

¹⁴ [LEADER Mittlere Alb e.V., o. J.] <https://www.leader-alb.de>

¹⁵[LANDKREIS REUTLINGEN, 2021h] <https://www.kreis-reutlingen.de/klimaschutz>

Diese bestehenden Aktivitäten und Prozesse haben den Landkreis zur Bewerbung auf das HyStarter-Programm bewogen. Die bestehende gute Grundlage sollte genutzt werden, um umsetzungsfähige Projekte voranzutreiben, die die Energie- und Verkehrswende unterstützen, den Wirtschaftsstandort Landkreis Reutlingen zukunftsfähig ausrichten sowie zugleich die Region im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung stärken und einen Beitrag zu den Klimazielen leisten.

2.3 ENERGIE UND KLIMASCHUTZ: AUSGANGSLAGE & ZIELE

Der Landkreis Reutlingen bekennt sich zu den Klimaschutzzielen des Bundes und Landes. Den Landkreisen, Gemeinden und Städten kommt bei der Umsetzung der Klimaschutzmaßnahmen eine tragende Rolle zu.¹⁶ Bereits 2013 ist das Klimaschutzgesetz Baden-Württembergs in Kraft getreten und 2020 weiterentwickelt worden, um eine verbindliche Reduktion der Treibhausgasemissionen festzulegen. Der Treibhausgasausstoß in Baden-Württemberg soll bis zum Jahr 2030 um mindestens 42 % sinken (Referenzjahr 1990) und bis 2050 um 90 % gemindert werden.

Bereits seit über 30 Jahren hat der Landkreis Reutlingen ein Energiemanagement für die eigenen Gebäude und nimmt seit 2012 erfolgreich am European Energy Award® teil. Als wichtiges Instrument, um Klimaschutz in die Fläche zu bringen, wurde 2007 die „KlimaschutzAgentur im Landkreis Reutlingen gGmbH“ als breites Klimaschutzbündnis gegründet. Neben dem Landkreis sind u.a. neun Städte und Gemeinden, die Kreishandwerkerschaft, die Architektenkammer, die Kreissparkasse, der Verein Sonnenenergie Neckar-Alb und der lokale Energieversorger Gesellschafter der KlimaschutzAgentur. Die KlimaschutzAgentur bietet vor allem Energieberatung für Haushalte, aber auch für Unternehmen und Kommunen, an.¹⁷ Seit der Gründung wurden über 5.000 Energie-Erstberatungen und 700 Energie-Checks durchgeführt. Über 19,5 Millionen Euro wurden durch die Beratung sinnvoll investiert und über 800.000 Euro Fördermittel von Bund und Land für den Landkreis erworben. Im Jahr 2018 hat der Kreistag die *Handlungsstrategie Klimaschutz* beschlossen, welche die Klimaschutzarbeit bis 2025 strukturiert und folgende fünf Potenzialfelder aufzeigt:

- Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien,
- Stromeinsparung in der Industrie,
- Wärmeeffizienz in privaten Haushalten,
- Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien und
- die Etablierung nachhaltiger Mobilitätskonzepte und -formen.

Wasserstoff kann in allen Potenzialfeldern für eine Reduzierung von Treibhausgasemissionen sorgen und damit einen Beitrag zu den Klimazielen leisten.

¹⁶ Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2020] Gesetz zur Weiterentwicklung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg vom 14. Oktober 2020, abrufbar unter <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-baden-wuerttemberg/klimaschutzgesetz/verfahren-zur-weiterentwicklung-des-klimaschutzgesetzes/>

¹⁷ LANDKREIS REUTLINGEN, 2021] <https://www.kreis-reutlingen.de/klimaschutz>

Der Beitritt zum Klimaschutzpakt Baden-Württemberg mit einem konkreten Absenkpfad hin zu einer klimaneutralen Verwaltung bis spätestens 2040 und die Umstellung auf 100 % zertifizierten Ökostrom der kreiseigenen Gebäude und Kreiskliniken unterstreicht darüber hinaus das große Engagement des Landkreises im Bereich des Klimaschutzes.

Infobox Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Das EEG gilt zunächst zahlungsunabhängig für alle Anlagen, die zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien (EE) oder Grubengas genutzt werden. Entsprechend ergeben sich auch unabhängig von einer finanziellen Förderung alle Rechte und Pflichten aus dem EEG. Am 31.12.2020 endete erstmalig der bis zu 20-jährige EEG-Zahlungsanspruch für die ersten EE-Anlagen mit Inbetriebnahme vor dem 01.01.2001. Die EEG-Novelle (01.01.2021) sieht u.a. eine Auffangvergütung für ausgeförderte PV-Anlagen vor. Diese Auffangförderung wird differenziert nach Leistung (Schwelle bei 100 kWp). Die Auffangvergütung wird bei 2,5 bis 3,5 ct/kWh liegen (Orientierung am Jahresmarktwert, der vorab nur abgeschätzt werden kann). Da die Weiterbetriebskosten meist höher liegen, geht daraus kein wirtschaftliches Geschäftsmodell hervor, sondern kann nur eine Überleitung u.a. in Direktvermarktung, bspw. zur Wasserstoff-Produktion, sein.

Bei Biomasseanlagen ist eine andere Anschlussförderung für zehn Jahre möglich (§ 39g Abs. 3 EEG). Die Bestandsanlage muss vor dem 01.01.2017 in Betrieb genommen worden sein und der bestehende Förderanspruch darf noch maximal acht Jahre betragen. Der zulässige Höchstwert der Förderung beträgt 16,4 ct/kWh für Bestandsanlagen (14,44 ct/kWh für Neuanlagen) (Stand 2020). Die Höhe der Anschlussvergütung ist zusätzlich nach oben begrenzt durch die durchschnittliche Höhe des anzulegenden Wertes der letzten 3 Jahre der Bestandsanlage.

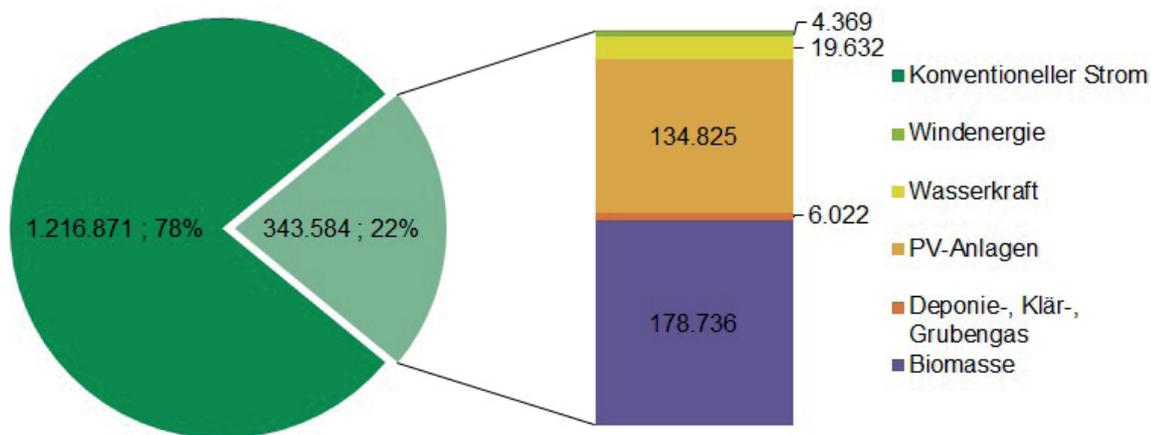


Abbildung 3: Anteil erneuerbarer Energien und deren Zusammensetzung am Stromverbrauch des Landkreises Reutlingen in 2017 (© Landkreis Reutlingen)

Der Anteil an erneuerbaren Energien am Stromverbrauch lag im Landkreis Reutlingen im Jahr 2017 bei 22 % (vgl. Abbildung 3). Im Vergleich zu den Vorjahren konnte die Stromerzeugung aus Biomasse um ca. 11 % gesteigert werden und aus Photovoltaik sogar um ca. 30 %. Die Stromerzeugung aus Windkraft ist dagegen stagnierend und die Stromerzeugung aus Wasserkraft war 2017 leicht rückläufig. Der Anteil erneuerbarer Energiequellen am

Stromverbrauch konnte seit 2015 nicht gesteigert werden.¹⁸ Die Verteilung der EE-Erzeugungsquellen ist wie folgt: Biomasse 54 %, Photovoltaik 39 %, Wasser 6 %, Wind 1 %.

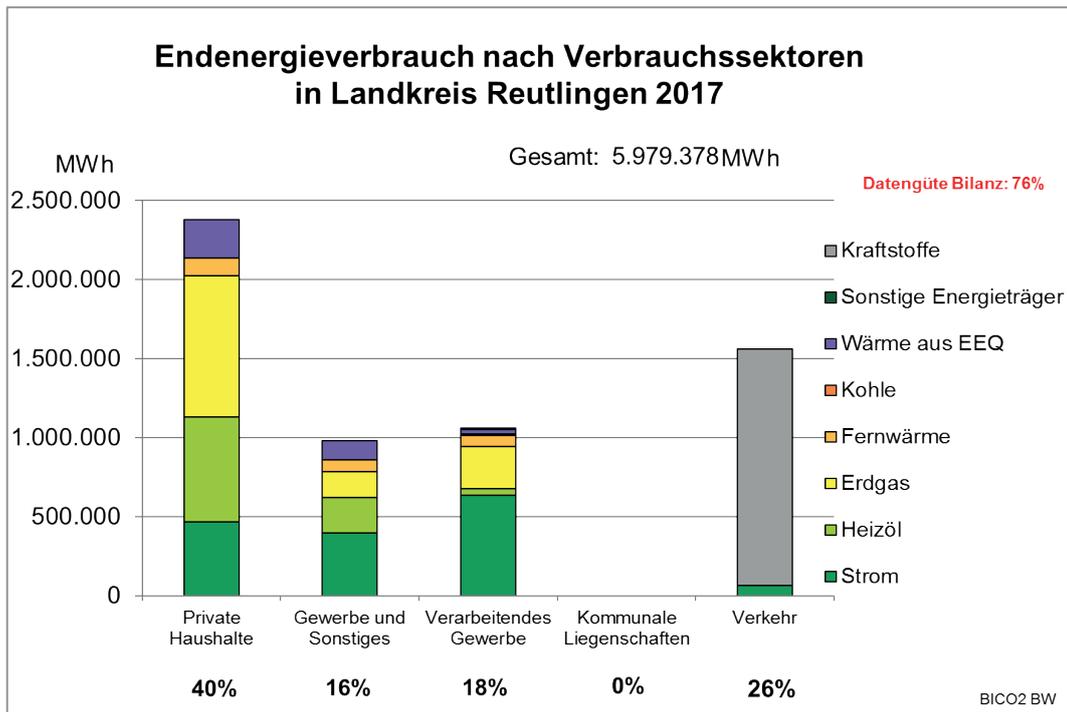


Abbildung 4: Endenergieverbrauch im Landkreis nach Sektoren in 2017 (© Landkreis Reutlingen)

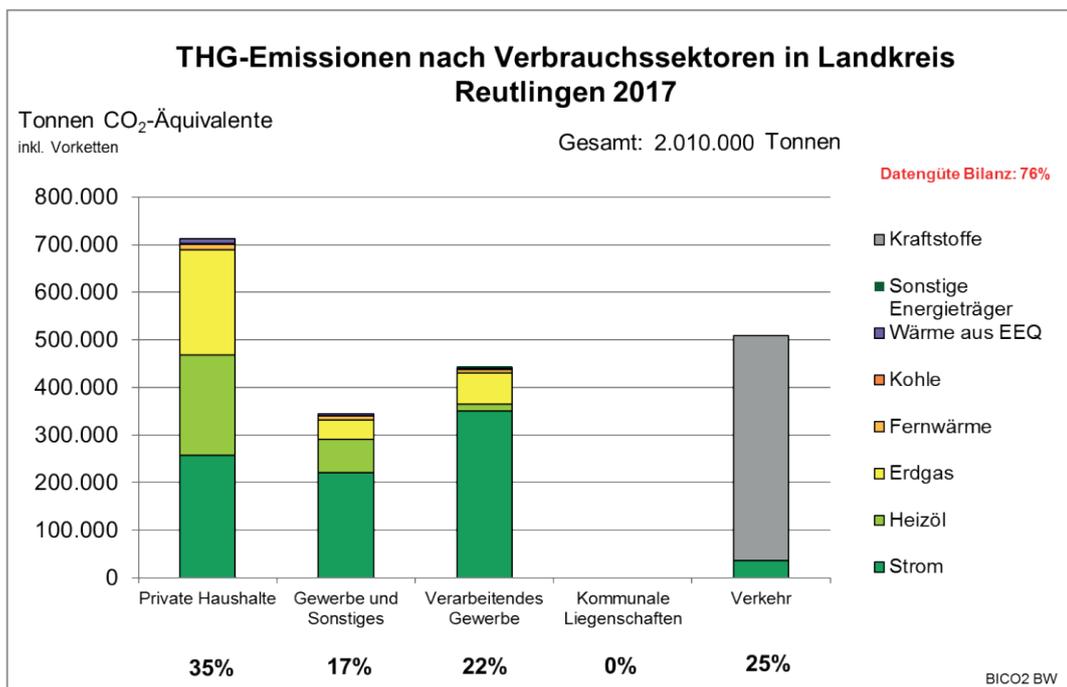


Abbildung 5: THG-Emissionen im Landkreis nach Sektoren in 2017 (© Landkreis Reutlingen)

¹⁸ [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021k] <https://www.kreis-reutlingen.de/klimaschutz/CO2-Bilanz>

Die Betrachtung des Endenergieverbrauchs sowie der Treibhausgasemissionen¹⁹ (vgl. Abbildung 4/5) nach Sektoren sind wichtige Instrumente für das Monitoring der Klimaschutzziele und Potenzialfelder der Region²⁰. Private Haushalte haben mit 40 % den größten Anteil am Endenergieverbrauch, wobei die Wärmebereitstellung (Erdgas / Heizöl) einen großen Anteil einnimmt.

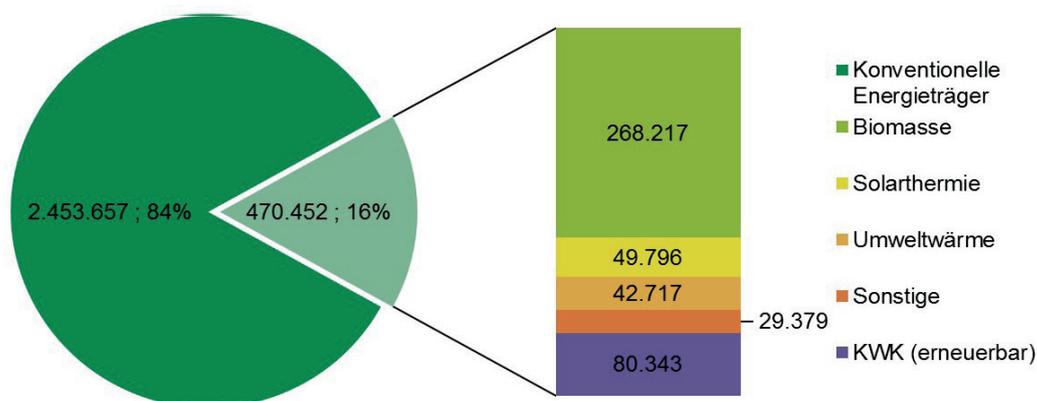


Abbildung 6: Anteil erneuerbarer Energien und deren Zusammensetzung am Wärmeverbrauch des Landkreises Reutlingen in 2017 (© Landkreis Reutlingen)

Der Anteil der Erneuerbaren beim Wärmeverbrauch liegt im Jahr 2017 bei 16 % (vgl. Abbildung 6). Der Landkreis hat noch große Potenziale im Bereich der Biomasse, Solarthermie und Umweltwärme, um die Wärmewende im Landkreis voranzutreiben. Hier soll neben dem direkten Stromeinsatz auch die Wasserstoffnutzung zur Wärmeversorgung von Haushalten geprüft werden.

In den Sektoren Gewerbe und Sonstiges sowie beim Verarbeitenden Gewerbe sind der Strombedarf und die daraus resultierenden THG-Emissionen am höchsten (vgl. Abbildung 4/5). Zum Erreichen der Klimaschutzziele sind die THG-Reduktionen von Industrie und Gewerbe Voraussetzung. Im Landkreis sind einige Unternehmen, u.a. im Automotive-Bereich, aber auch im produzierenden Gewerbe ansässig. Im Industriesektor kann grüner Wasserstoff in vielen Bereichen zur Dekarbonisierung über den stofflichen Einsatz oder als Brennstoffersatz für fossile Brennstoffe sowie als Kraftstoff für Logistik und bei Pendlerverkehren beitragen.

Im Verkehrssektor sind die fossilen Kraftstoffe ausschlaggebend für die THG-Emissionen. Mit 627 PKW pro 1.000 Einwohnerinnen und Einwohnern (Stand 2019)²¹ liegt der Landkreis Reutlingen deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 569 PKW pro 1.000 Einwohnerinnen

¹⁹ Unter den THG-Emissionen werden alle Emissionen, die eine Klimawirkung haben, zusammengefasst z.B. CO₂, Methan und Lachgas. THG-Emissionen werden in der Einheit CO₂-Äquivalente angegeben.

²⁰ Bei den vorliegenden Daten ist zu beachten, dass keine Emissionswerte der Landwirtschaft, des privaten Konsums (Ernährung, Kleidung) und Fernmobilität enthalten sind.

²¹ [Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2020] <https://www-genesis.destatis.de/gjs/genView?GenMLURL=https://www-genesis.destatis.de/regatlas/AI013-1.xml&CONTEXT=REGATLAS01>

und Einwohnern.²² Das Mobilitätsmanagement²³ des Landkreises versucht den vielen Pendlerinnen und Pendlern eine Alternativen zum eigenen PKW zu ermöglichen. 76 Normalladesäulen (bis 22 kW) und 15 Schnelladesäulen (ab 22 kW)²⁴ und die OMV Wasserstoffzapfsäule in Metzingen sollen die Antriebswende der PKWs in der Region unterstützen. Der ÖPNV ist im Verkehrsverbund Neckar-Alb (naldo) organisiert. Für die hier eingesetzten Busse können Brennstoffzellenantriebe aufgrund der Topografie ebenfalls geprüft werden.

Daraus abgeleitet sind die untersuchten Schwerpunkte für eine nachhaltige Entwicklung des Landkreises neben dem weiteren Ausbau und Speicherung erneuerbarer Energien, eine nachhaltige Energieversorgung (Strom und Wärme) von Privathaushalten und die CO₂-Reduktion in der Industrie sowie die klimaneutrale Gestaltung der Mobilität. Vor diesem Hintergrund werden die Produktion und der Einsatz von Wasserstoff in den HyStarter-Dialogen diskutiert. Der HyStarter-Region ist dabei wichtig, Effizienz bzw. Vermeidungsstrategien in allen Sektoren im Landkreis anzugehen. Dafür wird es ggf. notwendig sein, erneuerbare Energien oder grünen Wasserstoff auch aus Nachbarregionen zu importieren. Langfristig könnte eine Herstellung von grünem Wasserstoff aus Stromerzeugungsüberschüssen im Landkreis angestrebt werden sowie eine Anbindung an das „Hydrogen Backbone“, das europaweite Wasserstoffnetz.

²²[Kraftfahrbundesamt, 2020] (Stand 01.09.2020)

²³ LANDKREIS REUTLINGEN, 2021] <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Service-Verwaltung/Lebenslagen/Lebenslage?view=publish&item=situation&id=777>

²⁴ Ladensäulenregister der Bundesnetzagentur: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/start.html

3. POTENZIALE DES WASSERSTOFFEINSATZES

Grundsätzlich wird beim Einsatz von Wasserstoff zwischen stofflicher und energetischer Nutzung unterschieden: Bei der stofflichen Nutzung werden Stoffe mit Hilfe oder unter Hinzufügung von Wasserstoff weiterverarbeitet oder veredelt. Beim Einsatz als Energieträger gilt es, die im Wasserstoff enthaltene Energie für die Erzeugung von höherwertiger Energie (Strom), Kraft und/oder Wärme zu nutzen.

3.1 WASSERSTOFFNUTZUNG IN DEUTSCHLAND

Die Studie „Klimaneutrales Deutschland“ hat die stoffliche und energetische Wasserstoffnutzung in verschiedenen Anwendungsbereichen im Zeitverlauf 2025 bis 2050 analysiert.²⁵ Sie geht von einem nahezu linearen Anstieg der Wasserstoffnutzung bis zum Jahr 2050 auf 268 TWh aus. Um eine Treibhausgasmindering um 65 Prozent gegenüber 1990 zu erreichen, wird Wasserstoff bereits 2030 in allen betrachteten Anwendungsbereichen (vgl. Abbildung 7) eingesetzt.

Der größte Teil der Wasserstoffnutzung entfällt auf die **Stromerzeugung**. In Zeiten, in denen erneuerbare Energien die Stromnachfrage nicht decken, wird Wasserstoff in Gaskraftwerken als Brennstoff genutzt. Zum Teil erfolgt dies in Kraft-Wärme-Kopplung, sodass auch ein Teil der Fernwärme auf Wasserstoff basiert. Die Bedarfe steigen dabei analog zum kontinuierlichen EE-Ausbau und der sukzessiven Abschaltung von fossil befeuerten Kraftwerken an.

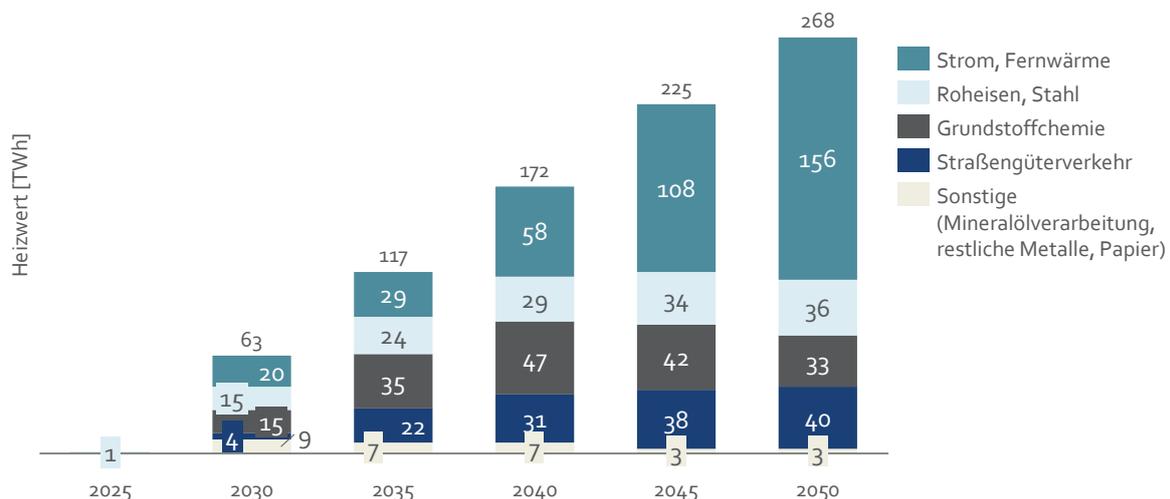


Abbildung 7: Entwicklung der Wasserstoffnutzung in verschiedenen Anwendungsbereichen (© BMVI/BBHC)

²⁵ [Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020]: Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB.pdf, letzter Abruf: 14.07.2021

Erster Skalensektor für den Wasserstoffverbrauch wird voraussichtlich die **Industrie**. Sie nutzt Wasserstoff zur Direktreduktion von Eisenerz, als Rohstoff in der Grundstoffchemie und zur Erzeugung von Prozessdampf. Aktuell existieren beispielsweise Pilotvorhaben im Bereich der Stahlerzeugung auf Basis von Wasserstoff.

Der Wasserstoffeinsatz im **Verkehr** erfolgt überwiegend im schweren Güterverkehr, dort wo der reine Batteriebetrieb nicht ausreichend ist. Rund ein Drittel der Fahrleistung im Straßengüterverkehr wird im Jahr 2050 laut der Studie Klimaneutrales Deutschland durch Brennstoffzellenfahrzeuge erbracht.

Wasserstoff wird derzeit bereits in verschiedenen Bereichen verwendet. Ziel sollte dabei zukünftig der Einsatz von Wasserstoff mit möglichst geringer CO₂-Intensität sein, sogenannter **grüner** Wasserstoff, der eine Elektrolyse unter Einsatz erneuerbarer Energien vorsieht. Die Nationale Wasserstoffstrategie (NWS) sieht für den Wasserstoff weitere Farben als Erkennung für den Erzeugungspfad und damit der CO₂-Intensität vor (vgl. Abbildung 8).²⁶ **Türkiser** und **blauer** Wasserstoff weisen eine geringe CO₂-Intensität auf, da die C-Atome eingelagert (blauer Wasserstoff) oder abgeschieden und wiedergenutzt werden (türkiser Wasserstoff). Die Nutzung ist jedoch umstritten, da sichergestellt werden muss, dass die abgeschiedenen Produkte (CO₂ bzw. C) dauerhaft nicht in die Atmosphäre gelangen.²⁷ Anlagen zur Produktion von türkischem Wasserstoff – die sogenannte Methanpyrolyse – sind zudem noch im Forschungsstadium. Die farblich nicht zugeordneten Pfade der Wasserstoffherstellung aus Algen oder Biomasse über die chemische oder thermische Konversion weisen je nach Ausgangsstoff ebenfalls eine geringe CO₂-Intensität auf. Die Wasserstoffherstellung aus Biogas über die Dampfreformierung (thermische Konversion) birgt das Potenzial, Wasserstoff CO₂-neutral herzustellen und erprobte Technologien zu nutzen.²⁸ Die biochemische Konversion von Algen hingegen befindet sich noch im Forschungsstadium und wird voraussichtlich nicht in den kommenden Jahren großflächig einsetzbar sein. Jährlich werden bereits heute ca. 55 TWh **grauer** Wasserstoff in der deutschen Industrie eingesetzt.²⁹ Grauer Wasserstoff wird in der Regel aus Erdgas via Dampfreformierung hergestellt. Mit einer CO₂-Intensität von ungefähr 9 kg CO₂ je Kilogramm Wasserstoff sollte er in der HyStarter-Region möglichst nicht eingesetzt werden.

Die Erzeugung von Wasserstoff mittels Wasserelektrolyse steht im Zentrum der NWS. Biobasierte Verfahren der Wasserstoffherzeugung werden hingegen in der Strategie nur am Rande erwähnt, sind für die Region aber ebenfalls von Interesse. Die Anerkennung als grüner Wasserstoff aus der Biogasdampfreformierung wird derzeit auf politischer Ebene diskutiert. Ebenso die Einordnung von Wasserstoff auf Basis von Strom aus Müllheizkraftwerken und Biomasse, der derzeit der Farbe **Orange** zugeordnet wird.

²⁶ Aktuell werden europaweit in verschiedenen Kontexten Definitionen für grünen und auch andersfarbigen Wasserstoff erarbeitet. Ziel dieser Initiativen muss es sein, sektor- und länderübergreifende einheitliche Definitionen für Wasserstoff zu schaffen.

²⁷ Bei der Verwendung von Erdgas ist ebenfalls zu beachten, dass bei Förderung und Transport teils Emissionen von CO₂ und CH₄ erfolgen. Die Nutzung trägt ebenso nicht dazu bei, dass Importabhängigkeiten verringert oder die regionale Wertschöpfung gesteigert werden.

²⁸ Derzeit gibt es in Deutschland keine Anlagen, die per Dampfreformierung Wasserstoff aus Biogas herstellen. Die Anlagentechnik entspricht zu großen Teilen aber der Dampfreformierung von Erdgas, sodass die technologische Reife hoch ist. Erste Pilotanlagen werden aktuell geplant.

²⁹ [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020]: Die Nationale Wasserstoffstrategie.

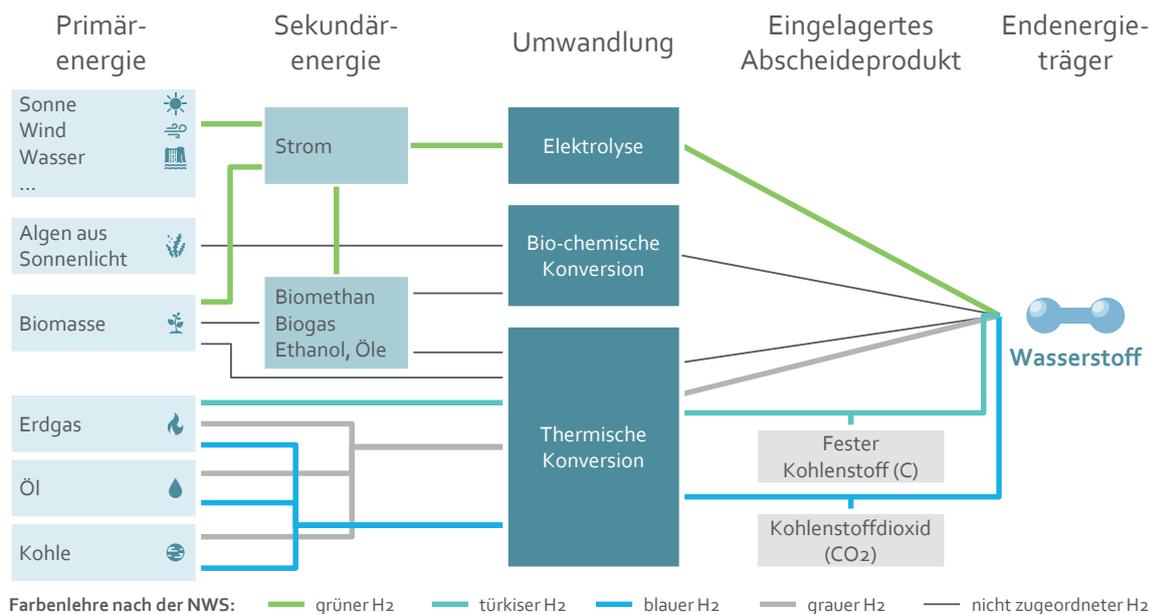


Abbildung 8: Pfade der Wasserstoffherzeugung³⁰ (© BMVI/BBHC)

3.2 POTENZIALE FÜR WASSERSTOFF IN BADEN-WÜRTTEMBERG UND IM LANDKREIS REUTLINGEN

Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft bietet für das Land Baden-Württemberg und den Landkreis Reutlingen verschiedene Potenziale der Wertschöpfung. Wertschöpfungsstufen wie die Erzeugung von grünem Wasserstoff können neu etabliert werden und bestehende Wertschöpfung wie im Bereich der Automobilzulieferindustrie substituiert werden. Darüber hinaus entstehen Chancen für zukünftige Wertschöpfung im Bereich der Aus- und Weiterbildung.

Baden-Württemberg bietet als prosperierender Wirtschaftsstandort mit mehr als 90 Unternehmen und 18 (außer)universitären Forschungseinrichtungen, die im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie tätig sind, gute Voraussetzungen, die gesamte Wertschöpfungskette der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie abzudecken. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Komponentenherstellung und Endanwendungen für den Mobilitäts- und Verkehrssektor, da im Land, aber auch in Reutlingen, eine Vielzahl an Automobilzulieferern und OEMs ihren Standort haben. Insbesondere nachdem der Anschluss in der batterieelektrischen Mobilität an asiatische Marktführer verloren wurde, wird das Ziel verfolgt, in der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie/-mobilität den (Leit-)Markt mitzugestalten und den Heimatmarkt zu stärken.³¹ Das bietet insbesondere dem im Land starken Automotive-Bereich eine Zukunftsperspektive im derzeitigen Transformationsprozess.

³⁰ Pfade in denen Wasserstoff als Beiprodukt (z. B. Chloralkali-Elektrolyse) anfällt, sind hier nicht berücksichtigt.

³¹ Weichenhain et al. (2020): Potentiale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg. https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf

Laut der Roland Berger Studie „Potentiale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg“ könnte für die Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg 2030 ein Umsatz von bis zu 9 Mrd. Euro angestrebt werden, wenn lokale Unternehmen es schaffen, sich zukünftig seiner derzeitigen Wirtschaftsleistung entsprechende Anteile in diesem Markt zu sichern. Damit würden eine Bruttowertschöpfung von bis zu 2,3 Mrd. Euro sowie ca. 16.500 Arbeitsplätze, vor allem im Mobilitätsbereich, einhergehen.³² Um international konkurrenzfähig zu sein und damit insbesondere der in Baden-Württemberg ansässigen Industrie eine Perspektive zu geben, investiert das Land in diverse Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wie u.a. die Förderung von regionalen Schaufensterprojekten wie die „Modellregion Grüner Wasserstoff Baden-Württemberg“. Große Abnahmepotenziale für Wasserstoff sind in der Industrie (stoffliche Nutzung) und im Verkehrssektor in der Region Reutlingen vorhanden. Hier könnte lokal produzierter grüner Wasserstoff Anwendung in Bussen und Zügen des ÖPNV, in Müllsammelfahrzeugen sowie in Fahrzeugen lokaler Unternehmensflotten finden. Inwiefern die Wasserstoffnutzung zur Wärmeversorgung eingesetzt werden wird, muss in tiefergehenden Untersuchungen fall-spezifisch analysiert werden.

Hy-FIVE

Die Modellregion „Hy-FIVE“ umfasst die Region Mittlere Alb-Donau mit den Landkreisen Reutlingen, Alb-Donau-Kreis und die Stadt Ulm sowie die angrenzenden Landkreise Ostalbkreis, mit der Stadt Schwäbisch Gmünd, Heidenheim und Tübingen. Das Projekt Hy-FIVE umfasst neben investiven Projektanteilen, wie beispielsweise Investitionen in die Infrastruktur der Modellregion, auch nicht-investive Projektteile. Zu letzteren gehören unter anderem Öffentlichkeitsarbeit und Maßnahmen zur gesellschaftlichen Sensibilisierung für das Thema grüner Wasserstoff.

Die vorliegende Skizze des Konsortiums setzt auf insgesamt vier Leuchtturmprojekte in den verschiedenen Landkreisen. Ganz bewusst wurde ein dezentraler Ansatz gewählt, durch den jeder der Partner seine jeweiligen Stärken einbringen kann:

- Produktion von grünem Wasserstoffs auf Basis von Wasserkraft und die Einbindung/Nutzung in bestehende Tank- und Verladeinfrastrukturen (Projekt der Stadtwerke Ulm/Neu-Ulm GmbH gemeinsam mit dem ZSW: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung BW in Ulm)
- Einsatz von grünem Wasserstoff für Lkw-Brennstoffzellenantriebe in der Logistik, in kommunalen Fahrzeugen und im ÖPNV - Flottentests und Betankungsinfrastruktur (Projekt der Technischen Hochschule Ulm (THU) gemeinsam mit IVECO Magirus AG und verschiedenen Speditionen)
- Aufbau eines Industrieparks in Schwäbisch Gmünd unter Einbindung einer 8,5 MW PEM-Wasserelektrolyse als Keimzelle einer lokalen Wasserstoffinfrastruktur mit zukünftig über-regionaler Pipelineanbindung. (Projekt der Stadt Schwäbisch Gmünd in Kooperation mit dem Ostalbkreis)
- Aufbau eines Systems zur lokalen und netzübergreifenden Erzeugung, Speicherung und zum Transport von Wasserstoff sowie eine möglichst effiziente Verwendung in Kommunen, Quartieren, Industrie und Haushalten. (Hochschulen Reutlingen, Rottenburg und Ulm in Kooperation mit den Stadtwerken Tübingen, FairNetz GmbH Reutlingen, FairEnergie GmbH Reutlingen, Stadtwerke Rottenburg, Stadtwerke Mössingen und anderen Unternehmen).

Darüber hinaus ist der Aufbau einer Geschäftsstelle für die Region zur Koordination des Gesamtprojekts, die Öffentlichkeitsarbeit sowie Beratungsleistungen vorgesehen.

³² Weichenhain et al. (2020): Potentiale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg → ebd.

4. VISION FÜR DEN LANDKREIS REUTLINGEN

Wasserstoff soll in der HyStarter-Region Landkreis Reutlingen positiv auf die nachhaltige Regionalentwicklung und die (laufenden) Aktivitäten im Bereich nachhaltige Mobilität und Klimaschutz einzahlen. Konkret soll Wasserstoff dazu beitragen, die Emissionen im Verkehr zu reduzieren, die Industrie zu dekarbonisieren sowie die Wärmewende einzuleiten. Es soll aber nicht nur die Nachfrage nach Wasserstoff angekurbelt werden, sondern diese mit der Produktion von Wasserstoff zusammengedacht werden. Wasserstoff wird ebenfalls mit der Chance verbunden, regionale Wertschöpfung zu generieren und soll als Innovationstreiber genutzt zu werden. Die entwickelte Vision für das Jahr 2030 wurde für die HyStarter-Region Landkreis Reutlingen visualisiert (vgl. Abbildung 9).



Abbildung 9: Zielbild der HyStarter-Region Landkreis Reutlingen (© BMVI/David Borgwardt)

Folgende Aspekte sind den Akteuren bei der Betrachtung von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien besonders wichtig:

Wir bauen auf unsere regionale Expertise und den Gegebenheiten auf: Das vorhandene Wissen der regionalen Expertinnen und Experten soll in der Region verstetigt werden. Die zu entwickelnden Handlungsansätze und deren Umsetzung sollen auf der bestehenden (Energie-)Infrastruktur aufbauen und diese weiter- bzw. umnutzen. Nicht nur die großen Industrieunternehmen, sondern auch der in der Region ansässige Mittelstand soll dabei mitgenommen werden. Es sollen Konzepte entwickelt werden, die auch für die KMUs interessant sind. Wasserstoff ist kein Selbstzweck, sondern soll Lösungsansätze für vorhandene Herausforderungen bieten. Der sinnhafte Einsatz von Wasserstoff soll in allen Sektoren analysiert werden.

Unsere Zukunft ist regenerativ: Die HyStarter-Akteure sind sich einig, dass der genutzte Wasserstoff langfristig grün sein muss, d.h. CO₂-neutral. Der Ausbau und die Speicherung von erneuerbaren Energien in der Region sind dafür Voraussetzung und sollen forciert werden. Neben einem weiteren Ausbau an PV-Anlagen, sollen die Windpotenziale der Region untersucht werden. Auch die Nutzung von Biomasse zur Wasserstoffproduktion soll mitgedacht werden, insbesondere um ausgeförderten Anlagen eine Weiterbetriebsoption aufzuzeigen und weiterhin für die Energiewende bereitzustehen. Stoff- und Energiekreisläufe sollen in der Region möglichst geschlossen werden. Daher ist der Akteurskreis offen für verschiedene Pfade der Wasserstoffherzeugung. Zunächst werden die Wege der Elektrolyse

und der Biogasdampfreformierung geprüft. Die Sektorenkopplung über den Einsatz von erneuerbaren Energien und Wasserstoff wird als Chance für die zunehmende Dekarbonisierung aller Sektoren gesehen.

Die Mobilitätskonzepte für unseren Landkreis sind innovativ und CO₂-neutral: Im Verkehrssektor geht es nicht nur um einen reinen Antriebswechsel, sondern auch um die Vermeidung und Verlagerung von Verkehr. Die Ausweitung und Attraktivierung des ÖPNV spielt dabei eine wesentliche Rolle und kann den Zugang zur neuen Technologie für die Breite der Gesellschaft ermöglichen. Dort, wo Batterien keine Alternative sind, soll der Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen geprüft werden. Hierzu zählen insbesondere die Busse des ÖPNV, der nicht-elektrifizierbare Schienenverkehr, Nutzfahrzeuge und die Logistik. Die dafür notwendigen Tankstellen sollen aufgebaut werden, um die Versorgung mit Wasserstoff und Strom flächendeckend im Landkreis sicherzustellen. Die Nutzung des privaten PKWs soll reduziert und überwiegend durch batterieelektrische Fahrzeuge gedeckt werden. Das Landratsamt möchte eine Vorbildfunktion hinsichtlich klimafreundlicher Mobilität einnehmen und möchte als Bestellerin des ÖPNV (Busse) und der Abfallentsorgung (Müllfahrzeuge) durch die Aufnahme entsprechender Kriterien bei der Vergabe neuer Verkehre bzw. Fahrzeuge, den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen fördern.

Wir möchten Wärmekonzepte für Privathaushalte mit Wasserstoff pilotieren: Die Wärmeversorgung mit Erdgas und Heizöl soll zukünftig durch klimaneutrale Alternativen abgelöst werden. Dafür wird u.a. der Einsatz von Wasserstoff im Neubau und Bestand von Ein- und Mehrfamilienhäusern geprüft und soll pilothaft umgesetzt werden, um entsprechende Erkenntnisse zu sammeln. Die Energie- und Wärmeversorgung von ganzen Quartieren, Bürogebäuden und Gewerbegebieten soll ebenfalls untersucht werden. Neben neuen Erkenntnissen im Realbetrieb soll ein Absatzmarkt für Brennstoffzellen regional ansässiger Unternehmen geschaffen werden.

Die schrittweise Dekarbonisierung der Industrie soll weitergeführt werden: Die in der Region beheimateten Unternehmen sind vielfach von fossilen Energien anhängig und setzen derzeit grauen Wasserstoff ein. Die damit verbundenen Emissionen sollen durch den Einsatz von möglichst regional erzeugtem grünen Wasserstoff als Ersatz für Erdgas oder grauen Wasserstoff gemindert werden, aber auch die Transformationsprozesse von Industrien unterstützen und neue Wertschöpfungsketten in der Energiebereitstellung ermöglichen.

Regionale Wertschöpfung und Qualifizierung von Arbeitskräften: In der Region ist eine Vielzahl mittelständischer Unternehmen der Automobilzuliefererindustrie ansässig, die sich zukunftsorientiert ausrichten möchten. Innovationspotenziale für Technologiestandorte müssen geschaffen und Arbeitgeber und Arbeitsplätze sowie die entsprechende Qualifizierung von Arbeitskräften mitgedacht werden. Die HyStarter-Akteure setzen sich dafür ein, das Thema Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien in ihre laufenden Klimaschutzaktivitäten und Handlungsstrategien zu integrieren. Die Hochschule und die IHK Reutlingen nehmen bei der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften eine aktive Rolle ein, fördern Innovationen und helfen zusammen mit dem Landratsamt bei der Vernetzung relevanter Akteure. Wertschöpfung kann im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie neu generiert werden oder bestehende Wertschöpfung substituieren. Beide Möglichkeiten sollen für die Region geprüft werden.

Wir möchten Sichtbarkeit schaffen und die Akzeptanz in der Bevölkerung erlangen:

Durch schnelle Sichtbarkeit und Berührungspunkte der Bevölkerung mit der Technologie bspw. über die Nutzung von Brennstoffzellenfahrzeugen im ÖPNV soll das Wissen und die Akzeptanz der Bevölkerung erhöht werden. Die Bevölkerung soll nicht nur informiert werden und Nutzerin der Wasserstofftechnologien sein, sondern auch aktiv eingebunden werden, bspw. über die Zusammenarbeit mit Bürgerenergiegenossenschaften. Generell ist es den HyStarter-Akteuren ein Anliegen, die Kosten und Risiken beim Aufbau der Wasserstoffwirtschaft möglichst fair zu verteilen.

Die Ziele der HyStarter-Region Landkreis Reutlingen unterstützen die *Handlungsstrategie Klimaschutz* des Landkreises Reutlingen und die Ziele der *Nationalen Wasserstoffstrategie*.

5. BAUSTEINE DES REGIONALEN HANDLUNGSKONZEPTS

Im Rahmen des HyStarter-Projekts wurde ein Technologiekonzept entwickelt, welches die wesentlichen Cluster einer regionalen Wasserstoffwirtschaft vereint. Dafür wurden lokale Erzeugungskapazitäten und Bedarfe identifiziert und geprüft, wie diese sich sinnvoll verknüpfen lassen und wo Synergien entstehen. Daraus sind verschiedene Projektideen zu Wasserstoff-Erzeugung und -Anwendung entstanden, die sich über eine weite Fläche des Landkreises verteilen (vgl. Abbildung 11). Das integrierte Handlungskonzept umfasst die verschiedenen Pfade der Wasserstoffherzeugung, die Verteilung und Speicherung sowie Anwendungen in der Mobilität, den Einsatz in der Industrie und in der Gebäudeenergieversorgung (vgl. Abbildung 10).

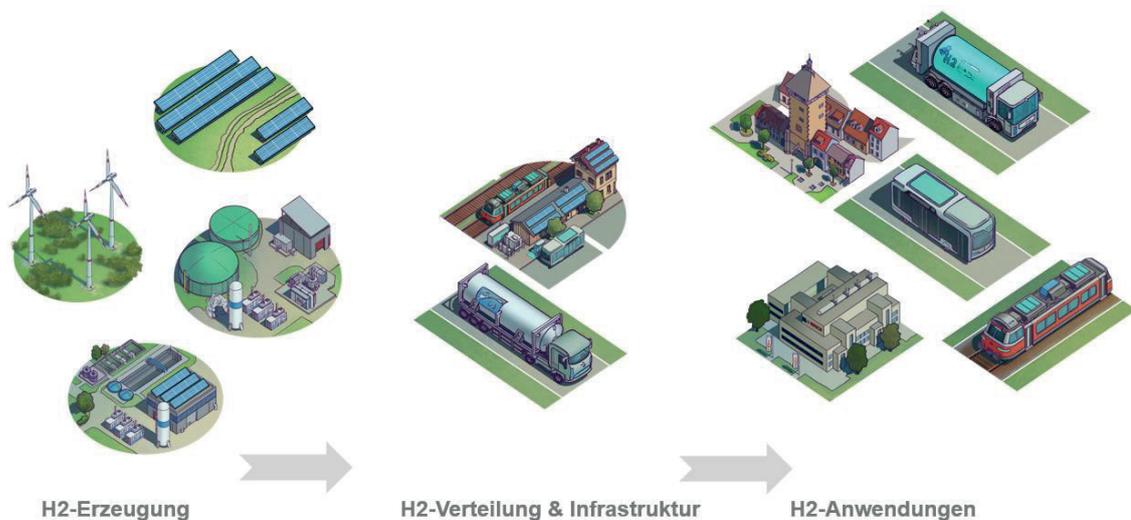
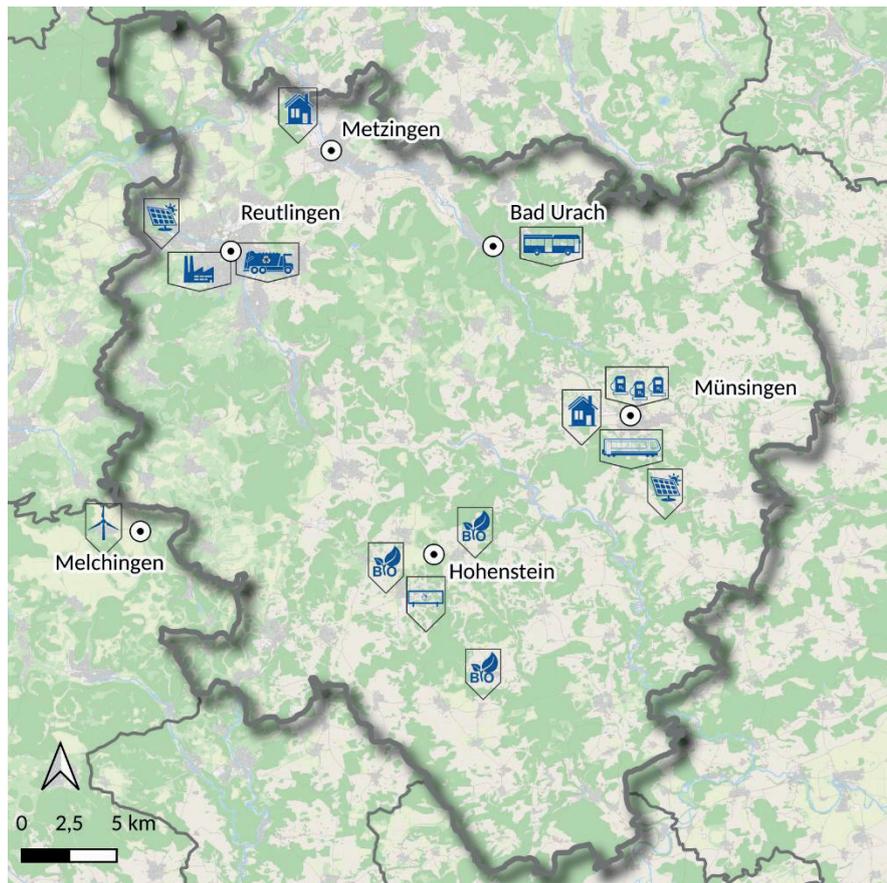


Abbildung 10: Regionale Handlungsziele (Quelle: Eigene Darstellung, Grafiken: © BMVI/David Borgwardt)

Im Folgenden wird auf die einzelnen Elemente bzw. Projektansätze des Handlungskonzeptes eingegangen und dabei die dahinterliegende Technologie beleuchtet. Neben der Einschätzung der technischen Marktreife und Machbarkeit, wird auf Fragen der Regulatorik und der Wirtschaftlichkeit eingegangen. Die Ergebnisse der Modellierung durch das Reiner Lemoine Institut werden abschließend diskutiert.



Erzeugung

-  Biogas
-  Windkraft
-  PV Dachfläche
-  PV Freifläche
-  Biomasseheizkraftwerk

Anwendung

-  Wasserstoffbus
-  Wasserstoffzug
-  Wasserstoff-Tankstelle
-  Industrie
-  BZ Müllfahrzeug

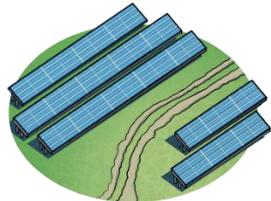
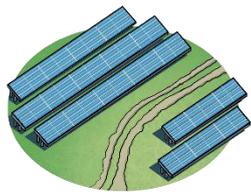
Abbildung 11: Verortung der Projektansätze in der Region (Quelle: Nuts One GmbH. Datengrundlage: Eigene Erhebung, Kartengrundlage: © OpenStreetMap contributors)

5.1 WASSERSTOFFERZEUGUNG, VERTEILUNG UND SPEICHERUNG

In den HyStarter-Dialogen wurden vornehmlich die Erzeugungspfade der Elektrolyse und der Dampfreformierung diskutiert. Unter den Akteuren besteht Einigkeit darüber, dass im Sinne der Nachhaltigkeit der regional erzeugte und verwendete Wasserstoff den Kriterien des grünen Wasserstoffs entsprechen soll. Eine Ausnahme könnte der Pfad der Wasserstoff-Erzeugung auf Basis von Strom aus Biomasse darstellen, der voraussichtlich mit der Farbe Orange beschrieben wird. Es ist noch nicht abschließend geklärt, welcher Farbe der Wasserstoff, der über die Biogasdampfreformierung oder aus Biomasseheizkraftwerken gewonnen wird, zugerechnet werden kann. Nach europäischer Definition ist Wasserstoff, der mit erneuerbaren Energien erzeugt wird und dessen Kohlenstoffemissionen 60 % unter dem Schwellenwert von grauem Wasserstoff liegen, grün. Dazu kann Wasserstoff, der aus

Biogas, Biomasse, Klär- und Deponiegas gewonnen wird, zählen.³³ Durch den Ansatz der lokalen Erzeugung von grünem Wasserstoff soll nicht nur die Wertschöpfung vor Ort gefördert und möglichst viele Akteure aus der Region einbezogen werden, sondern auch eine gewisse Unabhängigkeit von Importen erzielt werden.

5.1.1 WASSERELEKTROLYSE

WAS WIR VORHABEN	
<p>ELEKTROLYSE MIT SOLARSTROM (VON SOLARCOMPLEX AG)</p> <p>Projektidee: In der Nähe von Münsingen soll eine PV Freiflächenanlage von der Firma solarcomplex AG entstehen. Dieser PV-Strom kann zur Erzeugung von Wasserstoff per Elektrolyse bereitgestellt werden. Der erzeugte Wasserstoff könnte an den Bahnhof Münsingen geliefert werden, um die geplanten BZ-Fahrzeuge im ÖPNV und SPNV ausreichend mit regional erzeugtem grünem Wasserstoff zu versorgen.</p> <p>Initiatoren: Errichtung und Betrieb der PV Anlage durch die solarcomplex AG, Projektpartner für den Betrieb des Elektrolyseurs müssen gefunden werden.</p> <p>Mögliche Partner: H2-Abnehmer in Münsingen (Bottenschein, SAB)</p> <p>Erzeugungs-Standort: Nähe Münsingen</p> <p>Herausforderungen: Flächenverfügbarkeit für PV-Anlagen, ausreichend Volllaststunden mit PV erzielen, um eine hohe Auslastung des Elektrolyseurs anzustreben, damit der Betrieb wirtschaftlich interessant wird.</p> <p>Stand: Ideenstadium</p>	
<p>ELEKTROLYSE MIT SOLARSTROM (von Ruoff Energietechnik)</p> <p>Projektidee: Ruoff verfügt über eine 500 kWp PV Anlage auf dem Betriebsgelände, die (perspektivisch, da noch laufende Einspeiseverträge bestehen) zur Erzeugung von grünem Wasserstoff genutzt werden können. Ruoff wäre auch bereit weitere Anlagen zu entwickeln, wenn die Verwaltung Flächen frei gibt oder Unternehmen ihre Dächer bereitstellen.</p> <p>Initiator: RUOFF Energietechnik GmbH</p> <p>Mögliche Partner: Partner mit Flächen die zur Wasserstoff-Erzeugung zur Verfügung gestellt werden könnten. Diverse Wasserstoff Abnehmer (Bottenschein, SAB, Bosch, etc.), div. Hersteller, Universität Stuttgart, Universität Reutlingen, Stadtwerke Tü, NT</p> <p>Herausforderungen: Flächenverfügbarkeit für PV-Anlagen, ausreichend Volllaststunden mit PV erzielen, um eine hohe Auslastung des Elektrolyseurs anzustreben, damit der Betrieb wirtschaftlich interessant wird.</p> <p>Stand: Ideenstadium</p>	

³³ [CertifHy 2021] <https://www.certifhy.eu/>

ELEKTROLYSE MIT SOLARSTROM (VON SAB)

Projektidee: Am Bahnhof Münsingen sind PV-Anlagen sowie Ausbaumöglichkeiten (Dachflächen) vorhanden, die zur Erzeugung von Wasserstoff genutzt werden könnten. Der hier erzeugte Wasserstoff könnte direkt vor Ort für die Betankung von BZ-Zügen und BZ-Bussen genutzt werden, sodass keine Transportkosten anfallen würden.



Initiatoren: Schwäbische Alb-Bahn und Bottenschein Reisen KG

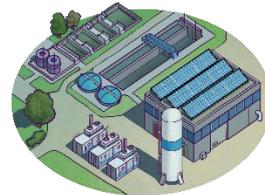
Erzeugungs-Standort: Münsingen

Herausforderungen: Flächenverfügbarkeit für PV-Anlagen, ausreichend Volllaststunden mit PV erzielen, um eine hohe Auslastung des Elektrolyseurs anzustreben, die Wasserstofferzeugung müsste zeitgleich mit dem Aufbau der Tankstelle und dem Einsatz der Busse und Züge geplant werden.

Stand: Ideenstadium

H₂O-ELEKTROLYSE AN DER KLÄRANLAGE BETZINGEN

Projektidee: Die Kläranlage der Stadtentwässerung Reutlingen verfügt über potenzielle Dach- und Freiflächen für die Installation von PV-Anlagen. Der PV-Strom könnte primär den Strombedarf der Kläranlage decken. Überschüssiger Strom könnte in einem Elektrolyseur für die Erzeugung von grünem Wasserstoff zum Einsatz kommen. Der anfallende Sauerstoff kann direkt in den Belebungsbecken der Anlage Verwendung finden und zur Methanisierung genutzt werden, wie es bereits seit Oktober 2020 im Projekt „Kläffizient“ an der Kläranlage Nürnberg umgesetzt wird. Dadurch werden Synergien durch die Abnahme von Sauerstoff und Abwärme genutzt. Primär sollte aber die Abnahme des Wasserstoffs sichergestellt sein.



Initiatoren: Stadtentwässerung Reutlingen (SER), Hochschule Reutlingen

Erzeugungs-Standort: Kläranlage Reutlingen-West

Herausforderung: Hohe PV Kapazitäten erforderlich für den Betrieb eines Elektrolyseurs. Transport des Wasserstoffs zum BHKW, wenn keine direkte Anbindung besteht. Einbringung des Sauerstoffs in die Belebungsbecken, Speicherung von Wasser- und Sauerstoff; letzteres, um die Belebungsbecken kontinuierlich versorgen zu können, Möglichkeiten zur Abwärmenutzung, CO₂-Abtrennung aus den Klärgasen und Methanisierung von Wasserstoff zu Methan (CH₄).

Stand: Projektidee, die auch im Reallabor Klimaneutrale Stadtverwaltung Reutlingen (Ziel bis 2040 Stadtverwaltung klimaneutral zu bekommen) betrachtet wird.

ELEKTROLYSE MIT WINDSTROM (VON SOWITEC)

Projektidee: Windkraft sollte aufgrund der höheren Effizienz gegenüber PV-Strom weiter als Quelle für grünen Wasserstoff betrachtet werden. Denkbare Abnehmer für das lokal erzeugte Gas sind neben der Industrie auch Mobilitätsanbieter. Nachnutzungsmodelle für Windenergieanlagen (WEA) nach Wegfall der EEG-Förderung sollen dabei geprüft werden.



Initiatoren: Das Unternehmen SOWITEC ist Betreiber der WEA. Projektpartner für den Betrieb des Elektrolyseurs müssen gefunden werden.

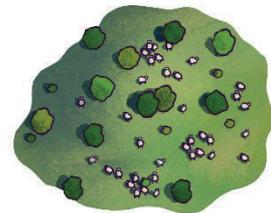
Erzeugungs-Standort: Windpark Himmelberg

Herausforderung: Die Lebensdauer von ausgeförderten WEA korreliert nicht mit der Lebensdauer des Elektrolyseurs. Folglich muss dieser nach entsprechender Zeit eventuell an einem anderen Standort eingesetzt werden, sofern dort keine neuen WEA installiert werden können. Dies ist mit erheblichen Kosten verbunden. Darüber hinaus sind Genehmigungs-, Anschaffungs- und Betriebskosten für den Elektrolyseur zu kalkulieren.

Stand: Ideenstadium

ELEKTROLYSE MIT STROM AUS HOLZVERBRENNUNG

Projektidee: SchwörerHaus nutzt derzeit intern und extern anfallende Industrie- und Gebrauchthölzer, um über die Verbrennung erneuerbaren Strom und Wärme zu erzeugen. Mit überschüssigem Strom aus dem Biomasseheizkraftwerk kann zukünftig per Elektrolyse nachhaltig Wasserstoff erzeugt werden. Geplant ist unter anderem neben der internen Verwendung des Wasserstoffs, diesen auch an einer öffentlichen Tankstelle (bspw. an der B312) für Mobilitätsanwendungen anzubieten.



Initiatoren: SchwörerHaus

Erzeugungs-Standort: Hohenstein-Oberstetten

Herausforderung: Der so erzeugte Wasserstoff würde nach derzeitigem Stand in Deutschland als orange klassifiziert werden, die Anerkennung als grüner Wasserstoff ist noch nicht geklärt. Der am Standort erzeugte Strom ist teurer als Strom aus PV- oder Windanlagen. Für die Stromüberschüsse könnte dennoch ein interessantes Szenario erarbeitet werden. Dazu sind Machbarkeitsstudien notwendig.

Stand: Ideenstadium

Für den Pfad der Elektrolyse wurden im HyStarter-Prozess verschiedene regenerative Stromquellen wie die Photovoltaik (PV), Windkraft, Wasserkraft und Strom aus der Holzverbrennung diskutiert, die alle in der Region vorhanden sind.

Technologie & Marktreife

In der Wasserelektrolyse wird Wasser (H_2O) unter Einsatz von elektrischem Strom in die Bestandteile Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) im Verhältnis 1:8 zerlegt (vgl. Abbildung 12 und Abbildung 13). Theoretisch wird für die Produktion von einem Kilogramm Wasserstoff 33,3 kWh elektrischer Strom benötigt.

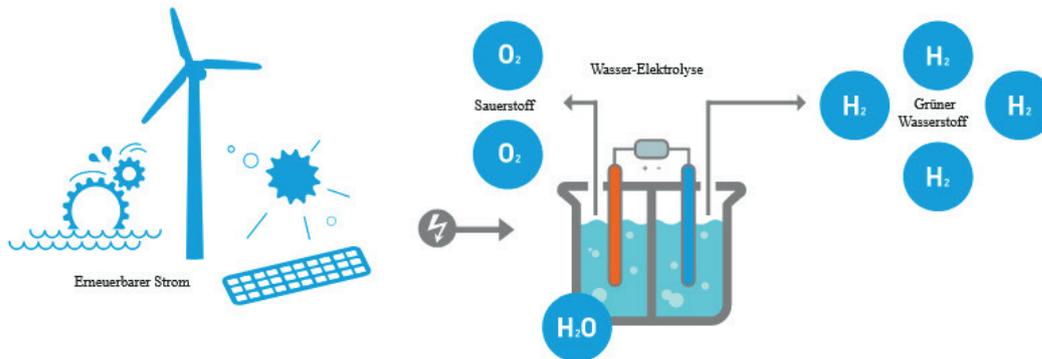


Abbildung 12: Erzeugungsweg Elektrolyse-Wasserstoff (© Stadtwerke Esslingen)

Dies entspricht gleichzeitig der Energiemenge, die bei der Rückreaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser frei wird. In der Praxis weist der Prozess der Wasserelektrolyse je nach eingesetzter Technologie unterschiedliche Wirkungsgrade auf.³⁴ Bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 66 Prozent werden für die Bereitstellung von einem Kilogramm Wasserstoff statt 33,3 kWh ca. 50 kWh elektrischer Strom benötigt. Die Differenz zwischen theoretischem und realem Strombedarf von ca. 17 kWh/kg H_2 geht dabei in Wärme über. Je nach benötigtem Temperaturbedarf kann ein Teil dieser entstehenden Wärme bspw. in Wärmenetzen für die Gebäudebeheizung genutzt werden (vgl. Abbildung 13).

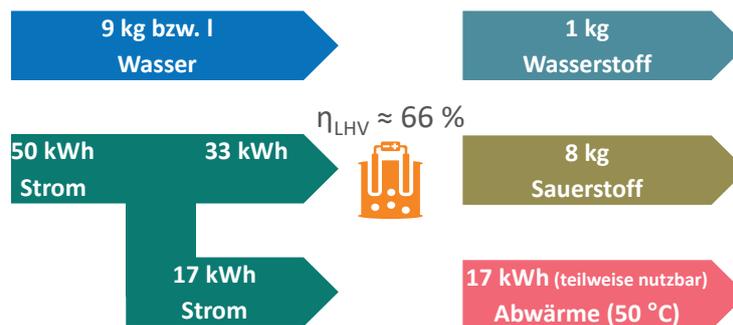


Abbildung 13: Energie-/Stoffströme in der Elektrolyse (© BMVI/BBHC)

Die Leistung von Elektrolyseuren wird meistens in MW_{el} oder in $\text{Nm}^3 \text{H}_2/\text{h}$ angegeben. Während sich die Angabe in MW_{el} auf die Eingangsstromleistung bezieht, beschreibt die Angabe in $\text{Nm}^3 \text{H}_2/\text{h}$ als Ausgangsleistung des Prozesses die produzierte Menge Wasserstoff pro

³⁴ Die gängigsten Verfahren der Wasserelektrolyse sind die alkalische Elektrolyse (AEL), die Proton Exchange Membrane-Elektrolyse (PEMEL) und die Solid oxide-Elektrolyse (SOEL). Während die PEM-Elektrolyse tendenziell einen etwas geringeren Wirkungsgrad als die alkalische Elektrolyse aufweist, werden in der SO-Elektrolyse, je nach Bilanzierung der zugeführten Wärme, aktuell bereits Wirkungsgrade von 80 % und mehr erreicht.

Stunde. Ein Elektrolyseur mit einer elektrischen Eingangsstromnennleistung von 1 MW_{el} , entspricht ca. einer Ausgangsleistung von $220 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2/\text{h}$ und kann unter Vollast ca. 500 kg Wasserstoff pro Tag produzieren.

Bei der Vermarktung der Elektrolyseprodukte wird der Haupterlös aktuell mit dem Verkauf von Wasserstoff erzielt. Dies liegt an der derzeit deutlich höheren Zahlungsbereitschaft im Markt für Wasserstoff gegenüber Sauerstoff oder Wärme (vgl. Abbildung 14).

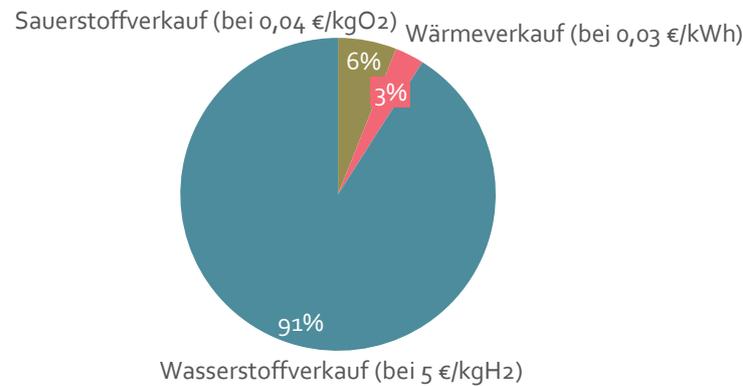


Abbildung 14: Erlöse der Elektrolyseprodukte³⁵ (© BBHC)

Ein weiteres Standbein der Wasserstofferzeugung in der Region könnte die Wasserstoffelektrolyse mit **Strom aus der Holzverbrennung** sein (sog. oranger Wasserstoff).

Geeignet für die Wasserstoff-Produktion aus erneuerbaren Energiequellen sind insbesondere Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM) sowie alkalische Elektrolyseure, u.a. aufgrund ihrer Skalier- und Modulierbarkeit. Da der Elektrolyseur als Containerlösung installiert wird, kann er auch nachträglich an einen anderen Standort verlegt und darüber hinaus an einzelne oder mehrere Erzeugungsanlagen gekoppelt werden. Auch die gleichzeitige Kopplung eines Elektrolyseurs an PV- und Windanlagen ist umsetzbar. Bei der Standortwahl müssen weitere regulatorische Rahmenbedingungen wie EEG-Umlage, Netzentgelte etc. beachtet werden. Für die Speicherung des Wasserstoffs ist ein Verdichter notwendig. Alle benötigten Komponenten für die Wasserstofferzeugung, mit Ausnahme des Verdichters, werden im Container installiert. Je nach Elektrolyseurgröße wird eine Aufstellfläche für zwei Standard-20ft-Container (jeweils 8 Fuß Breite, 20 Fuß Länge) benötigt. Zusätzlich bedarf es einer Wasserversorgung mit mindestens Leitungswasserqualität, die oftmals nicht in Windparks oder PV-Freiflächenanlagen vorhanden ist. Ist die vorhandene Wasserqualität unzureichend bedarf es einer separaten Wasseraufbereitungsanlage, die zusätzlich zum Container errichtet werden muss.

Im zweiten Schritt wird der Wasserstoff in Druckflaschen oder Röhrenspeichern gespeichert. Hier bedarf es je nach Elektrolyseur-Ausgangsdruck zusätzlich eines Verdichters (z.B. Kolbenkompressor). Ebenfalls ist die Distribution des produzierten Wasserstoffs zum Ort des Verbrauchs durch Trailer-Abfüllungen oder per Einspeisung in ein ggf. zu errichtendes Pipelinenetz möglich.

³⁵ Die Verkaufspreise der Produkte basieren auf Erfahrungswerten. Je nach Bezugsmenge und Qualität können die erzielbaren Verkaufspreise abweichen. Entsprechend dient die Grafik eher der Einordnung der Größenordnungen.

Hersteller & Erfahrungen

Elektrolyseure sind in einem großen Leistungsspektrum (0,1 – 10 MW) bereits erhältlich und breitflächig im Einsatz. Sie sind von verschiedenen Herstellern erhältlich wie z. B. Areva, iGas, ITM Power, NEL, H-TEC SYSTEMS GmbH, Siemens u.v.m. Trailer, Pipelines und Speichersysteme, werden u.a. von Linde (Röhrenspeicher), VAKO (Hochtank), Mannesmann Line Pipes und Rehau (Pipelines), Wystrach (Trailer) u.v.m. angeboten. Preise der genannten Komponenten sind ebenfalls stark von den Leistungs- und Kapazitätskennzahlen abhängig.

Von der Planung bis zur Errichtung eines Elektrolyseurs ist mit einem Zeithorizont von mindestens einem Jahr zu kalkulieren. Verzögerungen aufgrund von regionalen Komplikationen, wie z. B. andauernde Genehmigungsprozesse, können auftreten. Der Standort des Elektrolyseurs ist hinsichtlich Umlagen und Abgaben zu analysieren. Bei Post-EEG-Anlagen sind der technische Zustand, Kosten-Aufwendungen, OPEX und CAPEX für ein wirtschaftliches Betreiben ausschlaggebend. Technisch ist die Kopplung mit noch zu errichtenden Anlagen, laufenden EEG-Anlagen und mit Post-EEG-Anlagen möglich. Bei Stilllegung einer Anlage ist auch ein Standortwechsel des Elektrolyseurs möglich. Neben der Strombereitstellung durch die PV-Module oder die WEA muss die Wasserversorgung mit deionisiertem Wasser sichergestellt werden.

Wirtschaftlichkeit & Herausforderungen: Stellschrauben bei den Kosten der Wasserstoffherzeugung

Um Wasserstoff mittels Wasserelektrolyse kostenoptimal zu erzeugen, müssen verschiedene Kostenkomponenten der Wasserstoffgestehungskosten berücksichtigt werden. Hierfür wird eine beispielhafte Konfiguration eines 1-MW-Elektrolyseurs mit einem Wirkungsgrad von 67 Prozent³⁶ an einer Onshore-Windkraftanlage von 2 MW betrachtet (vgl. Abbildung 15)³⁷. Die Strombezugskosten werden mit 5 ct/kWh angenommen. Zudem wird davon ausgegangen, dass weder die EEG-Umlage noch weitere Abgaben und Umlagen zu entrichten sind.

³⁶ Hierbei ist zu beachten, dass Verluste durch die Balance of Plant des Elektrolyseurs – zum Beispiel Steuerelektronik, Wasseraufbereitung, Gleichrichter – sowie Verluste für die Kompression und Trocknung nicht berücksichtigt sind. Durch die Strombedarfe der Balance of Plant erhöht sich der Strombedarf des Systems gegenüber dem reinen Stack um ca. 10 Prozent. Der zusätzliche Strombedarf für die Verdichtung ist abhängig vom Ausgangsdruckniveau der Elektrolyse und dem gewünschten Zieldruckniveau.

³⁷ Weitere Annahmen: spez. Investitionskosten des Elektrolyseurs: 1.250 €/kW, Genehmigungskosten: 700.000 €, Volllaststunden des Elektrolyseurs: 4.000 h/a, Betriebs- und Instandhaltungskosten (inkl. Wartung und Wiederbeschaffung der Stacks, exkl. Stromkosten): 2 %/a der Investitionskosten, Stromverbrauch für Aufbereitung und Kompression: 1,2 kWh/kg_{H2} (Ausgangsdruckniveau des Elektrolyseurs [ca. 30 bar] wird nicht gesteigert), Nutzungsdauer: 20 a, kalkulatorischer Zinssatz: 7 %/a.

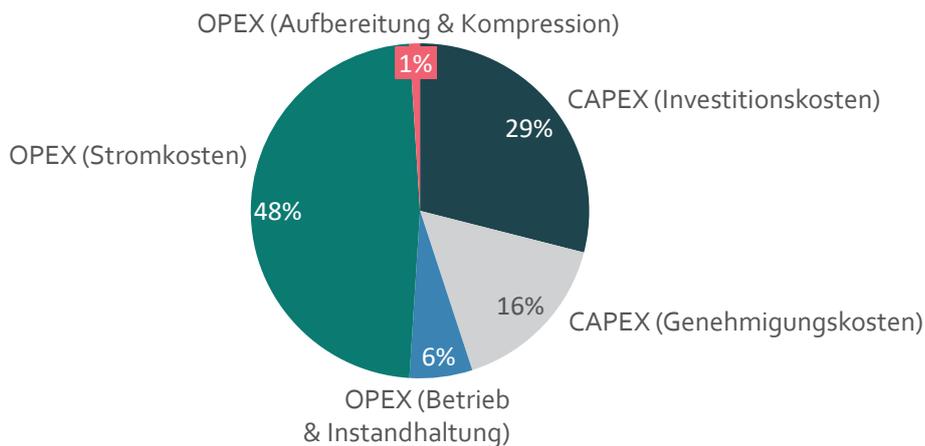


Abbildung 15: Anteilige Kostenparameter der Wasserelektrolyse (© BBHC)

Die Auswertung zeigt, dass unter den getroffenen Annahmen die Stromkosten der hauptsächliche Kostentreiber sind. Der zweitgrößte Anteil entfällt auf die Investitionskosten, gefolgt von den Genehmigungskosten. Die Aufwände für Betrieb und Instandhaltung sowie Aufbereitung und Kompression sind vergleichsweise gering.

Ein wesentlicher Hebel ist die **Auslastung des Elektrolyseurs**. 8.760 Volllaststunden bedeuten eine Auslastung von 100 Prozent. Wie Abbildung 16 zeigt, sinken die Wasserstoffgestehungskosten erheblich mit zunehmenden Volllaststunden des Elektrolyseurs.

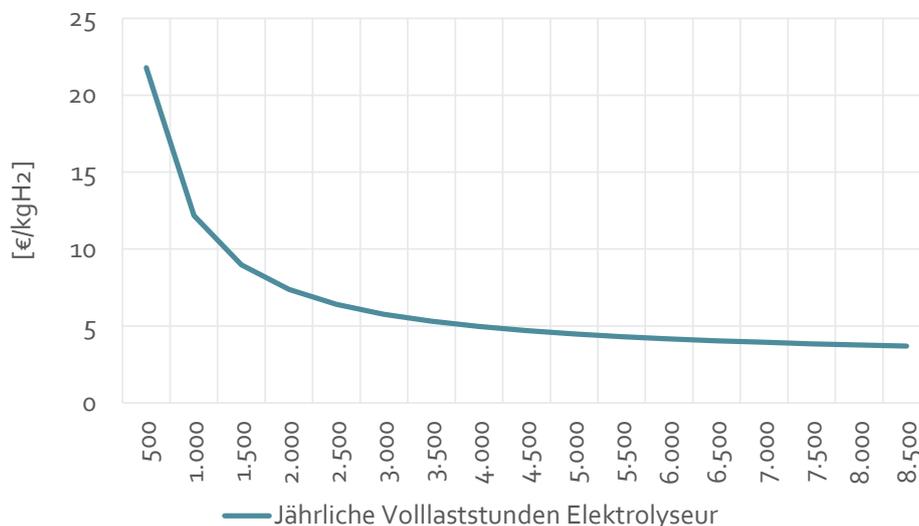


Abbildung 16: Sensitivität der Wasserstoffgestehungskosten in Abhängigkeit der Volllaststunden (© BBHC)

Ein weiterer Stellhebel zur Maximierung der Wirtschaftlichkeit ist die technische **Nutzungsdauer** des Elektrolyseurs. Grundsätzlich beträgt diese 20 Jahre. Wie in Abbildung 15 dargestellt, verursachen die initialen Genehmigungskosten ca. ein Viertel der Gesamtkosten. Die direkte Anbindung eines Elektrolyseurs an eine ausgeförderte Windkraftanlage ist nur bedingt zu empfehlen da im Mittel die Restnutzungsdauer nur drei Jahre beträgt. Daher sollte zumindest im Anschluss ein Weiterbetrieb des Elektrolyseurs mit Strombezug aus dem Stromnetz eingeplant werden. Die Ableitungen sind für ausgeförderte PV-Anlagen

ebenfalls gültig. PV-Anlagen weisen in der Regel jedoch längere Restlebenszeiten von zusätzlichen zehn Jahren auf.

Die Stromkosten sind eine weitere Stellschraube. Sie setzen sich aus den **Strombezugs-kosten** und den **Stromnebenkosten** zusammen. Erstere sind vor allem von der gewählten Stromquelle abhängig und meinen den Preis, den der Elektrolyseurbetreiber dem Stromanlagenbetreiber bezahlen muss. Als zu überbietende Referenz sind das im Regelfall die EEG-Vergütungssätze. Für ausgeführte Anlagen muss der gezahlte Strompreis einerseits die im EEG 2021 geregelte Anschlussförderung sowie andererseits die Weiterbetriebskosten plus eine gewisse Renditeanforderung übersteigen.³⁸ In der Abbildung 17 sind die im Durchschnitt zu zahlenden Strombezugs-kosten für Wind- und PV-Anlagen und Altersklassen aufgeführt.

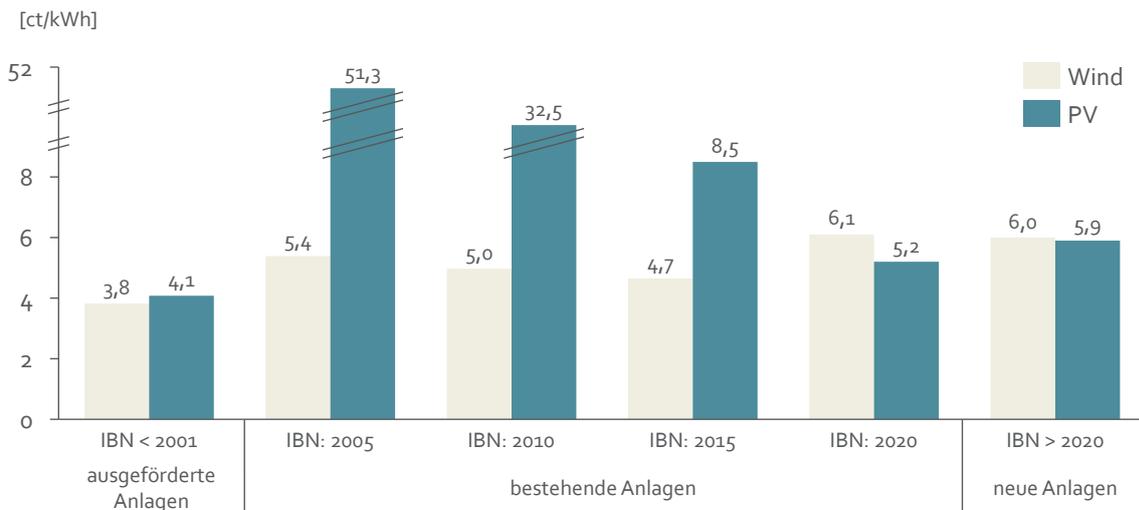


Abbildung 17: Strombezugs-kosten für Wind- und PV-Anlagen verschiedener Altersklassen³⁹ (© BMVI/BBHC)

Zweiter und ebenfalls beeinflussbarer Parameter der Stromkosten sind die **Stromneben-kosten**, die sich aus den Netzentgelten, der EEG-Umlage, der Stromsteuer sowie den **netz-entgeltgekoppelten** Abgaben und Umlagen zusammensetzen und auf den Strombezugspreis addiert werden. Elektrolyseure gelten als Letztverbraucher und müssen damit, sofern für den Strombezug auch das Netz der allgemeinen Versorgung genutzt wird, grundsätzlich alle Abgaben und Umlagen entrichten. Eine Ausnahme sind die **Netzentgelte**, von denen Elektrolyseure für 20 Jahre ab Inbetriebnahme befreit sind.⁴⁰ Folglich muss ein Elektrolyseur die in Abbildung 18 aufgeführten Abgaben und Umlagen zunächst entrichten. Im Vergleich zu den in Abbildung 15 ausgewiesenen Strombezugs-kosten zeigt sich, dass die Stromnebenkosten von maximal knapp 10 ct/kWh (exkl. EE-Strombezugs-kosten) einen großen Einfluss auf die Wasserstoffgestehungskosten von ca. 5 €/kg H₂ haben. Bei der Projekt-konzeptionierung in der Region Reutlingen müssen Wege gefunden werden, um diese zu verringern.

³⁸ Strompreis ≥ Alternativerlöse im EEG (= energieträgerspezifischer Monatsmarktwert - Vermarktungskosten) + Rendite und Strompreis ≥ Weiterbetriebsinvestition + Betriebskosten + Rendite.

³⁹ Angaben sind beispielhaft für eine 1-MW-PV-Freiflächenanlage und eine 1-MW-Windkraftanlage. Die Werte stellen Durchschnittswerte dar, die in Einzelfällen abweichen können.

⁴⁰ § 118 Abs. 6 S. 1 und 7 EnWG; nach der Rechtsprechung des BGH umfasst die Befreiung nach § 118 Abs. 6 EnWG nicht die netzentgeltgekoppelten Abgaben und Umlagen.

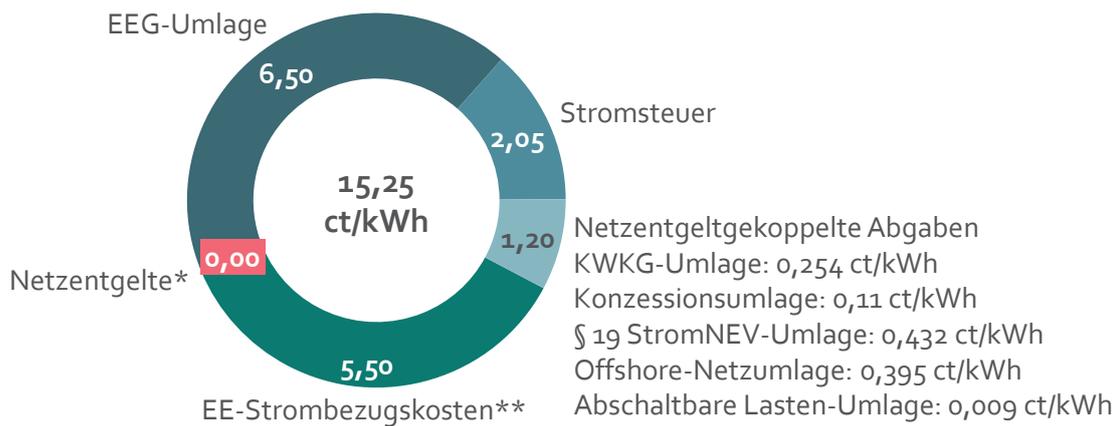


Abbildung 18: Mögliche Strompreisbestandteile für Elektrolyseure (2021)⁴¹ (© BBHC)

Die **EEG-Umlage** ist der meist diskutierte Preisbestandteil, da er den größten Anteil an den Stromnebenkosten ausmacht. Über das EEG 2017 gab es bereits Möglichkeiten, eine (Teil-)Befreiung zu erzielen. Im Zuge des EEG 2021 werden zwei weitere Möglichkeiten geschaffen (vgl. Abbildung 19).

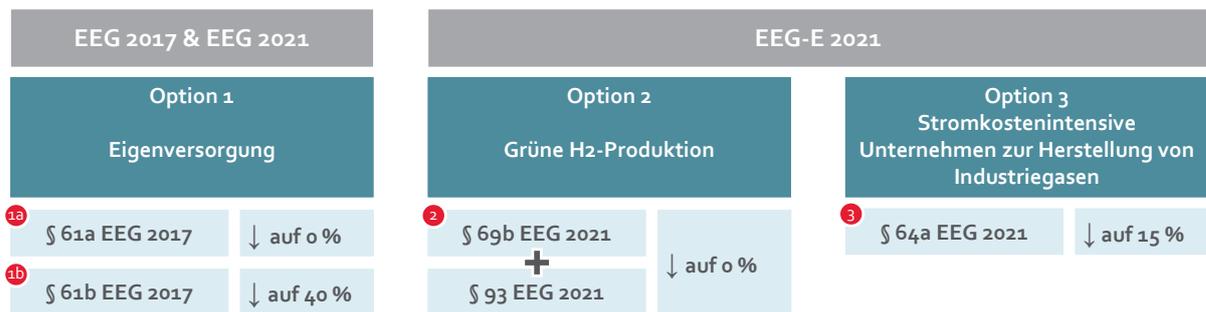


Abbildung 19: Wege der EEG-Umlagereduzierung⁴² (© BBHC)

Eine wesentliche Anforderung für die EEG-Umlagebefreiung/-reduktion nach den Optionen (1a) und (1b) ist die sogenannte Eigenversorgung.⁴³ Option (2) ermöglicht grundsätzlich eine EEG-Umlagebefreiung für grünen Wasserstoff von 100 Prozent. Diese Vorschrift greift unabhängig davon, ob die Voraussetzungen der Eigenversorgung gegeben sind.⁴⁴ Die Anforderungen an grünen Wasserstoff sind nach § 93 EEG 2021 über eine Verordnung definiert (vgl. Abbildung 19).

⁴¹ Angenommene Ausschreibungsergebnisse für große PV-/Windkraftanlagen 2021.

⁴² Die Abbildung zeigt die wesentlichen Möglichkeiten auf – jedoch nicht alle potenziellen Wege. Auch bietet § 64a unter gewissen Voraussetzungen die Möglichkeit der Reduzierung der EEG-Umlage auf 0,1 ct/kWh.

Je nach Einzelfall kann die EEG-Umlage zudem auf 0,5 % der Bruttowertschöpfung begrenzt werden (s. Text).

⁴³ Voraussetzungen für die Eigenversorgung: (i) räumlicher Zusammenhang zwischen der Elektrolyseanlage und der Stromerzeugungsanlage, (ii) Personenidentität zwischen dem Betreiber der Stromerzeugungsanlage und der Elektrolyse, (iii) keine Netzdurchleitung des Stroms (stattdessen Direktleitung zwischen Stromerzeugungsanlage und Elektrolyse) sowie (iv) die Zeitgleichheit.

⁴⁴ EEG 2021 § 69b Herstellung von Grünem Wasserstoff (https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/_69b.html)

Wichtig ist darauf hinzuweisen, dass die Anforderungen an EU-Vorgaben angepasst und aktualisiert werden, wenn die EU ihrerseits Anforderungen für grünen Wasserstoff (vor allem in Bezug auf Standort und Systemdienlichkeit) näher bestimmt hat. Bestehende Anlagen genießen jedoch Vertrauensschutz. Zusätzlich schafft das EEG 2021 die Option (3) der EEG-Umlagereduzierung auf 15 Prozent für stromkostenintensive Unternehmen nach § 64a EEG 2021. Je nach Einzelfall kann die EEG-Umlage zudem auf 0,5 Prozent der Bruttowertschöpfung begrenzt werden, die ein Unternehmen im arithmetischen Mittel der letzten abgeschlossenen Geschäftsjahre erzielt hat, sofern die Stromkostenintensität des Unternehmens mindestens 20 Prozent betragen hat (sog. Super-Cap). Wird die EEG-Umlage begrenzt, wird auch die KWK- und Offshore-Haftungsumlage begrenzt. Insgesamt lässt sich festhalten, dass es eine gewisse Palette an Wegen zur EEG-Umlagebefreiung/-reduktion gibt. Welcher Weg der sinnvollste ist, muss projektspezifisch geklärt werden.

Um eine Befreiung des in der Elektrolyse genutzten Stroms von der **Stromsteuer** zu erreichen, gibt es verschiedene Wege, die in Tabelle 1 dargestellt sind.

Tabelle 1: Wege und Anforderungen zur Stromsteuerbefreiung für Elektrolyseure⁴⁵

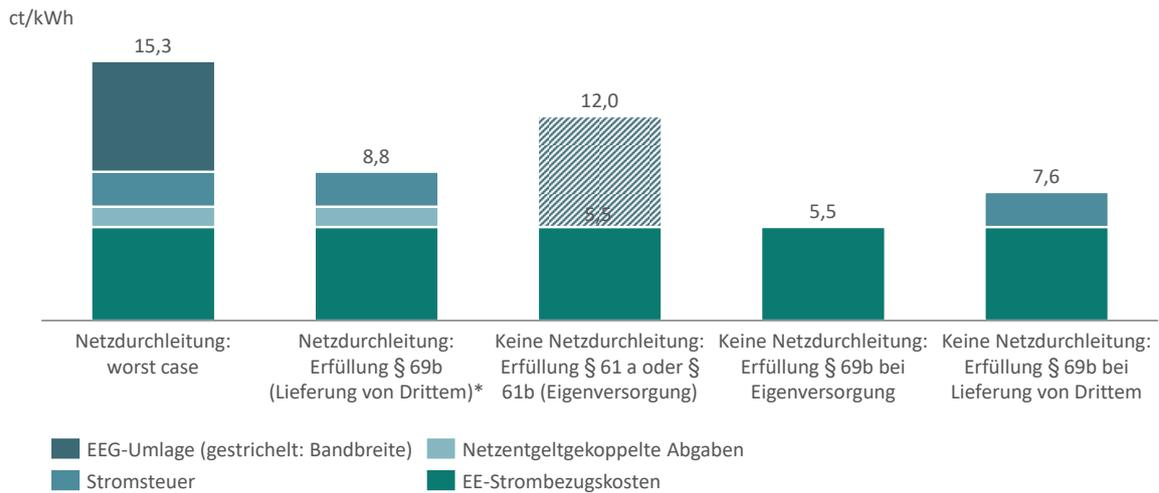
Hintergrund im StromStG	Größe Stromerzeuger	EE-Strom	Eigenversorgung	Anbindung & Verortung	Weiteres
§9a Abs. 1 Nr. 1	egal	-	-	egal	Unternehmen des produzierenden Gewerbes ⁴⁶
§9 Abs. 1 Nr. 1	> 2 MW	x	x	Direktleitung ⁴⁷	-
§9 Abs. 1 Nr. 3a	≤ 2 MW	x	x	Direktleitung ⁴⁷	-
§9 Abs. 1 Nr. 3b	≤ 2 MW	x	-	Räumlicher Zusammenhang	-
§9 Abs. 1 Nr. 6	≤ 2 MW	-	-	Inselnetz	-

Die **netzentgeltgekoppelten** Abgaben können vermieden werden, indem der Strom, zum Beispiel mittels Direktleitung zwischen Stromerzeugungsanlage und Elektrolyseur, nicht durch das Netz der allgemeinen Versorgung geleitet wird. Abbildung 20 gibt einen Überblick über die Stromkosten für gängige Konstellationen, in welchen verschiedene Abgaben und Umlagen vermieden werden. Um die Kosten zu minimieren, muss eine projektspezifische Betrachtung erfolgen.

⁴⁵ Vereinfachte Darstellung. Die Abbildung zeigt die wesentlichen Möglichkeiten auf – jedoch nicht alle potenziellen Wege. Im spezifischen Fall bedarf es einer projektscharfen Prüfung, ob die Anforderungen zur Steuerbefreiung erfüllt werden.

⁴⁶ Die Einstufung als Unternehmen des Produzierenden Gewerbes muss unternehmensspezifisch geprüft werden.

⁴⁷ Als Teil der Eigenversorgung.



* Je nach Elektrolyseur-Betreiber kann die Stromsteuer auf 0 gesenkt werden.

Abbildung 20: Strombezugskosten für Elektrolyseure in verschiedenen Konstellationen⁴⁸ (© BBHC)

Im Regelfall ist weiterhin die Eigenversorgung ohne Netzdurchleitung der „Königsweg“. Um quantitativ bewerten zu können, zu welchen wirtschaftlichen Resultaten die aufgezeigten Stellschrauben in der Region Reutlingen führen, werden abschließend für die Jahre 2020 und 2030 die Wasserstoffgestehungskosten für zwei Best-Practice-Konstellationen berechnet (vgl. Abbildung 21). Hierbei werden die vier Parameter, worauf der Elektrolysebetreiber Einfluss hat, für beide Jahre wie folgt definiert⁴⁹:

- Volllaststunden: 4.000 h/a
- Nutzungsdauer: 20 a (2020)/23 a (2030)
- Strombezugskosten: Onshore-Windkraftanlage mit Strombezugskosten von 5 ct/kWh
- Stromnebenkosten: auf 0 gesenkt

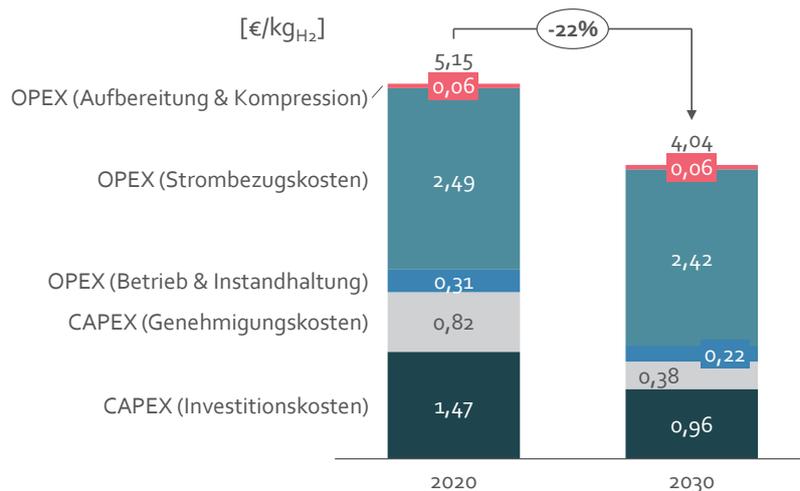


Abbildung 21: Wasserstoffgestehungskosten in der Elektrolyse in den Jahren 2020 und 2030 (© BMVI/BBHC)

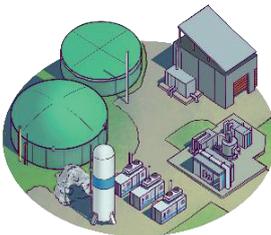
⁴⁸ Säule 1 gilt für den Fall, dass es sich nicht um ein Unternehmen des produzierenden Gewerbes handelt.

⁴⁹ Weitere Annahmen: 1-MW-Elektrolyseur, EL-Stack-Wirkungsgrad 2020: 67 Prozent und 2030: 69 Prozent, Genehmigungskosten 2020: 700.000 € und 2030: 350.000 €, spezifische Investitionskosten des EL-Systems 2020: 1.250 €/kW und 2030: 900 €/kW, Ausgangsdruckniveau: 30 bar.

Die Berechnungsergebnisse zeigen für die getroffenen Annahmen, dass 2020 in der Region Reutlingen durch die Berücksichtigung der Optimierungsparameter Gesteungskosten für grünen Wasserstoff von ca. 5 €/kg H₂ realisiert werden können. Durch günstigere Systemkosten, bessere Wirkungsgrade und niedrigere Genehmigungskosten sinken diese bis 2030 um gut 1 €/kg H₂ auf etwas mehr als 4 €/kg H₂.

Um den vorhandenen Überschussstrom bei der Holzverbrennung für die Wasserstofferzeugung zu nutzen, muss untersucht werden, inwiefern sich schwankende Strompreise und eine variable Stromerzeugung auf die Wirtschaftlichkeit auswirken. Es muss geklärt werden, ob dieser Erzeugungspfad in der Region Reutlingen zum einen mit den Stromkosten aus PV und Wind und zum anderen zur Wasserstofferzeugung aus der Biogasdampfreformierung konkurrenzfähig ist.

5.1.2 BIOGAS-DAMPFREFORMIERUNG

WAS WIR VORHABEN	
WASSERSTOFF ERZEUGUNG MIT BIOGAS-DAMPFREFORMIERUNG	
<p>Projektidee: Die Dampfreformierung ist ein altbekannter Prozess und häufig die Grundlage der Wasserstofferzeugung. Dieser Prozess, der normalerweise Erdgas nutzt, kann aber auch mit Biogas umgesetzt werden. Dadurch lassen sich lokale Ressourcen nutzen, Emissionen einsparen und Nachnutzungsmodelle für den Betrieb von Biogasanlagen finden. Mehrere Betreiber solcher Anlagen in der Region haben Interesse an der Umsetzung eines solchen Projektes, erste Gespräche mit Produzenten haben stattgefunden. Die Wasserstofferzeugung mit Biogas-Dampfreformierung wird an bis zu drei konkreten Standorten im Landkreis geprüft, um eine bedarfsabhängigen und konstante Wasserstofferzeugung für die Region zu garantieren.</p>	
<p>Initiatoren: Die Bioenergieunternehmen Bioenergie Aichelau GmbH & Co. KG, Hohensteiner Bioenergie GbR und HöRa Naturenergie GmbH & Co. KG sind an der Wasserstoffproduktion interessiert.</p>	
<p>Erzeugungs-Standorte: Aichelau/Pfronstetten/Hohenstein</p>	
<p>Herausforderung: Die Reformierung methanhaltiger Gase ist das weltweit häufigste Wasserstoff-Erzeugungsverfahren, jedoch ist bei der Biogasreformierung die Anerkennung als „grüner“ Wasserstoff noch ungeklärt. Die Distribution zum Endverbraucher muss ebenso geklärt werden wie die Wirtschaftlichkeit und die finanzielle Unterstützung beim Aufbau des Systems. Die Genehmigungen der Anlagen und der damit verbundene Aufwand sind eine weitere mögliche Hürde.</p>	
<p>Stand: Ideenstadium, hohes Interesse an der Erzeugung von Wasserstoff. Erste Gespräche mit Produzenten dieser Technologie wie BtX Energy.</p>	

Die Biogasanlagen im Landkreis bieten ein weiteres großes Potenzial für die Erzeugung von Wasserstoff und stellen möglicherweise ein lukratives Nachnutzungsmodell für ausgediente Anlagen dar. Konkret haben sich drei Betreiber von Biogasanlagen in der Region dem HyStarter-Kreis angeschlossen. Biogas wird üblicherweise im Blockheizkraftwerk (BHKW) verstromt. Wenn entsprechende Bedarfe vorhanden sind, kann aber auch die Erzeugung von Wasserstoff über die Biogasdampfreformierung ein interessantes Modell für Betreiber darstellen.

Technologie & Marktreife

Über die Dampfreformierung wird Wasserstoff durch eine Druckwechseladsorption von dem Gas abgetrennt (vgl. Abbildung 22). Das heißt konkret: Im Reformer werden die Eingangsgrößen (Bio)Methan (CH_4) und Wasser (H_2O) zerlegt und zu den Ausgangsgrößen Wasserstoff (H_2) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) reformiert bzw. neu zusammengesetzt.

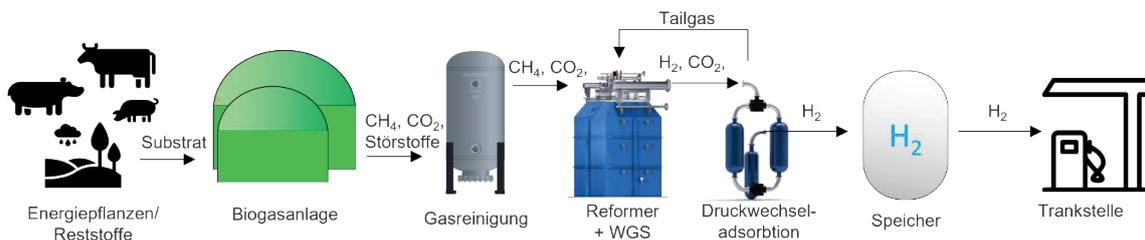


Abbildung 22: Biogasdampfreformierung zur Wasserstoffherzeugung (© BtX Energy)

Bei der Dampfreformierung von Biomethan wird die gleiche Menge Kohlenstoffdioxid (CO_2) produziert, die auch bei der Dampfreformierung von Erdgas entstünde. Der wesentliche Unterschied besteht jedoch darin, dass der Prozess der Dampfreformierung von Biomethan bilanziell CO_2 -neutral ist, d.h. netto kein CO_2 der Atmosphäre zugeführt wird. Grund hierfür ist, dass der im produzierten CO_2 gebundene Kohlenstoff (C) ursprünglich von der für die Biogasherstellung genutzten Biomasse vollständig der Atmosphäre entzogen wurde. Somit wird nur die Menge CO_2 in die Atmosphäre emittiert, die der Atmosphäre zu Beginn des Prozesses entzogen wurde.

Die Dampfreformierung stellt eine endotherme Reaktion dar, eine Zugabe von Wärmeenergie⁵⁰ für den Prozessablauf ist erforderlich. Diese Wärme kann bspw. durch anfallende Prozessabwärme aus anderen Industrieprozessen bereitgestellt werden oder sie wird durch die zusätzliche Verbrennung eines Teils des Eingangsstoffes, sprich des (Bio-)Methans bereitgestellt. Durch den zusätzlichen Bedarf des Eingangsstoffes, sowie zusätzliche Abwärmeverluste im Prozess, ergibt sich auch der verringerte Wirkungsgrad des Prozesses von ca. 60 Prozent. Alles in allem werden damit für die Produktion von einem Kilogramm Wasserstoff ($\cong 11,1 \text{ Nm}^3$) ca. vier Kilogramm (Bio-)Methan ($\cong 5,6 \text{ Nm}^3$) benötigt. Je nach Zusammensetzung des Biogases⁵¹ entspricht dies einem Verhältnis von 0,7 – 1,3 Normkubikmetern Biogas pro Normkubikmeter Wasserstoff (vgl. Abbildung 23).

⁵⁰ Die Zugabe der Wärmeenergie erfolgt auf einem Temperaturniveau von 500 – 900 °C.

⁵¹ Der Methangehalt von Biogas beträgt in der Regel zwischen 50 und 75 Prozent. Der restliche Anteil besteht hauptsächlich aus Kohlenstoffdioxid (CO_2).

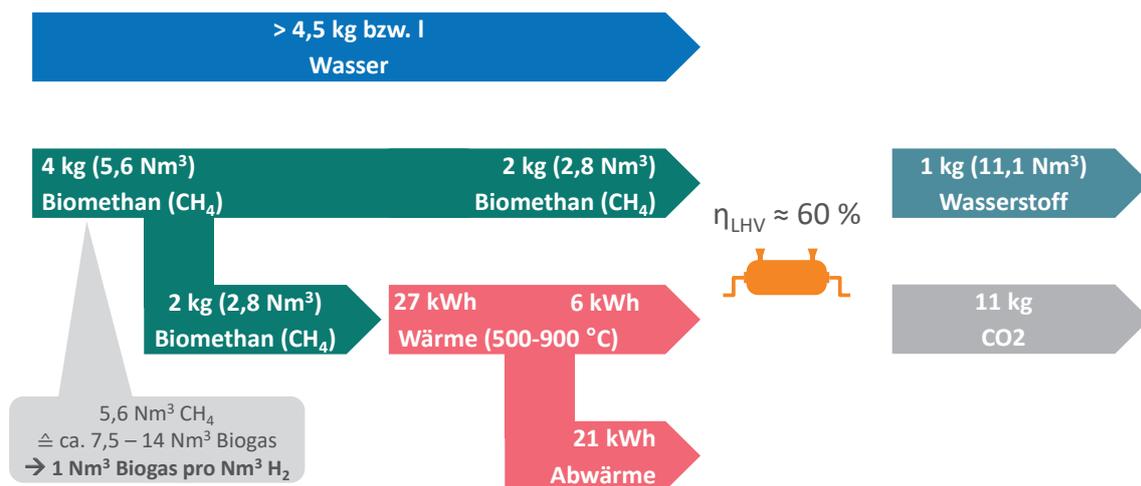


Abbildung 23: Energie-/Stoffströme in der Dampfreformierung von (Bio-)Methan (© BMVI/BBHC)

Die Reformierung methanhaltiger Gase ist das weltweit häufigste Wasserstoff-Erzeugungsverfahren und daher technisch ausgereift. Allerdings ist die Anerkennung als „grüner“ Wasserstoff bei der Biogasreformierung noch ungeklärt und es gibt bisher keine Anlagen, die über den Pilotstatus hinausgehen.

Erste Modellierungsergebnisse vom Reiner Lemoine Institut für das Verfahren der Dampfreformierung deuten eine potenziell wirtschaftliche Wasserstoffproduktion an den Standorten der Betreiber im Landkreis Reutlingen an, mit denen die bisherigen Wasserstoffbedarfe in der Region gedeckt werden können. Das Gesamtpotenzial dieser drei Anlagen ist mit insgesamt rd. 1 Mio. kg H₂/a erheblich.

Hersteller & Erfahrungen

Das Unternehmen BtX energy GmbH ist in diesem Bereich tätig und entwickelt eine Anlage in Renningen, Baden-Württemberg. Vertreter des Unternehmens haben im Rahmen von HyStarter die Technologie vorgestellt und an einem Austausch mit den Betreibern der Biogasanlagen und dem Landratsamt Reutlingen teilgenommen.

An Biogasanlagen werden kleine Dampfreformer benötigt, die kommerziell von verschiedenen Herstellern erhältlich sind. Anlagen zur Biogasreformierung liefern u.a. die Fa. WS Reformer aus Renningen und die Fa. HyGear aus Arnheim in den Niederlanden. Beide haben auch Tankstellen gebaut, an denen über die Reformierung aus Erd- bzw. Biogas Wasserstoff erzeugt wurde (HyGear in Arnheim, WS in München, Berlin und Madrid, alle Anlagen sind mittlerweile außer Betrieb).

Bei einer Umsetzung helfen die bereits genannten Hersteller den Interessenten bzgl. Genehmigung, u.a. beim BImSchV. Die Umsetzungsdauer ist sehr individuell und von verschiedenen Faktoren, wie dem Antrag und der Projektgröße, abhängig.

Wirtschaftlichkeit & Herausforderungen

Biogasreformierung wird bislang nicht als „grün“ anerkannt, der politische Diskussionsprozess ist jedoch angestoßen und verläuft derzeit positiv. Der Pfad kann neben der Chance für regionale Wertschöpfungsketten durch dezentrale Projekte und der lokalen Emissionsfreiheit auch sehr hohe Negativ-Emissionspotenziale beim Einsatz von Reststoffen wie Gülle und Mist implizieren.

Die Post-EEG-Zeit ist bei Biogasanlagen noch ungeklärt, sie können jedoch ein zweites Mal an der EEG-Ausschreibung teilnehmen.

Eine Untersuchung des Instituts für Industrieofenbau an der RWTH Aachen stellt in Aussicht, dass über Biogasreformierung Wasserstoff günstiger hergestellt werden kann als über Elektrolyse. Zudem kann eine Wasserstoffqualität von 5.0 (99.999 %) erreicht werden, sodass der produzierte Wasserstoff über Brennstoffzellenqualität verfügt und u. a. im Mobilitätssektor eingesetzt werden kann.

Kosten der Wasserstoffherzeugung

Aufbauend auf den Ausführungen der Energie-/Stoffströme in der Dampfreformierung (vgl. Abbildung 23) werden im Folgenden die Wasserstoffgestehungskosten für eine beispielhafte Konfiguration einer Dampfreformierungsanlage von Biomethan mit einem Wirkungsgrad von 60 Prozent für zwei unterschiedliche Anlagengrößen betrachtet (vgl. Abbildung 24).

Die Biomethanbezugskosten werden mit 7 ct/kWh angenommen. Zudem wird davon ausgegangen, dass keine Genehmigungskosten anfallen.

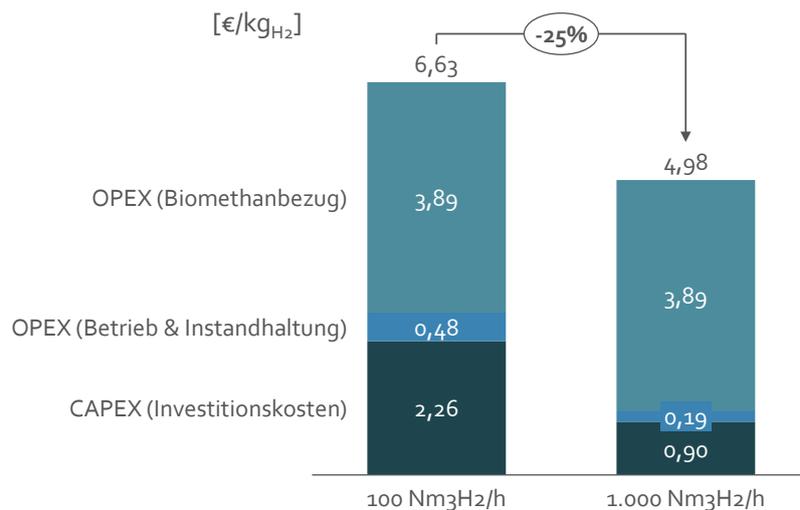


Abbildung 24: Wasserstoffgestehungskosten in der Dampfreformierung von Biomethan für zwei Anlagengrößen⁵² (© BMVI/BBHC)

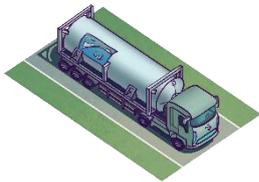
Die Berechnungsergebnisse zeigen für die getroffenen Annahmen, dass je nach Anlagengröße Gestehungskosten für aus Biomethan erzeugtem Wasserstoff von ca. 5 – 7 €/kg H₂ realisiert werden können⁵³. Die dargestellten Anlagengrößen bilden dabei die typische Bandbreite von Biogasanlagen im landwirtschaftlichen Kontext in Deutschland ab.

⁵² Weitere Annahmen: spezifische Investitionskosten der Dampfreformierungsanlage 100 Nm³/h_{H₂}: 1.000.000 € und 1.000 Nm³/h_{H₂}: 4.000.000 €/kW, Nutzungsdauer: 10 a, jährliche Volllaststunden: 7.000 h/a.

⁵³ Eine Dampfreformierungsanlage mit einer Nennleistung von 100 Nm³H₂/h produziert im Nennbetriebspunkt pro Stunde 100 Nm³ Wasserstoff und benötigt dafür eine Eingangsleistung von ca. 100 Nm³Biogas/Biomethan/h bzw. 500 kW Biogas/Biomethan. Dies entspricht einer elektrischen Verstromungsleistung in einem nachgeschalteten BHKW von ca. 200 kW_{el}.

5.1.3 WASSERSTOFF-VERTEILUNG

Transport



Für die Verteilung des regional erzeugten Wasserstoffs muss eine Transportinfrastruktur aufgebaut werden. Der physikalische Wasserstofftransport⁵⁴ kann gasförmig und flüssig erfolgen. Bei Umgebungstemperatur und Normaldruck liegt Wasserstoff gasförmig vor und kann per Trailer oder Pipeline transportiert werden.

Sogenannte Tube-Trailer transportieren circa 500 kg H₂ mit einem Druck von 200 bis 250 bar. In Container-Trailern hingegen wird Wasserstoff auf bis zu 500 bar verdichtet, sodass circa 1.000 kg H₂ mit einem Trailer transportiert werden können. Ein Trailertransport hat die Vorteile, dass er vergleichsweise günstig ist und schnell und flexibel aufgebaut werden kann. Nachteilig ist der dadurch erzeugte Verkehr und die anfallenden Emissionen, sofern ein Transporter mit Verbrennungsmotor eingesetzt wird.

Wasserstoff kann außerdem in Pipelines transportiert werden und in existierende Gasnetze beigemischt oder in reinen – neu zu errichtenden – Wasserstoffnetzen befördert werden. Die Beimischung von Wasserstoff in bestehende Gasnetze ist aktuell in der Regel auf Werte kleiner 10 Volumenprozent beschränkt. Je nach örtlichen Gegebenheiten kann der Wert in Einzelfällen teilweise überschritten, teilweise jedoch auch nicht vollständig ausgeschöpft werden. Zum einen muss der Wobbe-Index⁵⁵, die Methanzahl und die relative Dichte des Gasgemisches weiterhin in einem vom DVGW vorgegebenen Bereich liegen. Zum anderen gibt es vereinzelte sensible Gasverbraucher, die eine geringere Toleranzgrenze für die Wasserstoffbeimischung aufweisen, wodurch die Wasserstoffbeimischung begrenzt wird.

Um Wasserstoff zu verflüssigen, muss er auf mindestens -240° Celsius heruntergekühlt werden. Dabei steigt die Speicherdichte im Vergleich zum komprimierten gasförmigen Wasserstoff: Verflüssigter Wasserstoff bei einem Druck von 1 bar und einer Temperatur von -253° Celsius hat eine circa dreimal höhere Energiedichte als gasförmiger Wasserstoff bei 350 bar und 15° Celsius. Die Kühlung des Wasserstoffs ist jedoch sehr energieaufwendig.⁵⁶ Für den Überseetransport per Schiff wird beispielsweise die Verflüssigung von Wasserstoff erprobt, da hohe Energiedichten ein wesentliches Kriterium sind. Die Wasserstofftransportkosten und der kostengünstigste Pfad sind von den zu transportierenden Mengen und der Transportdistanz abhängig (vgl. Abbildung 25).

⁵⁴ Wasserstoff kann auch in stofflicher Form (Methanol, Ammoniak oder aromatische Träger, die hydriert werden) gespeichert und transportiert werden. Dieser Weg befindet sich zum Teil allerdings noch im Forschungs- und Erprobungsstadium. Zudem gehen die stoffliche Speicherung und der Transport mit hohen Wandlungsverlusten einher, die die kurzen Distanzen und kleinen Mengen in regionalen Wasserstoffsystemen nicht rechtfertigen. Aus den genannten Gründen wird dieser Weg nicht berücksichtigt.

⁵⁵ Quotient aus dem Heizwert eines Gasgemisches und der Quadratwurzel der relativen Dichte. Der Index ist ein Kennwert für die Austauschbarkeit von Gasen hinsichtlich der Wärmebelastung der Gasgeräte.

⁵⁶ Für die Verflüssigung von Wasserstoff sind circa 30 Prozent des Wasserstoffenergiegehaltes notwendig.

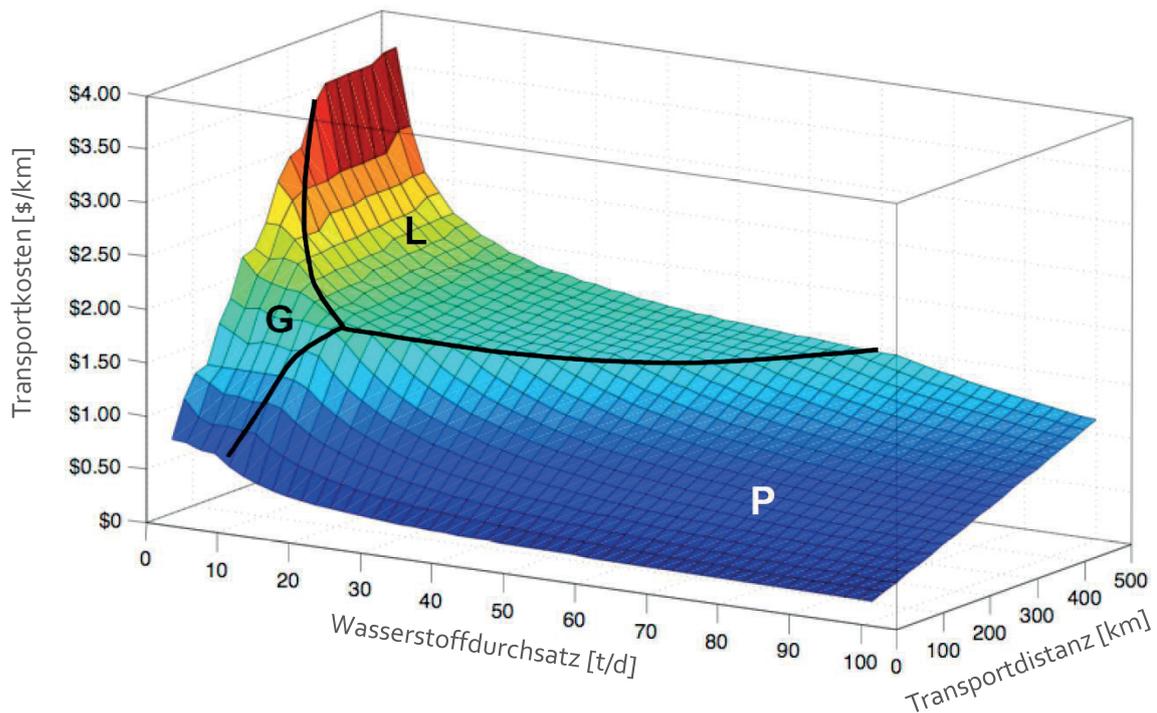


Abbildung 25: Minimale Wasserstofftransportkosten in Abhängigkeit von Durchsatz und Transportdistanz⁵⁷
(Quelle: Yang et al., 2008)

In der Aufbauphase der Wasserstoffwirtschaft werden die Wasserstofftransportmengen in der Region Reutlingen zunächst gering und die Transportdistanzen im Regelfall kleiner 100 km sein. Folglich wird kurz- bis mittelfristig der gasförmige Wasserstofftransport per Trailer die wirtschaftlichste Option sein. Bei der Belieferung von beispielsweise Tankstellen müssen die Topografie und die Witterungsbedingungen berücksichtigt werden. Es besteht die Möglichkeit, dass die Albaufstiege im Landkreis Reutlingen bei starkem Schneefall für Gefahrguttransporte zeitweise nicht befahrbar sind, was im Gesamtsystem beachtet werden muss. Hier müssen dementsprechend dimensionierte Speicher eine ausreichende Versorgungssicherheit garantieren. Sollte beispielsweise die Robert Bosch GmbH mit grünem Wasserstoff von der Alb beliefert werden, müssen die täglichen Transportmengen, Lieferfahrten und möglichen Speichervolumina am Standort geprüft werden und die Option einer Pipeline in Erwägung gezogen werden. Hier würde ggf. die Topografie neue Herausforderungen darstellen. Voraussichtlich eher perspektivisch und bei hohen Mengen werden Pipelinesysteme in der Region wirtschaftlich konkurrenzfähig. Alternativ sollte bei den Trailerbelieferungen ebenfalls der Antrieb des Transporters auf das Ziel der Klimaneutralität einzahlen.

Die Wasserstofftransportkosten betragen bei Pipelines je 1.000 km ca. 0,09 – 0,17 €/kg und bei Trailern ca. 3,96 €/kg je 1.000 km. Pipelines sind also die kostengünstigste Alternative, wenn ein Netzwerk und ein hohes Wasserstoffvolumen vorhanden sind. Durchschnittliche Kosten für 1 km Pipeline betragen im Mittel ca. 352.000 €, die Kosten sind gebietsabhängig und können zwischen ländlichen und urbanen Gebieten zwischen 150.000 und 1 Mio. € je

⁵⁷ [Yang & Moan, 2008] Quelle: UC Davis, C. Yang und J. Moan (2008): Determining the Lowest-Cost Hydrogen Delivery Mode.

Kilometer betragen. Eine Transportkapazität von 13 bis zu 40 Tonnen Wasserstoff pro Tag ist abhängig vom Pipelinematerial möglich.

Überregionale Transporte hingegen werden aufgrund höherer Transportdistanzen und Wasserstoffdurchsätze auch in der Aufbauphase zu Teilen verflüssigt oder gasförmig per Pipeline erfolgen. Beispielsweise planen die europäischen Fernleitungsnetzbetreiber ein sogenanntes „European Hydrogen Backbone“, welches europaweit die großen Nachfragezentren mit Wasserstoffleitungen verbinden soll.⁵⁸ Die Initiative *H2 für BW* hat sich im HyStarter-Kreis dazu vorgestellt. Sie verfolgt dabei das Ziel, Wasserstoff über das Transportnetz nach Baden-Württemberg zu bringen und eine verlässliche Planung bei der Umstellung erster Leitungsabschnitte zu ermöglichen.⁵⁹

Tankstelleninfrastruktur

Eine große Herausforderung ist die Tankinfrastruktur, wie zur Zeit der Finalisierung des Konzeptes am Beispiel des Brennstoffzellen-Müllsammelfahrzeugs und des Testbetriebs eines Wasserstoff-Busses im Landkreis festgestellt werden musste. Das Thema Tankstelleninfrastruktur, aber auch der Transport von Wasserstoff hat dementsprechend viel Beachtung in den Dialogen erhalten.

Im Landkreis Reutlingen existiert eine Wasserstofftankstelle in Metzingen (700 bar). Nahegelegene Tankstellen sind außerdem am Stuttgarter Flughafen, in Sindelfingen, Wendlingen und Ulm zu finden. Für den geplanten Einsatz von BZ-Fahrzeugen im ÖPNV/SPNV sind Tankstellen Voraussetzung, die eine Integration des Tankstellenstandortes in die Betriebsabläufe zulassen. Im Rahmen der HyStarter-Treffen wurde daher eine Kombi-Tankstelle am Bahnhof Münsingen diskutiert. Diese soll zum einen mit grünem Wasserstoff aus der Elektrolyse des PV-Stroms am Standort Münsingen versorgt werden und zum anderen durch Wasserstoff aus anderen regionalen Erzeugungsquellen und für die (zukünftige) Betankung von Zügen und Bussen sowie ggf. PKW am Standort ausgelegt werden. Eine Ausweitung des BZ-Fahrzeugbestandes soll bei der Dimensionierung der Tankstelle mitgedacht werden.

⁵⁸ [Guidehouse, 2020]: European Hydrogen Backbone, How a dedicated Hydrogen Infrastructure can be created. Im Auftrag der europäischen Fernleitungsnetzbetreiber.

⁵⁹ [Wasserstoff für Baden-Württemberg, 2021] Wasserstoff für Baden-Württemberg: Wir informieren über unsere Arbeit (h2-fuer-bw.de)

WASSERSTOFFTANKSTELLE MÜNSINGEN

Projektidee: Geprüft werden soll der Aufbau einer Kombi-Tankstelle für die verschiedenen in der Region eingesetzten BZ-Fahrzeuge, insbesondere für Busse und Züge. Dazu sollen der PV-Strom am Standort sowie weitere erneuerbare Energiequellen genutzt werden.



Initiator: Bottenschein Reisen und SAB, Investor/Betreiber gesucht

Mögliche Partner: weitere EE-Erzeuger und H₂-Erzeuger in der Region

Umsetzungsstandort: Münsinger Bahnhof

Herausforderung: Die Planung muss parallel zur Fahrzeugbeschaffung erfolgen. Es müssen Investoren und Betreiber für die Tankstelle gefunden werden.

Stand: Ideenstadium, aber intensive Gespräche zwischen Bottenschein und SAB (parallel zur Fahrzeugbeschaffung)

Technologie & Marktreife

Wasserstofftankstellen beinhalten verschiedene technische Komponenten (vgl. Abbildung 26). Sie benötigen immer einen Niederdruck Wasserstoffspeicher, der mit Wasserstoff befüllt werden kann. Im zweiten Schritt wird ein Kompressor benötigt, der den Wasserstoff auf bis zu 900 bar verdichtet. Für den Tankvorgang wird bei Nutzfahrzeugen eine 350 bar und für Pkw eine 700 bar Zapfsäule benötigt. Beide können an einer öffentlichen Wasserstoff-Tankstelle errichtet werden, jedoch müssen die Tanks über ein ausreichendes Speichervolumen verfügen. Um das Gas tanken zu können, muss es bei einem 700 bar Tankvorgang auf -40°C heruntergekühlt werden. Befinden sich im zu betankenden Fahrzeug Typ III Tanks (metallisches Liner), braucht bei 350 bar Tankdruck der Wasserstoff nicht vorgekühlt zu werden. Bei Typ IV Tanks (Kunststoffliner) muss der Wasserstoff jedoch auch bei 350 bar vorgekühlt werden. An einem Standard (Kühltemperatur, Volumenstrom) wird derzeit gearbeitet. Gegenwärtig ist es jedoch nicht erlaubt, mit 350 bar Typ IV Tanks an Tankstellen des Wasserstofftankstellenbetreibers H₂Mobility zu tanken.

Eine mobile H₂-Tankstelle bietet Wystrach für ca. 1.2 Mio. €, inkl. Speichercontainer an. Die Tankgeschwindigkeit ist an dieser Tankstellenart gedrosselt, sodass keine Kühlung benötigt wird. Für Wasserstoffzüge wird eine Tankvorrichtung am/im Depot benötigt, die dafür notwendigen Komponenten sind mit denen der bereits genannten Tankstellensysteme im Prinzip identisch, jedoch den größeren H₂-Mengen entsprechend größer dimensioniert.

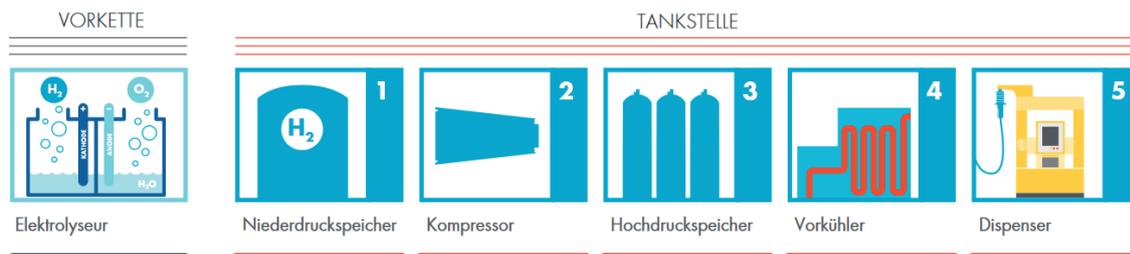


Abbildung 26: Komponenten und Größenkategorien einer Wasserstofftankstelle (Quelle: Shell 2017)⁶⁰

Wirtschaftlichkeit & Herausforderungen

Der Aufbau einer Tankstelle sollte eng an den (zukünftigen) Bedarfen der Region ausgelegt sein, da Errichtung und Betrieb mit hohen Kosten verbunden sind. Diese sollten möglichst durch die Marge zwischen Bezugskosten und Verkaufspreisen des Wasserstoffs gedeckt werden.⁶¹ Die Abbildung 27 zeigt eine mögliche Marge durch den Verkauf von Wasserstoff (links) sowie die (Voll-)Kosten der Wasserstoffbereitstellung bei unterschiedlichen Tankstellengrößen und Investitionsförderquoten (rechts).

Bei einem Wasserstoffpreis von 4 – 7 €/kg H₂ ist ein wirtschaftlicher Betrieb, bei dem die Tankstellenkosten durch die Marge des Wasserstoffverkaufs gedeckt werden sollen, nur unter Berücksichtigung entsprechender finanzieller Förderungen – wie Investitionskostenzuschüsse von bis zu 90 Prozent – möglich. Um die Tankstellenkosten möglichst gering zu halten, ist die Sicherstellung einer möglichst hohen Auslastung von zentraler Bedeutung.

Die Kosten einer Wasserstofftankstelle liegen bei einer Tagesdurchlaufmenge von 200 kg zwischen 1 – 1,5 Mio. €, bei Anlieferung des Wasserstoffs. Wird der Wasserstoff vor Ort per Elektrolyse erzeugt, ergeben sich bei einem Tagesbedarf von 400 kg (entspricht 1 MW Elektrolyseurleistung) durchschnittliche Investitionskosten von 5 Mio. €. Der Platzbedarf richtet sich nach Speichergröße und Wasserstoff-Bezugsmenge, sodass zwischen 350 und 700 m² benötigt werden.

Bei Standorten wie in Münsingen sollten Wasserstoff-Anwender und -Anwendungen zusammenbetrachtet werden, um möglichst viele verschiedene Fahrzeugarten an einer Wasserstofftankstelle betanken zu können. Aus der Anzahl und der Art der Fahrzeuge kann ein zeitabhängiger Wasserstoffbedarf bestimmt werden, der für die Konzeption der Tankstelle benötigt wird. Es ist dabei zu prüfen, ob die verschiedenen Anwender bereit sind, alle an einer Station zu tanken und ihr Tankverhalten ggf. anzupassen, oder ob mehrere Tankstellen errichtet werden müssen. Mit dem Mengengerüst kann beispielsweise auf die H₂Mobility zugegangen und angefragt werden, ob H₂Mobility ggf. bereit ist, eine Tankstelle zu errichten (Mindestabnahmemenge von 25 t/a). Ansonsten ist ein anderer Betreiber zu ermitteln, der ggf. auch die Investitionen tragen will. Zusätzlich sollten, wo möglich, kurze Transportwege bei einer Wasserstoff-Anlieferung genutzt werden, falls der Wasserstoff nicht vor Ort produziert wird.

⁶⁰ [Shell 2017] Shell Wasserstoff-Studie (2017), abrufbar unter: https://www.shell.de/media/shell-publications/shell-hydrogen-study/_jcr_content/par/toptasks_e705.stream/1497968981764/1086fe80e1b5960848a92310091498ed5c3d8424/shell-wasserstoff-studie-2017.pdf

⁶¹ Darüber hinaus gibt es bei aktuellen konventionellen Tankstellen oftmals noch zusätzliche Erlöse aus dem Verkauf von Waren und Dienstleistungen.

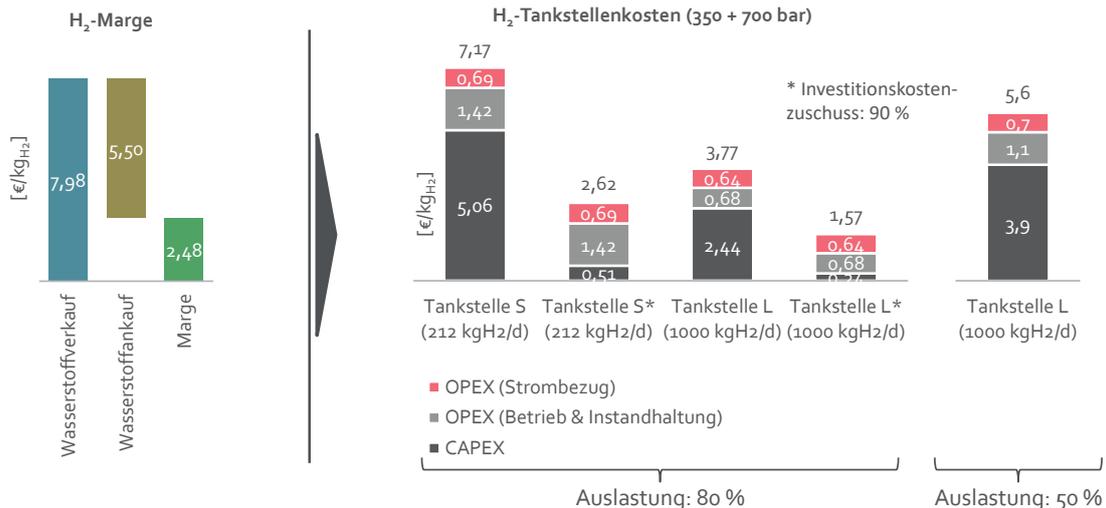


Abbildung 27: Wasserstoffmarge an der Tankstelle und Tankstellenkosten⁶² (© BMVI/BBHC)

Für Ausschreibung, Engineering und Vergabe der Tankstelle sind ca. 3 – 6 Monate einzuplanen, ggf. ist auch eine Förderung zu beantragen. Nach Auftragsvergabe (nicht vor Bewilligung der Förderung) beträgt die Lieferzeit der Komponenten 8 – 12 Monate, parallel sind Genehmigungen (BlmSchV, Brandschutz, Gefahrenabwehr, Arbeitsschutz) einzuholen, um die Wasserstofftankstelle errichten zu können. Nach erfolgreicher Errichtung muss die HRS noch abgenommen werden, hierfür ist zeitlich ein Monat zu kalkulieren. Insgesamt sind gut 2 Jahre einzuplanen. Bei einer Wasserstoff-Produktion vor Ort müssen die bereits beschriebenen Komponenten wie PV-Anlage, Elektrolyseur, Kompressor etc. am Standort mitgeplant werden. Dies läuft ebenfalls parallel zur Tankstellenplanung, sodass sich die Planungs- und Umsetzungszeit nicht verlängert.

5.2 WASSERSTOFF-EINSATZ IN MOBILITÄTSANWENDUNGEN

Die Einführung von Wasserstoffmobilität soll einen Beitrag zur Luftreinhaltung sowie zur Verringerung von Lärm und Stickoxid-Emissionen im Landkreis Reutlingen leisten. Außerdem sollen im Mobilitätsbereich konstante Abnehmer für den regional erzeugten Wasserstoff identifiziert werden, um die Wertschöpfung in der Region zu halten. Die ÖPNV- und SPNV-Anwendungen sollen das Ziel der zeitnahen klimafreundlichen Mobilität erfüllen, der Clean Vehicles Directive Genüge tun und zeitgleich die Sichtbarkeit der neuen Technologie erhöhen und die Innovation in die Breite tragen. Der Tourismus in der Region ermöglicht auch Urlauberinnen und Urlaubern die Technologie kennenzulernen und ihr Wissen und ihre Erfahrungen mit nach Hause zu nehmen. Der Einsatz von elektrischen Müllsammel-fahrzeugen mit BZ-Range Extender ist eine weitere Option, die derzeit in der HyStarter-

⁶² Investitionskosten Tankstelle S (212 kg_{H₂}/d): 2.200.000 €/HRS; Tankstelle L (1.000 kg_{H₂}/d): 5.000.000 €/HRS; Nutzungsdauer: 10 a; OPEX: 0,04 %CAPEX/a; Strombedarf (variabel): 3 kWh_{el}/kg_{H₂}; Strombedarf (fix): 50 kWh_{el}/d; Kalkulatorischer Zinssatz: 7 %; H₂-Bezugspreis (Brutto): 6,55 €/kg_{H₂}; H₂-Bezugspreis (Netto): 5,5 €/kg_{H₂}; H₂-Verkaufspreis (Brutto): 9,5 €/kg_{H₂}; H₂-Verkaufspreis (Netto): 7,98 €/kg_{H₂}; Strompreis (brutto): 0,25 €/kWh_{el}; Kosten für Betriebshoftankstellen können abweichen.

Region getestet wird und ggf. ausgeweitet werden kann. Voraussetzung für den Einsatz von Wasserstofffahrzeugen in der Region ist eine ausreichende Tankinfrastruktur.

5.2.1 WASSERSTOFF IM ÖPNV

WAS WIR VORHABEN	
WASSERSTOFFEINSATZ IM ÖPNV	
<p>Projektidee: Angedacht wird der Einsatz von Wasserstoffbussen im Stadtverkehr der Bad Urach sowie teilweise im umliegenden Regionalverkehr. Das Einsatzgebiet ist durch die dortige Topografie hochinteressant für die Nutzung der Brennstoffzellen-Technologie. Perspektivisch könnten hier bis zu 20 Fahrzeuge mit Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie in den Einsatz gebracht werden. Auch der Einsatz von Wasserstoff in Verbrennungsmotoren wird in die Überlegungen eingebunden. Entscheidend wird die Errichtung einer ausreichend dimensionierten und möglichst nahgelegenen Wasserstofftankstelle sein.</p>	
<p>Initiator: Firma Bottenschein Reisen</p>	
<p>Einsatzort: Kurstadt Bad Urach</p>	
<p>Herausforderungen: Eine Bezugsquelle für „grünen Wasserstoff“ ist erforderlich bzw. die Eigenproduktion via PV vor Ort zu realisieren. Sowohl die Bezugs- bzw. Gestehungskosten des Wasserstoffs sind eine Herausforderung als auch die mit der Anschaffung verbundenen Kosten für Busse und Infrastruktur. Die Infrastruktur hat zudem einen großen Einfluss auf die Skalierbarkeit des Einsatzes.</p>	
<p>Stand: Intensive Teilnahme an diversen Workshops bzw. Clusterveranstaltungen zur Wasserstofftechnologie. Austausch mit anderen Verkehrsunternehmen im In- und Ausland, welche bereits Wasserstoffbusse im Einsatz haben. Erste Probefahrten mit Wasserstoffbussen wurden absolviert. Aktive Suche nach neuem, idealem Standort mit Platz für eine mögliche Wasserstofftankstelle. Es wurden intensive Gespräche mit der Schwäbischen Alb-Bahn geführt. Ein gemeinsamer Projektansatz sieht die Errichtung einer Kombi-Tankstelle am Bahnhof in Münsingen vor.</p>	

Aufgrund der Topografie ist der Einsatz von Wasserstoffbussen in der HyStarter-Region interessant, da der Einsatz von batteriebetriebenen Bussen im Regionalbusverkehr am Albtrauf aufgrund der langen Strecken und der Steigung nur bedingt möglich ist. Da es sich um einen kleinen sehr überschaubaren Verkehr handelt, könnten die Erfahrungen mit Wasserstoffbussen intensiv und detailliert erfasst und ausgewertet werden. Eines der Fahrzeuge von Bottenschein Reisen fährt sowohl Stadtverkehr und Regionalbuslinien, sodass in beiden Bereichen wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden könnten. Ein Brennstoffzellenbus von Solaris wurde im Juni 2021 getestet, um die ersten Anforderungen an den Einsatz zu eruieren und Erfahrungen zu sammeln. Je nach Standort einer für Busse kompatiblen Wasserstofftankstelle wird die Identifizierung weiterer geeigneter Regionalverkehrslinien für den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen angestrebt.

Technologie & Marktreife

Brennstoffzellenbusse sind im Wasserstoff-Mobilitätssektor am weitesten technologisch fortgeschritten und gelten als serienreif. Im Vergleich zur batterieelektrischen Variante verfügen sie über höhere Reichweiten von bis zu 350 km und können darüber hinaus in 5 bis 15 Minuten an einer 350 bar Tankstelle getankt werden. Üblicherweise werden 30 kg Wasserstoff bei 350 bar in einem Typ III (Liner aus Metall) oder Typ IV (Liner aus Kunststoff) Tank gespeichert. Zur Wasserstoffbereitstellung bestehen Überlegungen eine Wasserstofftankstelle am Münsinger Bahnhof zu errichten, um eine gleichzeitige Versorgung des BZ-Zuges sicher zu stellen. Es kann aber auch eine öffentliche Tankstelle genutzt werden, die neben einer 700 bar auch über eine 350 bar-Zapfsäule verfügt. Bei letzterem Modell muss sichergestellt sein, dass die Tankstelle von den baulichen Gegebenheiten (Breite der Fahrspuren, Höhe des Daches) und von der Leistungsfähigkeit der Wasserstofftankanlage her für Busse geeignet ist.

Hersteller & Erfahrungen

Brennstoffzellenbusse werden unter anderem von den großen Herstellern Van Hool, Caetano und Solaris angeboten. Der Fahrzeugbezug bei kleineren Herstellern birgt vielmals die Gefahr, dass Liefertermine nicht eingehalten werden können und die langfristige Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Serviceleistung nicht immer gegeben ist. Bei der Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB) werden beispielsweise vier Brennstoffzellen-Hybrid-Busse eingesetzt. Für den Einsatz der Busse werden die Fahrerinnen und Fahrer durch den Fahrzeughersteller für die Bedienung der Fahrzeuge geschult. Das Werkstattpersonal muss für Arbeiten an Hochvoltanlagen geschult sein, sofern die Wartungsarbeiten nicht an externe Serviceunternehmen vergeben werden. Die Bushallen benötigen Sensoren und automatische Dachluken, um eine mögliche Ansammlung von Wasserstoff unter dem Hallendach zu vermeiden. Zudem sind Hebebühnen notwendig, um an den Wasserstofftanks auf dem Dach der Busse arbeiten zu können (vgl. Abbildung 28). Außerdem müssen die Betriebsabläufe und Linienplanungen an den Einsatz der Wasserstoffbusse angepasst werden.

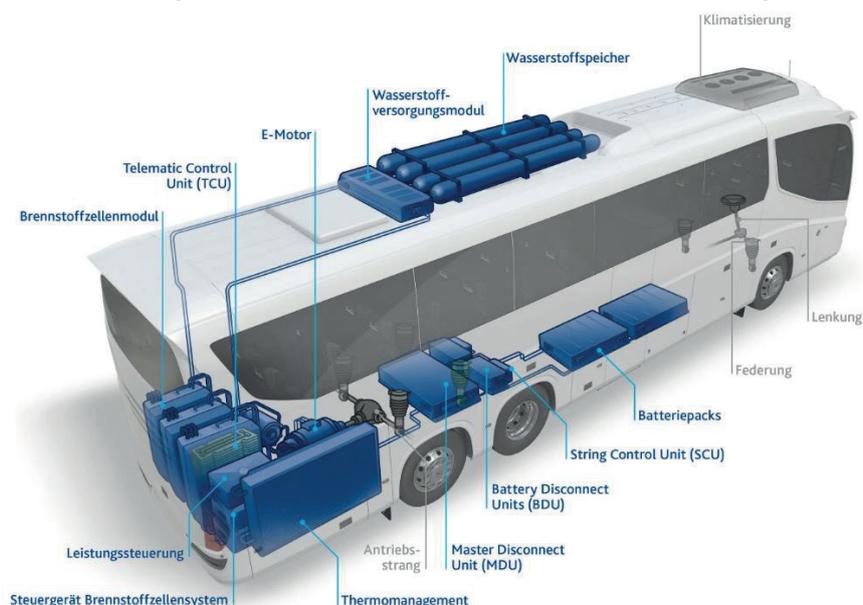


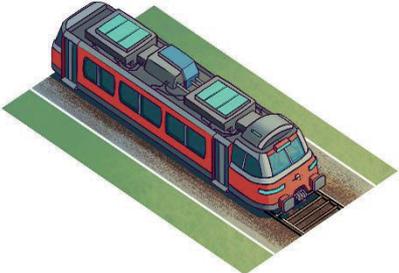
Abbildung 28: Brennstoffzellenbus © Freudenberg⁶³

⁶³ Quelle: https://www.fst.com/de/-/media/images/pr/2019/2019-09/fst_fuelcell_bus_illustration_de.jpg

Wirtschaftlichkeit & Herausforderungen

Die größten Herausforderungen stellen die Finanzierung der Fahrzeuge und aller damit zusammenhängenden Aspekte sowie die Betankungsinfrastruktur dar. Um die Auslastung der Tankstelle möglichst gleichmäßig über den Tag zu verteilen und somit die Größe des Kompressors gering zu halten, müssen die Betankungszeiten angepasst werden. Sofern die Anzahl der BZ-Busse in der eigenen Flotte vor allem anfangs klein bleiben wird, ist hier die Kooperation mit der SAB sowie eine Öffnung der Tankstellen für externe Kundinnen und Kunden mit optimaler Weise antizyklischen Betankungszeiten eine vielversprechende Option, um die Auslastung der Tankstelle zu erhöhen und die dadurch die Kosten zu reduzieren. Im Jahr 2021 wird im Rahmen des NIP⁶⁴ eine neue Bus-Förderrichtlinie erwartet, die die Förderung von bis zu 80 Prozent der Mehrinvestitionskosten bei Fahrzeugen, 40 Prozent der Vollkosten der zugehörigen Betankungsinfrastruktur sowie 40 Prozent der zusätzlich anzuschaffenden Wartungsinstrumente auf dem Betriebshof beinhaltet. Erwartungsgemäß bleibt aber auch mit Nutzung von Fördermöglichkeiten eine Finanzierungslücke bei der Anschaffung der Fahrzeuge, Schulung des Personals und Umrüstung des Busdepots bestehen. Die Anschaffungskosten von BZ-Bussen sind mit ca. 600.000 € im Vergleich zum Dieselbus (ca. 200.000 €) immer noch deutlich höher, auch wenn eine positive Preisentwicklung in den letzten Jahren erkennbar ist. Die Wirtschaftlichkeit des Brennstoffzellenbuseinsatzes ist maßgeblich von den Wasserstoffbezugskosten abhängig.

5.2.2 WASSERSTOFF IM SPNV

WAS WIR VORHABEN	
WASSERSTOFFEINSATZ IM SPNV	
Projektidee: Auf der Alb-Bahn könnten wasserstoffbetriebene Züge eingesetzt werden. Aufgrund des Profils ist ein batterieelektrisch-betriebenes Fahrzeug in der Region nicht geeignet und die Elektrifizierung der Strecke würde mit hohen Kosten einhergehen. Der Wasserstoff soll im besten Fall direkt am Bahnhof in Münsingen erzeugt, gespeichert und vertankt werden. Der Einsatz lokal emissionsfreier Triebwagen würde eine konstante Nachfrage nach grünem Wasserstoff mitbringen.	
Initiator: Schwäbische Alb-Bahn GmbH (SAB)	
Einsatzort: Streckenabschnitte Gammertingen - Engstingen und Engstingen – Schelklingen – Ulm	
Herausforderungen: Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes, der Anschaffung des Aufbaus der Infrastruktur. Zudem liegen bislang wenig Erfahrungen zu Wartezeiten beim Bezug der Triebwagen vor. Diese müssen konkret beim Hersteller angefragt werden.	
Stand: Austausch mit dem Landratsamt zum Vorhaben. Ebenfalls enger Kontakt zu Bottenschein Reisen zum Thema der Tankstelleninfrastruktur und dem Bezug bzw. Erzeugung von grünem Wasserstoff.	

⁶⁴ Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

Die Züge der SAB fahren auf einer nicht elektrifizierten Strecke über die Schwäbische Alb von Gammertingen bis nach Ulm, die momentan mit konventionellen Schienenfahrzeugen mit Dieselmotor betrieben wird. Die Elektrifizierung ist wirtschaftlich voraussichtlich nicht darstellbar. In einer vom Land beauftragten Potenzialstudie zur Reaktivierung von Schienenstrecken wurden die beiden Streckenabschnitte der Alb-Bahn (Gammertingen - Engstingen und Engstingen - Schelklingen) im Oktober 2020 in die Kategorie C - Reaktivierungsstrecken mit mittlerem Nachfragepotenzial eingestuft. Aufgrund der Topografie und Streckenlänge soll die Nutzung eines Brennstoffzellenzuges geprüft werden. Drei Triebwagen erreichen ca. 900 km Fahrleistung pro Tag. Pro Stunde müsste ein Zug betankt werden bei derzeit begrenztem Fahrplanangebot. Die Ausweitung zu einem regelmäßigen Taktverkehr soll in den nächsten Jahren erfolgen und würde auch die Betankungsregelmäßigkeit erhöhen. Der Wasserstoff soll im besten Fall direkt am Bahnhof in Münsingen erzeugt und vertankt werden. Die SAB steht im engen Austausch mit Bottenschein Reisen, um die Realisierung einer gemeinsam genutzten Kombi-Tankstelle zu prüfen.

Technologie & Marktreife

Brennstoffzellenzüge werden bereits für den Personenverkehr eingesetzt. Sie sollten aufgrund des Wirkungsgrads nur dort eingesetzt werden, wo keine Oberleitungen vorhanden bzw. umsetzbar sind. Hier sind ebenfalls mehrere Brennstoffzellentriebwagenmodelle von verschiedenen Herstellern verfügbar. Der gasförmige Wasserstoff wird in Tanks auf dem Dach gespeichert. Eine Brennstoffzelle lässt den Wasserstoff mit der Umgebungsluft reagieren, wobei Strom entsteht, der die Akkus im Fahrzeugboden auflädt. Der Tank eines Brennstoffzellenzuges umfasst durchschnittlich 170 kg, womit Strecken von bis zu 1.000 km mit einer Tankfüllung zurückgelegt werden können. Am Depot wird für die Betankung eine Wasserstoff-Zapfstelle benötigt.

Hersteller & Erfahrungen

Wasserstoffzüge des Typs Alstom Coradia iLint werden erfolgreich in Norddeutschland auf der Strecke Bremervörde – Buxtehude bereits eingesetzt. In Baden-Württemberg wird zwischen Sigmaringen, Hechingen und Eyach bis Februar 2022 ein Brennstoffzellenzug des Typs iLint eingesetzt. Die Betreiber der Taunusbahn haben insgesamt 41 solcher Triebwagen geordert. Interessenten können Modelle ausleihen, um den regionalen Einsatz vor Ort zu testen.

Im Landkreis Tübingen soll ab 2024 auf der Strecke Tübingen - Pforzheim der Mireo Plus H eingesetzt werden, welcher von Siemens Mobility in Kooperation mit der Deutschen Bahn AG entwickelt wird. Oberleitungsfahrzeuge der Mireo-Plattform befinden sich bereits im Rheintal im Planbetrieb. Der Mireo Plus H soll über zwei Traktionsanlagen mit den jeweils zugehörigen Batterien und Brennstoffzellen verfügen, 160 km/h erreichen und als 2-Wagen-Zug mit 120 bzw. 3-Wagen-Zug mit 165 Sitzplätzen angeboten werden und über bis zu 600 km bzw. 900 km Reichweite verfügen.

Weitere Brennstoffzellenzüge werden in Europa getestet und eingesetzt. In Österreich fahren auf der Zillertalbahn Brennstoffzellenzüge des Herstellers Stadler und auch in Spanien wird derzeit ein Brennstoffzellenzug durch Talgo entwickelt, der 2023 in Serie gehen soll.

Wirtschaftlichkeit & Herausforderungen

Belastbare Aussagen bzgl. der Lieferzeit und Preise können nicht getroffen werden, sondern müssten bei den Herstellern angefragt werden. Förder- und Finanzierungsmöglichkeiten wie der derzeit laufende Aufruf zur Förderung von klimafreundlichen, alternativen Antrieben im Schienenverkehr (06/2021)⁶⁵ im Rahmen der Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe im Schienenverkehr (BMVI)⁶⁶ werden von den Akteuren geprüft. Für den Einsatz von BZ-Zügen ist eine entsprechende Tankinfrastruktur Voraussetzung.

5.2.3 BRENNSTOFFZELLEN-MÜLLSAMMELFAHRZEUGE

WAS WIR VORHABEN	
WASSERSTOFFEINSATZ IN MÜLLSAMMELFAHRZEUGEN	
<p>Projektidee: Im Fuhrpark der Technischen Betriebsdienste Reutlingen (TBR) wird derzeit ein Müllfahrzeug mit 85kWh Lithium-Eisen-Phosphat (LiFEPO) Batteriespeicher und einem Wasserstoff-Brennstoffzellen Range-Extender (BZ REX) getestet. Die nächste Wasserstofftankstelle ist in Metzingen, die Hochvolt-Batterie soll innerhalb von 30 Minuten geladen werden können. Die Brennstoffzelle stellt mit den Wasserstofftanks ca. 100 kWh bereit. Die Fahrleistung wird für das in Reutlingen bestellte Müllfahrzeug vom Hersteller innerstädtisch mit 370 Kilometern, über Land bei 220 Kilometern und auf der Autobahn bei 100 Kilometern angegeben. Es wird von einem durchschnittlichen Bedarf von rund 30 kg Wasserstoff für das Fahrzeug in der Woche ausgegangen. Durch die Hochschule Reutlingen erfolgen ein Monitoring und eine wissenschaftliche Begleitung, die Aufschluss über die Ausweitung solcher Fahrzeugtypen in der HyStarter-Region geben kann.</p>	
<p>Initiatorin: Hochschule Reutlingen Partner: Technische Betriebsdienste Reutlingen</p>	
<p>Einsatzort: TBR Reutlingen</p>	
<p>Herausforderungen: Der wirtschaftliche Betrieb einer Wasserstofftankstelle in Reutlingen sowie die Anschaffungs- und Betriebskosten eines BZ-Müllfahrzeugs sowie dessen Verfügbarkeit.</p>	
<p>Stand: Die Betankung erfolgt heute in Metzingen und wird in der Streckenplanung berücksichtigt. Die Evaluation des Einsatzes durch die Hochschule Reutlingen läuft.</p>	

Das hauptsächlich ländlich geprägte Entsorgungsgebiet des Landkreises Reutlingen (ohne die Städte Reutlingen, Metzingen und Pfullingen) ist sehr weitläufig und mit vielen Fahrkilometern verbunden. Durch eine Fahrzeugumrüstung von Euro 6 auf die Wasserstofftechnologie könnten saubere und energieeffizientere Sammelfahrzeuge im Entsorgungsgebiet eingesetzt werden. Allein im Entsorgungsgebiet des Landkreises Reutlingen fahren für den

⁶⁵ [bmvi_2021_06_aufruf-zur-antragseinreichung-im-schieneverkehr.pdf](#) (ptj.de)

⁶⁶ [Richtlinie-zur-Foerderung-alternativer-Antriebe-im-Schieneverkehr.pdf](#) (now-gmbh.de)

Bio- und Restabfall insgesamt sieben Fahrzeuge, die zusammen auf etwa 18.500 km mautpflichtigen Straßen pro Monat unterwegs sind (durchschnittlich ca. 2.650 km pro Monat und Fahrzeug). Bei der Papiersammlung werden außerdem drei Fahrzeuge und bei der Sperrmülleinsammlung vier Fahrzeuge eingesetzt. Die Stadt Reutlingen verfügt über einen weiteren eigenen Fahrzeugfuhrpark. Mit Leistungsbeginn spätestens zum 01.07.2025 steht die Vergabe von Sammelleistungen für die Abfallfraktionen Rest- und Bioabfall, Restsperrmüll sowie für Altpapier für das Entsorgungsgebiet des Landkreises Reutlingen an und bietet eine Möglichkeit den Einsatz von BZ-Müllfahrzeuge zu forcieren.



Abbildung 29: Brennstoffzellen-Müllsammelfahrzeug © TBR Reutlingen⁶⁷

Technologie & Marktreife

Die gesamte Technik der Müllsammelfahrzeugen wird mit elektrischer Energie versorgt, sowohl der Antrieb des Fahrzeugs als auch die Hydraulikpresse. Bei einem durchschnittlichen Wasserstoffverbrauch von ca. 8 kg/100 km, sind Reichweiten zwischen 200 – 400 km möglich. BZ-Müllsammeler des Herstellers Faun können auch mit 700 bar betankt werden, sodass eine Nutzung des öffentlichen Tankstellennetzes möglich ist. Um die benötigten Reichweiten zu erreichen, werden von manchen Herstellern BZ-REX- Konzepte (Range Extender-Konzepte) eingesetzt, sodass der Elektromotor über eine Batterie oder die Brennstoffzelle Strom beziehen kann. Das Fahrzeug kann eine geringe Distanz batterieelektrisch zurücklegen, ein Speicherbackup-System steht also zur Verfügung.

Hersteller & Erfahrungen

BZ-Müllsammelfahrzeuge werden von diversen europäischen Herstellern angeboten, wie u.a. von Faun auf Basis eines Daimler Econic sowie E-Trucks und HS Fahrzeugbau auf Basis eines DAF. Die Lieferzeit beträgt mindestens ein Jahr. In dem EU-Projekt „HECTOR“ (Hydrogen Waste Collection Vehicles in North West Europe) wird der Einsatz von insgesamt sieben Fahrzeuge an sieben Standorten (in Schottland, Niederlande, Frankreich, Belgien und Deutschland) erprobt. Die ersten Fahrzeuge wurden bereits 2020 ausgeliefert. Interessentinnen und Interessenten können durch Faun eine Rohdatenermittlung durchführen lassen, bei der der Energiebedarf für den Wasserstoffeinsatz über ein konventionelles Fahrzeug ermittelt wird. Durch die Sammlung und Auswertung der Rohdaten kann der Wasserstofftank sowie die Brennstoffzellenleistung bedarfsgerecht ausgelegt werden. Konkrete Erfahrungen am Standort Reutlingen werden derzeit durch die Hochschule Reutlingen in einer wissenschaftlichen Begleitforschung ermittelt.

⁶⁷ Quelle: <https://www.tbr-reutlingen.de/willkommen>

Wirtschaftlichkeit & Herausforderungen

Die größte Herausforderung neben den Investitionskosten ist die Verfügbarkeit einer Wasserstofftankstelle sowie entsprechender Werkstätten. Neben der technischen Nutzungsmöglichkeit muss die Einbindung in die Routenplanung und Betriebsabläufe berücksichtigt werden. Der Einsatz weiterer BZ-Müllsammelfahrzeuge sollte an die Ergebnisse der wissenschaftlichen Evaluation des derzeitigen Einsatzes geknüpft und mit entsprechenden Förderprogrammen für die Beschaffung (bspw. im Rahmen des NIP) gekoppelt werden.

5.2.4 BRENNSTOFFZELLEN-LKW

Der Einsatz von BZ-Lastkraftwagen ist in den HyStarter-Dialogen nicht im Zusammenhang mit einer konkreten Projektidee diskutiert worden, insbesondere, weil hier die Verfügbarkeit von (Test-) Fahrzeugen noch sehr gering ist. Dennoch besteht der Wunsch, sowohl die regionalen Betreiber von Schwerlast- und Nutzfahrzeugflotten über die Option von BZ-Fahrzeugen zu informieren als auch mögliche Wasserstofflieferungen in der Region durch Trailer mit Brennstoffzellenantrieb vorzunehmen. Zudem wird das Thema im Hy-FIVE-Projekt aufgegriffen.

Technologie & Marktreife

Ähnlich wie bei den Bussen ist hier die größere Nutzlast bei hohen Reichweiten und kurzen Tankzeiten das ausschlaggebende Argument. Bislang gibt es schwere LKW nur von Hyundai, die seit dem letzten Jahr in der Schweiz fahren. Aufgrund des dortigen pay-per-use -Modells, wo die Nutzerinnen und Nutzer eine fixe Rate zahlen, ohne selbst die Fahrzeuge anschaffen zu müssen, und des Wegfalls der sehr hohen Maut, rechnen sich die Fahrzeuge bereits ab 70.000 km Jahresfahrleistung.

Hersteller & Erfahrungen

Neben Hyundai möchte der Hersteller Hyzon Anfang 2022 eine Sattelzugmaschine auf den Markt bringen. Deutsche Hersteller kündigen Serienfahrzeuge ab 2025 an, Prototypen ab 2023. Opel wird zum Ende des Jahres einen Transporter des Typs Vivaro auf den Markt bringen. Das Projekt HyTrucks⁶⁸ hat den emissionsfreien LKW-Verkehr zwischen den Niederlanden, Belgien und dem Westen Deutschlands zum Ziel. 1.000 Brennstoffzellen-LKW und 25 HRS sollen bis zum Jahr 2025 für die Hafenlogistik eingesetzt werden.

5.2.5 FAZIT: BZ-FAHRZEUGE KÖNNEN SCHON HEUTE EINGESETZT WERDEN

Die Technologie der Brennstoffzellenfahrzeuge ist ausgereift und sicher. Lieferzeiten, die Anschaffungskosten für die Fahrzeuge und die Tankinfrastruktur stellen die größten Hürden dar. Derzeit sollte für die Lieferzeit bei allen Fahrzeugsegmenten mindestens ein Jahr für die Beschaffung kalkuliert werden. Nur im PKW-Segment sind kürzere Lieferzeiten zwischen 3 – 6 Monaten die Regel. Brennstoffzellenzüge von Alstom können zu Testzwecken ebenfalls etwas schneller bezogen werden und man muss mit Wartezeiten zwischen 6 – 9 Monaten rechnen. Schwere Brennstoffzellen-LKW sind derzeit nur in der Schweiz verfügbar.

⁶⁸ HyTrucks consortium aims to have 300 hydrogen-powered trucks on the road in Belgium by 2025 (portofantwerp.com)

Die vorhandene Tankstelleninfrastruktur kann von verschiedenen Fahrzeugtypen genutzt werden, wobei die Betankungsdrücke von 350 und 700 bar berücksichtigt werden müssen. Die Infrastruktur befindet sich noch im Aufbau und ist noch nicht flächendeckend vorhanden. Insbesondere bei öffentlichen Tankstellen mit einer 350 bar Druckstufe besteht Nachholbedarf. Viele öffentliche Wasserstofftankstellen rüsten jedoch auf 350 bar auf.

Hinsichtlich der Beschaffungskosten muss mit etwa dem dreifachen Preis bei Brennstoffzellenfahrzeugen im Vergleich zu einer herkömmlichen Verbrennervariante gerechnet werden. Hier wird aber eine deutliche Kostensenkung erwartet, wenn Brennstoffzellen künftig in größeren Stückzahlen produziert werden. Technische Herausforderungen bestehen bei den Fahrzeugen nicht. Die Kaltstartfähigkeit ist unproblematisch und die Fahrzeuge können bei bis zu -30°C starten. Die Lebensdauern der Brennstoffzellen liegen über 30.000 h. Im ÖPNV verfügen Busse jahreszeitenunabhängig über eine ähnliche Reichweitenperformance wie die Alternative mit Verbrennungsmotor. Alle Wasserstoffmobilitätslösungen sind lokal emissionsfrei und leise. Sie bieten eine gute Ergänzung zur batterieelektrischen Mobilität.

5.3 EINSATZ IN DER GEBÄUDEENERGIEVERSORGUNG

WAS WIR VORHABEN

GRÜNER WASSERSTOFF FÜR DIE GEBÄUDEENERGIEVERSORGUNG

Projektidee: Es soll ein Wohnquartier identifiziert werden, in dem der Einsatz einer Festoxidbrennstoffzelle (SOFC) zur Strom- und Wärmeversorgung pilotiert werden kann. Damit sollen Erfahrungen im Realbetrieb im Landkreis Reutlingen gesammelt und evaluiert werden, ob auf diese Weise Emissionen in der Gebäudeenergieversorgung reduziert werden können.



Initiator: KlimaschutzAgentur Reutlingen

Mögliche Partner: FairEnergie, GWG Reutlingen

Umsetzungsstandort: Landkreis/Stadt Reutlingen

Herausforderungen: Die Kosten, Effizienz und Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff für den Wärmesektor müssen geklärt werden sowie Förder- und Finanzierungshilfen gefunden werden.

Stand: Ideenstadium bzw. Entwicklung eines konkreten Konzepts, Identifizierung möglicher Partner sowie konkreter Quartiere zur Pilotierung der Idee

Um die Emissionen in der Gebäudeenergieversorgung zu mindern, wurde in den HyStarter-Dialogen der Einsatz von Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien für verschiedene Gebäudetypen diskutiert. Erste Projektideen wurden von der KlimaschutzAgentur entwi-

ckelt und Gespräche mit der Wohnungswirtschaft bzw. weiteren Marktbegleitern aufgenommen, um Festoxidbrennstoffzellen (SOFC) im Realbetrieb zu testen. Die derzeit auf dem Markt befindlichen Brennstoffzellen sind alle mit einem vorgeschalteten Reformer ausgestattet, der aus Erdgas Wasserstoff generiert und dann in die Brennstoffzelle gibt. Ein direkter Betrieb einer Brennstoffzelle mit Wasserstoff zur klimafreundlichen Strom- und Wärmeerzeugung im Gebäudesektor ist mit SOFC möglich und soll in einem Wohngebäude oder Wohnquartier getestet werden. Einen großen Vorteil vom Einsatz einer Brennstoffzelle im Gebäudesegment liegt im möglichen „stationären“ Betrieb der Brennstoffzelle, hierdurch erhöht sich die Lebensdauer und vereinfacht sich die Regelung des Gesamtsystems.

Technologie & Marktreife

Für die Wasserstoffanwendung im Gebäudeenergiebereich sind insgesamt drei Schritte notwendig. Die Schritte der Wasserstoffherzeugung und -speicherung wurden bereits im Kapitel 5.1 erläutert. Der dritte Schritt ist die Anwendung. Wasserstoff und Brennstoffzellen eignen sich für die Realisierung von Insel- oder Quartierslösungen zur Gebäudeenergieversorgung, insbesondere wenn kein Gasnetzanschluss vorhanden ist.

Bei der Anwendung wird der Wasserstoff per Brennstoffzelle rückverstromt, um den Strom- und Wärmebedarf der verschiedenen Gebäudearten zu decken. Die Technik ist in vielen Leistungsklassen erhältlich. Bei stationären Brennstoffzellensystemen ist meist ein Erdgas-, Biogas- oder Wasserstoffbetrieb möglich, sodass Nutzerinnen und Nutzer beim Wechsel der Versorgungsart ihr System vom Hersteller umstellen lassen können. Für Gebäudearten mit einem konstanten Energie- und Wärmebedarf eignen sich Hochtemperatur-Brennstoffzellen wie die SOFC (Arbeitstemperatur bis zu 1.000°C) und auch Wasserstoff-BHKWs, bei denen eine höhere Wärmeauskopplung möglich ist. Festoxidbrennstoffzellen (SOFC) sind skalierbar und lassen sich so auf die jeweilige Gebäudeart auslegen. Das System eignet sich insbesondere für Bestandsgebäude.

Bei Gebäudearten mit einer geringen Grundlast und einem jährlichen Stromverbrauch von max. 8.000 kWh, z.B. bei Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern, ist neben der SOFC ebenfalls eine PEM-Brennstoffzelle zu empfehlen. Bei diesen Gebäudearten sollte der Wärmebedarf zur Spitzenlastdeckung und der damit über die Abwärme der Brennstoffzelle hinausgeht, über eine Wärmepumpe, eine Gasbrennwerttherme oder direkt über Strom bereitgestellt werden. Die PEM-Brennstoffzelle bietet zwar hohe Stromkennzahlen und einen hohen elektrischen Wirkungsgrad, hat aber eine (im Vergleich zur SOFC) geringe Abwärme bei Temperaturen um 50°C. Gebäude, die weit vom Niedrigenergie- oder Passivhausstandard abweichen und einen hohen Wärmebedarf haben, sollten daher diese Wasserstoffanwendungen nicht primär verfolgen. Niedertemperaturbrennstoffzellen sind bei schwankenden Leistungsanforderungen aufgrund ihrer Kaltstartfähigkeit und ihrem hohen Wirkungsgrad sowohl im Voll- als auch (je nach Anwendung) im Teillastbetrieb anwendbar.

Die Technologien PEM-Elektrolyseur, Druckspeicher, PEM-Brennstoffzelle oder SOFC sind marktreif und werden bereits vielfach, auch im Gebäudeenergiebereich, eingesetzt. Alle benötigten Komponenten sind auf dem Markt erhältlich. Sie gelten als zuverlässig und sicher. Je nach Leistungsklasse und Gebäudeart kann die gesamte Anlage in einem Kellerraum errichtet werden. Der Speicher sollte aufgrund der Möglichkeit einer Wasserstofffreisetzung außerhalb von Gebäuden errichtet werden. Dies kann ober- oder auch unterirdisch

erfolgen, aber muss wegen der Notwendigkeit von Wartungsarbeiten jederzeit zugänglich eingehaust werden. Die Kosten einer autarken Einfamilienhausanlage, mit einem Energieverbrauch von 6.000 kWh pro Jahr (für Strom und Wärme), liegen bei ca. 70.000 € (HPS Picea), bei Neubauten ist eine Differenz von zusätzlich ca. 30.000 € zu einem konventionellen Gebäudeenergieversorgungssystem vorhanden. Die Kosten der Anlage sind von der Dimensionierung abhängig, je installierter kW-Leistung und kWh-Speicher sinken sie bei steigender Anlagengröße, d.h. der Leistungspreis sinkt.

Hersteller und Erfahrungen

Im Bereich der Festoxidbrennstoffzelle werden skalierbare Lösungen u.a. von Bosch oder Solidpower angeboten, die sich auf verschiedene Gebäudearten, vor allem Bestandsgebäude, anwenden lassen. Die SOFC von Bosch wird bereits in mehreren Pilotvorhaben u.a. in Bamberg, Wernau und Renningen eingesetzt. Installationen und Auslegungen eines Systems speziell für Einfamilienhäuser bietet Home Power Solutions an. Für individuelle Lösungen können die einzelnen Komponenten direkt von Herstellern bezogen werden, z.B. PEM-Elektrolyseure von Hydrogenics, Home Power Solutions, GreenHydrogen.DK, ProtonOnsite (NEL Hydrogen), Flaschenspeicher von Wystrach, Röhrenspeicher und ionische Verdichter von Linde, Hochtanks von VAKO, Brennstoffzellen von Proton Motor und Hydrogenics. Aber auch Brennstoffzellensysteme anderer Heizkesselhersteller sind auf dem Markt verfügbar, so z.B. aus dem Hause Viessmann.

Empfehlungen

Die Technologieauswahl ist immer von der Gebäudeart, aber auch vom Nutzerverhalten (maßgeblich Warmwasserbedarf), abhängig. Eine Umrüstung eines Bestandgebäudes auf ein Niedrigenergiestandard- oder Passivhaus wird nicht empfohlen. Hier empfiehlt sich der Einsatz von SOFC-Systemen. Bürogebäude sind individuell zu prüfen, auch hier ist je nach Energiebedarf und Grundlast der Wasserstoffeinsatz möglich.

Ein System mit PEM-Elektrolyseur und Niedertemperaturbrennstoffzelle empfiehlt sich bei Niedrigenergiestandard- oder Passivhäuser mit niedrigem Wärmebedarf. Hierbei handelt es sich meist um Neubauten von Ein- oder Mehrfamilienhäusern. Zusätzliche Wärmeerzeugung ist z.B. durch elektrische Wärmepumpen sicherzustellen, welche wiederum sinnvollerweise eigenerzeugten Solarstrom aus einer PV-Anlage nutzen.

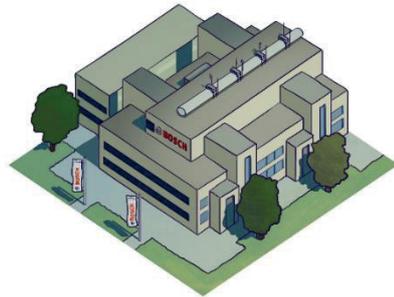
Vollautarke Systeme sollten nur realisiert werden, wenn sie unbedingt erforderlich sind. Ein Netzanschluss ist aus Redundanzgründen zur Sicherstellung der Energieversorgung immer sinnvoll. Die letzten 10 Prozent bis zur echten Autarkie sind zudem die teuersten. Die Umsetzung eines Komplettsystems wird von HPS, Emcel (aus Köln), HyCon (aus Herten) und diversen versierten Ingenieurbüros angeboten.

5.4 WASSERSTOFF-EINSATZ IN DER INDUSTRIE

WAS WIR VORHABEN

GRÜNER WASSERSTOFF IN DER INDUSTRIE

Projektidee: Einsatz von regional erzeugtem, grünen Wasserstoff als Prozessgas in der Halbleiterindustrie könnte den bisher genutzten grauen Wasserstoff substituieren. Die Robert Bosch GmbH kann sich vorstellen, am Standort in Reutlingen zukünftig auf grünen Wasserstoff aus der Region zu setzen. Der graue Wasserstoff wird derzeit per Trailer angeliefert. Eine Reinigungsanlage sowie ausreichend dimensionierte Speicher wären notwendig. Perspektivisch wäre auch die Anbindung an eine Wasserstoffinfrastruktur denkbar.



Initiator: Robert Bosch GmbH

Mögliche Partner: FairEnergie GmbH

Umsetzungsstandort: Bosch Reutlingen

Herausforderungen: Die Kosten für grünen Wasserstoff überstiegen die Preise für grauen Wasserstoff um ein Vielfaches. Die Qualitätsanforderungen an den Wasserstoff für die Halbleiterindustrie sind sehr hoch. Es müssen ausreichend Speicher zur Verfügung stehen. Die Lieferkette für eine zuverlässige Belieferung muss geschaffen werden.

Stand: Ideenstadium bzw. Entwicklung eines konkreten Konzepts, Identifizierung möglicher Partner sowie konkreter Rollenverantwortung., erste Gespräche dazu mit LRA und FairEnergie

Die stoffliche Nutzung von grünem Wasserstoff in der Industrie trägt zur Substitution von klimaschädlichem Erdgas oder grauem Wasserstoff bei. Die Mengen des benötigten Wasserstoffs sind in der Industrie meist hoch und kontinuierlich und machen die Produktion von größeren Mengen in der Region lukrativ, bei der die Wirtschaftlichkeit schneller gegeben ist. Erste Überlegungen wurden zu dieser Thematik mit den HyStarter-Akteuren Bosch und EKPO gemacht. Die Robert Bosch GmbH am Standort Reutlingen benötigt Wasserstoff für die Halbleiterproduktion kontinuierlich über das ganze Jahr hinweg. Die EKPO in Dettingen an der Erms nutzt Wasserstoff für die Entwicklung und Produktion von Brennstoffzellen. Diese industriellen Abnehmer und Weltmarktführer in Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie haben zum einen permanenten Wasserstoffbedarf und zum anderen prinzipielles Interesse, den Einsatz von regional produziertem, grünem Wasserstoff zu prüfen. Wichtig sind hier neben betriebswirtschaftlichen Aspekten die konstante Reinheit des gelieferten Wasserstoffs, die hohe Verfügbarkeit und die Liefersicherheit, da in der Regel 24/7 produziert wird, sowie entsprechend dimensionierte Speicher. Es muss geprüft werden, inwiefern der Aufbau einer Pipeline sinnvoll wäre. Der wirtschaftliche Bezug des grünen Wasserstoffs wird von der Industrie mit seinen hohen Verbräuchen vorausgesetzt.

Die Modellierung (vgl. Kapitel 5.5) im Rahmen von HyStarter hat gezeigt, dass in der Region ausreichend Kapazitäten vorhanden sind, um die bisherigen Bedarfe der Industrie zu decken. Weitere Industriezweige in der Region sollen ebenfalls hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten von regional erzeugtem, grünem Wasserstoff geprüft werden.

Wirtschaftlichkeit & Herausforderungen

Für Industrieunternehmen stellen insbesondere die Kosten für grünen Wasserstoff eine Herausforderung dar, da die Unternehmen grauen Wasserstoff derzeit für unter 2 €/kg beziehen können. Hohe Betriebskosten verursacht durch hohe Wasserstoffkosten, können sich nachteilig auf die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Herstellern mit weniger ambitionierten Umweltzielen auswirken. Der Verband der Chemischen Industrie (VCI) verweist auf die notwendige Sicherstellung niedriger Stromkosten oder Kompensationsmechanismen, um Unternehmen für die Mehrkosten ihrer klimafreundlichen Strategien zu entschädigen. In diesem Zuge werden sogenannte Carbon Contracts for Difference (CCfD) diskutiert, bei denen der Staat oder eine staatlich beauftragte Institution mit den Unternehmen einen Vertrag über garantierte Preise für innovative treibhausgasarme bzw. -neutral hergestellte Produkte abschließt.⁶⁹

5.5 VERKNÜPFUNG DER BAUSTEINE/MODELLIERUNG EINES ENERGIESYSTEMS

Ziel war es, in Zusammenarbeit mit dem Reiner-Lemoine-Institut (RLI) ausgewählte Konzeptideen für die bedarfsabhängige Wasserstofferzeugung in der Region Reutlingen zu analysieren und zu bewerten. Dazu wurde das RLI-eigene Simulationstool SMOOTH verwendet. Das Tool ermöglicht die Modellierung eines Energiesystems auf Komponentenbasis. Einzelne Komponenten (Speicher, Elektrolyseur, etc.) sind mit physikalischen Grundgleichungen als Modelle zur Benutzung verfügbar. Diese Komponenten wurden in verschiedenen Bilanzkreisen (Strom, Wasserstoff, etc.) verschaltet, um das Gesamtsystem darzustellen. Die Simulation des Gesamtsystems erfolgt in stündlichen Zeitschritten. Zur Optimierung des Systems wurden Optimierungsziele festgelegt und Bereiche angegeben, in denen die Auslegung einzelner Komponenten variiert wird (Peakleistung der PV-Anlage, Leistung des Elektrolyseurs, etc.). Ergebnis der Optimierung war eine an die Ziele angepasste Auslegung der Komponenten des Systems. Für die HyStarter-Region Reutlingen wurden sowohl die vorhandenen als auch die zukünftigen Bedarfe an Wasserstoff mit den regionalen Wasserstofferzeugungspotenzialen zusammengebracht, um zu ermitteln, ob und zu welchen Preisen die Bedarfe gedeckt werden können (vgl. Abbildung 30).

⁶⁹ <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/2020-09-29-ig-bce-vci-h2-strategie-final.pdf>

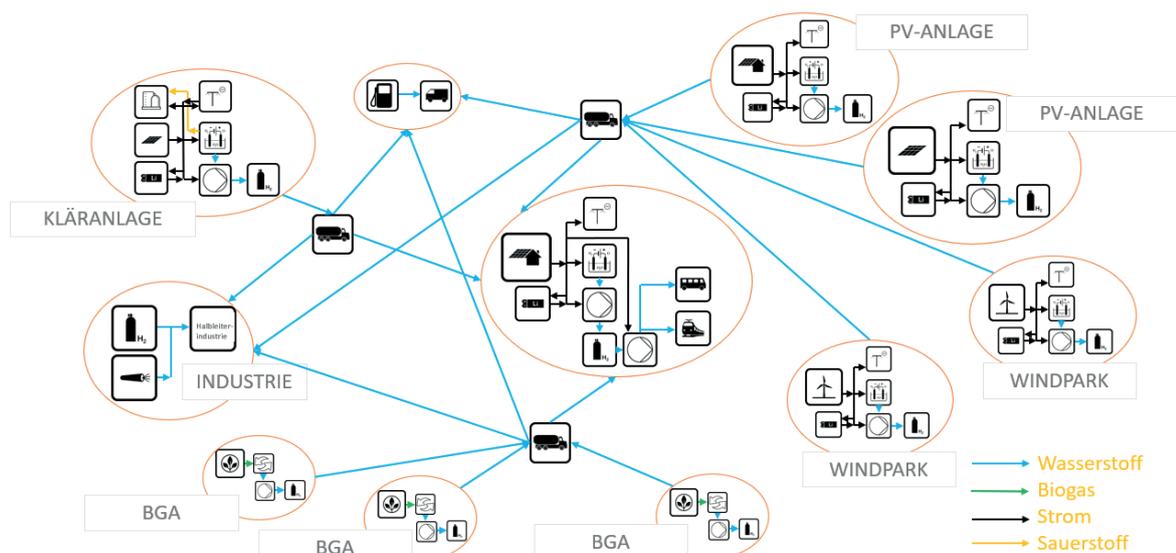


Abbildung 30: Detailliertes Technologiekonzept einer dezentrale Wasserstoffproduktion im LK Reutlingen (© Landratsamt Reutlingen/Reiner-Lemoine-Institut)

Die Bedarfe umfassen zum einen die Mobilitätsanwendungen mit drei Bussen (7,28 kg/100 km), drei Triebwagen (28 kg/100 km) und einem Müllfahrzeug (30 kg/Woche). Zum anderen sind die Bedarfe der Industrie mit 8,5 kg/h und die Bedarfe der Kläranlage mit 1.142 MWh/a Strom und 6.800 kg/Tag Sauerstoff in die Simulation eingegangen. Für die Wasserstoffherzeugung sind mehrere PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 8.400 kW, Windparks mit insgesamt 6.000 kW Leistung und Biogas (BGA) mit 1.032,5 m³/h eingeplant. Zudem sind die Transportdistanzen vom Erzeugungsstandort zum Verbrauchsstandort (Tankstelle/Industrie) berechnet worden, um die Trailerbelieferung einzupreisen. Stellt man die angenommenen Wasserstoffbedarfe dem theoretischen Erzeugungspotenzial in der Region gegenüber, zeigt sich das enorme Potenzial für die regionale Wasserstoffherzeugung (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Wasserstoffherzeugungspotenziale und Wasserstoffbedarfe

ERZEUGUNGSPOTENZIAL IN kg H ₂ /a		ABNAHMEPOTENZIAL IN kg H ₂ /a	
WEA	209.105 kg H ₂ /a	3 Busse	15.545 kg H ₂ /a
Biogasanlagen	983.503 kg H ₂ /a	3 Triebwagen (Zug)	90.566 kg H ₂ /a
PV-Anlagen	166.186 kg H ₂ /a	1 Müllfahrzeug	1.560 kg H ₂ /a
		Industrie	74.460 kg H ₂ /a
Summe	1.358.794 kg H₂/a		182.131 kg H₂/a

Die Bedarfe können in der Region mühelos mit ausreichend Wasserstoff versorgt werden. Dies ist je nach Erzeugungspfad und Standort mit unterschiedlichen Wasserstoffgestehungskosten verbunden. Es kann festgehalten werden, dass die HyStarter-Region Reutlingen ein enormes Potenzial für die Wasserstoffproduktion, primär durch die Biogasanlagen als auch sekundär durch PV-Anlagen und Windkraftanlagen besitzt und dies wirtschaftlich darstellbar ist.

Wasserstoff-Erzeugungskapazitäten am Beispiel einer Biogasanlage

Der Elektrolysepfad mit PV- (und Wind-) Strom soll in der Region weiterverfolgt werden. Zusätzlich wurde die Biogasdampfreformierung als ein zusätzlicher Pfad diskutiert und in der Simulation betrachtet. Unklar ist an dieser Stelle aber nach wie vor die Anerkennung als grüner Wasserstoff. Am Beispiel einer Biogasanlage (BGA) sollen an dieser Stelle die möglichen Produktionskapazitäten und Gestehungskosten beispielhaft für die Region aufgezeigt werden. In Tabelle 3 sind dazu die Ergebnisse der Optimierung einer Biogasanlage (550m³/h) dargestellt.

Tabelle 3: Ergebnisse der optimierten Komponenten an einer BGA

KOMPONENTEN	ERGEBNISSE
Wasserstoffspeicher	1.160 kg
Kompressor	24 kg/h

Durch die Biogasanlage werden am Standort 177.739 kg H₂/a produziert, was 1.634.379 m³/a Biogas bedeutet. Wird konstant 550 m³/h Biogas in Wasserstoff umgewandelt, kann insgesamt 523.848 kg H₂/a durch die Biogasanlage erzeugt werden. Es werden also nur 34 Prozent des insgesamt 4.818.000 m³/a Biogases für die Wasserstoffproduktion genutzt. Die Dampfreformierung und nachgeschaltete Reinigung benötigen 1.235 MWh/a sowie der Kompressor 236 MWh/a elektrische Energie. Durch die bedarfsabhängige Wasserstoffproduktion wird 177.405 kg H₂/a des Wasserstoffs an die Bedarfe geliefert.

Abbildung 31 zeigt die Belieferungen an den jeweiligen Bedarfsstandort und die Belieferungsmenge, max. Belieferungsmenge und Anzahl der Belieferung der Tankstellen und Industrie. Die Belieferung wird mit zwei Trailern durchgeführt.

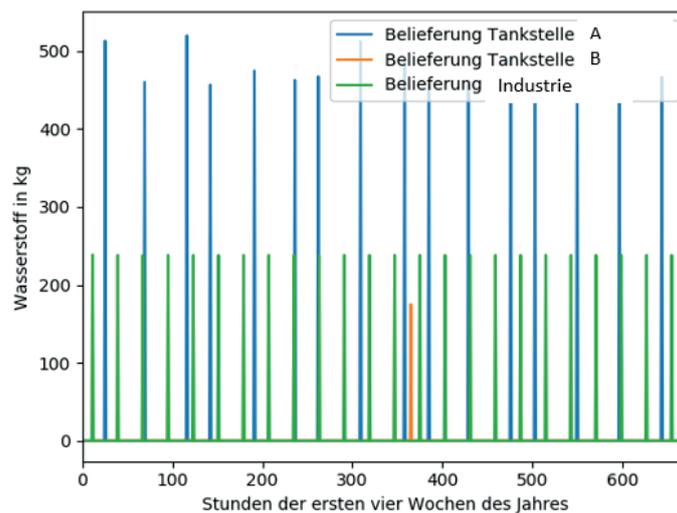


Abbildung 31: Belieferung der Tankstellen und Industrie (© Landratsamt Reutlingen/Reiner-Lemoine-Institut)

Tabelle 4: Belieferungsmenge, max. Belieferungsmenge und Anzahl der Belieferung der Tankstellen und Industrie

BELIEFERUNG NACH	MENGE IN kg/a	MAX. BELIEFERUNG IN kg/a	ANZAHL DER BELIEFERUNGEN
Tankstelle A	101.250	524	209
Tankstelle B	1.660	175	10
Industrie	74.495	239	313

Kosten

In Tabelle 5 sind die Annuitäten der einzelnen Komponenten der Szenarien aufgelistet. Es ist erkennbar, dass bei einer vollständigen Abnahme des gesamten produzierten Wasserstoffs ein Gewinn erzielt werden kann. Die Wasserstoffgestehungskosten liegen unter dem politisch festgesetzten Wasserstoffpreis von 9,50 €/kg brutto (7,98€/kg netto)⁷⁰. Somit kann ein wirtschaftlicher Business-Case entwickelt werden.

Tabelle 5: Kostenbetrachtung an einer Biogasanlage

KOMPONENTE	KOSTEN IN €/a
Biogas (37,5 ct/m ³)	+612.892
Dampfreformierung + Reinigung	+162.747
Kompressor	+22.840
Wasserstoffspeicher	+68.646
Strom	+272.713
Summe	+1.139.838
H ₂ -Gestehungskosten in €/kg	+6,41
Ertrag in €/kg	-1,57

Fazit

Die Modellierung eines regionalen Energiesystems durch das Reiner-Lemoine Institut hat aufgezeigt, dass ein enormes Potenzial in der Region steckt und sich die ermittelten Wasserstoffbedarfe insbesondere über den Weg der Biogasdampfreformierung mit lediglich einer Anlage decken ließen. Es kann bereits heute wirtschaftlich Wasserstoff erzeugt werden.

Grundsätzlich liegt aber ein Vorteil in einer dezentralen Erzeugung mit mehreren Produktionsstätten, d.h. das neben weiteren Biogasanlagen ebenfalls PV-Elektrolyse-Wasserstoff und Wind-Wasserstoff relevant sind, insbesondere in Hinblick auf Redundanz und Ausfallsicherheit.

Für einen Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft ist ein Abnehmerkonsortium zu empfehlen, das einen Initialabsatz für den Wasserstoff ermöglicht, welcher noch über die derzeit angegebenen Bedarfe der Mobilität und Industrie hinausgeht. In den nächsten Schritten gilt es daher auch Fragen der Versorgungssicherheit, der Standortwahl und der Genehmigungspflichten von Erzeugungsanlagen zu prüfen.

⁷⁰ <https://h2.live/>

5.6 BETREIBERMODELLE

In den HyStarter-Dialogen wurden drei Beispiele für Wasserstoffmarktmodelle vorgestellt, die den Wasserstoffhandel zwischen der Erzeuger- und Verbraucherseite organisieren. Angebot und Nachfrage der Akteure könnten so bedarfsgerecht zusammengeführt werden. Im sogenannten Marktmodell „Basic“ wird auf dem Marktplatz das Mengenmatching organisiert und somit Transparenz über Angebot und Nachfrage in der Region geschaffen (vgl. Abbildung 32). Die Vertragsausgestaltung, die Wasserstofflieferung und die Zahlungsvorgänge erfolgen bei diesem Basismodell weiterhin bilateral zwischen Wasserstoffherzeuger und -verbraucher. Die Finanzierung der Marktplatzdienstleistungen könnte durch ein Dienstleistungsentgelt der auf dem Marktplatz gelisteten Wasserstoffherzeuger erfolgen.

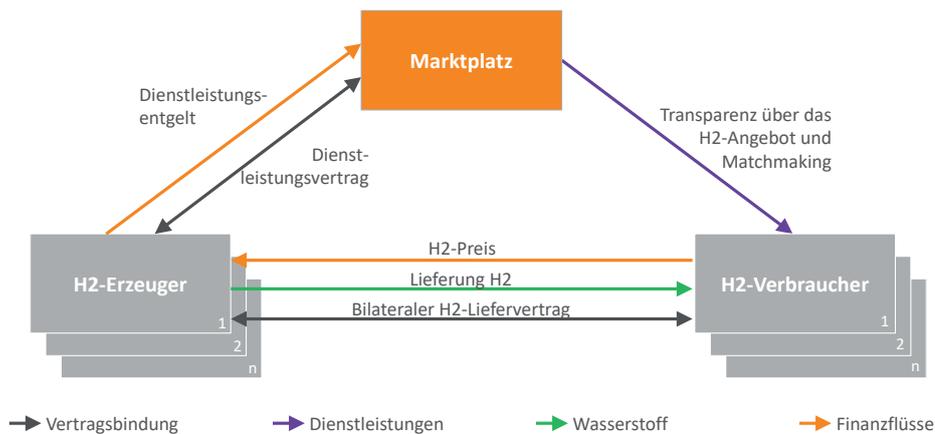


Abbildung 32: Marktmodell: Basic (© BMVI/BBHC)

Im Marktmodell „Advanced“ wickelt der Marktplatz zusätzlich zum Mengenmatching die Zahlungsvorgänge dienstleistend ab (vgl. Abbildung 33). Dafür schließen die Erzeuger und Verbraucher jeweils Wasserstofflieferverträge mit dem Marktplatz. Der Marktplatz leitet die Wasserstoffzahlungen der Verbraucher, abzüglich eines Dienstleistungsentgeltes, an die Erzeuger weiter.

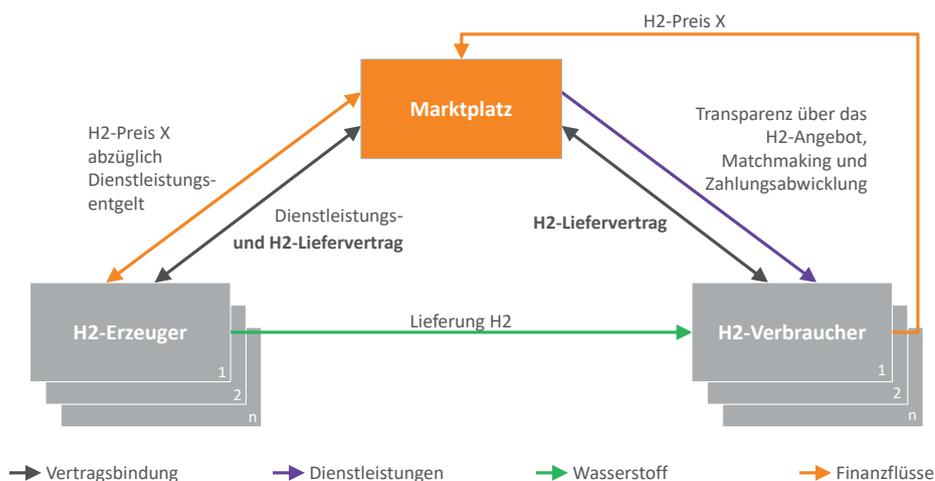


Abbildung 33: Marktmodell: Advanced (© BMVI/BBHC)

Im Marktmodell „Sorglos“ garantiert der Marktplatz den Wasserstoffherzeugern zudem vorher vereinbarte Wasserstoffabnahmen und den Wasserstoffverbrauchern vorher vereinbarte Wasserstoffverfügbarkeiten zu einem vertraglich definierten Preis (vgl. Abbildung 34). Das dargestellte Marktplatzkonzept entkoppelt somit energetische von finanziellen Flüssen.

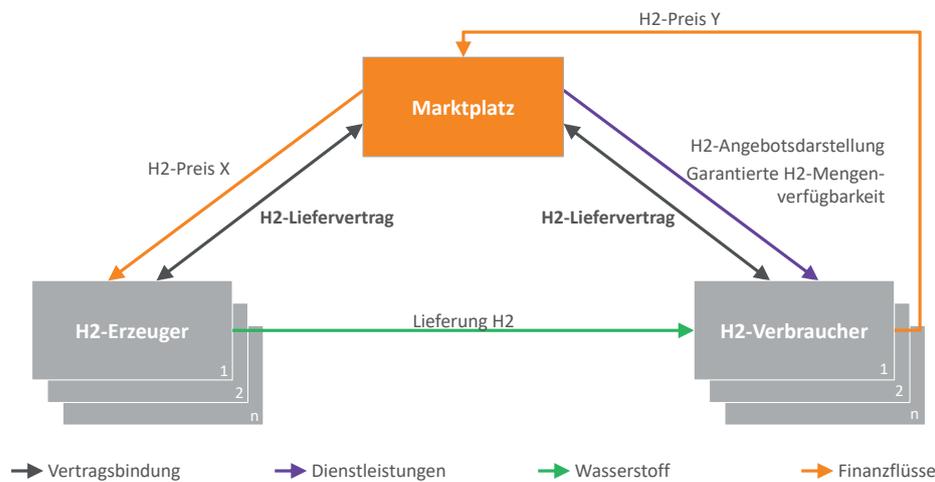


Abbildung 34: Marktmodell: Sorglos (© BMVI/BBHC)

Veranlasst beispielsweise ein Elektrolysebetreiber einen Wasserstofftransport zu einer Tankstelle, erhält er eine entsprechende Vergütung vom Betreiber des Marktplatzes. Dabei garantiert der Marktplatzbetreiber sowohl dem Wasserstoffherzeuger als auch dem Tankstellenbetreiber feste Verkaufs- bzw. Einkaufspreise, sodass sie Investitionssicherheit für ihre Infrastruktur haben. Wenn diese einheitlichen Einkaufspreise, unter Berücksichtigung notwendiger Zulagen für „Weiterverarbeitungsprozesse“, auch einheitlich an die Endkundin und den Endkunden in der Region weitergegeben werden, würde das Konzept einer Kanibalisierung verschiedener Akteure entgegenwirken. Beispielsweise würde vermieden, dass unterschiedliche Tankstellen den Wasserstoff zu unterschiedlichen Preisen anbieten und die Nutzerinnen und Nutzer nur dort tanken, wo der Wasserstoff am günstigsten ist.

Gleichzeitig garantiert der Marktplatzbetreiber dem Elektrolysebetreiber Abnahmemengen und den Nutzerinnen und Nutzer verfügbare Wasserstoffmengen. Flottenbetreiberinnen und Flottenbetreiber, die Brennstoffzellenfahrzeuge anschaffen möchten, müssten sich somit keine Gedanken um die Kraftstoffversorgung mit Wasserstoff machen.

Um Angebot und Nachfrage im zeitlichen Verlauf synchronisieren zu können, müssten sowohl Erzeuger als auch Nachfrager ihre Wasserstoffmengen im Vorhinein anmelden. Bei eventuellen Unterdeckungen sowie für den Fall von Produktionsausfällen muss der Marktplatzbetreiber Backup-Lieferverträge vereinbaren. In Summe würde ein derartiger Marktplatz Preis- und Mengenrisiken für die Anwenderinnen und Anwender übernehmen. Zudem müssen die Akteure keine bilateralen Verträge miteinander abschließen – einziger Vertragspartner wird der Marktplatz. Hierdurch sinken neben den Risiken und Kosten auch administrative Aufwände, wodurch Eintrittsbarrieren gesenkt werden. Voraussichtlich würden beim Marktplatzbetreiber in der Sorglos-Variante in der Anfangszeit negative Margen anfallen. Abhilfe schaffen könnte eine Überführung des Ansatzes des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Programms *H2Global* vom internationalen in den regionalen Kontext. Das *H2Global*-Konzept sieht den temporären Ausgleich der Differenz zwischen Ankaufspreis und Verkaufspreis für grünen Wasserstoff durch Fördermittel vor.

6. FAHRPLAN ZUR UMSETZUNG DES ZIELSYSTEMS

Der Landkreis Reutlingen hat als HyStarter-Region in den letzten Monaten konkrete Projektideen zur Etablierung einer lokalen Wasserstoffwirtschaft im Landkreis und darüber hinaus erarbeitet. Die Projekte sollen einen entscheidenden Beitrag zur Verkehrs- und Energiewende im Landkreis leisten. Ein Schwerpunkt liegt dabei im Handlungsfeld Mobilität. Das Landratsamt möchte hier seine Vorbildfunktion wahrnehmen und prüft als Aufgabenträger des öffentlichen Personennahverkehrs und als öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger (öRE) den Einsatz von Brennstoffzellenbussen, -zügen und -müllfahrzeugen. Kernstück ist die Erzeugung von grünem Wasserstoff in der Region (überwiegend aus PV-Strom per Elektrolyse und aus Biogas) sowie die Idee der Umstellung von zunächst einer Buslinie in Bad Urach und der Schwäbischen Alb-Bahn auf Wasserstofffahrzeuge inklusive des Aufbaus einer Kombi-Tankstelle für Busse, Züge und Pkw in Münsingen.

Im Folgenden werden die wesentlichen Schritte dargestellt, die bislang in Erwägung gezogen wurden. Diese werden mit konkreten Maßnahmen für die erste Phase hinterlegt (vgl. Anhang 2: Maßnahmen (M1-M7) zur Umsetzung der regionalen Ziele). Der Planungs- und Umsetzungshorizont wurde für die Vorhaben der Region in drei Zeitabschnitte untergliedert (vgl. Abbildung 35). Grundsätzlich können die jeweiligen Phasen auch zu einem früheren Zeitpunkt starten. Sowohl die Vorbereitungsphase als auch die Einleitung der Demonstrationsphase sind in erheblichem Maße von den dafür notwendigen Finanzierungs- und Förderinstrumenten abhängig.

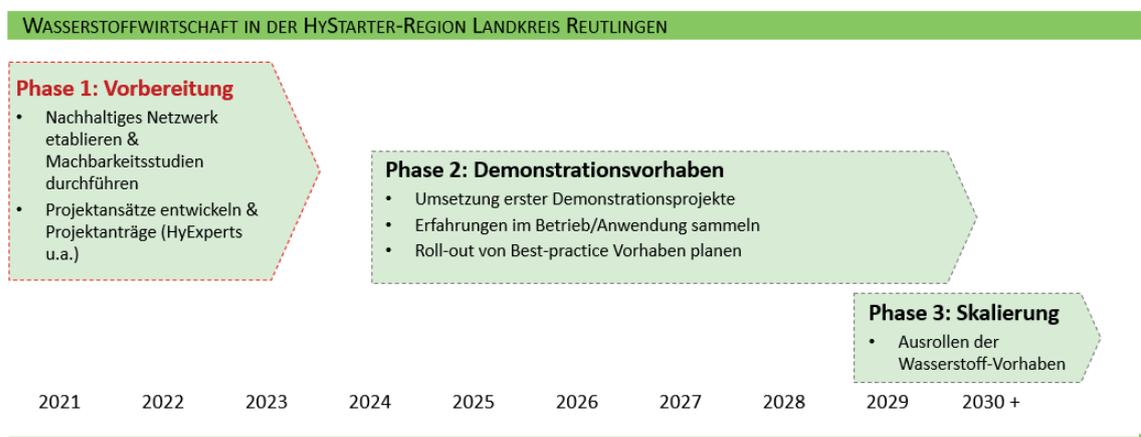


Abbildung 35: Zeitplan zur Realisierung einer Wasserstoffwirtschaft (© Landratsamt Reutlingen/Nuts One)

6.1 VORBEREITUNGSPHASE: PLANUNGS- UND UMSETZUNGSHORIZONT AB 2021

Die Akteure der HyStarter-Region Reutlingen haben sich unter Federführung des Landratsamtes bereits aktiv dafür eingesetzt, nicht nur das aufgebaute Netzwerk weiterzuführen, sondern ebenfalls die angestoßenen Überlegungen und Handlungsansätze vertiefend auf ihre Machbarkeit hin zu überprüfen. Dazu wurde zum einen im Juni 2021 aus dem HyStarter-Netzwerk heraus eine Bewerbung als HyExperts-Region eingereicht. Zum anderen hat sich das HyStarter-Netzwerk Reutlingen gemeinsam mit diversen Akteuren aus angrenzenden Landkreisen, u.a. dem Landkreis Tübingen, dem Alb-Donau-Kreis und der Stadt Ulm mit dem Konzept Hy-FIVE im Mai 2021 um Mittel aus dem EFRE-Förderprogramm „Modellregion Grüner Wasserstoff“ des Landes Baden-Württemberg beworben. Beide Bewerbungen waren erfolgreich und versprechen ein Fortführen der Wasserstoffaktivitäten in der Region.

Unabhängig von der Bewilligung der genannten Fördervorhaben plant das Landratsamt die Weiterführung des Netzwerkes und die Koordination der Wasserstoffvorhaben im Landkreis (2.1 Akteurskreis und Koordination von Wasserstoffvorhaben im Landkreis (M1)). Neben regelmäßigen Akteurs- und Vernetzungstreffen soll ebenfalls die interessierte Öffentlichkeit und die Presse in die Wasserstoffaktivitäten eingebunden bzw. informiert werden. Eine Vernetzung über die Landkreisgrenzen hinaus mit dem Landkreis Tübingen ist auch im Zuge der HyStarter-Aktivitäten erfolgt und wurde in den genannten Bewerbungen zu Förderaufrufen vertieft. Hier wird auf die langjährige intensive Zusammenarbeit als RegioWIN Region Neckar-Alb und die gemeinsame Verantwortung für die Umsetzung des prämierten Regionalen Entwicklungskonzeptes FORTUNA² ‚Mit intelligenten Ideen Zukunft nachhaltig gestalten‘, aufgebaut. Das Landratsamt möchte ebenfalls für sein regionales Netzwerk Ansprechpartner, aber auch Vorbild sein, um eine nachhaltige Entwicklung unter Einbindung von Wasserstoff im Landkreis voranzutreiben. Die IHK Reutlingen möchte parallel mit seinem IHK-Netzwerk Wasserstoff die Industrie ansprechen, um sich zu diesem Thema zu vernetzen.

Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien sind bereits fester Bestandteil von Bachelor- und Masterstudiengängen der Hochschule Reutlingen. Im Lehr- und Forschungszentrum „Reutlinger Energiezentrum“ mit dem angeschlossenen Masterstudiengang „Dezentrale Energiesysteme und Energieeffizienz“ setzt die Hochschule Reutlingen einen besonderen Schwerpunkt im Bereich dezentraler Energielösungen und möchte auch weiterhin den Nachwuchs für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft heranbilden und sich aktiv in Forschungs- und Demonstrationsvorhaben, wie der wissenschaftlichen Evaluierung des Brennstoffzellen-Müllsammelfahrzeuges in Reutlingen (TBR), einbringen (vgl. 2.2 Nachwuchsförderung & wissenschaftliche Begleitung für H₂-Projekte (M2)).

Für die Erzeugung und Anwendung von grünem Wasserstoff in der Region gibt es verschiedene, vielversprechende Ansätze, die im Rahmen von Projekten näher untersucht und konkretisiert werden sollen. Ziel ist es, lokal und zeitnah grünen Wasserstoff zu erzeugen und vor allem im Mobilitätsbereich zur Anwendung zu bringen. Im Bereich der Wasserstoffherzeugung wird im Landkreis Reutlingen angestrebt, die Potenziale aus PV und Wind (Elektrolyse) sowie Biomasse bzw. Biogas (Biogasdampfreformierung, Vergasung, Hydro-

lyse/Thermolyse, Holzverbrennung) weiter zu analysieren und mit den EE-Anlagenbetreibern erste Startvorhaben in der Region zu konzipieren (vgl. 2.3 Wasserstoff-Erzeugung (M3)). Der Vernetzungs- und Koordinierungsstelle des Landratsamtes kommt hierbei eine zentrale Rolle zu. Machbarkeitsstudien müssen die Potenziale der verschiedenen Erzeugungspfade aufgreifen, welche auch die Wirtschaftlichkeit und Finanzierungsmöglichkeiten einer standortspezifischen Wasserstoffherzeugung implizieren.

Zur Einhaltung der Clean Vehicle Directive und zur Erfüllung der für Deutschland verbindlichen Klimaziele soll der ÖPNV und SPNV zeitnah klimafreundlich umgestaltet werden, u.a. durch die Beschaffung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen (vgl. 2.4 Fahrzeugbeschaffung (M4)). Zudem soll eine entsprechende Sichtbarkeit der neuen Technologien in der Breite der Gesellschaft über den Einsatz erfolgen. Konkret bedeutet dies die Überlegung des Einsatzes von zunächst drei Wasserstoffbussen im Stadtverkehr der Kurstadt Bad Urach sowie die Identifizierung weiterer geeigneter Regionalverkehrslinien für den Einsatz von Brennstoffzellenfahrzeugen. Hierbei müssen nicht nur Erfahrungen im Betriebseinsatz gesammelt werden, sondern auch Fragen zu Anpassungen in den Betriebsabläufen bei der Umstellung auf BZ-Antriebe beantwortet werden. Zudem soll die Strecke der Schwäbischen Alb-Bahn hinsichtlich des Einsatzes von BZ-Zügen geprüft werden. Für ÖPNV und SPNV gilt zudem eine Betankungsoption als Voraussetzung für den Betriebseinsatz. Konkret soll hier der Standort Bahnhof Münsingen auf die Realisierung einer Kombi-Wasserstofftankstelle für ÖPNV und SPNV hin evaluiert sowie die Belieferung der Tankstelle mit grünem Wasserstoff geprüft werden (vgl. 2.5 Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur (M5)).

Im Zuge einer nachhaltigen Regionalentwicklung sollen auch Bedarfe und Angebote der Wirtschaft eng miteinander verzahnt werden und die lokale Wasserstoffwirtschaft gemeinsam mit der ansässigen Industrie konzipiert und aufgebaut werden. Zum einen könnten die ortsansässigen Unternehmen mit einem hohen Wasserstoffbedarf mit grünem Wasserstoff aus der Region versorgt werden. Für die in der Region ansässige Industrie (u.a. Robert Bosch GmbH und EKPO) soll die Nutzung grünen Wasserstoffs geprüft werden (vgl. 2.6 Wasserstoff in der Industrie (M6)). Hier stellen sich insbesondere Fragen zur Belieferung (Transportmedium, Frequenz der Belieferung und Liefersicherheit), der Aufreinigung des Wasserstoffs sowie zur Wirtschaftlichkeit insbesondere im Vergleich zum derzeit genutzten grauen Wasserstoff.

Im Bereich der Gebäudeenergieversorgung und speziell Wärmenutzung geht es um die Nutzung der Abwärme bei der Wasserstoffherzeugung sowohl über Elektrolyseverfahren als auch über biogasbetriebene Dampfreformer. Es gilt zu überprüfen, welchen Beitrag Brennstoffzellenheizgeräte, die im Gebäudebereich mit Wasserstoff in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden, zu diesem Ziel beitragen können. Damit wäre zudem eine Förderung des nachhaltigen Bauens und der Quartiersentwicklung erreicht (Projektpartner KlimaschutzAgentur im Landkreis Reutlingen gGmbH) (vgl. 2.7 Wasserstoff in der Gebäudeenergieversorgung (M7)). Dazu müssen ebenfalls die Qualifizierungsbedarfe im Handwerk geprüft werden. Der Zentralverband des Deutschen Handwerks (ZDH) wird hierzu zeitnah eine Positionierung veröffentlichen.

6.2 DEMONSTRATIONSPHASE: PLANUNGS- UND UMSETZUNGSHORIZONT AB 2023/24

Die Umsetzung erster Pilotvorhaben ist stark von den Investitionsfördermaßnahmen, aber auch den Beschaffungsfenstern der Unternehmen, beispielsweise von neuen Fahrzeugen abhängig. Die Demonstrationsphase könnte mit dem Betrieb einer Wasserstofftankstelle sowie dem Einsatz von drei Brennstoffzellen-Linienbussen eingeleitet werden. Der Fahrzeugeinsatz soll weitere Erkenntnisse über Herausforderungen und notwendige Betriebsanpassungen bringen. Bei erfolgreichem Einsatz von BZ-Bussen und BZ-Zügen in der Region, soll die Ausweitung des Einsatzes geprüft und weitere Flottenbetreiber und Logistikunternehmen angesprochen werden. Werden weitere BZ-Fahrzeuge in der Region eingesetzt, muss zudem die Dimensionierung der Tankstelle bzw. der Zubau weiterer Tankstellen an Knotenpunkten in der Region sowie deren Versorgung mit regional erzeugtem, grünem Wasserstoff geklärt werden. Die Wasserstoffproduktionskapazitäten sollen dabei nachfrageorientiert ausgebaut werden, um die Abnahme zu sichern. Die in der ersten Phase untersuchten (sinnvollen) Erzeugungspfade für die Region, sollen durch die regionalen Partner umgesetzt werden.

In Zusammenarbeit mit der Industrie sollte ein erstes Startvorhaben zum Einsatz von grünem Wasserstoff umgesetzt werden sowie der für eine Skalierung notwendige Infrastrukturaufbau geplant werden. Im Bereich der Wärmeversorgung werden erste Startprojekte entwickelt und in die Demonstration gebracht. Zusätzlich werden weitere Konzepte zum Wasserstoffeinsatz bzw. zum Einsatz stationärer Brennstoffzellen in unterschiedlichen Gebäudetypen entwickelt.

Das Landratsamt nimmt eine wesentliche Rolle in der Demonstrationsphase ein, da es über die Einführung von Quoten in Ausschreibungen die Nachfrage nach Wasserstoff und nach Brennstoffzellenfahrzeugen stärkt. Auch in der Umsetzungsphase sind die Einbindung der Öffentlichkeit bzw. die Informationsmöglichkeiten zu den Technologiepotenziale (bspw. über die Klimaschutz Agentur) sowie die (Weiter-)Bildung an Hochschulen, aber auch in Industrie und Handwerk relevant für den erfolgreichen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft.

6.3 REGIONALE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT AUF BASIS VON ERNEUERBAREN ENERGIEN: PLANUNGS- UND UMSETZUNGSHORIZONT AB 2030

Der Aufbau der regionalen Wasserstoffwirtschaft erfolgt auf Basis der erfolgreich demonstrierten Projekte und mit Unterstützung politisch verankerter Ziele, die auch gesellschaftlich getragen werden. Wasserstoff unterstützt die Ziele eines klimaneutralen Landkreises und ergänzt im ÖPNV und SPNV die batteriebetriebene Mobilität. Die Müllsammelfahrzeuge sind ebenfalls elektrisch mit BZ-REX unterwegs. Die Versorgung der mobilen Anwendungen ist durch ausreichend Wasserstofftankstellen gewährleistet. Die regional ansässige Industrie ersetzt Erdgas und grauen Wasserstoff zunehmend durch grünen Wasserstoff, zudem wird der Industrie ein regionaler Absatzmarkt für ihre Komponenten und Produkte erschlossen. In der Gebäudeenergieversorgung ergänzen sich ebenfalls verschiedene strom- und wasserstoffbasierte Konzepte. Der eingesetzte Wasserstoff wird – soweit möglich – durch regionale Kapazitäten gedeckt.

7. UNTERSTÜTZUNGSBEDARFE BEIM SYSTEMAUFBAU

7.1 FÖRDERMÖGLICHKEITEN VERSTETIGEN

Für den initialen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft sind in der HyStarter-Region enorme Potenziale vorhanden. Dennoch wird Unterstützung, insbesondere in Bezug auf das finanzielle Risiko als Anschlag für die Umsetzung der erarbeiteten Handlungsansätze, erforderlich sein. Die Technologien sind derzeit noch mit erheblichen (Mehr-)Kosten im Vergleich zu bisherigen fossilen Systemen verbunden, auch wenn diese keine langfristige Alternative mehr darstellen. Der Wunsch der Region möglichst schnell in die Umsetzung zu kommen, auch wenn die Wirtschaftlichkeit des Technologieeinsatzes derzeit noch nicht gegeben ist, bedeutet, dass für alle Wasserstoffanwendungen bzw. deren Vorbereitung, eine Förderung notwendig ist. Neben den Fördermöglichkeiten im HyLand-Programm gibt es zahlreiche weitere Förderprogramme, die Konzeptentwicklungen, Machbarkeitsstudien, aber auch die Beschaffung von Fahrzeugen und Elektrolyseuren sowie den Aufbau von Betankungsinfrastrukturen fördern. Die NWS stellt in Aussicht, dass die Förderung in den kommenden Jahren weiter bestehen bleibt, um den Aufbau einer konkurrenzfähigen Wasserstoffwirtschaft national und europaweit zu unterstützen. Auch wenn eine Übersicht zu bestehenden Förderprogrammen mit einer gewissen Halbwertszeit belastet ist, sollen an dieser Stelle, die für die regionalen Vorhaben relevanten Fördermöglichkeiten vorgestellt werden.

HYLAND - WASSERSTOFFREGIONEN IN DEUTSCHLAND (AUFRUF 2) (BMVI)



HyExperts: Konzeptionelle Beratung zum Aufbau einer regionalen Wasserstoffwirtschaft für Kommunen (Auslobung laufend)
 HyPerformer: Praktische Unterstützung beim Roll-out von bereits entwickelten Gesamtvorhaben einer regionalen Wasserstoffwirtschaft durch Gewährung von Investitionszuschüssen (Förderaufruf ausstehend, vrsl. Winter 2021/22)



<https://www.ptj.de/projektfoerderung/nip/hyland-aufruf2>



Einbindung aller Projektideen denkbar

IDEENWETTBEWERB „WASSERSTOFFREPUBLIK DEUTSCHLAND“ (BMBF)



Fokusbereiche sind
 1. LEITPROJEKTE ZU GRÜNEM WASSERSTOFF
 (1) Wasserelektrolyse im Industriemaßstab, (2) Transportlösungen für grünen Wasserstoff und (3) Europäische Systemintegration von Wasserstofftechnologien (Einreichungsfrist: unbefristet)
 2. GRUNDLAGENFORSCHUNG GRÜNER WASSERSTOFF (Fokus Materialforschung) (Einreichungsfrist: 21. Oktober 2021)
 WER: Grundsätzlich antragsberechtigt sind Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen mit Forschungs- und Entwicklungskapazitäten in Deutschland sowie Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und andere juristische Personen des öffentlichen oder privaten Rechts.



<https://www.ptj.de/projektfoerderung/anwendungsorientierte-grundlagenforschung-energie/ideenwettbewerb-gruener-wasserstoff>



Projektideen zur Wasserstofferzeugung

FÖRDERAUFRUF FÜR KOMMUNALE KLIMASCHUTZ-MODELLPROJEKTE (BMU)



ZIEL
 Umsetzung wegweisender investiver Modellprojekte im kommunalen Klimaschutz (direkte Treibhausgasreduzierungen, regen durch bundesweite Sichtbarkeit zur Nachahmung und Umsetzung weiterer Klimaschutzprojekte an)
 Besonders förderwürdig sind Modellprojekte aus den Handlungsfeldern Abfallentsorgung, Abwasserbeseitigung, Energie- und Ressourceneffizienz, Stärkung des Umweltverbands, grüne City-Logistik und Treibhausgasreduktion im Wirtschaftsverkehr, Smart-City (Vernetzung, Integration und intelligente Steuerung verschiedener umwelttechnischer Infrastrukturen). (Einreichungsfrist: noch nicht gestartet)



WER
 Antragsberechtigt sind Kommunen (Städte, Gemeinden und Landkreise) und Zusammenschlüsse von Kommunen sowie Betriebe, Unternehmen und sonstige Einrichtungen mit mindestens 25 Prozent kommunaler Beteiligung.



<https://www.ptj.de/klimaschutzinitiative/modellprojekte>

Projektideen im Mobilitätsbereich

KLIMASCHUTZKONZEPTE UND KLIMASCHUTZMANAGEMENT (BMU)



ERSTVORHABEN

Erstellung von Klimaschutzkonzepten durch Klimaschutzmanagerinnen und -manager sowie die Umsetzung erster Maßnahmen in den Bereichen integrierter Klimaschutz, klimafreundliche Wärme- und Kältenutzung, klimafreundliche Mobilität.

ANSCHLUSSVORHABEN

Umsetzung von Klimaschutzkonzepten durch Klimaschutzmanagerinnen und -manager in denselben Bereichen (s.o.)

AUSGEWÄHLTE KLIMASCHUTZMASSNAHME

Eine ausgewählte Klimaschutzmaßnahme aus dem vom obersten Entscheidungsgremium beschlossenen Klimaschutzkonzept, die Vorbildcharakter besitzt und einen substantziellen Beitrag zum Klimaschutz leistet.



<https://www.ptj.de/projektfoerderung/nationale-klimaschutzinitiative/kommunalrichtlinie/ksm>



Projektideen des Landratsamtes für o.g. Maßnahmen

MODELLREGION GRÜNER WASSERSTOFF (EFRE PROGRAMM BW (2021 – 2027))



Das Umweltministerium unterstützt mit einem neuen Förderprogramm den Aufbau einer „Modellregion Grüner Wasserstoff“. Ziel ist es, in dieser Modellregion grünen Wasserstoff als Energieträger zu verwenden und die damit verbundenen technologischen, wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Gesichtspunkte zu beleuchten.



<https://um.baden-wuerttemberg.de/en/wirtschaft/ressourceneffizienz-und-umwelttechnik/wasserstoffwirtschaft/foerderprogramm/>



Einbindung aller Projektideen denkbar

NATIONALES INNOVATIONSPROGRAMM WASSERSTOFF- UND BRENNSTOFFZELLENTECHNOLOGIE (NIP) (BMVI)



Förderaufrufe zur Fahrzeugbeschaffung, Machbarkeitsstudien, Elektrolyseuren etc.

- a. Richtlinie zur Förderung von **Nutzfahrzeugen** (N1-N3) mit klimafreundlichen Antrieben (in Notifizierung)
- b. Richtlinie zur Förderung Alternativer Antriebe von **Bussen** im Personenverkehr (in Notifizierung)
- c. Richtlinie zur Förderung Alternativer Antriebe im **Schienerverkehr** (veröffentlicht)
 - die Beschaffung von innovativen Schienenfahrzeugen oder die Umrüstung auf alternative Antriebe,
 - den Bau bzw. Umbau von Lade- und Betankungsinfrastruktur für den Einsatz innovativer Schienenfahrzeuge im deutschen Eisenbahnnetz, sowie Elektrolyseanlagen zur Erzeugung von Wasserstoff für den Schienenverkehr,
 - die Erstellung von Studien zu Einsatzmöglichkeiten.
- Unternehmen, KMU, Kommunale Einrichtungen



<https://www.now-gmbh.de/foerderung/foerderprogramme/wasserstoff-und-brennstoffzelle/>

<https://www.ptj.de/projektfoerderung/schienerfahrzeuge>



Projektideen zur Busbeschaffung für den ÖPNV, BZ-Zuginsatz, Kombi-Tankstelle

ZUKUNFTSPROGRAMM WASSERSTOFF BADEN-WÜRTTEMBERG (UMWELTMINISTERIUM BW)



Ziel des Zukunftsprogramms Wasserstoff BW (ZPH2) ist es, die Unternehmen dabei zu unterstützen, eine zukunftsfähige Wasserstoffwirtschaft in Baden-Württemberg aufzubauen. Dafür stellt das Land 26,4 Millionen Euro bereit. Im Fokus des Programms stehen baden-württembergische Unternehmen (beispielsweise Hersteller, Ausrüster, Zulieferer und Anwender) und deren mit der Forschung entwickelte Projekte (beispielsweise Technologien, Anlagen, Konzepte, Prozesse), die zur Anwendung gebracht werden sollen.

Für produzierende Firmen, welche noch nicht direkt in Forschungs- und Entwicklungsprojekte einsteigen können, ist es zunächst möglich, ihre Ideen auf Umsetzbarkeit prüfen zu lassen.

Fokusbereiche sind:



<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/wirtschaft/wasserstoffwirtschaft/foerdermoeglichkeiten/zukunftsprogramm-wasserstoff-bw/>



Projektideen der Wasserstofferzeugung, die die Themen Speicherung und Transport beinhalten

BUNDESFÖRDERUNG FÜR INNOVATIVE BRENNSTOFFZELLENHEIZGERÄTE (KFW)



Gefördert wird der Einbau von stationären Brennstoffzellensystemen in den Leistungsklassen von 0,25 bis 5,0 kW elektrischer Leistung in neue oder bestehende Wohn- und Nichtwohngebäude. Zudem werden Kosten für ein Brennstoffzellensystem und dessen Installation und Inbetriebnahme sowie für die erforderlichen Umfeldmaßnahmen – bei integrierten Geräten auch die Kosten für den weiteren Wärmeerzeuger, für einen Vollwartungsvertrag in den ersten 10 Jahren und Leistungen der Energieeffizienz-Expertin und -experten gefördert. Die Förderung – bis zu 40 Prozent der förderfähigen Gesamtkosten – kann u.a. von Privatpersonen, Wohnungsbaugenossenschaften, Kommunen, (kommunalen) Unternehmen u.v.m. in Anspruch genommen werden.



[https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/Foerderprodukte/Energieeffizient-Bauen-und-Sanieren-Zuschuss-Brennstoffzelle-\(433\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/Foerderprodukte/Energieeffizient-Bauen-und-Sanieren-Zuschuss-Brennstoffzelle-(433)/)



Projektideen zur Gebäudeenergieversorgung

BUNDESFÖRDERUNG FÜR ENERGIEEFFIZIENTE GEBÄUDE (BEG) (BAFA)



Die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) für die energetische Gebäudeförderung für (Nicht-)Wohnungsgebäude und Einzelmaßnahmen richtet sich an Privatpersonen und Wohnungseigentümergeinschaften, kommunale Gebietskörperschaften, gemeinnützige Organisationen, Unternehmen u.v.m. Es werden bis zu 50 Prozent der Fachplanung und Baubegleitung gefördert.



https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/Foerderprogramm_im_Ueberblick/foerderprogramm_im_ueberblick_node.html;jsessionid=83ABCA71B19E402E34F780389BD50C67.1_cid390



Projektideen zur Gebäudeenergieversorgung

7.2 KLARE POLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

Sowohl die Regional-, Landes- als auch Bundespolitik kann den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in der Region Reutlingen unterstützen. Um die entwickelten Wasserstoffprojekte schnell in die Umsetzung oder gar auf die Straße zu bringen, würden uns – den HyStarter-Akteuren – die nachfolgenden Punkte helfen:

Angebot und Verfügbarkeit von Brennstoffzellenfahrzeugen erhöhen: Die bisherigen Handlungsansätze im Mobilitätsbereich sind stark von der Fahrzeugverfügbarkeit reglementiert. Insbesondere im Bereich der Lastkraftwagen, aber auch landwirtschaftlicher Nutzmaschinen sind die Angebote gering bis nicht vorhanden. Für den Transport des regionalen Wasserstoffs sind Brennstoffzellenfahrzeuge aber relevant, um nicht konträr zu den Ideen der Klimaschutzmaßnahmen zu laufen. Das Angebot deutscher Hersteller ist im Bereich der Brennstoffzellenfahrzeuge bislang gering.

Kriterien für grünen Wasserstoff zeitnah definieren: Insbesondere das Kriterium der räumlichen Nähe von Erzeugung und Verbrauch der erneuerbaren Energien führt zu Unsicherheiten im Akteurskreis. Bei der Standortwahl des Elektrolyseurs werden ebenfalls die Verbraucherinnen und Verbraucher des grünen Wasserstoffs in die Überlegungen mit eingebunden. Ein klarer regulativer Rahmen hilft bei der Planbarkeit von Wasserstoff-Erzeugungsprojekten.

Finanzielle Entlastung von regionalen Wasserstoffprojekte: Eine Befreiung von Steuern, Abgaben und Umlagen sollte für alle Wasserstoffprojekte in der Region ermöglicht werden, wenn der Strom per Direktleitung aus erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen genutzt wird. Diese Maßnahmen schaffen einen Anreiz zur Wasserstoffherzeugung und ermöglichen einen wirtschaftlich darstellbaren Betrieb und Erwerb des Wasserstoffs.

Anerkennung von Wasserstoff aus Biomasse als grüner Wasserstoff: Der derzeit als orange definierte Wasserstoff sollte vollumfänglich als grüner Wasserstoff anerkannt werden, um ein Schließen regionaler Kreisläufe zu ermöglichen.

Genehmigungsverfahren vereinfachen: Die BImSchG Genehmigungen sind vielfach aufwendig und zeitintensiv und sollten bspw. beim Aufbau von Elektrolyseuren oder Dampferformern erleichtert werden. Generell würde eine Unterstützung bzw. Schulung bei Genehmigungsverfahren zum Aufbau der Wasserstoffwirtschaft – sowohl auf Genehmigungs- als auch auf Antragstellerseite helfen.

Enger Austausch mit der Politik: Eine konstante Verbindung der regionalen Akteure mit der Landes- und Bundespolitik würde zu einem besseren Verständnis der gegenseitigen Bedarfe beitragen, um die Wasserstoffwirtschaft zügig aufzubauen und entsprechende Unterstützungsmechanismen schnell und flexibel zu entwickeln oder anzupassen.

Der Aufbau einer kommunalen Wasserstoffplattform: Eine kommunale Wasserstoffplattform würde die Kommunikation zwischen Städten und Landkreisen, die im Bereich Wasserstoff bereits Erfahrung haben und erste Projekte umgesetzt haben, erleichtern. Regionen könnten von den Erfahrungen anderer profitieren und über die Landkreisgrenzen hinaus Projekte einfacher realisieren.

8. REFLEKTION UND AUSBLICK

Der HyStarter-Akteurskreis hat sich trotz der besonderen Herausforderungen durch die Covid-19-Pandemie in einem – über ein Jahr laufenden – intensiven Prozess zu den Technologieoptionen sowie Anwendungs- und Erzeugungsmöglichkeiten von Wasserstoff ausgetauscht. Die Akteure haben sich über ein Basiswissen zu Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien hinaus auch in diversen Online-Fach austauschen zu alternativen Pfaden der Wasserstofferzeugung informiert und in zusätzlichen Kleingruppentreffen Projektideen entwickelt und erste Umsetzungsschritte eingeleitet. Die in HyStarter erarbeiteten Ziele betonen den Wunsch, Wasserstoff als Teil der Energiewende- und Klimaschutzstrategien einzubinden. Die für die Handlungsansätze erforderlichen Technologien sind marktreif. Als Meilensteine werden neben der regionalen Erzeugung von Wasserstoff auch seine Nutzung im Mobilitätsbereich und der Industrie gesehen. Auch im Bereich der Gebäudeenergieversorgung soll der Einsatz von SOFC pilotiert werden. Zunächst gilt es, die angestrebten Lösungen in wirtschaftliche und umsetzbare Konzepte zu gießen und diese zu pilotieren.

Die Arbeiten des vom Landratsamt aufgebauten Akteurskreis sind mit dem Ende des HyStarter-Projektes aber nicht vorbei. Vielmehr haben sie die Grundlage für die weiteren Schritte geschaffen. Neben einer gemeinsamen Bewerbung als HyExperts-Region wurde vom Landratsamt auch eine Bewerbung als Modellregion Baden-Württemberg für grünen Wasserstoff gemeinsam mit anderen Partnern eingereicht. Beide Initiativen wurden zugesagt, sodass an den begonnenen Themen weiter gearbeitet werden kann mit dem Ziel, diese zur Umsetzung zu bringen. Darüber hinaus wird das Netzwerk stetig über die Landkreisgrenzen hinaus erweitert, um Wasserstoffbedarfe und Wasserstofferzeugungsmöglichkeiten sinnvoll miteinander zu verknüpfen. Dazu wurde bereits im Rahmen von HyStarter der Landkreis Tübingen eingebunden und der Kontakt zu weiteren HyLand-Regionen und anderen Wasserstoffprojekten in geographischer Nähe gesucht. Mit der HyExperts- und Modellregion-Bewerbung wurde die Zusammenarbeit auf die gesamte Region Mittlere Alb-Donau ausgeweitet. In jedem Fall wird die bestehende Netzwerkarbeit durch das Landratsamt weitergeführt.

Die Arbeit findet aber nicht nur auf fachlicher Ebene statt. Die HyStarter-Region Reutlingen hat bereits zu Beginn des Projektes den Willen gehabt, die Öffentlichkeit in die anstehenden Wasserstoffarbeiten mit einzubinden. Als Auftakt der Dialogreihe wurde daher eine größere Veranstaltung durchgeführt, um der interessierten Öffentlichkeit die Möglichkeit zu geben, sich über das Thema Wasserstoff und erste regionale Aktivitäten zu informieren, aber auch eigene Vorstellungen und Ideen im Rahmen von Workshops zu den verschiedenen Clustern der Wasserstoffwirtschaft einzubringen. Die weiteren ist es gelungen HyStarter-Aktivitäten ebenfalls über verschiedene Presseartikel im Reutlinger Generalanzeiger und den Reutlinger Nachrichten zu platzieren, insbesondere da während der Corona-Pandemie der Besuch großer öffentlicher Veranstaltungen in Präsenz nicht möglich waren. Den Bürgerinnen und Bürgern der Region wurden die HyStarter-Aktivitäten in verschiedenen Beiträgen im Regionalfernsehen vorgestellt. Darüber hinaus fanden mehrere Pressegespräche mit den Akteuren des HyStarter Kreises statt, unter anderem dem Kreisbauernverband und Bottenschein Reisen. Für den 14. Oktober 2021 ist die Übergabe dieser Konzeptstudie an den Staatssekretär Dr. Andre Baumann geplant. Die bisherige hohe Motivation der Akteure lässt darauf schließen, dass die angestoßenen Themen auch weiterhin aufmerksam verfolgt, in die Unternehmen eingebettet und umgesetzt werden.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Die neun HyStarter Wasserstoff-Regionen in Deutschland (2019-2021) (© NOW GmbH)	2
Abbildung 2: Die Lage der HyStarter Region LK Reutlingen in Deutschland (© LRA Reutlingen)	4
Abbildung 3: Anteil erneuerbarer Energien und deren Zusammensetzung am Stromverbrauch des Landkreises Reutlingen in 2017 (© Landkreis Reutlingen)	8
Abbildung 4: Endenergieverbrauch im Landkreis nach Sektoren in 2017 (© Landkreis Reutlingen)	9
Abbildung 5: THG-Emissionen im Landkreis nach Sektoren in 2017 (© Landkreis Reutlingen)	9
Abbildung 6: Anteil erneuerbarer Energien und deren Zusammensetzung am Wärmeverbrauch des Landkreises Reutlingen in 2017 (© Landkreis Reutlingen)	10
Abbildung 7: Entwicklung der Wasserstoffnutzung in verschiedenen Anwendungsbereichen (© BMVI/BBHC)	12
Abbildung 8: Pfade der Wasserstofferzeugung (© BMVI/BBHC)	14
Abbildung 9: Zielbild der HyStarter-Region Landkreis Reutlingen (© BMVI/David Borgwardt)	16
Abbildung 10: Regionale Handlungsziele (Quelle: Eigene Darstellung, Grafiken: © BMVI/David Borgwardt)	19
Abbildung 11: Verortung der Projektansätze in der Region (Quelle: Nuts One GmbH. Datengrundlage: Eigene Erhebung, Kartengrundlage: © OpenStreetMap contributors) ...	20
Abbildung 12: Erzeugungsweg Elektrolyse-Wasserstoff (© Stadtwerke Esslingen)	24
Abbildung 13: Energie-/Stoffströme in der Elektrolyse (© BMVI/BBHC)	24
Abbildung 14: Erlöse der Elektrolyseprodukte (© BBHC)	25
Abbildung 15: Anteilige Kostenparameter der Wasserelektrolyse (© BBHC)	27
Abbildung 16: Sensitivität der Wasserstoffgestehungskosten in Abhängigkeit der Volllaststunden (© BBHC)	27
Abbildung 17: Strombezugskosten für Wind- und PV-Anlagen verschiedener Altersklassen (© BMVI/BBHC)	28
Abbildung 18: Mögliche Strompreisbestandteile für Elektrolyseure (2021) (© BBHC)	29
Abbildung 19: Wege der EEG-Umlagereduzierung (© BBHC)	29
Abbildung 20: Strombezugskosten für Elektrolyseure in verschiedenen Konstellationen (© BBHC)	31
Abbildung 21: Wasserstoffgestehungskosten in der Elektrolyse in den Jahren 2020 und 2030 (© BMVI/BBHC)	31
Abbildung 22: Biogasdampfpreformierung zur Wasserstofferzeugung (© BtX Energy)	33
Abbildung 23: Energie-/Stoffströme in der Dampfpreformierung von (Bio-)Methan (© BMVI/BBHC)	34
Abbildung 24: Wasserstoffgestehungskosten in der Dampfpreformierung von Biomethan für zwei Anlagengrößen (© BMVI/BBHC)	35
Abbildung 25: Minimale Wasserstofftransportkosten in Abhängigkeit von Durchsatz und Transportdistanz (Quelle: Yang et al., 2008)	37
Abbildung 26: Komponenten und Größenkategorien einer Wasserstofftankstelle (Quelle: Shell 2017)	40
Abbildung 27: Wasserstoffmarge an der Tankstelle und Tankstellenkosten (© BMVI/BBHC)	41
Abbildung 28: Brennstoffzellenbus © Freudenberg	43
Abbildung 29: Brennstoffzellen-Müllsammelfahrzeug © TBR Reutlingen	47

Abbildung 30: Detailliertes Technologiekonzept einer dezentrale Wasserstoffproduktion im LK Reutlingen (© Landratsamt Reutlingen/Reiner-Lemoine-Institut).....	54
Abbildung 31: Belieferung der Tankstellen und Industrie (© Landratsamt Reutlingen/Reiner-Lemoine-Institut)	55
Abbildung 32: Marktmodell: Basic (© BMVI/BBHC)	57
Abbildung 33: Marktmodell: Advanced (© BMVI/BBHC)	57
Abbildung 34: Marktmodell: Sorglos (© BMVI/BBHC).....	58
Abbildung 35: Zeitplan zur Realisierung einer Wasserstoffwirtschaft (© Landratsamt Reutlingen/Nuts One).....	59

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Wege und Anforderungen zur Stromsteuerbefreiung für Elektrolyseure.....	30
Tabelle 2: Wasserstofferzeugungspotenziale und Wasserstoffbedarfe.....	54
Tabelle 3: Ergebnisse der optimierten Komponenten an einer BGA	55
Tabelle 4: Belieferungsmenge, max. Belieferungsmenge und Anzahl der Belieferung der Tankstellen und Industrie	56
Tabelle 5: Kostenbetrachtung an einer Biogasanlage.....	56

QUELLENVERZEICHNIS

- [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020]: „Die Nationale Wasserstoffstrategie“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Link: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Biosphärengebiet Schwäbische Alb, 2021] „Flächendaten“, Biosphärengebiet Schwäbische Alb, Link: <https://www.biosphaerengebiet-alb.de/images/lebensraum/Basisinfo/2008-04-21%20RP%20Flaechendaten%20BG.pdf>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [CertifHy 2021] Link: <https://www.certifyhy.eu/> zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [EEG 2021] „§69b Herstellung von Grünem Wasserstoff“, Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2021), Link: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/_69b.html, online zuletzt abgerufen am 30.08.2021
- [Guidehouse, 2020] „European Hydrogen Backbone, How a dedicated Hydrogen Infrastructure can be created“, Guidehouse im Auftrag, Link: https://guidehouse.com/-/media/www/site/downloads/energy/2020/gh_european-hydrogen-backbone_report.pdf, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [H2 Mobility, 2021] „H2 tanken. Wasserstoffmobilität beginnt jetzt.“ H2 Mobility, Link: <https://h2.live/>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [HANDELSBLATT 2021] „PROGNOS Zukunftsatlas“, Handelsblatt, Link: <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/zukunftsatlas-2019/>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021.
- [Kraftfahrbundesamt, 2020] Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken (Stand 01.09.2020), Link: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/ZulassungsbezirkeGemeinden/b_zulassungsbezirke_inhalt.html;jsessionid=B30A89FF7F313AD024067A8A1164FC5B.live21323?nn=2598042, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021a] „Kurzinformation“, Landkreis Reutlingen, Link: https://www.kreis-reutlingen.de/de/Landkreis-Politik/Staedte-und-Gemeinden/Kurzinformation#faqAnchor_18, online zuletzt abgerufen am: 13.07.2021

- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021b] „Unser Landkreis“, Landkreis Reutlingen, Link: <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Landkreis-Politik/Unser-Landkreis>, online zuletzt abgerufen am: 13.07.2021
- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021c] <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Landkreis-Politik/Unser-Landkreis>
- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021d] „Kreislandwirtschaftsamt“, Landkreis Reutlingen, Link: <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Service-Verwaltung/Buergerservice-A-Z/Landwirtschaftsamt>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021.
- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021e] „Landschaftserhaltungsverband im Landkreis Reutlingen e.V.“, Landkreis Reutlingen, Link: <https://www.kreis-reutlingen.de/1013>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021f] „Der Landkreis Reutlingen ist Modellregion für nachhaltige Entwicklung“, Landkreis Reutlingen, Link: <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Wirtschaft-Bildung/Nachhaltigkeit>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021g] „RegioWIN Fortuna Neckar-Alb“, Landkreis Reutlingen, Link: <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Wirtschaft-Bildung/RegioWIN-Region>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021h] „Klimaschutz im Landkreis Reutlingen“, Landkreis Reutlingen, Link: <https://www.kreis-reutlingen.de/klimaschutz>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021k/i] „Treibhausgas-Emissionen und erneuerbare Energien“, Landkreis Reutlingen, Link: <https://www.kreis-reutlingen.de/klimaschutz/CO2-Bilanz>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [LANDKREIS REUTLINGEN, 2021l/j] „Lebenslage“, Landkreis Reutlingen, Link: <https://www.kreis-reutlingen.de/de/Service-Verwaltung/Lebenslagen/Lebenslage?view=publish&item=situation&id=777>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [LEADER Mittlere Alb e.V., o. J.] „LEADER Mittlere Alb“, LEADER Mittlere Alb e.V., Link: <https://www.leader-alb.de>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2021] „Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg“, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Link <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-baden-wuerttemberg/klimaschutzgesetz/>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2020] „Novelle des Klimaschutzgesetzes“, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft

- Baden-Württemberg, Link: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimaschutz-in-baden-wuerttemberg/klimaschutzgesetz/verfahren-zur-weiterentwicklung-des-klimaschutzgesetzes/>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [NOW, 2021] „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe im Schienenverkehr vom 3. Februar 2021.“, NOW, Link: <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/06/Richtlinie-zur-Foerderung-alternativer-Antriebe-im-Schienenverkehr.pdf>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Port of Antwerp, 2021] “HyTrucks consortium aims to have 300 hydrogen-powered trucks on the road in Belgium by 2025”, Port of Antwerp, Link: <https://newsroom.portofantwerp.com/hytrucks-consortium-aims-to-have-300-hydrogen-powered-trucks-on-the-road-in-belgium-by-2025#>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2020] „Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität.“, Prognos, Öko-Institut, Agora Verkehrswende, Link: https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB.pdf, letzter Abruf: 14.07.2021
- [Schwäbisches Streuobstparadies e.V., o.J.] „Schwäbisches Streuobstparadies“, Schwäbisches Streuobstparadies, Link: <https://www.streuobstparadies.de/>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Shell, 2017] „Shell Wasserstoff-Studie. Energie der Zukunft? Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H₂.“, Shell, Link: https://www.shell.de/media/shell-publications/shell-hydrogen-study/_jcr_content/par/toptasks_e705.stream/1497968981764/1086fe80e1b5960848a92310091498ed5c3d8424/shell-wasserstoff-studie-2017.pdf, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [STADT REUTLINGEN, 2021] „Wirtschaftsstandort“, Stadt Reutlingen, Link: <https://www.reutlingen.de/de/Wirtschaft/Wirtschaftsstandort/Standortvorteile>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2020] „Regionalatlas Deutschland“, Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Link: <https://www-genesis.destatis.de/gis/genView?GenMLURL=https://www-genesis.destatis.de/regatlas/AI013-1.xml&CONTEXT=REGATLAS01>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021

- [TBR, 2021] „Nachricht: ‚Das Juwel in unserem Fuhrpark‘“, TBR, Link: <https://www.tbr-reutlingen.de/de/TBR-Allgemein/Nachrichten/Nachricht?view=publish&item=article&id=16273>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Verband der chemischen Industrie & Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie, 2020] „Gemeinsame Strategie von IG BCE und VCI zu einer Wasserstoffwirtschaft“, Verband der chemischen Industrie (VCI) & Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE), Link: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/2020-09-29-ig-bce-vci-h2-strategie-final.pdf>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Wasserstoff für Baden-Württemberg, 2021] „Wasserstoff für Baden-Württemberg: Wir informieren über unsere Arbeit“, Wasserstoff für Baden-Württemberg, Link: <https://www.h2-fuer-bw.de/>, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [Weichenhain et al., 2020] „Potentiale der Wasserstoff und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg“, Weichenhain, Uwe; Lange, Simon; Koolen, Jan; Benz, Anja; Hartmann, Sandra; Heilert, Daniela; Henninger, Sandra; Kallenbach, Tom, Link: https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Daten/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021
- [WEIDINGER, 2015] „Landwirtschaft im Landkreis Reutlingen - Zwischen Innovation und Tradition“, Elke Weidinger. In: Landinfo 5/2015, S.8-12. Link: https://lel.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-mlr/get/documents_E-2136774911/MLR.LEL/PB5Documents/lel/Abteilung_1/Landinfo/Landinfo_extern/05_2015/Elke_Weidinger_Landinfo_5_2015.pdf?attachment=true, online zuletzt abgerufen am: 14.07.2021

ANHANG

ANHANG 1: AKTEURSÜBERSICHT



LANDKREIS
REUTLINGEN

Der **Landkreis Reutlingen**, vertreten durch das Landratsamt, hat sich als Modellregion für nachhaltige Entwicklung einen Namen gemacht. Der Landkreis ist nicht nur touristisch attraktiv, sondern auch bedeutender Wirtschaftsraum mit traditionellen leistungsfähigen Handwerksbetrieben, mittelständischen Unternehmen, weltweit bekannten Industrieunternehmen und Neugründungen von Medizin- und Biotechnologiefirmen. Der Landkreis hat großen Anteil am Biosphärengebiet Schwäbische Alb. Ökonomie und Ökologie in Einklang zu bringen, gehört daher zum Selbstverständnis des Landkreises.



BOSCH
Technik fürs Leben

Die Bosch-Gruppe ist ein international führendes Technologie- und Dienstleistungsunternehmen mit weltweit rund 395 000 Mitarbeitenden (Stand: 31.12.2020). Die Bosch-Gruppe umfasst die **Robert Bosch GmbH** sowie ihre rund 440 Tochter- und Regionalgesellschaften in rund 60 Ländern. Mit ihren weltweit mehr als 400 Standorten ist die Bosch-Gruppe seit Frühjahr 2020 CO₂-neutral. Der Geschäftsbereich Automotive Electronics der Robert Bosch GmbH mit Stammsitz in Reutlingen entwickelt und fertigt seit mehr als 50 Jahren mikroelektronische Bauteile und Systeme. Das Produktspektrum für automobiler Anwendungen reicht von Halbleitern und MEMS-Sensoren (mikroelektromechanische Systeme) bis hin zu Steuergeräten unter anderem für Karosserieelektronik, Bremsregelsysteme und Motorsteuerung. Zu Automotive Electronics gehören darüber hinaus im Bereich Unterhaltungselektronik Bosch Sensortec GmbH, die MEMS-Sensoren für verschiedenste Anwendungen liefern. Zudem ist Bosch eBike Systems in Reutlingen ansässig.



Seit mehr als 22 Jahren betreibt die **Bioenergie Aichelau GmbH & Co. KG** einen landwirtschaftlichen Betrieb mit einer Biogas Anlage. Die Energieerzeugung aus nachhaltigen Rohstoffen liegt der Bioenergie Aichelau sehr am Herzen, deshalb sind sie an neuen Technologien wie die Gewinnung von Wasserstoff aus Biogas sehr interessiert.



Die **HöRa Naturenergie GmbH & Co KG** entstand im Jahr 2011 durch den Zusammenschluss mehrerer landwirtschaftlicher Betriebe im Umkreis der Anlage. Vorrangiges Ziel ist die Wärmeversorgung des nahegelegenen, örtlichen Schulzentrums der Gemeinde Hohenstein mit der Abwärme der Biogasanlage. Durch den Zusammenschluss soll die Versorgung der Anlage mit Biomasse, welche nicht zwingend für die Versorgung des eigenen Betriebes notwendig ist und der anfallenden Gülle, sichergestellt werden. Die Erzeugung von "grünem" Wasserstoff kann eine interessante Alternative für den Weiterbetrieb der Anlage nach Ablauf der 20-jährigen EEG-Frist darstellen.



Die **Hohensteiner Bioenergie GbR** produziert Strom aus Biogas und Photovoltaikanlagen. Das Biogas wird nachhaltig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt, welche in einem Stoffkreislauf nach der Vergärung wieder der Natur als wertvoller Dünger zugeführt werden.

BOTTENSCHHEIN REISEN

Bottenschein Reisen wurde vor fast 70 Jahren gegründet und hat sich vom Kleinunternehmen zu einem renommierten mittelständischen Verkehrsbetrieb und Reiseveranstalter mit einem Fuhrpark von über 60 Bussen entwickelt. Das Unternehmen ist neben der Reiseveranstaltung als zweites großes Geschäftsfeld im Öffentlichen Personennahverkehr tätig. Auch hier hat sich das kontinuierliche Wachstum mit der Gründung und Beteiligungen an der SVL Süddeutsche Verkehrslinien GmbH & Co. KG in Laupheim und der NVBC Nahverkehrsgesellschaft Biberach GmbH & Co. KG in Laupheim bemerkbar gemacht. Die SVL betreibt ÖPNV in den Landkreisen Alb-Donau Kreis, Biberach, Reutlingen und Heidenheim. In der gesamten Unternehmensgruppe sind ca. 160 eigene und Fahrzeuge von Partnern im Einsatz. Bottenschein Reisen verfügt hierfür über eine eigene Kfz-Meisterwerkstatt mit motivierten, jungen und erfahrenen Mechanikern.



Die **Bürgergenossenschaft Erneuerbare Energien Neckar-Alb** hat die Deckung des Energiebedarfs zu 100 % aus erneuerbaren Energien für die Region Neckar-Alb bis zum Jahr 2030 zum Ziel. Die Genossenschaft projiziert, finanziert und betreibt Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien in den Landkreisen Reutlingen, Tübingen und Zollern-Alb und sie unterstützt Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien, zur Steigerung der Energieeffizienz und

zum Klimaschutz. Schwerpunkt ist der Bau und der Betrieb von Photovoltaikanlagen sowie die Beteiligung an Windparks.



Das 2021 gegründete Joint Venture EKPO Fuel Cell Technologies (EKPO) ist Full-Service-Supplier für Brennstoffzellenstacks und Komponenten. Die Technologie, die Anwendungen und die Produkte für die Brennstoffzelle basieren auf Know-how, das in über zwei Jahrzehnten aufgebaut wurde. Das Ziel ist klar definiert: Die Entwicklung und Großserienproduktion leistungsfähiger Brennstoffzellenstacks, um die CO₂-neutrale Mobilität weiter voranzutreiben – egal ob auf der Straße, Schiene, zu Wasser oder im Gelände. Hierzu bringt ElringKlinger sein gesamtes Brennstoffzellengeschäft ein, Plastic Omnium steuert Kapazitäten zur Entwicklung und Industrialisierung bei.



Die **FairEnergie GmbH** gehört zur Unternehmensgruppe Stadtwerke Reutlingen. Neben der Versorgung der Kundinnen und Kunden mit Strom, Erdgas, Trinkwasser und Fernwärme, trägt die FairEnergie als regionaler Energieversorger auch eine besondere Verantwortung für den lokalen Klimaschutz. Deshalb engagiert sich das Reutlinger Unternehmen auch schon seit Jahren für den Ausbau der Fernwärme und von erneuerbaren Energien. Mit eigenen Anlagen produziert die FairEnergie in der Region Strom mit Wasserkraft und Photovoltaikanlagen. Darüber hinaus beteiligt sich das Unternehmen aktiv an Forschungsprojekten zur klimaschonenden Energiegewinnung und unterstützt seine Kundinnen und Kunden dabei, selbst zur Reduzierung von CO₂-Emissionen beizutragen; etwa durch die Verpachtung modernster Heizungs- und Solaranlagen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist der zügige Ausbau der Elektro-Ladeinfrastruktur in der Region und die Förderung der Elektromobilität.



FairNetz

Mit innovativen Produkten und technischen Dienstleistungen sorgt die **FairNetz GmbH** für die sichere und dauerhafte Energie-Versorgung in der Region. Für ihre Kundinnen und Kunden, zu denen private Haushalte gleichermaßen wie Unternehmen sowie Kommunen und Stadtwerke gehören, entwickelt, baut und betreibt sie moderne Versorgungsnetze für Energie, Wasser und Telekommunikation. Durch den Einsatz von geschulten und motivierten Mitarbeitenden wird die Versorgungsqualität im Netzgebiet kontinuierlich auf höchstem Niveau gehalten. Getragen wird dies von zukunftsfähigen Technologien. Mit nachhaltigen Konzepten und effizienten Lösungen trägt die FairNetz GmbH entscheidend zur Entwicklung und zum Gelingen der Energiewende bei; getreu dem Motto: **Aus der Region - für die Region.**



Handwerkskammer Reutlingen

Die **Handwerkskammer Reutlingen** ist die Selbstverwaltungsorganisation der regionalen Handwerkswirtschaft in den Landkreisen Freudenstadt, Reutlingen, Sigmaringen, Tübingen und Zollernalb. Als Körperschaft des öffentlichen Rechts übernimmt sie eine Vielzahl von hoheitlichen Aufgaben, die in der Handwerksordnung gesetzlich festgelegt sind. Dazu zählen das Führen der Handwerks- und Lehrlingsrolle, die Regelung der beruflichen Bildung oder das Sachverständigenwesen. Die Kammer ist zugleich Interessenvertreter ihrer Mitgliedsbetriebe und der im Handwerk Beschäftigten. Als moderner Dienstleister unterstützt die Kammer ihre Betriebe mit einem umfangreichen Beratungsangebot. Insgesamt sind bei der Handwerkskammer Reutlingen sowie den Bildungsakademien in Reutlingen, Sigmaringen und Tübingen 101 Personen (davon 68 Frauen; einschließlich Teilzeitkräften) beschäftigt.



Hochschule Reutlingen

Reutlingen University

Die **Hochschule Reutlingen** ist eine der führenden Hochschulen in Deutschland für eine internationale und unternehmensnahe akademische Ausbildung. Auf ihrem Campus lernen fast 5.400 Studierende an fünf verschiedenen Fakultäten: Angewandte Chemie, ESB Business School, Informatik, Technik, Textil & Design. Auch in der Forschung hat man sich in der Spitzengruppe der Hochschulen für angewandte Forschung in Baden-Württemberg etabliert. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass die Forschung an der Hochschule nach Themengebieten geclustert ist und damit eine interdisziplinäre Herangehensweise ermöglicht. Dem entsprechend wird das Thema Wasserstoff im Reutlinger Energiezentrum (REZ) aus verschiedenen Blickwinkeln heraus betrachtet und bearbeitet.



Die **IHK Reutlingen** steuert als Interessenvertreter von Unternehmen wichtige Impulse für den Erfolg und das Wachstum der regionalen Wirtschaft. Sie ist zentrales Bindeglied zwischen Wirtschaft, Politik und Verwaltung. Sie informiert bei Fragen des unternehmerischen Alltags, hilft beim Einstieg ins internationale Geschäft und besetzt heute die Themen von morgen. Das IHK-Netzwerk Wasserstoff bietet den Akteuren aus Unternehmen und Wissenschaft eine Plattform, um sich über Chancen und Technologien auszutauschen und Lösungen für aktuelle Probleme zu finden.



Die **Klimaschutzagentur Reutlingen** steht für Unabhängigkeit, Nachhaltigkeit und Regionalität und bietet allen Menschen im Landkreis Reutlingen eine unabhängige Energie- und Klimaschutzberatung an. Dafür werden persönliche und individuelle Lösungen entwickelt. Somit tragen wir zur Stärkung der nachhaltigen und regionalen Entwicklung bei.



Der **Kreisbauernverband Reutlingen** vertritt im Landkreis Reutlingen, die Interessen der landwirtschaftlichen Betriebe gegenüber Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Darüber hinaus bietet der Kreisbauernverband für seine Mitglieder zahlreiche Dienstleistungen in seiner Geschäftsstelle an. Das Angebot reicht von Sozialversicherungs-, Steuer-, Antrags-, Rechtsberatung über Mediation bis hin zur Prämienversicherung, Hofübergabe und -erweiterung. Zudem ist die Geschäftsstelle auch eine Beratungsstelle der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG).



Der **Landkreis Tübingen** bildet zusammen mit dem Landkreis Reutlingen und dem Zollernalbkreis die Region Neckar-Alb im Regierungsbezirk Tübingen. Der Landkreis Tübingen, vertreten durch das Landratsamt, ist durch seine Universitätsstadt Tübingen und die Hochschule Rottenburg geprägt. Neben Wissenschaft und Lehre der Universität genießen die innovativen Unternehmenscluster in den Bereichen Medizintechnik und Biotechnologie internationales Renommee. Auch auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz intensivieren sich Aktivitäten auf Instituts-ebene mit internationaler Strahlkraft wie dem Cyber Valley, dem KI-Netzwerk der Region Neckar-Alb und durch neue Unternehmensschwerpunkte im Bereich Automatisierung. Als Leadpartner des RegioWIN Netzwerkes FORTUNA² der Region Neckar-Alb ‚Mit intelligenten Ideen Zukunft nachhaltig gestalten‘ setzt der Landkreis daher auf innovativ-nachhaltige Antriebstechnologien wie den grünen Wasserstoff.



Mit der Vision: „100 % geht“ erarbeitet **Ruoff Energietechnik** seit 1993 innovative Lösungen mit Standardprodukten rund um die Erneuerbaren Energien. Als erfahrener Handwerksbetrieb beraten, planen und installieren sie für private und gewerbliche Kundinnen und Kunden im Neubau und sanieren im Bestand.



Schwäbische Alb-Bahn

Die **Schwäbische Alb Bahn (SAB) GmbH** ist ein privates Eisenbahnverkehrsunternehmen mit Sitz in Münsingen. Sie wurde 2008 gegründet und erhielt am 9. Juni 2009 vom Eisenbahnbundesamt eine bis zum 31. Mai 2024 gültige Betriebsgenehmigung für den Schienenpersonenverkehr und Schienengüterverkehr. Zusammen mit dem Verein *Schwäbische Alb-Bahn e. V.* bildet sie das Unternehmen Schwäbische Alb-Bahn.

solarcomplex:

sonne ■ wind ■ wärme

Das regenerative Stadtwerk **solarcomplex AG** versteht sich als Bürgerunternehmen für erneuerbare Energien in Baden-Württemberg. Sie wollen bis 2030 die Energieversorgung in der Bodenseeregion weitgehend auf regenerative Energie umbauen. Solarcomplex plant, baut und betreibt Anlagen zur Strom- und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien und bietet die Kapitalbeteiligung an diesen Anlagen als ökologische Geldanlage an.



Stadtwerke
Metzingen

Die **Stadtwerke Metzingen** stehen für die feste **Verwurzelung in der Region mit Zukunftsfähigkeit**. Sie lassen ihre Kundinnen und Kunden an wirtschaftlichen und ökologischen Verbesserungen teilhaben und beteiligen sich am sozialen Leben in der Stadt. Sei es beim Klimaschutz, bei der Bildungsarbeit an Schulen und Kindergärten oder auch durch die Unterstützung von Kultur und Sport.



**Schwörer
Haus**[®]

Hier bin ich daheim

Die **SchwörerHaus KG** zählt zu den Branchenführern des Fertigbaus. Der Fertighaushersteller versteht sich als Vorreiter und Botschafter einer nachhaltigen Produktions- und Lebensweise. Schwörer-Häuser stammen vom Keller bis zum Dach aus eigener Produktion und werden in einem geschlossenen ökologischen Produktionskreislauf produziert. Als Hauptbaumaterial wird konsequent auf Holz gesetzt, welches aus PEFC-zertifizierter, nachhaltiger Forstwirtschaft aus Wäldern im Umkreis von etwa 60 Kilometern stammt. Das garantiert sehr kurze Transportwege und stärkt die Wirtschaftskraft der Region. Holzreste die stofflich nicht weiterverwendet werden können, werden im eigenen Kraftwerk zu Ökostrom recycelt. Auch die Abwärme wird genutzt: Sie deckt den kompletten Wärmebedarf an dem, seit 2021, klimaneutralen Standort. Der Nachhaltigkeitsgedanke ist seit vielen Jahren im Unternehmen und bei den Mitarbeitern und Auszubildenden fest verankert. Für dieses Engagement wurde das Unternehmen 2020 mit dem Umweltpreis des Landes Baden-Württemberg ausgezeichnet.

ANHANG 2: MAßNAHMEN (M1-M7) ZUR UMSETZUNG DER REGIONALEN ZIELE & VORHABEN

2.1 AKTEURSKREIS UND KOORDINATION VON WASSERSTOFFVORHABEN IM LANDKREIS (M1)

Beschreibung	Das Landratsamt Reutlingen führt die in HyStarter begonnenen Aktivitäten fort, bringt die verschiedenen Akteure auch überregional zusammen, die für die weitere Diskussion, die Erarbeitung von Machbarkeitsstudien und Umsetzung erster Startprojekte wichtig sind. Das LRA dient hierbei als Koordinator zwischen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik / Verwaltung und Zivilgesellschaft.
Verweise	In Baden-Württemberg und der Region Reutlingen gibt es neben den bestehenden Netzwerken aus HyStarter, der HyExperts-Bewerbung sowie des Hy-FIVE-Zusammenschlusses weitere Netzwerkaktivitäten, wie das Brennstoffzellen Cluster BW, das Netzwerk „Wasserstoff für Baden-Württemberg“ ⁷¹ und das IHK-Netzwerk Wasserstoff ⁷² , die eingebunden werden können. Die NOW kann die Vernetzung zu den laufenden HyLand-Vorhaben bieten.
Aufgaben	<ul style="list-style-type: none"> - Organisation und Durchführung von Netzwerktreffen - Initiierung, Koordinierung und Begleitung von diversen Wasserstoff-Projekten - Ausweitung des Akteurskreises durch gezielte Ansprache von EE-Betreibern zur Wasserstoff-Potenzialabschätzung, von relevanten Flottenbetreibern in der Region zur Diskussion des BZ-Einsatzes und Beteiligung weiterer Industrieunternehmen auch über die Landkreis-Grenzen hinweg
Herausforderungen	Es müssen Ressourcen dafür bereitgestellt werden, wenn dies nicht über HyExperts oder Hy-FIVE erfolgen kann.
Handlungsplan	Prüfung von Fördermöglichkeiten für die Einstellung eines Netzwerkmanagers oder Beteiligung an einem (bestehenden) Netzwerk (z.B. über die Kommunalrichtlinie ⁷³ ; Richtlinie zur Förderung von „Regionale unternehmerische Bündnisse für Innovation“ („RUBIN“) aus der Programmfamilie „Innovation & Strukturwandel“(BMBF) ⁷⁴ ; Initiative Energieeffizienz und Klimaschutz Netzwerke ⁷⁵)
Zeithorizont	Kurzfristig

2.2 NACHWUCHSFÖRDERUNG & WISSENSCHAFTLICHE BEGLEITUNG FÜR H₂-PROJEKTE (M2)

Beschreibung	Die Hochschule Reutlingen bildet bereits im Bereich Energietechnik, und damit auch in der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, wissenschaftlichen Nachwuchs aus. Dabei sollte auch frühzeitig das Interesse der Schülerinnen und Schüler für diese Thematik im akademischen und hand-
---------------------	--

⁷¹ <https://www.h2-fuer-bw.de>

⁷² <https://www.reutlingen.ihk.de/wasserstoff/>

⁷³ <https://www.ptj.de/projektfoerderung/nationale-klimaschutzinitiative/kommunalrichtlinie/ksm>

⁷⁴ <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2695.html>

⁷⁵ <https://www.effizienznetzwerke.org/>

	werklichen Bereich geweckt werden, indem sich Veranstaltungen und Projektergebnisse auch explizit an junge Menschen gerichtet werden, beispielsweise im Rahmen des bestehenden Angebots an die Schulen ⁷⁶ . Die angedachten Wasserstoff-Projekte in der Region sollten wissenschaftlich begleitet und evaluiert werden, um die Einsatzmöglichkeiten der Technologien kontinuierlich zu verbessern und vielversprechende Felder auszuweiten.
Verweise	HyTrustPlus - NOW GmbH (now-gmbh.de), 2-Grad-Campus WWF, Hochschule Reutlingen (TBR)
Herausforderungen	Finanzierung stemmen und Räumlichkeiten bereitstellen: Einbettung der Schulangebote in Förderprojekte und der wissenschaftlichen Begleitung von Wasserstoff-Vorhaben.
Handlungsplan	<ul style="list-style-type: none"> • Gestaltung expliziter Angebote für Schulen zur Besichtigung von Laboren oder Treffen mit Experten zur H₂- und BZ-Technologie • Kooperationen mit Bildungseinrichtungen anstreben • Wissenschaftliche Begleitung der regionalen H₂- und BZ-Projekte wie die derzeit laufende Evaluation des Einsatzes des Brennstoffzellen-Müllsammelfahrzeuges der TBR • Prüfung von Fördermöglichkeiten für die Schulangebote, ggf. in Zusammenarbeit mit dem LRA • Mitarbeit in HyExperts, Modellregion BW • Prüfung von laufenden Förderprogrammen wie der Ideenwettbewerb „Wasserstoffrepublik Deutschland“ im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung (BMBF), Projekte der DBU
Zeithorizont	laufend

2.3 WASSERSTOFF-ERZEUGUNG (M3)

Beschreibung	Im Landkreis gibt es diverse Potenziale der Wasserstoffherzeugung - Elektrolyse, Biogasdampfreformierung und weitere alternative Pfade der klimafreundlichen Wasserstoffproduktion - die geprüft werden sollten.
Verweise	Fronius Solhub ⁷⁷ bietet dezentrale Systemlösung zur Herstellung und Nutzung von grünem Wasserstoff an, HyCon ⁷⁸ und MehrSi ⁷⁹ haben sich mit der Wasserstoff-Erzeugung aus Solarenergie beschäftigt. SYPOX ⁸⁰ beschäftigt sich mit der dezentralen Umwandlung von Rohbiogas in H ₂ . HyPerFerment ⁸¹ untersucht die mikrobiologische Verfahrensentwicklung zur Wasserstoffherzeugung und -bereitstellung. BtX Energy ⁸² ist Ansprechpartner für die

⁷⁶ www.tec.reutlingen-university.de/de/fakultaet/unsere-projekte-a-z/schueler-ingenieur-akademie/

⁷⁷ https://www.fronius.com/de-de/germany/solar-energy/kunden-partner/gewerbebesitzer/gruener-wasserstoff-mit-sonnenenergie-solhub?gclid=EAlaIQob-ChMI14f0qqW37gIVDQGLCh2jvAhtEAAYASAAEgJsG_D_BwE

⁷⁸ Sonnenenergie direkt in Wasserstoff umwandeln - Forschung Energiespeicher (forschung-energiespeicher.info)

⁷⁹ MehrSi – High-Efficiency III-V Multi-Junction Solar Cells on Silicon - Fraunhofer ISE

⁸⁰ <https://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/de-projekt-sypox>

⁸¹ <https://www.iff.fraunhofer.de/de/presse/2020/gruene-wasserstoffproduktion-in-biogasanlagen.html>

⁸² <https://btx-energy.de/>

	Projektierung von Biogasdampfreformierungsanlagen zur Wasserstoffherzeugung und baut derzeit eine Pilotanlage in Renningen auf. Blueflux ⁸³ beschäftigt sich mit der Produktion von Wasserstoff aus organischen Reststoffen. Im Rahmen des Projekts Portal Green wird ein genehmigungsrechtlicher Leitfaden für Power-to-Gas-Anlagen ⁸⁴ entwickelt. Das Dokument dient als Anleitung, Hilfestellung, Orientierung und Handreichung, welche Verfahren und Gesetze für die Errichtung und den Betrieb von PtG-Anlagen zu beachten sind.
Herausforderungen	Die Frage nach der grünen Zertifizierung von biogenem Wasserstoff ist noch nicht abschließend geklärt.
Handlungsplan	<ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung von EEG-Laufzeiten der PV-/Wind- und Biogasanlagen in der Region • Ermittlung von (weiteren) interessierten EE-Anlagenbetreibern (auch über die Landkreis-Grenzen hinweg) • Erfahrungsaustausch mit anderen Projekten und technischen Partnern • Kriterien des grünen Wasserstoffs u.a. für die Erzeugung an Holzverbrennungsanlage und Biogas-Dampfreformern prüfen • Gespräche mit potenziellen Wasserstoff-Abnehmern in der Region (Kombi-Tankstelle Münsingen / Industrie) und pot. Nutzern des Sauerstoffs und der Abwärme • Aufsetzen eines Planungsvorhabens • Machbarkeitsstudien im Rahmen von HyExperts / Hy-FIVE geplant • Prüfung von weiteren Fördermöglichkeiten wie Ideenwettbewerb „Wasserstoffrepublik Deutschland“ (BMW, BMVI)⁸⁵.
Zeithorizont	Kurzfristig bis mittelfristig

2.4 FAHRZEUGBESCHAFFUNG (M4)

Beschreibung	In einem ersten Schritt könnte die Beschaffung von drei BZ-Bussen für den ÖPNV-Einsatz bei Bottenschein Reisen angedacht sowie der Einsatz eines BZ-Zuges der SAB auf der nicht-elektrifizierten Strecke Gammertingen - Engstingen und Engstingen - Schelklingen geprüft werden. Ebenfalls sollen Qualifizierungs- und Weiterbildungsbedarfe im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie im Automotive Bereich – zur Steigerung der regionalen Wertschöpfung - ermittelt werden. Bottenschein Reisen und SAB stehen bereits im engen Austausch zur weiteren Planung und in Kontakt mit dem LRA und dem Land Baden-Württemberg. Die Beschaffung weiterer Fahrzeuge (Busse, Züge, Müllsammelfahrzeuge) wird geprüft.
---------------------	--

⁸³ <https://www.bluefluxenergy.com/de/>

⁸⁴ <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g201735-portalgreen-vorlaufuefiger-genehmigungsleitfaden.pdf>

⁸⁵ <https://www.ptj.de/projektfoerderung/anwendungsorientierte-grundlagenforschung-energie/ideenwettbewerb-gruener-wasserstoff>

Verweise	Brennstoffzellenbus-Cluster ⁸⁶ , RVK ⁸⁷ , Van Hool ⁸⁸ , Einführung von Wasserstoffbussen im ÖPNV ⁸⁹ Mireo Plus ⁹⁰ , Coradia iLint ⁹¹ , Wasserstoff-Infrastruktur für die Schiene ⁹² (Fahrplan für Einsatz von BZ-Triebwagen, NOW), Probebetrieb in Niedersachsen ⁹³
Herausforderungen	Die BZ-Fahrzeuge sind teurer als gängige Dieselvarianten. Allerdings entsteht im Vergleich durch die geringeren laufenden Ausgaben beim Zug ein Kostenvorteil von bis zu 23 % ⁹⁴ . Auch bei Mehrinvestitionskostenförderungen müssen Mehrkosten getragen werden. Lange Warte- und Lieferzeiten der Fahrzeuge, insbesondere keine belastbaren Aussagen bzgl. der Lieferzeit und Preise der BZ-Züge, hier muss Anfrage beim Hersteller gestellt werden. Eine HRS in der Region ist Voraussetzung für die Fahrzeugbeschaffung.
Handlungsplan	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung Antriebskonzepte und Reichweiten für bestehende Linien / Routen • Kontaktaufnahme zu Herstellern, prüfen, ob ein Test-Zug eingesetzt werden kann • Ermittlung der Wasserstoffbedarfe (Fahrprofile, Fahrzeugtypen, Größe, Jahreszeiten, Topografie), Betankungszeiten und Abstimmungen mit Tankstellenplanung Bottenschein & SAB • Gemeinsame Planung SAB, Bottenschein Reisen und FairEnergie und FairNetz zum Tankstellenaufbau (Umlaufplanung, technische und zeitliche Voraussetzungen; Kontaktaufnahme mögliche Investoren/Betreiber) • Prüfung der möglichen Anpassungen der Betriebsabläufe, notwendiger Wartungs- und Reparaturleistungen, Schulungen des Personals • Ermittlung von Qualifizierungsbedarfen im Automotive Bereich in der Region • Kostenplanung (Investition und Betrieb) • Umbauarbeiten der Betriebshöfe • Identifizierung weiterer Interessierte an BZ-Fahrzeugen zur gemeinsamen Beschaffung bspw. über Brennstoffzellenbus-Cluster • Machbarkeitsstudie und Wirtschaftlichkeitsberechnungen (bspw. in HyExperts) • Prüfung von weiteren Fördermöglichkeiten (Ideenwettbewerb „Wasserstoffrepublik Deutschland“ (BMW i, BMVI)⁹⁵, H₂-Busrichtlinie (BMVI, erwartet 2021) und HyLand Programm im Rahmen des Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase II (NIP) –

⁸⁶ <https://www.energieagentur.nrw/klimaschutz/kontakte/Frank-Koch>

⁸⁷ <https://www.rvk.de/projekt-null-emission/die-brennstoffzellen-hybridbusse>

⁸⁸ <https://www.vanhool.be/en/public-transport/agamma/hybrid-fuel-cell>

⁸⁹ https://www.starterset-elektromobilitaet.de/content/1-Bausteine/5-OEPNV/nw_leitfaden_einfuehrung-wasserstoffbusse.pdf

⁹⁰ <https://www.mobility.siemens.com/global/de/unternehmen/newsroom/fachartikel/mireo-plus-fuer-den-emissionsfreien-regionalverkehr-in-europa.html>

⁹¹ <https://www.alstom.com/de/our-solutions/rolling-stock/coradia-ilint-der-weltweit-erste-wasserstoffzug>

⁹² https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/broschuere_wasserstoff-infrastruktur-fuer-die-schiene_online-version.pdf

⁹³ <https://www.h2hamburg.de/produktmarken/nachrichten/erfolgreicher-probebetrieb-alstom-wasserstoffzuege-4814350>

⁹⁴ Übersichtlich aufbereitet: Daten und Fakten zur Schieneninfrastruktur (allianz-pro-schiene.de)

⁹⁵ <https://www.ptj.de/projektfoerderung/anwendungsorientierte-grundlagenforschung-energie/ideenwettbewerb-gruener-wasserstoff>

	Maßnahmen der Marktaktivierung / Forschung, Entwicklung und Innovation – Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität ⁹⁶ (BMVI, erwartet ab Q3/21)), Finanzierungsmöglichkeiten über KfW ⁹⁷ Umweltprogramme, Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe im Schienenverkehr, Förderaufruf für Schienenfahrzeuge, Betankungsinfrastruktur und Machbarkeitsstudien.
Zeithorizont	Kurz- bis mittelfristig

2.5 WASSERSTOFF-TANKSTELLENINFRASTRUKTUR (M5)

Beschreibung	Für den Aufbau einer Kombitankstelle am Bahnhof Münsingen muss eine Machbarkeitsstudie erfolgen und im Anschluss pot. Betreiber identifiziert werden, die regional erzeugten Wasserstoff (zukünftig) vertreiben könnten.
Verweise	H2Mobility (Aufbau von H ₂ -Tankstellen für PKWs) ⁹⁸ , WyRefueler-Plug&Play Wasserstofftankstelle ⁹⁹ , Wasserstofftankstelle – Ein Leitfaden für Anwender und Entscheider ¹⁰⁰
Herausforderungen	Treiber und Betreiber für die Umsetzung finden Genehmigungspflichtig nach BImSchG, hohe Investitions- und Betriebskosten sowie Entscheidung für die Errichtung einer öffentlichen oder Betriebshof-Tankstelle.
Handlungsplan	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung der Wasserstoffbedarfsmengen von Bottenschein und SAB und möglicher weiterer Abnehmer • Prüfung baulicher Anforderungen (Flächenverfügbarkeit, Netzanschlussleistung) und deren Gegebenheiten am Standort • Gespräche mit Tankstellenbetreibern/-herstellern zum Bau und Auslegung einer regionalen Wasserstofftankstelle • Prüfung von Wasserstoff Bezug aus der Region • Machbarkeitsstudie/Wirtschaftlichkeitsanalysen in HyExperts oder Hy-FIVE <p>Prüfung von weiteren Fördermöglichkeiten Ideenwettbewerb „Wasserstoffrepublik Deutschland“ (BMWi, BMVI)¹⁰¹, H₂-Busrichtlinie (für Betriebshof-tankstelle, BMVI, erwartet 2021) und H₂-Zugrichtlinie (Fahrzeuge, Infrastruktur, Elektrolyseur) sowie der Umsetzung im Rahmen weiterer Maßnahmen im Aktionsplan der Nationalen Wasserstoffstrategie</p>
Zeithorizont	Kurzfristig/mittelfristig

2.6 WASSERSTOFF IN DER INDUSTRIE (M6)

Beschreibung	Die regional ansässige Industrie setzt bereits grauen Wasserstoff ein. Die Verfügbarkeit und Qualität von regional erzeugtem grünen Wasserstoff muss geprüft werden sowie deren wirtschaftliche Bezugsmöglichkeit.
---------------------	--

⁹⁶ <https://www.ptj.de/nip>

⁹⁷ <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/KfW/umweltprogramm-kfw-bund.html>

⁹⁸ H2MOBILITY - H2.LIVE

⁹⁹ Produkte - Wystrach GmbH Weeze

¹⁰⁰ https://www.h2bz-hessen.de/mm/Wasserstofftankstellen_web.pdf

¹⁰¹ PtJ: Ideenwettbewerb „Wasserstoffrepublik Deutschland“

Verweise	H2Pioneer- Grüner Wasserstoff für die Halbleiterindustrie ¹⁰² , Roadmap Chemie 2050 ¹⁰³
Herausforderungen	Aufgrund der kontinuierlich benötigten großen Mengen an Wasserstoff stellt die Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff aus der Region sowie dessen Transport die größte Herausforderung dar. Um zusätzlich die Anlieferung per Trailer zu substituieren, müsste der Standort an eine Wasserstoffpipeline angebunden werden. Die Versorgungssicherheit ist ebenso Voraussetzung für den Einsatz in der Industrie wie die Erfüllung höchster Qualitätsstandards. Die Bezugskosten und ggf. anfallenden Kosten für die Aufreinigung des Wasserstoffs am Standort sind ebenfalls deutlich höher als der bisherige graue Wasserstoff.
Handlungsplan	<ul style="list-style-type: none"> • Kontaktaufnahme zu Wasserstoff Produzenten in der Region • Entwicklung einer Projektskizze • Machbarkeitsstudien zur Belieferung, Qualität und Wirtschaftlichkeit (im Rahmen von HyExperts oder Hy-FIVE)
Zeithorizont	mittelfristig

2.7 WASSERSTOFF IN DER GEBÄUDEENERGIEVERSORGUNG (M7)

Beschreibung	Ziel ist es, auch im Gebäudeenergiebereich zu Emissionsminderungen zu kommen. Die Nutzung grünen Wasserstoffs für die Strom- und Wärmeversorgung eines Mehrfamilienhauses oder Quartiers soll erprobt werden.
Verweise	SOFC Bosch ¹⁰⁴ , Home Power Solutions ¹⁰⁵ , Esslinger Weststadt ¹⁰⁶ ,
Herausforderungen	Die Wirtschaftlichkeit und Sinnhaftigkeit des Einsatzes von Wasserstoff zur Wärmeversorgung muss geprüft und gegenüber elektrischen Alternativen abgewogen werden. Derzeit angebotene Insellösungen sind teuer und nur für energetische sanierte Gebäude empfehlenswert. Die Investitionsfenster für neue Anlagen im Gebäudebestand müssen ermittelt werden.
Handlungsplan	<ul style="list-style-type: none"> • Weiterer Austausch von KlimaschutzAgentur und Wohnungswirtschaft zur Pilotierung eines Quartiers mit SOFC zur Wasserstoff-Wärmeversorgung in Reutlingen. • Ein bis zwei Demonstrationsprojekte entwickeln zur alternativen Wärmeversorgung von Häusern/Quartieren • Erarbeitung von Konzeptstudien für die alternative Wärmeversorgung • Informationen zu alternativen Heizungssystemen für Bürgerinnen und Bürger und Handwerkerinnen und Handwerker bereitstellen • Qualifizierungsbedarfe des Handwerks ermitteln zum Einbau von BZ-Heizsystemen • Prüfung von Fördermöglichkeiten wie Energieeffizient Bauen und Sanieren - Zuschuss Brennstoffzelle (433)(BMWi).¹⁰⁷
Zeithorizont	Kurz- bis mittelfristig

¹⁰² https://www.wiva.at/v2/wp-content/uploads/2020/07/WIVA_H2Pioneer_PlatatV03.pdf

¹⁰³ <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/2019-10-09-studie-roadmap-chemie-2050-treibhausgasneutralitaet.pdf>

¹⁰⁴ <https://www.bosch.com/de/stories/festoxid-brennstoffzellen-sofc-system/>

¹⁰⁵ Your Family - Your Home - Your Energy | Drupal (homepowersolutions.de)

¹⁰⁶ <https://www.swe.de/de/Energie-Wasser/Waerme/Energieversorgung-mit-Wasserstoff/>

¹⁰⁷ <https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMWi/bauen-und-sanieren-brennstoffzelle-bund.html>

Impressum

Herausgeber

Landratsamt Reutlingen - Kreisamt für nachhaltige Entwicklung
Haydnstr. 5-7
72766 Reutlingen

Projektleitung

Landratsamt Reutlingen - Kreisamt für nachhaltige Entwicklung
Julia Bernecker (j.bernecker@kreis-reutlingen.de)
Dr. Meike Widdig (m.widdig@kreis-reutlingen.de)

Verantwortlich für den Inhalt

Nuts One GmbH
Dessauerstr. 28-29
10963 Berlin
<https://nuts.one/>

Titelbild

© BMVI/grafische Gestaltung David Borgwardt (Spilett new technologies GmbH)

Porträt des Landrats

© Thomas Kiehl

Druck

Landratsamt Reutlingen



LANDKREIS
REUTLINGEN

Landratsamt Reutlingen

Kreisamt für nachhaltige Entwicklung

Haydnstr. 5-7

72766 Reutlingen

Telefon: 07121 480-3323

E-Mail: m.widdig@kreis-reutlingen.de

kreis-reutlingen.de

DAS GANZE IM BLICK