



Oberallgäu 
Landkreis

 Kempten^{Allgäu}

HyAllgäu

**wirtschaftliche und regionale Gewinnung
von grünem Wasserstoff**

Machbarkeitsstudie - HyExperts

von

**Arthur Dornburg & Carolin Wiegand
(bluemove consulting GmbH)**



Erarbeitet im Auftrag von:



Oberallgäu

Landkreis



Kempten^{Allgäu}

Landratsamt Oberallgäu

Simon Steuer

SG 54 Kreisentwicklung – ÖPNV

Oberallgäuer Platz 2

87527 Sonthofen

Tel.: +49 8321 612-617

simon.steuer@lra-oa.bayern.de

www.oberallgaeu.org

Stadt Kempten

Thomas Weiß

Klimaschutzmanager

Kronenstraße 8

87435 Kempten (Allgäu)

Tel.: +49 831 2525-6002

thomas.weiss@kempten.de

www.kempten.de

Erstellt durch:



bluemove

CONSULTING

bluemove consulting GmbH

Arthur Dornburg

Geschäftsführer

Kellerbachstraße 8

82335 Berg

Tel.: +49 175 2232144

dornburg@bluemove-consulting.de

www.bluemove-consulting.de

Die Inhalte wurden durch bluemove consulting GmbH erarbeitet und erstellt. Sofern nicht anders bezeichnet stammen sämtliche Tabellen und Grafiken von bluemove consulting GmbH. Bei Inhalten von Projektpartnern oder anderen Quellen ist dies jeweils explizit erwähnt.

Die Entwicklung der Region Oberallgäu-Kempten als Wasserstoffregion wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP2) mit insgesamt 299.418 Euro durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Koordiniert durch:



NOW
NOW - G M B H . D E

Projektträger:



PtJ
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung.....	9
1.1 Aus losen Einzelideen wurde ein in sich stimmiges Gesamtkonzept.....	9
1.2 Import von grünem Wasserstoff vs. Regionaler Produktion, z.B. im Allgäu ...	11
1.3 NOW als starker Treiber für die Wasserstoffwirtschaft im Allgäu	15
2 Ausgangslage	18
3 Erzeugung von grünem Wasserstoff im Allgäu.....	22
3.1 Grüner Wasserstoff von der Kläranlage Kempten	23
3.2 Wasserstofferzeugungsanlage am MHKW Kempten	29
3.3 Produktion von EE-Wasserstoff an der Wasserkraftanlage Horn	33
3.4 Grüner Wasserstoff aus kombinierten EE-Anlagen in Wildpoldsried	36
3.5 Einbindung der Elektrolyseure in ein virtuelles Kraftwerk (VK)	45
4 H ₂ -Speicher und Infrastruktur.....	47
4.1 Verschiedene Speicher-, Transport- und Verteilmöglichkeiten	47
4.2 H ₂ Tankstellen	48
4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Wasserstofflogistik	48
4.4 Rechtlicher Rahmen / Sicherheitskonzepte / Genehmigungen / Normen	49
5 Anwendung von grünem Wasserstoff im Allgäu	50
5.1 Anwendungsfeld Mobilität	51
5.1.1 ÖPNV-Busse	52
5.1.2 Abfallentsorgungsfahrzeuge	58
5.1.3 Speditionen	60
5.1.4 Wasserstoffzug.....	63
5.2 Anwendungsfeld Industrie.....	65
5.2.1 Motivation	65
5.2.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen	65
5.3 Wasserstoff im Gebäudesektor am Beispiel einer Quartierslösung	66

5.3.1	Grundlagen für Energiekonzepte in Quartierslösung.....	67
5.3.2	BHKW-Konzept am Beispiel „Goethequartier Sonthofen“	72
5.3.3	Wasserstoff als letzter Schritt für CO ₂ -freie BHKWs.....	77
5.3.4	Zusammenfassung zur Wasserstoffnutzung im Gebäudesektor	81
6	Fazit und weiteres Vorgehen	83
6.1	Ergebnisse der Machbarkeitsstudie HyAllgäu zusammengefasst	83
6.2	Weiteres Vorgehen	84
6.3	Nächsten Schritte	85
6.4	Akzeptanz und Öffentlichkeitsarbeit / Erfolgsfaktoren	86
6.5	Skalierbarkeit & Kooperationen mit Nachbarregionen.....	86
6.5.1	Nachbarregion 1: „HyAllgäu*-Bodensee“	88
6.5.2	Nachbarregion 2: „HyBodensee“.....	90
6.5.3	Nachbarregion 3: „Europaregion Tirol – Südtirol – Trentino“	91
6.6	Handlungsempfehlungen.....	93
7	Quellenverzeichnis	95



Abkürzungsverzeichnis

AKW	Allgäuer Kraftwerke
AÜW	Allgäuer Überlandwerke
AVKE	Abwasserverband Kempten
BA	Bauabschnitt
BEA	Bioenergie Allgäu
BEG	Bayerischen Eisenbahngesellschaft
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMC	Bluemove Consulting
CVD	Clean Vehicles Directive
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
HHKW	Holzheizkraftwerk
HKE	Hochschule Kempten
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
LOHC	Liquid Organic Hydrogen Carriers
MHKW	Müllheizkraftwerk
PEM	Proton Exchange Membrane
P2H	Power to Heat
RSP	Riemann, Sonnenschein & Partner (Ingenieurgesellschaft)
SWW	Sozial-Wirtschafts-Werk des Landkreises Oberallgäu Wohnungsbau GmbH
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VBh	Vollbenutzungsstunden
VK	Virtuelles Kraftwerk
V2G	Vehicle to Grid
WKA	Wasserkraftanlage
ZAK	Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten

1 Einleitung

1.1 Aus losen Einzelideen wurde ein in sich stimmiges Gesamtkonzept

Das Allgäu hat bereits eine Vorreiterrolle in der Energiewende. Die Energiewende im Voralpenland war zunächst geprägt von Wasserkraft. Biomasseheizkraftwerke liefern CO₂-freie Wärme und bereits seit Jahren Ökostrom. Auch im Allgäu hat das EEG einen Schub für Windkraftanlagen, Solarparks und Biogasanlagen gebracht. Es gibt Gemeinden, die bereits ein Vielfaches des eigenen Strombedarfs mit erneuerbaren Energien erzeugen. Neben regionalen Energieversorgern und Gemeindewerken zählen zahlreiche Privatpersonen und Genossenschaften zu den Betreibern der Anlagen.

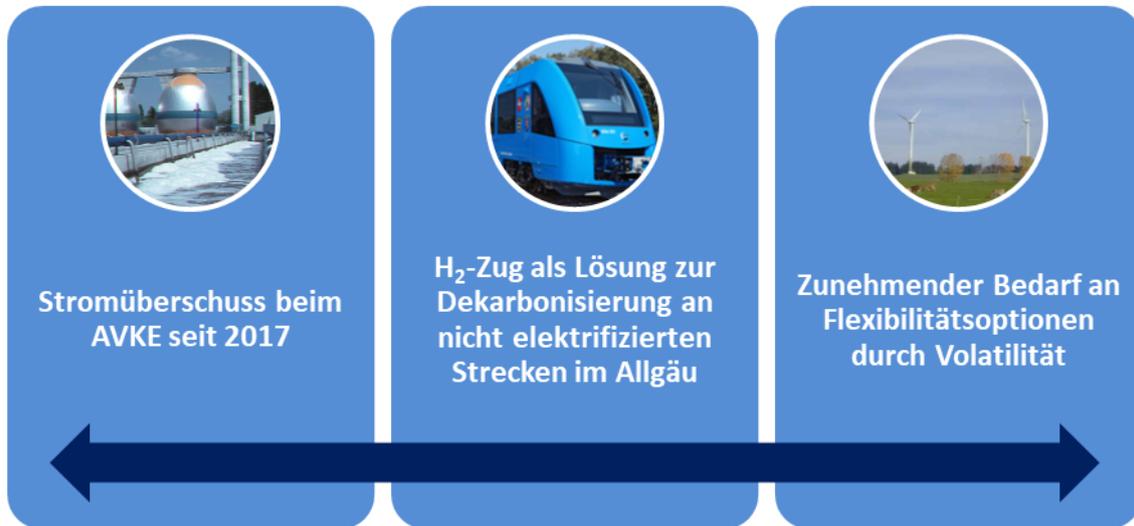


Solardorf im Allgäu (Foto Simon Steuer)

Für die ersten Pioniere, die bereits früh in EE-Anlagen investiert haben, läuft die EEG-Vergütung 2021 aus. Somit stellt sich die Frage der nachfolgenden Verwertung bzw. Vermarktung. Dabei stellt die Produktion von grünem Wasserstoff eine wichtige Option dar.

Grundsätzlich glich die Diskussion rund um das Thema Wasserstoff Mitte 2019 einem Seil mit vielen losen Enden. Neben der genannten Folgeverwertung von EE-Strom

spielte auch die Volatilität in den Überlegungen eine große Rolle. Wie in anderen Regionen auch, gab es Ideen die verlorenen Strommengen durch das Abschalten der Anlagen bzw. die anderweitig verlorenen Kapazitäten, lokal selbst zu verwerten und daraus grünen Wasserstoff zu produzieren.

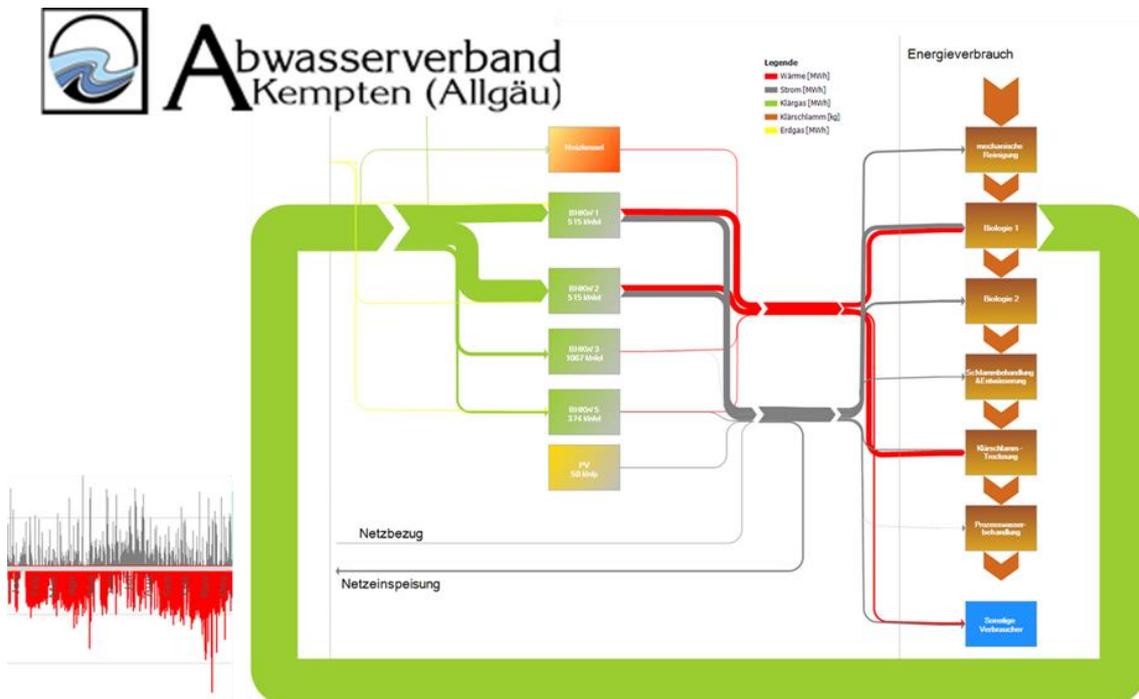


HyAllgäu – Anfangsideen & Impulsgeber

In der Regionalpolitik und in diversen Gesprächskreisen spielte 2019 das Thema Brennstoffzellen-Zug eine beherrschende Rolle und war später in der Kommunalwahl Anfang 2020 sogar ein Wahlkampfthema. Im Allgäu gibt es zwischen Lindau (Bodensee) und Buchloe nach München, sowie zwischen Augsburg und Füssen, noch lange nicht elektrifizierte Strecken. Hier ist es naheliegend die Dieselantriebe durch klimafreundliche Wasserstoffantriebe zu ersetzen.

Ausschlaggebend und Treiber für den Antrag für eine Machbarkeitsstudie HyExperts war jedoch die Kläranlage in Kempten (AVKE). Die Abwasserbehandlung des AVKE verfügt seit 2017 über einen Stromüberschuss. Dieser ist nicht nur das Resultat bzw. eine Besonderheit durch die Milchwirtschaft im Allgäu, sondern auch die Folge eines nachhaltigen und ergebnisorientierten Energiemanagements. Die Überschussmengen an elektrischen Strom werden gegen ein geringes Vergütungsentgelt in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Der AVKE und die bluemove consulting GmbH (BMC) sind seit Jahren in diversen Forschungsprojekten und Arbeitskreisen (u.a. DWA) rund um Energieeffizienzthemen in der Abwasserwirtschaft eingebunden. Unter dem Motto „Vom Klärwerk zum Kraftwerk“ werden Energieeffizienzthemen behandelt, darunter auch die Produktion von grünem Wasserstoff in der Abwasserwirtschaft als Beitrag zur Energie- und Mobilitätswende in Deutschland. Kläranlagen haben darüber hinaus den Vorteil,

dass der Sauerstoff aus der Produktion von grünem Wasserstoff lokal direkt in der biologischen Reinigungsstufe der Abwasserbehandlung wiederverwendet werden kann. Damit lassen sich bis zu 80 % des elektrischen Stroms für die Ventilatoren der Belebung einsparen, der dann zusätzlich der H₂-Produktion zur Verfügung steht.



Energieflussdiagramm Kläranlage Kempten incl. Stromlastspitzen 2017

Mit dem Beitrag „Vom Klärwerk zum Kraftwerk“ war der AVKE 2018, unterstützt von BMC, bereits einer der Preisträger des Bayerischen Abwasserinnovationspreis. Vor diesem Hintergrund wurde dann auch gemeinsam im September 2019 die HyLand-Bewerbung angegangen. Schnell war klar, dass unter den drei Kategorien HyExperts das realistische Format war. Der Landkreis Oberallgäu und die Stadt Kempten (Allgäu) organisierten gemeinsam mit dem AVKE einen gemeinsamen Antrag. Unterstützt wurden zu diesem Zeitpunkt die inhaltliche Bearbeitung der Projektskizze von der Hochschule Kempten (HKE), den Allgäuer Überlandwerken (AÜW) und dem Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK).

1.2 Import von grünem Wasserstoff vs. Regionaler Produktion, z.B. im Allgäu

HyAllgäu setzt konsequent auf „grünen regionalen Wasserstoff“ aus dem Allgäu. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll zunächst über den „Tellerrand“ zu schauen, um

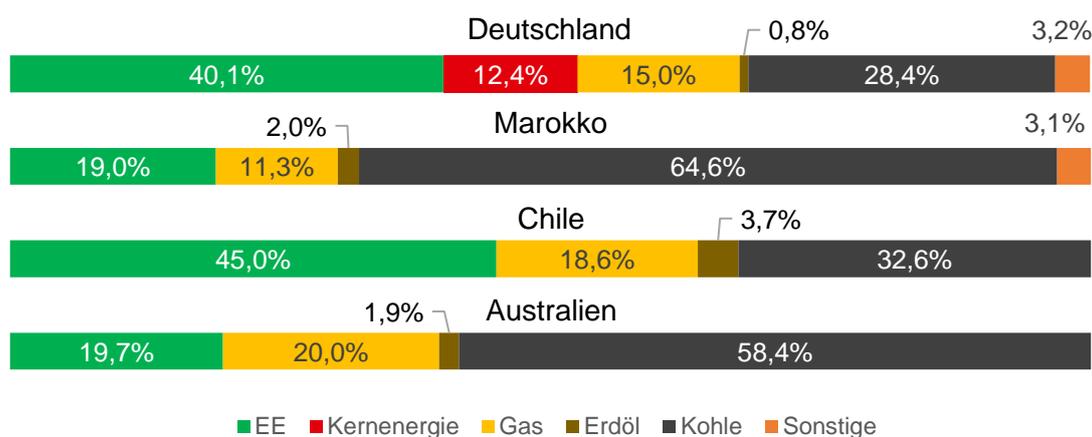
auszuloten, welchen Einfluss Strategien und Trends aus anderen Regionen auf die zukünftige Marktentwicklung der Wasserstoffwirtschaft haben.

Die nationale und europäische Wasserstoffstrategie bevorzugt grünen Wasserstoff, duldet jedoch, gerade in der Übergangszeit, andere Optionen der traditionellen Wasserstoffgewinnung. Dies birgt die Gefahr, dass grüner Wasserstoff bereits in den nun anstehenden und zu entwickelnden „Reallaboren“ keine realistische wirtschaftliche Chance hat und sich nur sehr schwer und mit viel Idealismus gegen herkömmlichen Wasserstoff durchsetzen kann. Daraus resultiert wiederum eine zweite Gefahr: in Sektoren, in denen Wasserstoff im technologieoffenen Wettbewerb steht, wird herkömmlicher Wasserstoff hinsichtlich der Ökobilanz schlechter abschneiden als dies mit grünem Wasserstoff möglich wäre. Dies würde bedeuten, dass gerade in den nächsten Jahren die Wasserstofftechnologie als zweiter Sieger gegenüber anderen Antrieben oder Technologien hervorgeht und somit wesentliche Marktanteile verspielt.

Gerade der Mobilitätssektor ist eine spannende Plattform für kritische Vergleiche und Diskussionen zwischen den Lagern der Befürworter und der Gegner der Wasserstofftechnologie. Die Mehrzahl an Stellungnahmen aus dem Mobilitätssektor, aber auch die derzeit bekannten Förderaufrufe, gehen eindeutig und ausschließlich von grünem Wasserstoff im Mobilitätssektor aus. Dies aufzuweichen, auch in einer Markthochlaufphase, wäre unvernünftig und aus den bereits genannten Gründen schnell mit einem großen Glaubwürdigkeitsdefizit verbunden. Auch wenn flächendeckend die Voraussetzungen für grünen Wasserstoff aufgrund der zu geringen Ökostromanteile nicht gegeben sind, so sollte dennoch bei den „Reallaboren für die zukünftige Wasserstoffwirtschaft“ konsequent auf die Herkunft des grünen Wasserstoffs geachtet werden. Insbesondere bei der Auswahl der mit Steuermitteln unterstützten Projekte sind belastbare Herkunftsnachweise unerlässlich.

Im Rahmen der Wasserstoffstrategie nimmt durch die fehlenden Ökostrommengen in Deutschland und dem verzögerten Ausbau an erneuerbaren Energien der Import von grünem Wasserstoff eine große Rolle ein. Selbst wenn der importierte Wasserstoff tatsächlich grün ist, so stellt der Transport nach Europa und dort zu den Endverbrauchern eine große Herausforderung dar. Ob dies sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch sinnvoll realisierbar ist, bleibt eine spannende Frage, die in den nächsten Jahren zu klären ist.

Derzeit weisen jedoch viele der möglichen Herkunftsländer für grünen Wasserstoff eine schlechtere Ökostrombilanz als Deutschland auf. Sicher gibt es zukünftig in zahlreichen Ländern wie Marokko, Chile oder Australien gute Möglichkeiten grünen Wasserstoff zu produzieren. Aber auch diese Länder stehen zunächst vor der Herausforderung ihren eigenen Strommix zu optimieren. Eine frühzeitige Nutzung dortiger Ökostrommengen für die Produktion von grünem Wasserstoff für den Export bedeutet de Facto einen Export der CO₂-Probleme aus Deutschland in diese Länder.

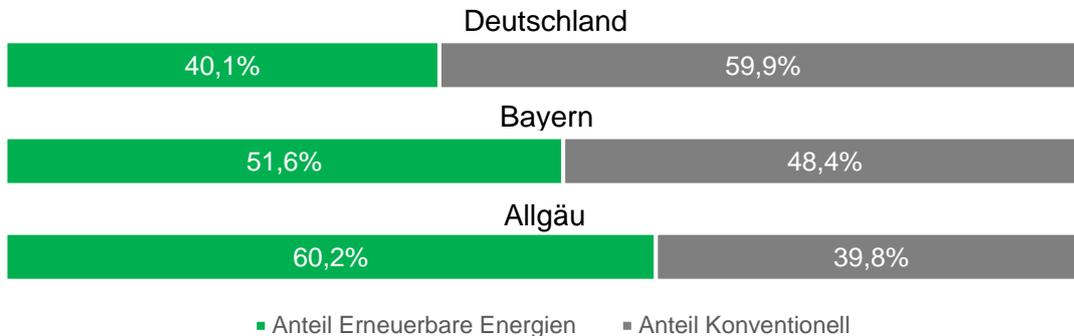


Internationaler Vergleich der Ökostrombilanz potenzieller Herkunftsländer für grünen Wasserstoff 2019 (vgl. Destatis 2020; vgl. IEA 2021)

Somit sind für die anstehenden Reallabore eine Produktion und Nutzung regionaler Kontingente für grünen Wasserstoff vorteilhaft. Die Ökostrombilanz von Bayern ist derzeit besser als der Bundesdurchschnitt und das Allgäu liegt im Vergleich über den Werten von Bayern. Einzelne Landkreise in Bayern, darunter das Ostallgäu haben bereits heute eine Ökostrombilanz von über 100 % und sind somit bestens als Standort für ökologisch sinnvolle und glaubwürdige Reallabore für eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft geeignet.

Regionen mit einem überdurchschnittlichen Anteil an Ökostrom haben darüber hinaus bereits vorzeitig in größerem Maß die Herausforderung der Volatilität, insbesondere wenn der Ökostromanteil aus einem großen Anteil aus Solarparks oder Windkraftanlagen stammt. Ein weiteres Argument für ein Reallabor im Allgäu ist die Tatsache, dass es in der Region zahlreiche Pioniere der Energiewende gibt, die bereits sehr früh EEG-Anlagen errichtet haben, die also bereits aus der EEG-Vergütung gefallen sind bzw. denen das in nächster Zeit bevorsteht. Diese Anlagen benötigen eine

wirtschaftliche und sichere Anschlussverwertung für den produzierten Ökostrom. Auch hier kann Wasserstoff im Allgäu eine sinnvolle Option sein.



Ökostrombilanz 2019 im Allgäu ist besser als der Bundesschnitt (vgl. Destatis 2020; vgl. StMWi 2021)

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie bildete sich auch schnell ein Netzwerk mit benachbarten Regionen und Landkreisen (siehe auch Kapitel 6.5.). Durch diesen Informationsaustausch wurde schnell ersichtlich, dass es dort interessante Optionen für einen zukünftigen Absatzmarkt gibt, wie z.B. die Bodenseeschifffahrt. Auf der Suche nach lokalen Quellen für geeigneten und ausreichenden Ökostrom werden dort jedoch teilweise Grenzen erkennbar, so dass diese Regionen von einer zukünftigen „Kornkammer für grünen Wasserstoff“ im Allgäu profitieren könnten.

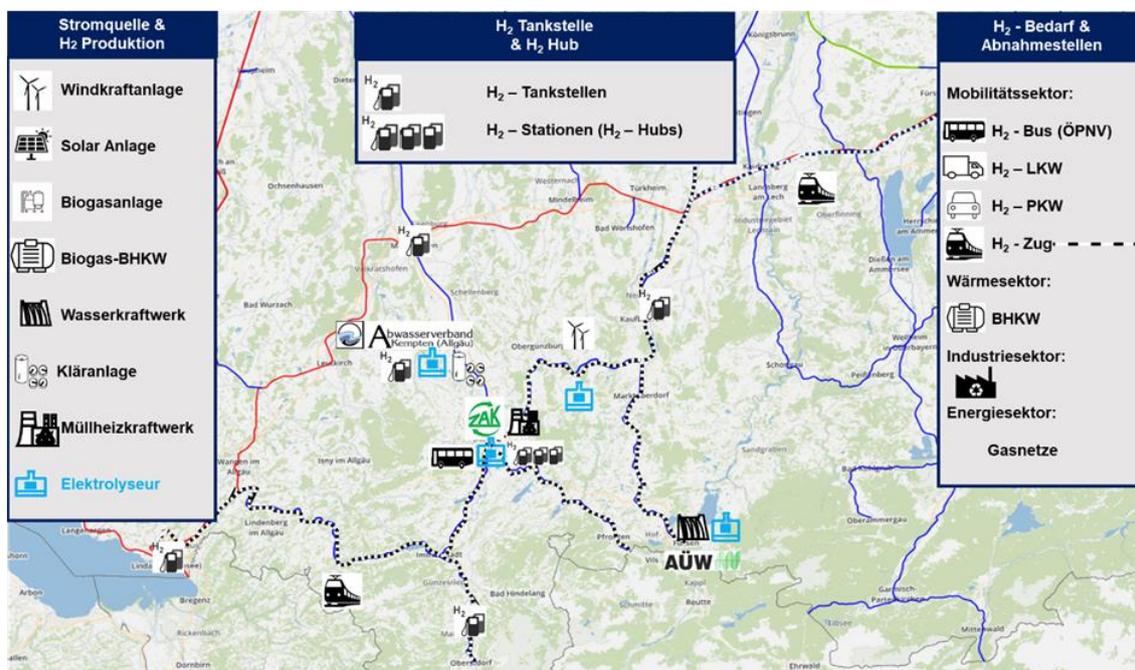
Sicher reichen auch im Allgäu die Ökostrommengen nicht um eine umfangreiche Wasserstoffwirtschaft flächendeckend zu ermöglichen. Zunächst geht es aber in der nächsten Generation von Förderprojekten um „praxistaugliche Reallabore“ für einen Markthochlauf, der frühestens erst 2030 oder später sein wird. Ziel dieser Reallabore muss es sein, die Technologien im Realbetrieb weiterzuentwickeln, um dann mit Produkten und Herstellern am Weltmarkt bestehen zu können. Ziel der Wasserstoffstrategie der Bundesrepublik ist es, dass eine Industrienation wie Deutschland in einer Zukunftstechnologie Wasserstoff zu den Weltmarktführern gehört.

Das Allgäu hat in der Region das Potenzial zur „Kornkammer des grünen Wasserstoffs“ zu werden.

1.3 NOW als starker Treiber für die Wasserstoffwirtschaft im Allgäu

Ziel war es die unter 1.1 aufgeführten Einzelideen zu einem erfolgversprechenden Gesamtkonzept zu vereinen. Weiterhin steht fest, dass im Erfolgsfall, die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie die Grundlage eines zukünftigen HyPerformance-Antrags darstellen. Somit wurde von Beginn an im Team sehr umsetzungsorientiert gearbeitet. Vor diesem Hintergrund wurden frühzeitig Kriterien festgelegt, welche die Teilprojekte erfüllen müssen. HyAllgäu orientierte sich am Marktpreis (9,50 €/kg) der öffentlichen Wasserstofftankstellen in Deutschland. Daraus resultieren maximal zulässige Gesteungskosten von 5,00 – 6,00 €/kg. Dies setzt wiederum einen Strompreis von max. 0,05 €/kWh, direkt am Elektrolyseur, und eine Mindestauslastung von 4.000 Vollbenutzungsstunden (VBh) voraus.

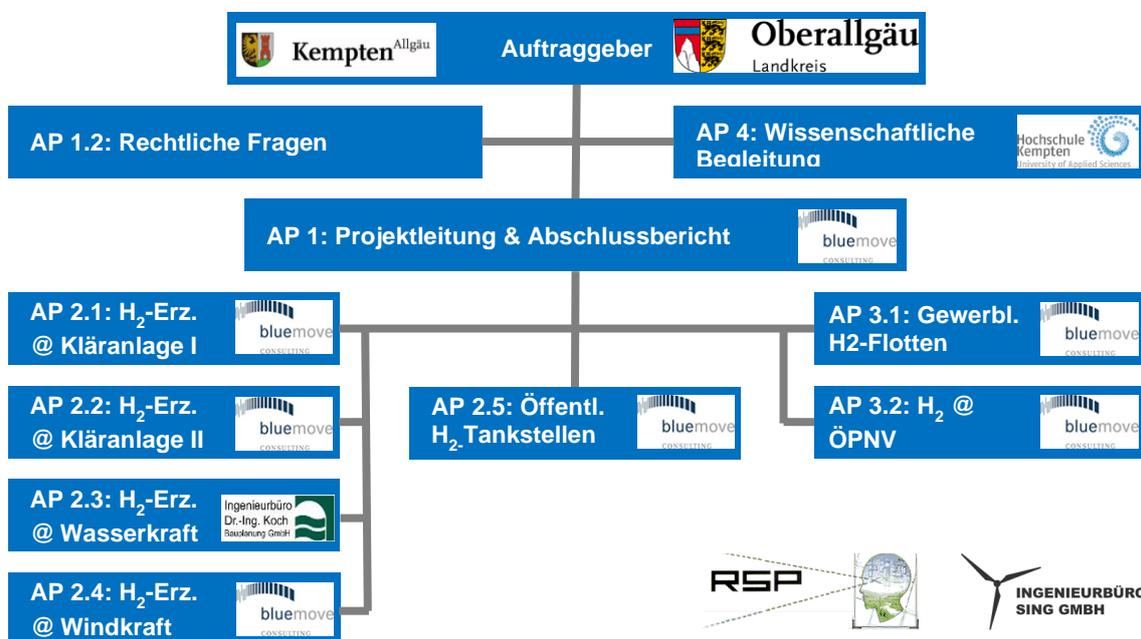
Mit Abgabe der Projektskizze entsprachen diesen strengen Kriterien nur die Strommengen beim AVKE. Die daraus resultierende Menge an grünem Wasserstoff betrug ca. 50 t/a. Da diese Mengen für den Betrieb eines Zuges im Allgäu nicht ausreichen, wurde dieses Thema im Projektantrag auch nur beiläufig erwähnt. Die Ideen für einen möglichen Absatz beschränkten sich auf ÖPNV-Busse in Kempten und auf öffentliche Tankstellen an strategisch relevanten Strecken in Memmingen und Lindau (Bodensee).



Übersicht der Projektideen für HyAllgäu

Wasserstoff ist sehr energieintensiv und mit hohen Investitionen verbunden. Darüber hinaus kommen hohe Aufwendungen für die Speicherung und den Transport hinzu. Die Wasserstoffwirtschaft ist somit in der Regel großen Industrie- und Energiekonzernen vorbehalten. Mit HyAllgäu sollte untersucht werden, inwieweit kurze und regionale Erzeugungs- und Verwertungsketten Effizienzsteigerungen ermöglichen. Weiterhin soll das Regionalprinzip der Stärkung der örtlichen Wirtschaft dienen.

Das Allgäu ist außerdem eine bevorzugte Tourismusregion. Zahlreiche kulturelle und landschaftliche Sehenswürdigkeiten sind traditionell für viele Touristen und Erholungssuchende ein begehrtes Reiseziel. Auch bei der regionalen Küche wird z.B. sehr stark auf Regionalität und Nachhaltigkeit geachtet. Es ist daher naheliegend den Gästen auch bei der Anreise und der lokalen Fortbewegung eine ökologische Alternative anzubieten. Gerade die Ortschaften und Täler in der Voralpenregion können durch alternative Antriebe im Mobilitätssektor eine erweiterte Vorreiterrolle in der Energie- und Mobilitätswende darstellen. Durch die zahlreichen externen Gäste ist auch eine signifikante öffentliche Präsentation der Möglichkeiten rund um die Wasserstoffwirtschaft gewährleistet. Eine überregionale und internationale Aufmerksamkeit ist somit sichergestellt.



Projektstruktur und Organigramm von HyAllgäu

Als im Dezember 2019 die positive Nachricht vom NOW kam, dass HyAllgäu eine der ausgewählten Regionen ist, ging ein entscheidender Ruck durchs Allgäu. Schnell kamen weitere interessante Standorte für eine mögliche Produktion von grünem Wasserstoff,

wie z.B. der Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK) hinzu. Auch ein Wasserkraftwerk der AÜW und ein Windpark in Wildpoldsried kamen in die nähere Auswahl. Somit konnten vier konkrete Standorte untersucht werden, die genannten Kriterien erfüllen können. Die vorläufig abgeschätzte Produktionskapazität für grünen Wasserstoff aus dem Allgäu betrug nun ca. 1.000 t/a, also mit Faktor 20 ein beachtlicher Zuwachs in kürzester Zeit.

Der Auftrag für die Machbarkeitsstudie ging Mitte 2020 nach einem öffentlichen Vergabeverfahren an die bluemove consulting GmbH. Die Projektstruktur resultiert aus den Inhalten der Projektskizze und konzentriert sich ausschließlich auf Teilprojekte in der Region bei regionalen Partnern.

Die Projekteinhalte clustern sich in die Themenschwerpunkte:

- (A) Produktion von grünem Wasserstoff
- (B) Tankstellen und Logistik
- (C) Regionale Verwertung von grünem Wasserstoff

Als Leistungsumfang der Machbarkeitsstudie wurden auch die Koordination und Steuerung der Teilprojekte mit aufgenommen. Dies beinhaltet auch die Betreuung und Integration der Nachunternehmerleistung im Bereich der Wasserkraft, der Koordination nicht im Rahmen der Machbarkeitsstudie beauftragter Fachbüros und der gesondert beauftragten Leistungen für Rechtsfragen und die Abstimmung mit der wissenschaftlichen Begleitung mit der Hochschule Kempten.

2 Ausgangslage

Das Thema Wasserstoff war im Allgäu zunächst geprägt von diversen „Netzwerk- und Stammtischveranstaltungen“. Darüber hinaus gab es schon immer Fans des Wasserstoffs aus den Kreisen der Pioniere der Energiewende, aber auch aus der Kommunalpolitik.

Spannend ist jedoch ein erster Blick auf die Akteure und Unternehmen rund um die Projektinhalte von HyAllgäu. Auf die Unternehmen und deren Rolle wird in dem jeweiligen Kapitel einzeln und im Zusammenhang mit dem jeweiligen Sachverhalt eingegangen. An dieser Stelle daher nur eine kleine Auswahl der Partner, ohne die solch ein großes Projekt nicht möglich wäre.

Hochschule Kempten (HKE), Forschungszentrum Allgäu

Mit der HKE gibt es vor Ort eine wissenschaftliche Einrichtung, die sich schon seit Jahren interdisziplinär und fachbereichsübergreifend mit dem Thema Wasserstoff auseinandersetzt. Die HKE behandelt in unterschiedlichen Fakultäten die Wasserstofftechnik und gilt daher auch über die Region hinaus als angesehenes Kompetenzzentrum. Darüber hinaus wird die HKE Veranstalter und Austragungsort der Abschlussveranstaltung von HyAllgäu sein. Neben der wissenschaftlichen Begleitung im Projekt HyAllgäu ist die HKE Konsortialführer des vom BMVI geförderten Verbundprojekts „cleanEngine“.

Abwasserverband Kempten (AVKE)

Der AVKE ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts, in der sich die kreisfreie Stadt Kempten und 11 Gemeinden des Landkreises Oberallgäu zur Abwasserentsorgung zusammengeschlossen haben. Der AVKE hat die Aufgabe, die anfallenden Abwässer der Verbandsmitglieder zu sammeln und im zentralen Gruppenklärwerk nach dem Stand der Technik im Sinne eines gezielten Umwelt- und Gewässerschutzes zu reinigen. Seit 2017 wird auf der Kläranlage mehr Strom produziert als für die Abwasserbehandlung erforderlich ist. Diese Effizienzmaßnahmen unter dem Motto „Vom Klärwerk zum Kraftwerk“ wurden u.a. mit dem bayerischen Abwasserinnovationspreis ausgezeichnet. Der Überschussstrom, ergänzt mit weiteren Maßnahmen zur Steigerung der Gasproduktion, eignet sich hervorragend zur wirtschaftlichen Produktion von grünem Wasserstoff im Allgäu. Hemmnisse wie zu geringe Vollaststunden oder Zuschläge auf den Strompreis durch externe Netze und Abgaben entfallen. Der AVKE verfügt,

gemeinsam mit der bluemove consulting, über Erfahrungen mit Forschungsprojekten, die Energieeffizienzthemen und die Wasserstoffproduktion behandelten.

Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK)

Die Landkreise Lindau (Bodensee) und Oberallgäu sowie die Stadt Kempten (Allgäu) haben sich als entsorgungspflichtige Körperschaften im Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK) zusammengeschlossen. Ziel ist es, die abfallwirtschaftlichen Aufgaben "Vermeiden, Verwerten und Entsorgen" gemeinsam zu lösen. Das heißt konkret: die Restmüllmengen zu minimieren, die Entsorgungssicherheit zu garantieren und abfallwirtschaftliche Anlagen bereitzustellen. Aufgaben des ZAK sind Planung, Bau, Überwachung und Betrieb von Wertstoff- und Abfallentsorgungseinrichtungen in den Diensten der stofflichen und biologischen Verwertung des Hausmülls und hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls. Im Bereich Abfallwirtschaft, Abteilung Logistik erfolgt das Management der Abfall- und Wertstoffmengen. Hier besteht der Kontakt zu den Fuhrparkdienstleistern, wodurch die Unterstützung beim Wechsel auf alternative Antriebe mit Wasserstoff zentral gesteuert werden kann.

Allgäuer Überlandwerk GmbH (AÜW)

Aus der Region für die Region. Die Allgäuer Überlandwerk GmbH ist zuverlässiger Partner für Energie im Allgäu und in Kempten (Allgäu). Das Regionalprinzip drückt sich auch zu 100 % im Gesellschafterkreis aus. Unter dem Motto Energiezukunft Allgäu treiben die AÜW die Energiezukunft im Allgäu voran. Voller Mut und Motivation werden von den AÜW als Innovatoren neue Projekte angegangen. Clever umdenken ist das Motto der AÜW – zum Beispiel mit dem Hybridkraftwerk in Sulzberg-Au, mit den neuen Maßstäben in der Speichertechnologie gesetzt werden. Oder mit dem Allgäu-Microgrid-Projekt, mit dem ein erster Blockchain-Test zur Digitalisierung des Energiesektors gestartet wurde. AÜW sieht sich daher für die Herausforderung der flexiblen Nutzung von Elektrolyseuren gut gerüstet.

BioEnergie Allgäu GmbH & Co. KG (BEA)

Die BEA ist ein Zusammenschluss regionaler Partnerunternehmen, bestehend aus der AÜW, der Allgäuer Kraftwerke GmbH (AKW) und der ZAK Energie GmbH. Die BEA ist spezialisiert auf die Errichtung und den Betrieb von Anlagen mit erneuerbaren Energien im Raum Kempten (Allgäu), Oberallgäu und Lindau (Bodensee), speziell Erzeugungs- und Versorgungsanlagen auf Basis von Biomasse (Holzheiz(kraft)werke und

Wärmeversorgung), sowie der Windkraft. Durch die enge Kooperation mit den Gesellschaftern AÜW, AKW und ZAK kann die BEA auf umfassende Erfahrungen und Kompetenzen in verschiedenen Bereichen zurückgreifen.

Regio Bus, Region Bayern, Regionalverkehr Allgäu GmbH (RVA)

Acht DB Busgesellschaften bedienen in Bayern mehr als 80 Prozent der Fläche des Bundeslands und bringen jährlich mit insgesamt 2.875 Bussen rund 100 Millionen Fahrgäste sicher an ihr Ziel. Der Sitz der Regionalleitung befindet sich in Ingolstadt. Mit der gemeinsamen Zentrale profitiert DB Regio Bus in Bayern von den regional unterschiedlichen Erfahrungen der Gesellschaften, ist schlagkräftiger im Wettbewerb und kann Innovationen besser vorantreiben. Eine der acht Gesellschaften ist die Regionalverkehr Allgäu GmbH (RVA) mit dem Firmensitz in Oberstdorf. Als Versorgungsgebiet gelten die Landkreise Oberallgäu und Ostallgäu sowie die kreisfreien Städte Kempten und Kaufbeuren.

Auch die im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersuchten Buslinien von Oberstdorf über angrenzende Alpenpässe werden zum großen Teil von der RVA betrieben. Das Team der RVA vor Ort in Oberstdorf und Füssen verfügt bereits über ausreichend Erfahrungen im Umgang mit alternativen Antrieben. Darüber hinaus bekommt es zusätzliche Unterstützung aus der Zentrale in Ingolstadt, der DB Regio Bus Bayern GmbH (DRB).

Fahrzeug-Servicezentrum Berchtold GmbH

Berchtold Reisen ist ein Familienunternehmen mit Know-how. Bereits über die dritte Generation hinweg profitieren Kunden und Geschäftspartner von Erfahrung und Wissen. Hinzu kommen das Engagement und der Unternehmergeist der jüngsten Generation. Mit einem modernen Fuhrpark bietet die Berchtold's Autoreisen und Reisebüro GmbH & Co. KG alle Möglichkeiten der Busreise. Die moderne Flotte reicht vom kleinen, komfortablen Reisebus bis hin zum Luxusreisebus mit sämtlichen Ausstattungsdetails.

Die Busse erfüllen alle die Euro 6 Norm, werden im eigenen Haus bestens gewartet und verfügen über die neueste Sicherheitstechnik. Dies garantiert die Fahrzeug-Servicezentrum Berchtold GmbH im Eigenbetrieb. Die bereits bestehende Partnerschaft mit den Herstellern Van Hool und Solaris bedeuten eine gute Grundlage für den anstehenden Betrieb mit Wasserstoffbussen sowie die Herausforderungen des erforderlichen Servicehubs für ÖPNV-Busse im Allgäu.

bluemove consulting GmbH (BMC)

Die BMC hat ihren Schwerpunkt in Energieeffizienzthemen und dezentraler Eigenerzeugung von Wärme, Kälte und Strom. Über die bluemove mobility GmbH verfügt sie darüber hinaus seit über 10 Jahren über Projekterfahrung in der Elektromobilität. Ganzheitliche Projekte in der Sektorenkopplung, also der lokalen Kombination von Gebäude- und Mobilitätssektor nehmen einen immer größer werdenden Projektanteil ein.

Neben unterschiedlichen F&E-Projekten ist BMC auch mit der Bearbeitung der Machbarkeitsstudie HyAllgäu beauftragt. Aus dieser Aufgabe heraus ergab sich auch die Gesamtprojektkoordination im Reallabor HyAllgäu. Im Teilprojekt AVKE betreut BMC derzeit auch die Realisierung der Wasserstoffproduktion.

3 Erzeugung von grünem Wasserstoff im Allgäu

Im Rahmen von HyAllgäu wurden vier mögliche Standorte für die zukünftige Produktion von grünem Wasserstoff untersucht:

1. Kläranlage Kempten (AVKE)
2. Müllheizkraftwerk Kempten (ZAK)
3. Wasserkraftwerk Horn bei Füssen (AÜW)
4. Windkraftanlagen in Wildpoldsried (ergänzt um Solarstrom & Biogas-BHKWs)

Darüber hinaus wurden in ersten Überlegungen Flexibilitätsoptionen betrachtet:

5. Einbindung der Elektrolyseure in ein virtuelles Kraftwerk (VK)

Die Standorte AVKE und ZAK stellen im Allgäu eine Sonderrolle dar, können in Ihren Inhalten auf andere nationale oder europäische Projekte übertragen werden. Die Projekte beim AÜW und in Wildpoldsried können als exemplarisch betrachtet werden und sind gut übertragbar auf andere vergleichbare Standorte im Allgäu und darüber hinaus.



Übersicht der in HyAllgäu behandelten Möglichkeiten der Wasserstoffproduktion

Mit den vier Standorten könnten im Allgäu schon allein ca. 1.000 t grüner Wasserstoff im Jahr produziert werden. Da die vier Standorte unterschiedliche Rahmenbedingungen und Herausforderungen haben werden diese in den nachfolgenden Kapiteln gesondert

behandelt. Darüber hinaus erfolgte die Bearbeitung der Standorte in enger Abstimmung mit den jeweiligen Betreibern und teilweise auch deren Planungspartner. Die Bearbeitung der Inhalte für eine zukünftige Wasserstoffproduktion erfolgte außerdem stark unter der Berücksichtigung branchenüblicher Prozesse und Richtlinien. Dieser interdisziplinäre Ansatz hat den Nachteil unterschiedlicher Herangehensweisen, bietet aber den Vorteil eines Best-Practice-Vergleichs.

Mit Blick auf die Realisierung von HyAllgäu als Reallabor im Anschluss an die Machbarkeitsstudie, erwies sich die frühzeitige Einbindung der zukünftigen potenziellen Investoren und Betreiber als Erfolgsfaktor heraus. Die Gefahr einer zu theoretischen Studie, die mangels Praxisbezug und Wirtschaftlichkeit für eine mögliche Realisierung nicht geeignet ist, konnte somit frühzeitig abgewendet werden. So konnten bereits vor der Fertigstellung der Machbarkeitsstudie HyAllgäu für die Standorte AVKE und ZAK bereits Investitionsförderungen beantragt und mit der Genehmigungsplanung begonnen werden. Wenn sich der tatsächliche Bedarf an grünem Wasserstoff aus dem Allgäu konkretisiert, können weitere Standorte folgen.

3.1 Grüner Wasserstoff von der Kläranlage Kempten

Die Inhalte und erarbeiteten Ergebnisse für das Beispiel „Kläranlage Kempten“ stammen aus Projektunterlagen, die im Auftrag der Kläranlage (AVKE) durch die bluemove consulting GmbH durchgeführt wurden. Für die Machbarkeitsstudie HyAllgäu konnte nach Freigabe nützlicher Informationen für die vorliegende Studie durch den AVKE dieses Kapitel bearbeitet werden, ohne das Projektbudget zu belasten.

Für Kläranlagen gibt es schon lange Überlegungen zur Produktion von grünem Wasserstoff. Voraussetzung für die Herstellung mittels Elektrolyse ist ein konstanter Überschuss an Strom durch die Faulgasverstromung. Darüber hinaus bieten Kläranlagen den Vorteil, dass der Sauerstoff und die Abwärme ebenfalls vor Ort verwendet werden können und somit zusätzliche Mengen an grünem Strom ermöglichen. Im Gegensatz zu Solarparks und Windkraftanlagen, die an Land nur über eine Vollbenutzungsstundenzahl (VBh) von ca. 1.000 bis 2.000 Stunden im Jahr verfügen, steht der Strom für den wirtschaftlich sinnvollen Betrieb einer Elektrolyse über 4.000 Stunden zu Verfügung. Im Normalfall sollten sogar 6.000 – 8.000 VBh möglich sein. Weiterhin gibt es für Kläranlagen zukünftig möglicherweise die Option für alternative Verfahren zur Herstellung von grünem Wasserstoff. Dies waren die Grundlagen und Fakten, die in die Bearbeitung der Standortanalyse eingeflossen sind.



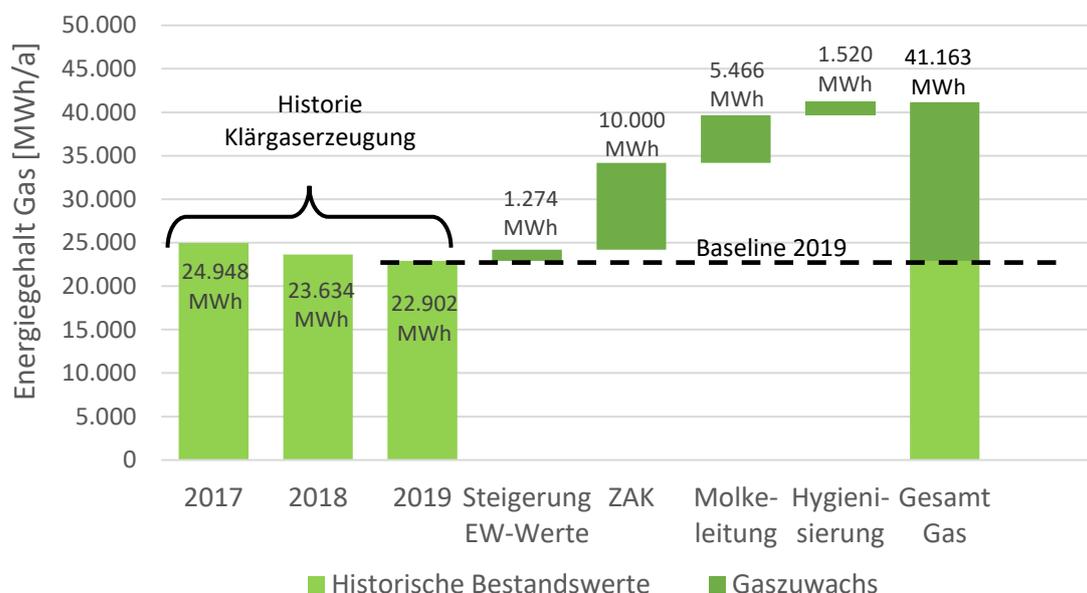
Kläranlage des Abwasserzweckverbands Kempten (AVKE)

Bereits heute wird die Anlage nahezu energieautark betrieben. 2017 konnte erstmalig ein bilanzieller Stromüberschuss generiert werden. Einer Beschaffungsmenge von ca. 0,3 GWh/a stand eine Rückspeisung von ca. 1,0 GWh/a gegenüber, was einem jährlichen Stromüberschuss von ca. 0,7 GWh entspricht. Grund hierfür ist ein konsequentes Energiemanagement bei dem Energieverbraucher permanent optimiert werden und die Eigenproduktion von Energie aus der Faulgasverstromung ebenfalls effizienter praktiziert wird. In diesem Zusammenhang wurde bereits ein älteres BHKW ausgetauscht und ein Wärme-Schicht-Speicher realisiert.

Unter dem Projekttitel „Vom Klärwerk zum Kraftwerk“ war der AVKE 2018 einer der Preisträger für den Bayerischen Abwasserinnovationspreis. Diese positive Entwicklung soll weiter fortgesetzt werden. Wesentlicher Aspekt ist zunächst die Steigerung der Faulgasmengen um ca. 50 %. Dies erfolgt aus drei Teilprojekten durch externes Gas und Co-Substrate aus benachbarten Liegenschaften:

- Hochkonzentrierte Molkereiabwässer werden direkt zur Kläranlage geleitet
- Zusätzliches Gas einer benachbarten Bioabfall-Vergärungsanlage des ZAK Kempten
- Schlachtabfälle als Co-Substrat mit zusätzlicher Hygienestufe

Diese Co-Substrate und zusätzlichen Faulgasmengen sind somit ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Energieüberschüsse. Ein weiterer Aspekt hierfür wird die konsequente Effizienzsteigerung von Prozessen und Antrieben (Verbrauchern) auf der Anlage sein.

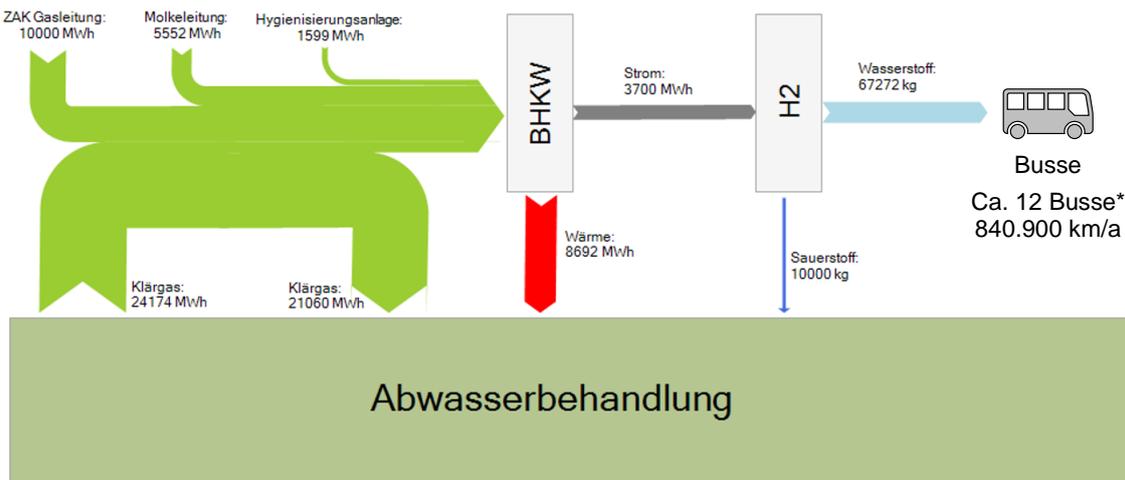


Erweiterte Faulgasmengen beim AVKE

Durch die Faulgasmenge würde die Möglichkeit bestehen das Gas direkt im Mobilitätssektor einzusetzen. Unklar ist jedoch die Entwicklung bei alternativen Antrieben hinsichtlich Gasfahrzeugen. Derzeit entwickelt sich dies eher zu einem Zweikampf zwischen batterieelektrischen Fahrzeugen und Brennstoffzellenantrieben. Beim AVKE soll somit auch das überschüssige Faulgas verstromt werden. Hierzu soll ein weiters großes BHKW mit einer elektrischen Leistung von ca. 1 MW projiziert werden. Temporäre Stromüberschüsse werden in einem Stromspeicher zwischengespeichert.

Als weiterer Aspekt wurden bereits Möglichkeiten der Flexibilität (Lastmanagement & Regenergie) betrachtet. Auch Sondertatbestände aus dem EEG zur vollständigen Befreiung der EEG-Abgaben wurden bereits untersucht. Hierzu sind in der Praxis zukünftig o.g. Stromspeicher erforderlich. Im Rahmen eines Rechtsgutachtens wurde geprüft, inwieweit markt- und netzdienliche Regenergie hinderlich sein kann für eine vollständige Befreiung der EEG-Abgabe für Eigenstrom. Dementsprechend erfolgt eine Abwägung EEG-Befreiung vs. Regenergie. Im Gegensatz zu Kleinanlagen verfügen

Abwasserreinigungsanlagen über eine Vielzahl unterschiedlichster „Flexibilitätsbausteine“ mit großen Leistungen für den Regelenergiemarkt. Große BHKWs können sogar dem Primärregenergiemarkt netzdienlich zur Verfügung gestellt werden. Auch Lasten (Verbraucher), wie z.B. Ventilatoren zur Belebung, können netz- und marktdienlich genutzt werden. Größere Stromspeicher runden diese Optionen nicht nur ab, sondern ermöglichen mehr Freiheitsgrade im praktischen Anlagenbetrieb.



*Bei einer Laufleistung von ca. 70.000 km/a

Produktion und Verwertung von grünem Wasserstoff beim AVKE in Kempten

Der zunehmende konstante Überschuss an nachhaltigem Strom aus Faulgas eignet sich auch hervorragend zur wirtschaftlichen Produktion von EE-Wasserstoff. Anlagen für die Elektrolyse und Tankstellen wurden inzwischen in die Projektplanung beim AVKE mit aufgenommen. Aus dem erweiterten Stromüberschuss von ca. 3,7 GWh_{elt} können z.B. 12 Kommunalbusse jährlich ca. 840.000 km fahren. Durch die örtliche Verwertung des Sauerstoffs aus der Elektrolyse in der biologischen Reinigungsstufe (Belebung) besteht ein zusätzliches theoretisches Einsparpotential von bis zu ca. 2 GWh_{elt} Strom im Jahr.

Grüner Wasserstoff aus der Abwasserwirtschaft kann für 5,00 – 6,00 €/kg produziert werden. Die Untersuchungen im Rahmen der Machbarkeitsstudie HyAllgäu bestätigen dieses Potenzial am Beispiel der Kläranlage in Kempten. Als wesentliche Erfolgsfaktoren hierfür gelten neben dem vor Ort verfügbaren Strom und somit der Vermeidung von Abgaben und Netzentgelt, die hohe Auslastung eines Elektrolyseurs. Für die anstehende Realisierung bedarf es jedoch im Idealfall mit ca. 500 kW eine andere Baugröße für den Elektrolyseur.

	Elektrolyseur 225 kW		Elektrolyseur 1 MW	
	4.000 VBh	8.000 VBh	4.000 VBh	8.000 VBh
Investitionsbedarf Gesamt [€]	1.000.000		2.200.000	
Jahreskosten (10a, 3%) [€/a]	117.231		257.907	
Instandhaltungskosten [€/a]	30.000		62.000	
Strommenge [kWh]	900.000	1.800.000	4.000.000	8.000.000
Stromkosten [€]	45.000	90.000	200.000	400.000
Gesamtjahreskosten [€/a]	192.231	237.231	519.907	719.907
Produzierte H ₂ -Menge (ohne Kompression) [kg]	16.364	32.727	72.727	145.455
Gestehungskosten (ohne Kompression) [€/kg]	11,75	7,25	7,15	4,95
Produzierte H ₂ -Menge (mit Kompression) [kg]	12.857	25.714	57.143	114.286
Gestehungskosten (mit Kompression) [€/kg]	14,95	9,23	9,10	6,30
Fördersumme Elektrolyseur (ca. 70 %) [€]	700.000		1.540.000	
Reduzierte Investitionssumme [€]	300.000		660.000	
Reduzierte Gesamtjahreskosten [€/a]	110.169	155.169	339.372	539.372
Reduzierte Gestehungskosten (ohne Kompression) [€/kg]	6,73	4,74	4,67	3,71
Reduzierte Gestehungskosten (mit Kompression) [€/kg]	8,57	6,03	5,94	4,72

*Effekt von Stromeinsparung bei Belegung durch Einbringung O₂ noch nicht berücksichtigt.

Vergleich Gestehungskosten H₂ bei einer Elektrolyseurleistung von 225 kW & 1 MW am Bsp. AVKE incl. der Aufwendungen für Kompression

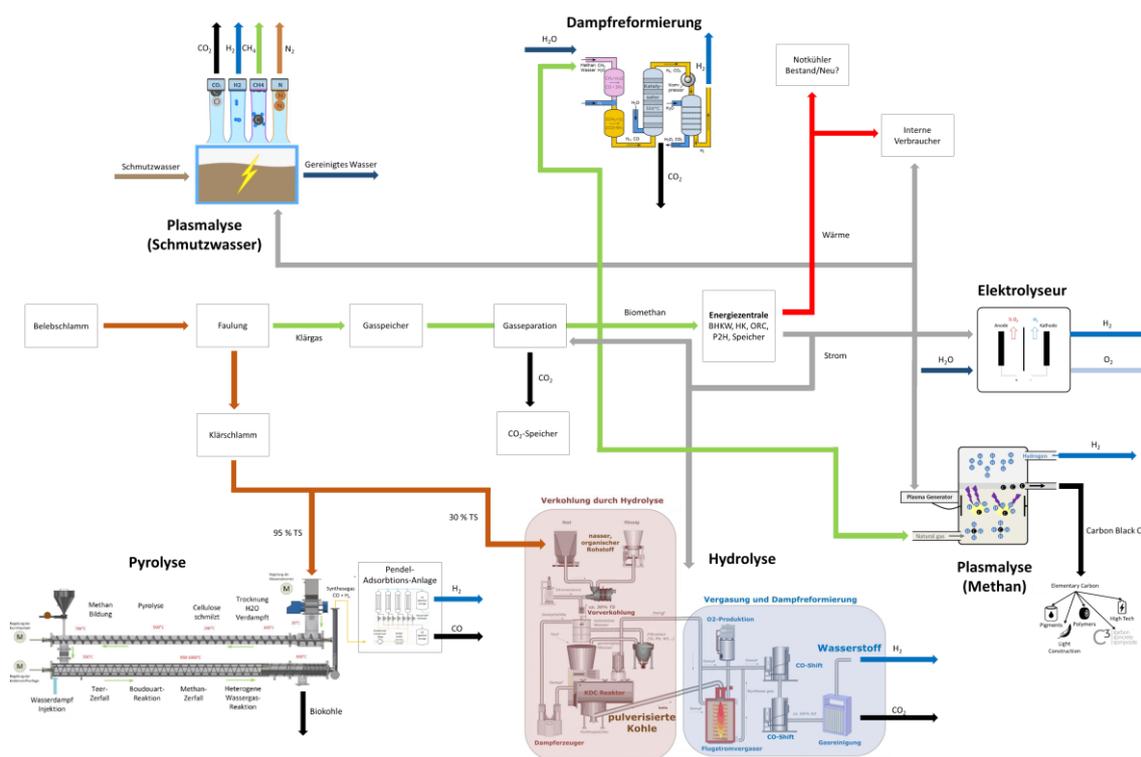
Alternative Verfahren für die Produktion von grünem Wasserstoff am Beispiel der Abwasserwirtschaft

Ein wesentliches Hemmnis für die Produktion von grünem Wasserstoff ist auf absehbare Zeit die Verfügbarkeit von ausreichenden Mengen an Ökostrom. In Zukunft könnten hier alternative Verfahren zur Produktion von grünem Wasserstoff hilfreich sein. Allein in der Abwasserwirtschaft bieten sich mehrere Optionen. So könnte z.B. durch die Dampfreformation der Stromeinsatz für vergleichbare Mengen an grünem Wasserstoff halbiert werden. Voraussetzung wäre ausreichend Wärme und in der Praxis verlässliche Anlagentechnik zu marktfähigen Kosten.

In der Machbarkeitsstudie HyAllgäu wurden neben der Elektrolyse auch folgende Verfahren betrachtet:

- Dampfreformation
- Schmutzwasser-Plasmalyse
- Methan-Plasmalyse
- Hydrolyse
- Pyrolyse

Unter Berücksichtigung der o.g. Untersuchungsergebnisse und der am Markt verfügbaren Technologien und Anbietern, bleibt zunächst aus Gründen der Investitionssicherheit ausschließlich die Option einer gesicherten Produktion über die Elektrolyse. Die, teilweise vielversprechenden, Ideen und Verfahren zur alternativen Produktion von grünem Wasserstoff in der Abwasserwirtschaft verdienen jedoch eine fortlaufende Beobachtung, bzw. vertiefende Analysen, um dann gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt oder bei anderen Standorten Anwendung zu finden.



Übersicht unterschiedlicher Verfahren zur H₂-Produktion am Beispiel des AVKE

In näherer Zukunft sollen die angefangenen Untersuchungen aus HyAllgäu und Auswertungen der Alternativen fortgesetzt und vertieft werden. Mit den Verfahren der Firmen blueFLUX Energy AG (Peißenberg) und Graforce GmbH (Berlin) gibt es vielversprechende Anbieter die bereits erste Pilotanlagen betreiben. Gerade die Abwasserwirtschaft eignet sich gut für solche Verfahren. Aber auch Biogas- oder Vergärungsanlagen sind zukünftig geeignete Einsatzgebiete. Spannend ist sicher, ob sich die angekündigten wirtschaftlichen Vorteile dieser Verfahren bestätigen.

Das Allgäu mit dem AVKE, der Vergärungsanlagen des ZAK, aber auch den zahlreichen Biogasanlagen, würde sich hervorragend für den Einsatz solcher Verfahren anbieten.

3.2 Wasserstofferzeugungsanlage am MHKW Kempten

Die Inhalte und erarbeiteten Ergebnisse für das Beispiel „MHKW Kempten“ stammen aus Projektunterlagen, die im Auftrag des ZAK bzw. der BEA durch die Ingenieurgesellschaft RSP Riemann, Sonnenschein & Partner GmbH erstellt wurden. Für die Machbarkeitsstudie HyAllgäu konnte nach Freigabe dieser für die Studie nützlichen Informationen durch den ZAK dieses Kapitel bearbeitet werden, ohne das Projektbudget zu belasten.



Standort MHKW/HHKW & Fernwärmenetz in Kempten (vgl. ZAK 2021)

Wesentlicher Produzent für die benötigten Wasserstoffmengen im Allgäu wird somit zunächst der ZAK mit Partnerunternehmen sein. Die möglichen Kapazitäten liegen mit bis zu 400 t/a deutlich über den Möglichkeiten des AVKE. In zwei Ausbaustufen können dort, je nach Bedarf an grünem Wasserstoff im Allgäu, 3 MW Elektrolyseurleistung realisiert werden.

In der Stadt Kempten und im Landkreis Oberallgäu gibt es schon seit Jahren erfolgreiche Aktivitäten für den Klimaschutz. Für die umweltverträgliche Wärmeversorgung in Kempten steht die ZAK Energie GmbH (ZAK), die Energiesparte des ZAK-Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten. ZAK betreibt in Kempten ein Müllheizkraftwerk (MHKW) und ein Holzheizkraftwerk (HHKW) für die energetische Verwertung von Restmüll und Altholz aus dem ZAK Gebiet bis hin zum Bodensee. Über ein 47 km langes Fernwärmenetz werden 275 Großkunden mit umweltfreundlicher Wärme versorgt. Somit werden die schadstoffintensiveren Energiequellen ersetzt und so der Region der Einsatz von 19,6 Millionen Liter Heizöl bzw. 19,6 Millionen m³ Erdgas erspart. Mittlerweile ist der ZAK mit seinen Anlagen und der daraus resultierenden CO₂-

Einsparung von ca. 70.000 Tonnen jährlich der größte Umweltentlaster in der Region. Allein für die Stadt Kempten bedeutet dies ein Minus von ca. 10 Prozent.



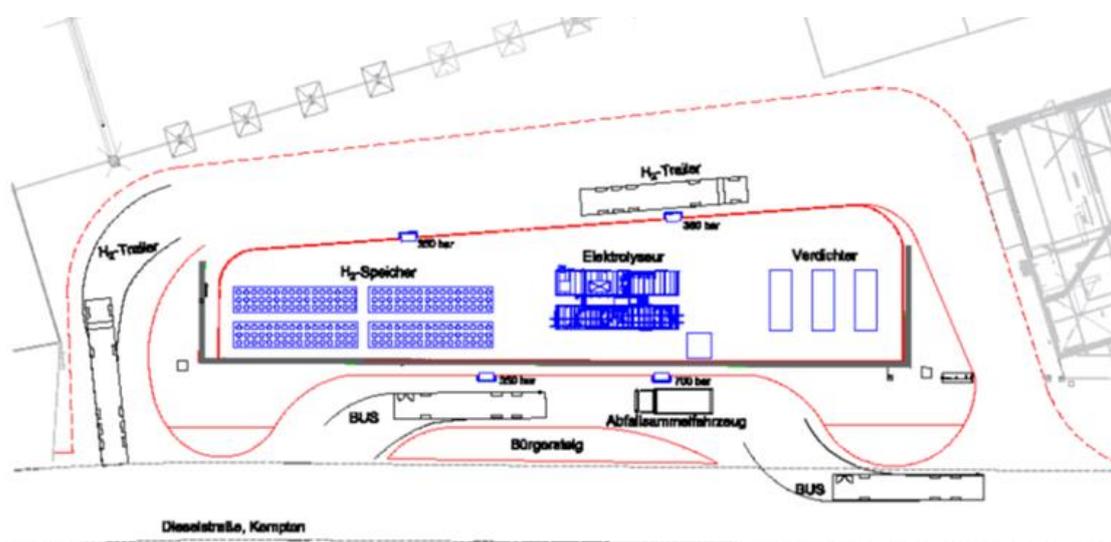
Referenzprojekt für die Produktion von Wasserstoff am MHKW Wuppertal

Beim HHKW in Kempten lief Ende 2020 die EEG-Vergütung aus. Es bietet sich daher an, diesen Strom in grünen regionalen Wasserstoff umzuwandeln. Geplant ist am Standort des MHKW/HHKW Kempten eine lokale Produktion von Wasserstoff zu realisieren. Die Strommengen aus dem biogenen Anteil Restmüll und dem nachhaltigen Altholz im HHKW Kempten betragen derzeit ca. 19.000 MWh/a und steigen im Jahr 2021 auf ca. 23.000 MWh/a. Diese ermöglichen eine Produktionsmenge an „grünem Regionalen Wasserstoff“ von bis zu 400 t im Jahr. Damit soll die Umsetzung der genannten kommunalen Klimaziele, insbesondere dort, wo mit „herkömmlichen“ Effizienzmaßnahmen keine sinnvollen Lösungen möglich sind, weiter unterstützt werden.

Für den Gesamtausbau sind nach ersten Untersuchungen 3 MW für den Elektrolyseur möglich. Je nach Absatzmarkt kann dies in zwei Schritten erfolgen. Sollten zunächst nur

1,5 MW realisiert werden, so würde die gesamte Infrastruktur und Peripherie bereits auf 3 MW vorbereitet werden.

Die von ZAK beauftragte Ingenieurgesellschaft RSP aus Herne hat bereits die Anlage beim MHKW in Wuppertal projektiert. Neben dem Erfahrungsaustausch im Bereich der Busse kann somit auch auf Erfahrungen in der Realisierung der Wasserstoffproduktion zurückgegriffen werden. Das Projekt in Kempten wird somit sowohl technisch als auch wirtschaftlich weiter optimiert werden können.



Standortplanung für regionale Wasserstoffproduktion in Kempten (RSP, Herne)

Am MHKW/HHKW Kempten ist die Infrastruktur für die Wasserstoffproduktion geplant. Der Standort eignet sich aus Platzgründen und hinsichtlich Logistik hervorragend als Verteilstation im Allgäu. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Wasserstoffproduktion gleichmäßig mit hohen Volllaststunden erfolgen kann. Hinzu kommt, dass durch die lokale Stromverwertung Netzgebühren, etc. vermieden werden können und somit marktgerechte Gestehungskosten möglich sind. Neben den Baukosten ist dies im Sinn reduzierter Betriebskosten für den zukünftigen Einsatz in Kommunen entscheidend.

Optional wird für die Anlage auch die 750 bar Variante vorgesehen. Je nach Absatzmarkt (z.B. in den o.g. Fahrzeugen zur Abfallentsorgung) kann auf diese Weise ein weiterer Zielmarkt bedient werden.

Ein weiterer Vorteil ist der Standort der geplanten Wasserstoffproduktion. Zahlreiche Busbetriebe bzw. angedachte Linien in Kempten sind in unmittelbarer Nähe zum ZAK. Die aus anderen Projekten bekannten, oft langen Umwege zur Betankung sind in

Kempten hinfällig. Dies ist ein deutlicher wirtschaftlicher Vorteil, auch für den ÖPNV. Somit ergibt sich eine Mischung aus Direktbetankung und Versorgung über Trailer. Gerade die Busbetriebe in Lindau, Kaufbeuren und Sonthofen/Oberstdorf werden dann bei Bedarf über Trailer und ausgelagerte Tankstellen versorgt.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Wasserstoffprojekten plant der ZAK eine regionale Verwertung. Der Energieträger Wasserstoff ermöglicht es dem ZAK zukünftig auch den Mobilitätssektor klimafreundlich zu bedienen. Somit lassen sich auf dem Weg einer vollständigen Klimaneutralität die „weißen Flecken“ hinsichtlich der Klimaziele im Allgäu zunehmend beseitigen. Die „regionale Direktvermarktung“, jenseits von Großhändlern und aufwendigen Lieferketten, trägt sehr stark zur Optimierung der Wirtschaftlichkeit bei und behält einen großen Teil der Wertschöpfung in der Region. Selbstverständlich ist es hier erforderlich, dass die Stadt Kempten und die Landkreise Oberallgäu und Lindau (Bodensee) als „verlässliche Kunden“ (Abnehmer) im Mobilitätssektor (ÖPNV, Abfallentsorgung, etc.) mit gutem Beispiel vorangehen.

Der Elektrolyseur wird zusammen mit dem MHKW/HHKW im Regenergiemarkt optimiert. Die Einspeisung und Last wird am Spot- und Intradaymarkt bis 5 Minuten vor Lieferbeginn über den EPEX-Spot optimiert. Damit wird sichergestellt, dass dem europäischen Stromsystem niemals Leistung entzogen wird, wenn Engpässe vorliegen und Leistung immer dann dem Stromsystem zur Verfügung gestellt wird, wenn diese dort benötigt wird. Die Kombination des Elektrolyseurs mit dem virtuellen Kraftwerk ist somit immer netzdienlich im europäischen Stromsystem und ergänzt sich optimal. Es entsteht kein erhöhter Verschleiß des Elektrolyseurs oder der Infrastruktur, da im Gegensatz zur Regelleistung die Fahrweise planbar bleibt, Rampen viel flacher sind und An-/Abfahrzyklen erheblich seltener sind.

Durch den Planer RSP aus Herne kann bereits viel Praxiswissen aus der Projektierung der Anlage in Wuppertal genutzt werden. Die Kostenberechnungen resultieren daher aus den Erfahrungen einer realisierten Anlage. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projektes HyAllgäu weitere Preisabfragen unterschiedlicher Hersteller in den Leistungsklassen 1,0 bis 5,0 MW eingeholt. Unter Berücksichtigung einer möglichen 55 % - Förderung können die Gestehungskosten für „grünen regionalen Wasserstoff“ aus dem Allgäu auf 5,00 – 6,00 €/kg gesenkt werden. Entscheidend ist hier selbstverständlich die Anlagengröße und deren Auslastung.

	Elektrolyseur 1,5 MW _{el}		Elektrolyseur 3 MW _{el}	
	4.000 VBh	8.000 VBh	4.000 VBh	8.000 VBh
Investitionsbedarf Gesamt [€]	11.542.000		13.930.000	
Jahreskosten (12a, 2%) [€/a]	1.091.407		1.317.215	
Instandhaltungs-, Wartungs-, Servicekosten [€/a]	174.754		174.754	
Personalbedarf, Versicherungen [€/a]	92.500		92.500	
Strommenge [kWh]	6.000.000	12.000.000	12.000.000	24.000.000
Stromkosten [€]	363.000	726.000	726.000	1.452.000
Gesamtjahreskosten [€/a]	1.721.661	2.084.661	2.310.469	3.036.469
Produzierte H ₂ -Menge [kg]	100.800	201.600	201.600	403.200
Gestehungskosten (mit Kompression) [€/kg]	17,08	10,34	11,46	7,53
Fördersumme Elektrolyseur (ca. 55%) [€]	6.348.100		7.661.500	
Reduzierte Investitionssumme [€]	5.193.900		6.268.500	
Reduzierte Gesamtjahreskosten [€/a]	1.121.387	1.484.387	1.586.001	2.312.001
Reduzierte Gestehungskosten [€/kg]	11,12	7,36	7,87	5,73

Gestehungskosten in Abhängigkeit der Anlagengröße und Auslastung (inkl. Kompression und Abfüllung)

Es ist geplant, dass der Vertrieb von „Grünem Regionalen Wasserstoff“ allgäuweit von einem verbundenen regionalen Unternehmen der BioEnergieAllgäu (Anteil ZAK 1/3, restliche Anteile regionale Stromversorger) übernommen und koordiniert wird, auch von anderen Erzeugern wie der Kläranlage in Kempten (kein Bestandteil des vorliegenden Antrags).

3.3 Produktion von EE-Wasserstoff an der Wasserkraftanlage Horn

Für die Untersuchung einer Produktion von grünem Wasserstoff mit grünem Strom aus Wasserkraft bieten sich im Allgäu Anlagen der Allgäuer Überlandwerke (AÜW) an. In mehreren Vorgesprächen mit der AÜW und in Kenntnis der übrigen Standorte wurde die Wasserkraftanlage (WKA) Horn bei Füssen als die geeignetste Anlage ausgewählt. Das Teilprojekt wurde durch das Ingenieurbüro Koch bearbeitet, einer Ingenieurgesellschaft mit hohem Erfahrungsschatz mit Wasserkraftwerken. Die Inhalte im Rahmen der Studie sind komprimiert aus der Projektunterlagen (IB Koch 2020) in der vorliegenden Studie wiedergegeben.



Wasserkraftwerk Horn des AÜW bei Füssen (AÜW 2021)

Mit der AÜW wurde vereinbart die Wasserstoffherzeugung vorerst auf 3 - 3,5 MW zu beschränken, eine Leistungssteigerung auf die maximale Kapazität von 5 MW soll möglich sein. Derzeit wird die erzeugte Energie bei 5 MW mit 0,07 €/kWh nach EEG vergütet, weshalb eine Produktion von Wasserstoff erst nach der EEG-Vergütung realistisch erscheint. Ob dann ein Maximalpreis von 0,05 €/kWh möglich ist muss geprüft werden. Nur so kann der Zielpreis an Gestehungskosten von 5 – 6 €/kg erreicht werden.

Wasser steht an der WKA zur Verfügung. Der Wasserverbrauch liegt bei ca. 280 l/h bei Volllast eines 1 MW Elektrolyseurs, bei einer 3 MW Anlage erhöht sich der Verbrauch entsprechend auf 840 l/h. Für die Wasseraufbereitung zu DI Reinstwasser ist im Umkehrosmosterfahren mit Ionentauscher geplant.

Im Kraftwerk ist eine Anlage zur Unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) in Betrieb und gegebenenfalls am Standort mit verwendbar. Der Aufwand der Anbindung an den Standort ist jedoch höher als eine separate USV im Elektrolysecontainer zu integrieren.

Durch die Stromerzeugung der WKW Horn ist eine sehr hohe Auslastung des Elektrolyseurs möglich. Bei 3 MW Leistung sind maximal 7.500 Vollnutzungsstunden, bei 3,5 MW knapp 7.000 VBh, bei 1 MW wären > 8 .000 VBh möglich.

In der Untersuchung wurden Richtpreisangebote von NEL Hydrogen, Hydrogenics und H-Tec Systems betrachtet. Alle Hersteller bieten eine modulare Erweiterung von 1 – 5 MW an.

Alle untersuchten Elektrolyseure arbeiten nach dem PEM Verfahren (Proton Exchange Membrane). Das Verfahren ist nach heutigem Stand der Technik das effizienteste und am schnellsten regelbar. Alle untersuchten Elektrolyseure erreichen einen Wirkungsgrad von ca. 75 %. Bei Wärmeauskopplung und Nutzung der Wärme kann der Gesamtwirkungsgrad auf 95 % gesteigert werden.

Der Abgabedruck am Ausgang des Elektrolyseurs liegt wahlweise zwischen 0 – 30 bar. In Abhängigkeit der Wasserstoffnutzung ist die Verdichtung auf den notwendigen Druck (LKW / Busse 450 bar, PKW 800 bar) entweder am Elektrolyseur oder an der Tankstelle zu realisieren.

Alle untersuchten Elektrolyseure sind so ausgestattet, dass ein Reinheitsgrad von 99,99 % gewährleistet ist und die Nutzung in Brennstoffzellenantrieben daher ohne weitere Maßnahmen möglich ist.

Der Vorteil von PEM Elektrolyseuren ist die schnelle Regelbarkeit über eine Bandbreite von 15 – 100 % der Nennleistung. Die Hochlaufzeit von Mindest- auf Nennlast beträgt ca. 30 Sekunden.

Alle drei Anbieter bieten schlüsselfertige 1 MW Anlagen mit modularen Erweiterungsmöglichkeiten an. Bei einer Erweiterung von 1 auf 2 MW empfiehlt sich die die Kopplung eines weiteren schlüsselfertigen Containers. Bei einem Einstieg ab 3 MW sollten Wasseraufbereitung, Verdichter, Kühlung, Stromrichter und H₂ Reinigung getrennt von den Elektrolyse Stacks ausgelegt werden.

Gemäß den Richtpreisangeboten für eine 3 MW - Anlage kostet die schlüsselfertige Elektrolyseanlage einschließlich Lieferung Anschluss und Inbetriebnahme ca. 4,2 Mio. €. Für Wartung und Betriebskosten müssen ca. 110.000 €/a veranschlagt werden. Darüber hinaus fallen für bauliche Maßnahmen ca. 430.000 € an. Netznutzungsgebühren fallen bei der Elektrolyse auf dem Kraftwerksgelände nicht an.



Flächenplan für die mögliche Wasserstoffproduktion am Kraftwerk Horn (IB Koch)

Die Produktionskapazität am Wasserkraftwerk Horn beträgt ca. 400 t/a grüner Wasserstoff. Unter Berücksichtigung der o.g. Projekt- und Betriebskosten, allerdings bei einem gedeckelten Strompreis von 0,05 €/kWh, betragen die Gestehungskosten hier ca. 5 – 6 €/kg für grünen Wasserstoff.

Der Umsetzungszeitraum ist maßgeblich durch die Lieferzeiten der Hersteller von Elektrolyseanlagen bestimmt. Diese beträgt zwischen 12 und 16 Monaten. In dieser Zeit können die notwendigen baulichen Infrastrukturmaßnahmen durchgeführt werden. Der Umsetzungszeitraum wird auf insgesamt 18 Monate ab Auftragserteilung veranschlagt.

3.4 Grüner Wasserstoff aus kombinierten EE-Anlagen in Wildpoldsried



Windkraftanlagen in Wildpoldsried (Gemeinde Wildpoldsried 2021)

Die Gemeinde Wildpoldsried ist seit über 20 Jahren Vorreiter in der Energiewende. 2018 hat die Gemeinde mit ihren gesamten EEG-Anlagen das 7,6 - fache des eigenen Bedarfs erzeugt. Geprägt ist die Energiewende in Wildpoldsried seit Jahren von den zahlreichen lokalen Windkraftanlagen. Darüber hinaus existieren zahlreiche Solar- und

Biogasanlagen. In der Gemeinde existiert zusätzlich ein Nahwärmenetz. Die Wärme wird vorrangig mit Biogas-BHKWs erzeugt. Über eine 4,5 km lange Mikrogasleitung aus den unterschiedlichsten Biogasanlagen werden BHKWs betrieben, die direkt in das örtliche Nahwärmenetz einspeisen können.



Wildpoldsried „Das Energiedorf“ – Pionierarbeit belegt durch zahlreiche Auszeichnungen (vgl. Gemeinde Wildpoldsried 2021)

Die Strommengen aus Anlagen der EEG-Vergütung (Windkraft, PV und Biogas) in Wildpoldsried betragen derzeit ca. 53.000 MWh/a aus 29 MW Gesamtleistung.

Windkraftanlagen und Solarparks werden häufig als mögliche Stromquellen für die Produktion von grünem Wasserstoff herangezogen. Wildpoldsried könnte daher ein Standort für grünen Wasserstoff sein. Ungeachtet dieser Möglichkeiten weisen solche Solarparks und Windkraftanlagen für die wirtschaftliche Produktion von grünem Wasserstoff folgende Hemmnisse auf:

- zu geringe Vollbenutzungsstunden (min. 4.000 VBh, eher 6.000 bis 8.000 VBh sind erforderlich)
- so lang die EEG-Vergütung läuft ist ein Zielpreis von max. 0,05 €/kWh schwer zu realisieren

- für den Strom am Elektrolyseur müssen energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen beachtet und Lösungen entwickelt werden, die Mehrkosten durch Abgaben, Steuern, etc. ausschließen

Für die genannten Hemmnisse zeichnen sich in Wildpoldsried jedoch auch Lösungsansätze an. Inhalt der Machbarkeitsstudie war es diese zu untersuchen und die Auswirkungen auf die Gestehungskosten, also der Wirtschaftlichkeit, mit realen Daten zu ermitteln.

Für die ersten zwei Windkraftanlagen à 1 MW_{elt} (2.900 MWh) endete Anfang 2021 die EEG-Vergütung. Allein diese würde mit einem Elektrolyseur mit ca. 1 MW Leistung eine Produktionsmenge an „grünem regionalen Wasserstoff“ von zunächst ca. 35 t im Jahr ermöglichen. Somit wäre bereits eines der Hemmnisse gelöst. Im Gegenteil, durch den Wegfall einer gesicherten Vergütung besteht der Bedarf einer verlässlichen alternativen „Stromsenke“. Zeitnah entfällt bei weiteren Anlagen die EEG-Vergütung, sodass bei entsprechender Nachfrage die Produktionskapazitäten sogar erweitert werden können.

Um eine Optimierung der Auslastung des Elektrolyseurs mit über 4.000 VBh zu realisieren, bietet es sich an, die unterschiedlichen EEG-Anlagen zu einem „intelligenten Kraftwerkmix“ lokal zu kombinieren. Im Rahmen der Machbarkeitsstudien wurden die tatsächlichen Energiekennzahlen der Anlagen zusammengetragen und ausgewertet. Es wurde eine Kombination mit den in Frage kommenden Windkraftanlagen und weiteren örtlichen Biogas- und Solaranlagen untersucht. Auch bei diesen entfällt in den nächsten Jahren die EEG-Vergütung.

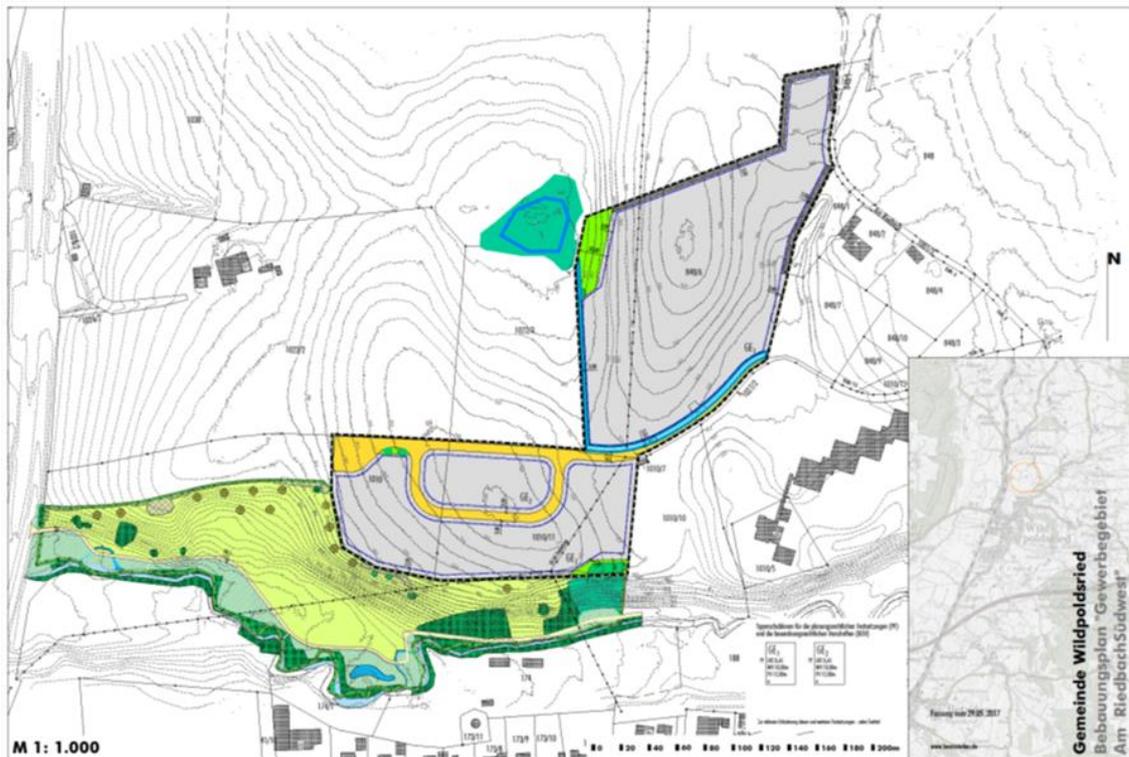


Solar- und Biogasanlagen können in Wildpoldsried die Windkraftanlagen intelligent und effizient ergänzen

Die Windkraftanlagen in Wildpoldsried liegen außerhalb der Ortschaft auf einem Höhenrücken. An den Standorten herrschen sehr gute Windverhältnisse, verfügen jedoch über den Nachteil, dass eine lokale Aufstellung des Elektrolyseurs aufgrund der



Logistik Nachteile hat. Um die Idee des intelligenten Anlagenmix erfolgversprechend zu bearbeiten, wurde darauf geachtet, dass die ausgewählten Einzelanlagen und die zukünftigen Verbraucher sowie der Standort des Elektrolyseurs in lokaler Nähe sind. Der Elektrolyseur bzw. die Abfüllstationen müssen darüber hinaus mit LKWs leicht erreichbar sein.



Zukünftiges Gewerbegebiet „Quartier Riedbach“

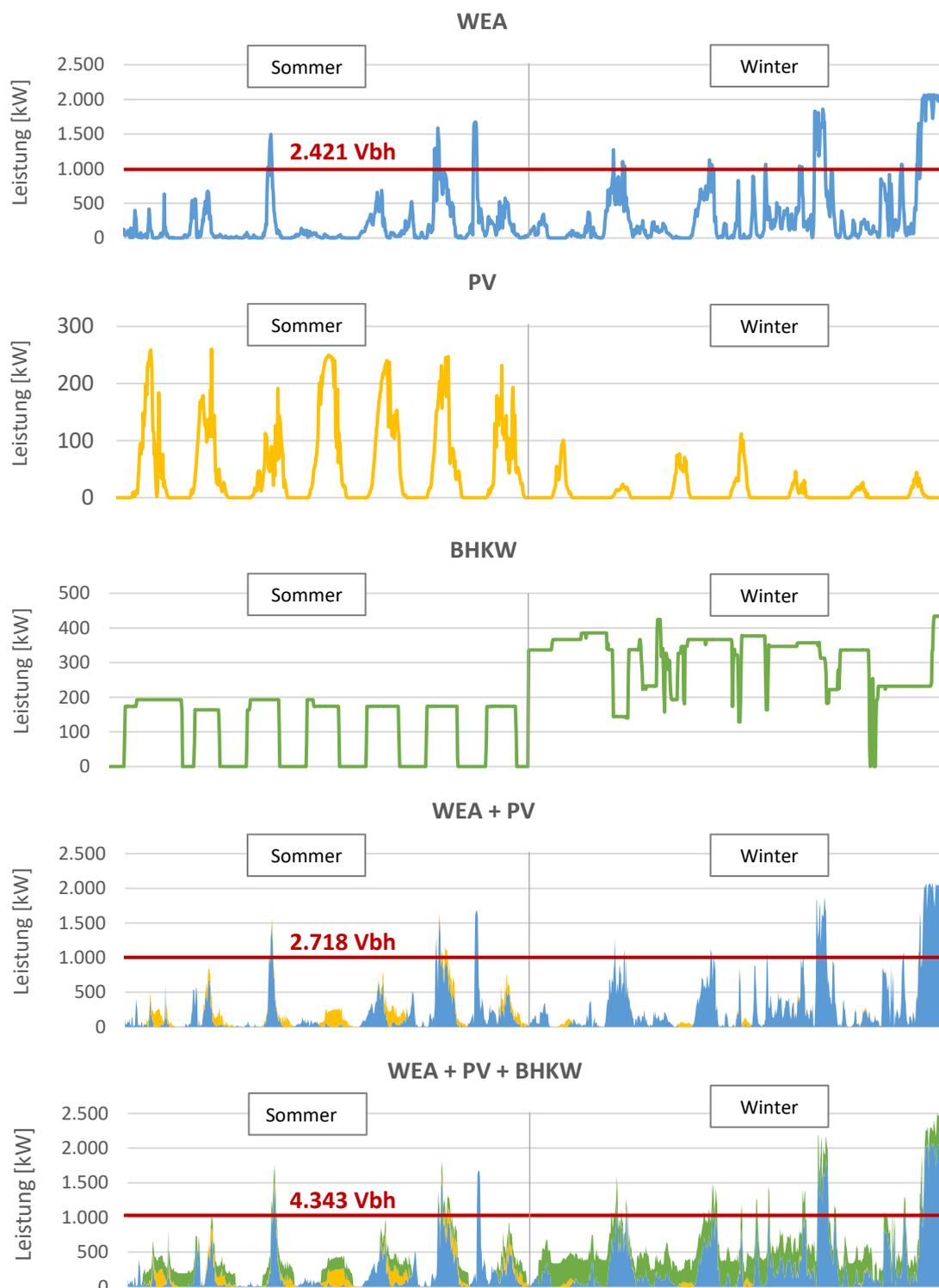
Am Standort Gewerbegebiet „Riedbach Quartier“ kann solch eine lokale Produktion von Wasserstoff realisiert werden. Ein Teil der Anlagen ist in unmittelbarer Nähe. Die einzubindenden Windkraftanlagen könnten z.B. unter Berücksichtigung der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen und einer technischen Abstimmung mit den Netzbetreibern über eine 20 kV-Leitung angebunden werden. Damit lässt sich die Produktionsmenge von den o.g. 35 t/a auf ca. 100 t/a H₂ im Jahr anheben. Gleichzeitig sollte geprüft werden, ob die Gesteungskosten von über 20,00 €/kg auf ca. 5,00 – 6,00 €/kg gesenkt werden können.

Nr.	Anlage in Wildpoldsried		IBN	EEG Vergütung [ct/kWh]	Nennleistung [kW]	Stromerzeugung 2019	
	Name					[MWh/a]	[Vbh]
Windenergie-Anlagen							
1	Schotten (E82)		2007		2.000	3.563	1.782
2	Hochbachtel (E82)		2007	0,0943	2.000	4.076	2.038
3	Fuchsbau No (E82)		2012	0,0996	2.300	9.228	2.006
4	Fuchsbau Sü (E82)		2012		2.300		
5	Westerried (Kraftsried OAL) (S 77)		2002	0,0949	1.500	2.284	1.523
6	Haarberg Mitte (S 77)		2001	0,0965	1.500	4.481	1.494
7	Harrberg Süd (S 77)		2001		1.500		
8	Hutoi Nord (E 58)		2000	0,0958	1.000	2.900	1.450
9	Hutoi Süd (E 58)		2000		1.000		
10	In der Höll Nord -WildKraft (E 115)		2015	0,0905	3.000	12.164	2.027
11	Albratsmoos-WildKraft (E 115)		2015		3.000		
Summe WEA					21.100	38.696	1.834
PV-Anlagen							
1	ZAK: PV-Freilandanlage		2013	12,1	304,50	316	1.039
2	Bauhof				17,62	18	1.000
3	Feuerwehrhaus				27,48	27	1.000
4	Schule				93,64	94	1.000
5	Alte Turnhalle				26,25	26	1.000
6	Neue Sporthalle				147,00	147	1.000
7	Rathaus				15,57	16	1.000
8	Rathausschuppen				4,00	4	1.000
9	Wertstoffhof				42,36	42	1.000
10	Parkhaus				13,65	14	1.000
11	Badehaus				8,10	8	1.000
12	Kinderkrippe				47,53	48	1.000
13	Eisstockhütte				7,70	8	1.000
14	KULTIVIERT				9,90	10	1.000
15	Freilandanlage Wasserversorgung				9,90	10	1.000
16	Rest (274 Anlagen)				4.600,80	4.601	1.000
Summe PV					5.376	5.121	953
BHKW-Anlagen							
1	Eufnach BHKW		2004		100	3.908	2.927
2	Eufnach BHKW			250			
3	Eufnach BHKW			250			
4	Eufnach BHKW			735			
5	Hungersberg BHKW		2008		250	1.798	7.191
6	Ösch BHKW		2010		250	1.634	3.552
7	Ösch BHKW			210			
8	Riedbach BHKW		2008		250	1.956	4.252
9	Riedbach BHKW			210			
Summe BHKW					2.505	9.295	3.711
Summe Gesamt					28.981	53.112	1.833
Kombiniertes Kraftwerk Riedbach					2.765	5.172	1.871

Übersicht der EEG-Anlagen (grün = Kombination der Energieerzeugungsanlagen)

Im Rahmen der Datenauswertung wurden zunächst die Kennzahlen in den Bereichen Windkraft und Biogas für sämtliche Anlagen in Wildpoldsried ausgewertet. Bei den Solaranlagen wurde dies, soweit sinnvoll und erforderlich, für die größeren Anlagen

durchgeführt. Neben der Anschlussleistung wurden auch die tatsächlichen Produktionsmengen der letzten Jahre ausgewertet.



Veränderte Lastprofile durch die Kombination unterschiedlicher Erzeugungsanlagen in Wildpoldsried (Sommer: 10.06.-16.06.19; Winter: 16.12.-22.12.19)

Das Anlagenalter und der Standort waren die Kriterien für die Vorauswahl einer Kombination aus den Erzeugungsanlagen Windkraft, Solarpark und Biogas-BHKWs. Für die ausgewählten Anlagen wurden die jeweiligen Erzeugerlastprofile beschafft und ausgewertet. Um die verfügbaren Vollbenutzungsstunden zu ermitteln, wurde zunächst von einer Leistung für den Elektrolyseur von 1.000 kW ausgegangen. Je größer die Elektrolyseurleistung, umso geringer werden die Vollbenutzungsstunden.

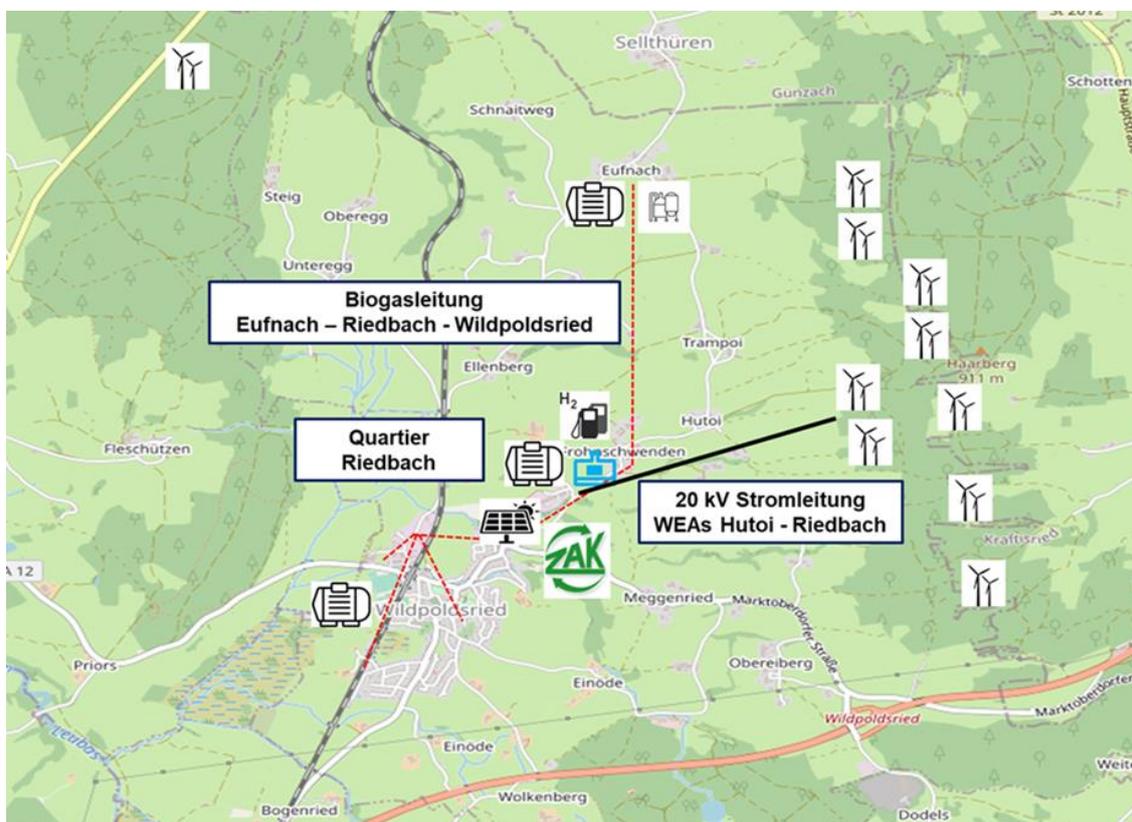
	Strom über Netz		Elektrolyseur bei WEA	Elektrolyseur im Quartier Riedbach				Idealisiertes Virtuelles Kraftwerk
	0 a	0 b		I	II a	II b	II c1	
	WEA @ AVKE Elektrolyseur	WEA @ ZAK Elektrolyseur	WEA	WEA	WEA + PV	WEA + PV + BHKW (wärmegeführt)	WEA + PV + BHKW (wärme- u. stromgeführt)	III WEA + PV + BHKW
Gesamtleistung WEA [kW]	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	offen
Gesamtleistung PV [kW]	-	-	-	-	305	305	305	offen
Gesamtleistung BHKW [kW]	-	-	-	-	-	460	460	offen
Gesamtleistung [kW]	2.000	2.000	2.000	2.000	2.305	2.765	2.765	offen
Jahresstromerzeugung WEA [MWh/a]	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900	offen
Jahresstromerzeugung PV [MWh/a]	-	-	-	-	316	316	316	offen
Jahresstromerzeugung BHKW [MWh/a]	-	-	-	-	-	1.956	2.530	offen
Jahresstromerzeugung Gesamt [MWh/a]	2.900	2.900	2.900	2.900	3.217	5.173	5.747	> 8.000
Stromerzeugung p.a. < 1 MW [MWh/a]	2.421	2.421	2.421	2.421	2.718	4.343	4.918	8.000
Reststrom Fremdvermarktung [MWh/a]	480	480	480	480	499	829	829	offen
Vollbenutzungsstunden Elektrolyseur [Vbh]	2.421	2.421	2.421	2.421	2.718	4.343	4.918	8.000
Wasserstoffherzeugung pro Jahr [t/a]	34,6	34,6	34,6	34,6	38,8	62,0	70,3	114,3
Zuwachs H ₂ -produktion gg. WEA [%]	0%	0%	0%	0%	12%	79%	103%	231%

Entwicklung Strombedarf und Erzeugungskapazität durch Virtuelles Kraftwerk am Beispiel Wildpoldsried

Durch die Kombination der ausgewählten Windkraftanlagen und dem lokalen Solarpark lässt sich die Vollbenutzungszahl bereits anheben. Eine signifikante Erhöhung erfolgt schließlich durch die Biogas-BHKWs. Hier wurden zunächst die tatsächlichen Betriebslastprofile angesetzt. Im Gegensatz zu Solar- oder Windkraftanlagen unterliegen Biogas-BHKWs nicht zwingend externen volatilen Einflüssen. Sie könnten also netz- oder lastdienlich betrieben werden, insbesondere wenn die Gasproduktion und die Wärmeauskopplung durch Speicher etc. flexibel gestaltet werden. Der Effekt einer effizienteren Auslastung der Elektrolyseure könnte also noch deutlich optimiert werden. Vor diesem Hintergrund können neu geplante Anlagenkonstellationen solche Aspekte berücksichtigen. Durch entsprechend optimiert ausgelegte und untereinander

abgestimmte Einzelkomponenten kann eine noch bessere Effizienz und Wirtschaftlichkeit für die Produktion von grünem Wasserstoff erzielt werden.

Aus Gründen der Logistik, aber auch zur Vermeidung von Netzentgelt und sonstigen Abgaben, wäre eine 20 kV-Leitung von den entfernten Windkraftanlagen zum o.g. Standort am Riedbach eine zu prüfende Option. Die Mehrkosten fallen entsprechend u.g. Berechnung der Gestehungskosten sehr gering aus. Entscheidend sind die Kostenvorteile durch vermiedenes Netzentgelt und EEG-Abgaben sowie durch eine intelligente Kombination unterschiedlicher lokaler Energieerzeugungsanlagen. Dort stehen weitere EEG-Anlagen und der Standort bietet sich für die Produktion, die Verwertung und die Logistik von Wasserstoff an. Für die Wasserstoffproduktion in Wildpoldsried ist ein Elektrolyseur mit ca. 1 MW geplant.



Übersicht EEG-Anlagen und eine mögliche Wasserstoffproduktion in Wildpoldsried

Spannend ist nun die wirtschaftliche Auswirkung bzw. der Einfluss auf die Gestehungskosten für grünen Wasserstoff durch die Konfiguration unterschiedlicher Erzeuger. Für die Kalkulation und Untersuchung wurden Richtpreisangebote eingeholt. Für die „interne“ Vergütung wurde ein Preis von 0,05 €/kWh zu Grunde gelegt. Durch

den lokalen „Eigenstrom“ wurde davon ausgegangen, dass keine weiteren Abgaben erforderlich sind.

Für die Gestehungskosten wurden die zwei Szenarien ohne und mit 50 % Investitionsförderung betrachtet. Somit kann jeweils auch dieser Aspekt der Wirtschaftlichkeit, aber auch die Notwendigkeit einer Förderung, abgeleitet werden.

In der Variante 0 wird zu Grunde gelegt, dass der Strom aus den zwei Windkraftträdern in Wildpoldsried einem Elektrolyseur in Kempten für die Wasserstoff Produktion zur Verfügung gestellt wird, also keine lokale Wasserstoffproduktion. Die Gestehungskosten liegen mit ca. 15,00 bis 20,00 €/kg deutlich über den Vorgaben und einem marktfähigen Preis. Aus den Berechnungen wird auch ersichtlich, dass die Verwertung in deutlich größeren Elektrolyseuren wie beim ZAK gegenüber kleineren Anlagen wie z.B. beim AVKE erhebliche wirtschaftliche Vorteile haben würde. Dies liegt an den spezifisch preiswerteren Kapazitätserweiterungen der betroffenen Elektrolyseure.

	Strom über Netz		Elektrolyseur bei WEA	Elektrolyseur im Quartier Riedbach				Idealisiertes Virtuelles Kraftwerk
	0 a	0 b		I	II a	II b	II c1	
	WEA @ AVKE Elektrolyseur	WEA @ ZAK Elektrolyseur	WEA	WEA	WEA + PV	WEA + PV + BHKW (wärme-geführt)	WEA + PV + BHKW (wärme- und stromgeführt)	WEA + PV + BHKW
Investitionsbedarf Leitung [€]	0	0	0	120.000	120.000	120.000	120.000	0
Investitionsbedarf Elektrolyseur (Einsiedler) [€]	0	0	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000
Investitionsbedarf Elektrolyseur (Mehrkosten extern) [€]	1.800.000	1.000.000	0	0	0	0	0	0
Investitionsbedarf Speicher [€]	0	0	0	0	0	0	0	0
Investitionsbedarf Gesamt [€]	1.800.000	1.000.000	2.200.000	2.320.000	2.320.000	2.320.000	2.320.000	2.200.000
Jahreskosten (10a, 3%) [€/a]	211.015	117.231	257.907	271.975	271.975	271.975	271.975	257.907
Instandhaltungskosten [€/a]	50.000	30.000	62.000	62.000	62.000	62.000	62.000	62.000
Stromkosten [ct/kWh]	18	18	5	5	5	5	5	5
Stromkosten [€/a]	435.690	435.690	121.025	121.025	135.875	217.170	245.885	400.000
Gesamtjahreskosten [€/a]	696.705	582.921	440.932	455.000	469.850	551.145	579.860	719.907
Gestehungskosten [€/kg]	20,15	16,86	12,75	13,16	12,10	8,88	8,25	6,30
Fördersumme Elektrolyseur (ca. 50%) [€]	900.000	500.000	1.100.000	1.160.000	1.160.000	1.160.000	1.160.000	1.100.000
Reduzierte Investitionssumme [€]	900.000	500.000	1.100.000	1.160.000	1.160.000	1.160.000	1.160.000	1.100.000
Reduzierte Jahreskosten [€/a]	105.507	58.615	128.954	135.987	135.987	135.987	135.987	128.954
Reduzierte Gesamtkosten [€/a]	591.197	524.305	311.979	319.012	333.862	415.157	443.872	590.954
Red. Gestehungskosten [€/kg]	17,10	15,16	9,02	9,23	8,60	6,69	6,32	5,17
Einfluss Förderquote (50%) auf Gestehungskosten	-15%	-10%	-29%	-30%	-29%	-25%	-23%	-18%

Entwicklung und Optimierung der Gestehungskosten (nur Elektrolyse) durch die intelligente Kombination von Stromerzeugern am Bsp. Wildpoldsried

In der Variante I wurde eine mögliche Wasserstoffproduktion direkt an den Windkraftträdern untersucht, ungeachtet der Tatsache rund um die Hemmnisse der Zufahrt und Logistik. Durch die vermiedenen Abgaben und das eingesparte Netzentgelt ist bereits eine erste deutliche Einsparung zu verzeichnen. Dies beinhaltet noch nicht die Effekte einer Kombination mit anderen Erzeugungsanlagen.

Um dies zu ermöglichen, wurde in der Variante II der Elektrolyseur in das Riedbach Quartier verlegt. Bei Variante II a handelt es sich weiterhin um reinen Windstrom. Daraus wird ersichtlich, dass der Kostenanstieg durch die 20 kV – Leitung vernachlässigbar ist. Diese würde in Wildpoldsried der Betreiber der Windkraftanlagen ohnehin selbst verlegen lassen.

In den Varianten II b, II c1 & II c2 ist dann sehr anschaulich der Kostenvorteil durch die schrittweise Kombination mit anderen Technologien zu beobachten.

Bei Variante III wurde dann von einer optimierten Planung einer intelligenten Anlagenkombination mit 8.000 VBh im Jahr ausgegangen. Die Untersuchung zeigt das marktgerechte Gesteungskosten von grünem Wasserstoff mit Solarparks oder Windkraftanlagen möglich sind, aber nur in der Konstellation einer lokalen intelligenten Kombination von Erzeugungsanlagen.

Für die Realisierung der Wasserstoffproduktion gibt es nun bereits konkrete Überlegungen und erste Bemühungen um Investitionsförderungen. In diesem Zusammenhang kommt noch ein weiterer Aspekt zum Tragen, der Betreiber von vergleichbaren Anlagen ebenfalls betreffen dürfte. Im Gegensatz zu Anlagen, die einem Eigentümer bzw. Betreiber gehören, gibt es bei „Bürgerbeteiligungsmodellen“ mit vielen Kleininvestoren für solch einen Schritt einer Folgeinvestition, hin zur Wasserstoffproduktion, zahlreiche Punkte und Formalien zu beachten. Wenn der o.g. Vorteil der lokalen „Eigenstromvermarktung“ nicht verspielt werden soll, muss der Elektrolyseur Teil der bestehenden Energieanlagen sein. Somit sind sämtliche (Klein-) Anleger in das Verfahren der Antragstellung einzubinden. Je nach Förderaufruf bedeutet dies sicher die eine oder andere Herausforderung.

3.5 Einbindung der Elektrolyseure in ein virtuelles Kraftwerk (VK)

Im Energiesektor gibt es schon seit langer Zeit eine enge Verbindung der AÜW mit der benachbarten Energiewirtschaft in Österreich. Gerade die zunehmenden volatilen Energiequellen im Allgäu verlangen nach enger grenzüberschreitender Zusammenarbeit

in Flexibilitätsmärkten. Der Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken im benachbarten Tirol und Vorarlberg soll zukünftig durch Wasserstoff als Langzeitspeicher ergänzt bzw. ersetzt werden. Die AÜW betreibt bereits erfolgreich Pionierleistungen auf den Flexibilitätsmärkten. So sollen in Zukunft auch Voraussetzungen geschaffen werden, um die Elektrolyseure im Allgäu durch die Integration in ein VK markt- und netzdienlich zu nutzen. Dies wäre ein weiterer Schritt der wirtschaftlichen Optimierung im Reallabor.

Zum virtuellen Kraftwerk gehört unter anderem ein Wasser-Speicherkraftwerk mit 5 MW Leistung, Batterien mit über 15 MW Leistung und ein Hybrid-Spitzenkraftwerk. Die Einspeisung und Last wird am Spot- und Intradaymarkt bis 5 Minuten vor Lieferbeginn über die EPEX-Spot optimiert. Damit wird sichergestellt, dass dem europäischen Stromsystem niemals Leistung entzogen wird, wenn Engpässen vorliegen und Leistung immer dann dem Stromsystem zur Verfügung gestellt wird, wenn diese dort benötigt wird. Die Kombination des Elektrolyseurs mit dem VK ist somit immer systemdienlich im europäischen Stromsystem und ergänzt sich optimal. Es entsteht kein erhöhter Verschleiß des Elektrolyseurs oder der Infrastruktur, da im Gegensatz zur Regelleistung die Fahrweise planbar bleibt, Rampen viel flacher sind und An-/Abfahrzyklen erheblich seltener sind.

Es ist zur Optimierung auch sinnvoll Umlaufpläne, Speicherkapazitäten, Flexibilität der Abnehmer in ÖPNV oder Logistik in die Steuerung zu integrieren. Diese Anforderungen können unter anderem durch moderne Sensorik in Fahrzeugen, Transport und Speichern verbessert werden, die dann in die dynamische Parametrierung des VK eingehen können.

Diese sehr spannenden und zukunftsfähigen Aspekte waren kein Bestandteil der Machbarkeitsstudie HyAllgäu. Die o.g. ersten Überlegungen können somit als „Fleißarbeit“ betrachtet werden. Sie sind aber auch Grundlage des Antrags HyAllgäu II bei dem in weiteren Machbarkeitsstudien auch das Thema VK weiter vertieft werden soll. Dies wäre ein weiterer Baustein zur wirtschaftlichen Optimierung der zukünftigen Wasserstoffwirtschaft im Allgäu.

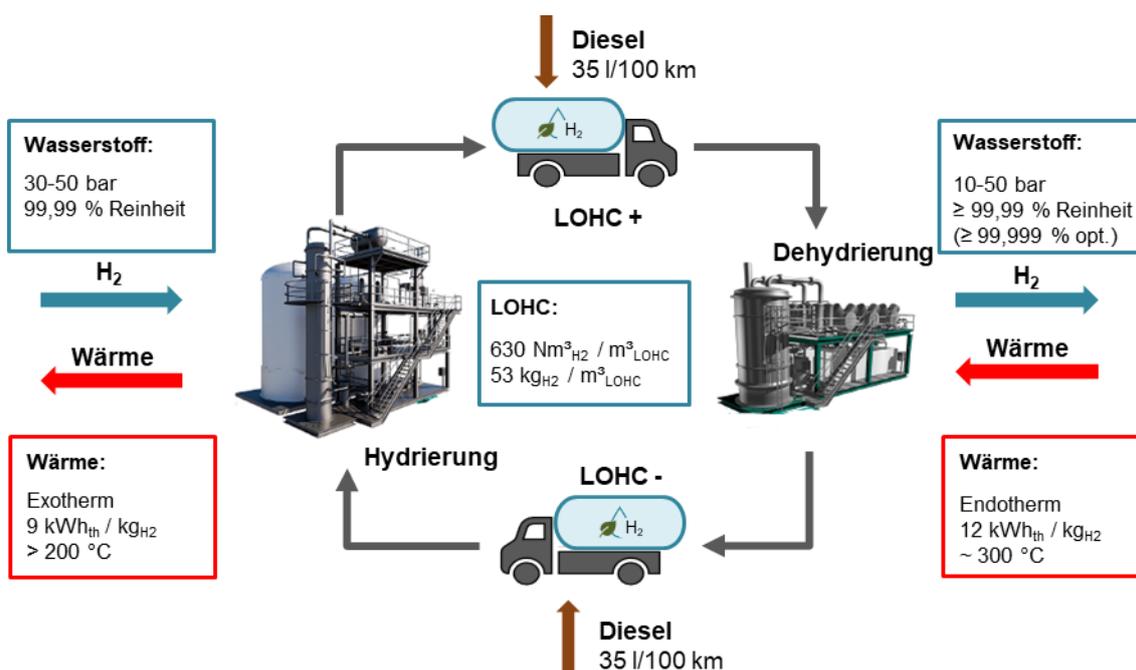
4 H₂-Speicher und Infrastruktur

4.1 Verschiedene Speicher-, Transport- und Verteilmöglichkeiten

Die Speicherung des Wasserstoffs erfolgt nur so weit nötig in Tanks. Sofern erforderlich wird der Wasserstoff, der nicht an der Produktionsstätte verwertet werden kann, direkt in (Transport-)Trailer abgefüllt. Aus Effizienzgründen sollte jedoch so viel wie möglich vom grünen Wasserstoff direkt am Standort des Elektrolyseurs betankt werden.

Erste Überlegungen für die 350 bar - und die 700 bar - Schiene erhielten bei näherer Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sofort einen Dämpfer. Der Schwerpunkt der Wasserstoffwirtschaft im Allgäu soll zunächst auf der 350 bar - Schiene liegen, also Busse und LKWs.

Im Kapitel 5.3.3 wird detaillierter auf die Speicherung bzw. Lagerung von Wasserstoff in Immobilienprojekten eingegangen.



Übersicht Energiebilanzen beim Einsatz von LOHC an einer Beispielrechnung (vgl. Hydrogenious 2021)

Das Thema LOHC wurde im Zusammenhang des Standortes beim AVKE kurz angerissen, nach ersten Recherchen und Gesprächen aber sofort wieder verworfen. Im Fokus waren ausschließlich Inhalte und Technologien, die für eine sofortige Realisierung

in Reallaboren in Frage kommen. LOHC erscheint hier eher noch im Stadium F&E zu sein, hat aber durchaus optimistische Ansätze.

Bei der Betrachtung des Wärmehaushalts und der Wärmemengen wurde darüber hinaus klar, dass es ein konkretes Anforderungsprofil für Abfüllstationen und Tankstellen gibt. Dies setzt preiswerte Wärme an der Tankstelle und einen Bedarf am Standort der Abfüllung voraus. Oft dürfte es gerade umgekehrt sein, so dass es nur sehr wenige sinnvolle Anwendungsfälle geben dürfte. So kann z.B. die eingesetzte Wärme nicht vollständig wiederverwertet werden. Darüber hinaus verändert sich das Temperaturniveau. Im Kapitel 5.3.3 wird aufgezeigt inwieweit beim Einsatz von Wasserstoff in BHKWs deren Abwärme genutzt werden kann.

4.2 H₂ Tankstellen

Am Anfang gab es noch Überlegungen für zwei „rein öffentliche Tankstellen“ in Memmingen und Lindau (Bodensee). Beide liegen an Transitstrecken und würden einen „Weißen Fleck“ auf der Landkarte der H₂-Tankstellen in Deutschland schließen.

Dies wurde sehr schnell verworfen. Ursache waren die sehr hohen Investitionskosten, bei nicht absehbarer Auslastung. Durch die o.g. Absage an die 700 bar – Schiene waren Wasserstoff-PKW's ohnehin nicht mehr im Fokus. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie haben sich jedoch auffallend viele Interessenten aus der Kommunalpolitik, aber auch aus dem Kreis möglicher Tankstellenbetreiber als Interessenten gemeldet.

Möglichst viele Betankungsvorgänge sollen direkt bei den Elektrolyseuren erfolgen. Aus diesem Grund wird es an sämtlichen Produktionsstandorten Tankstellen geben, beim ZAK sogar im Endausbau mehrere Säulen. Darüber hinaus sind bei Flottenbetreibern mit min. 5 – 10 Fahrzeugen als Startvolumen lokale Tankstellen sinnvoll. Wenn solche Tankstellen öffentlich zugänglich sind, werden diese nicht nur besser ausgelastet, sondern profitiert auch ein erweiterter Nutzerkreis von der Wasserstoffinfrastruktur im Allgäu.

4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Wasserstofflogistik

Der Transport von Wasserstoff ist sehr energieintensiv und kostspielig. Zu den Gestehungskosten von 5,00 – 6,00 €/kg kommen für den Transport in Trailern je nach Entfernung nochmals 1,00 – 1,50 €/kg hinzu. Ein externer Großhändler würde voraussichtlich den gleichen Betrag nochmals als Vertriebsmarge hinzufügen. Damit



würde ein Preis von 8,00 €/kg für grünen Wasserstoff bei abgelegenen Kunden überschritten. Aus heutiger Sicht erscheint dies nicht erzielbar zu sein. Auch hier wird somit der regionale Ansatz von HyAllgäu mit einem möglichst hohen Anteil der örtlichen Verwertung und der „Direktvermarktung“ zum möglichen Erfolgsfaktor.

4.4 Rechtlicher Rahmen / Sicherheitskonzepte / Genehmigungen / Normen

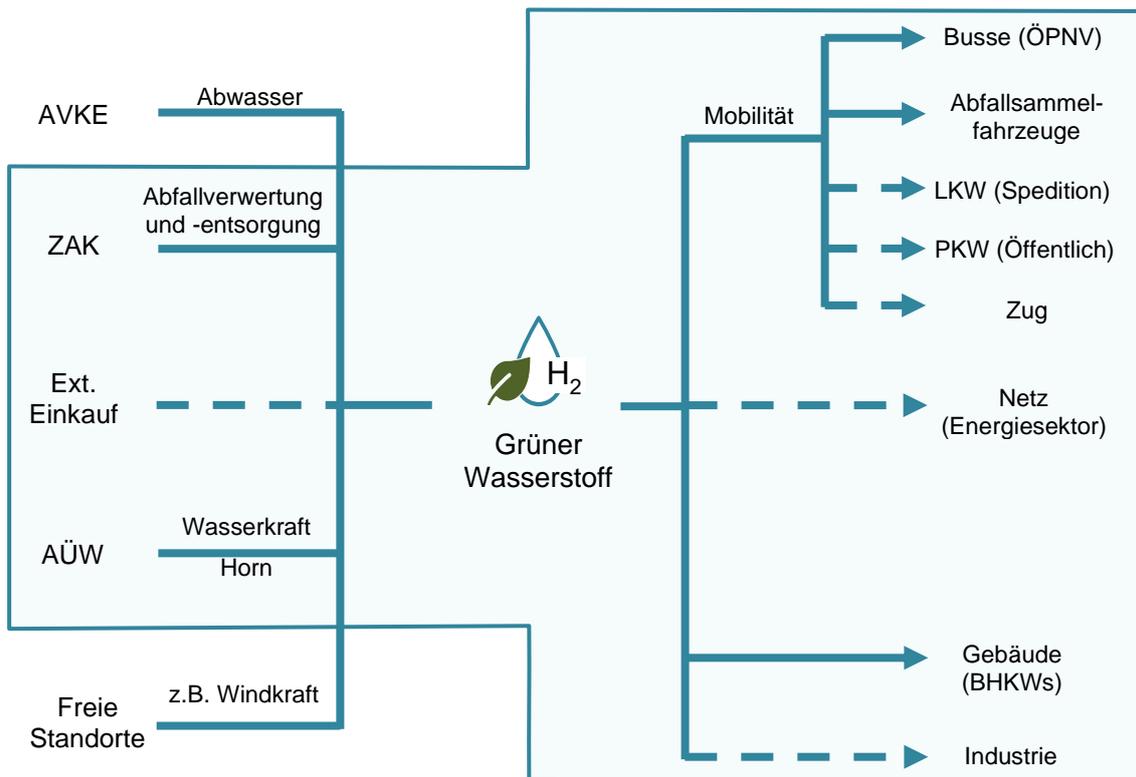
Im Rahmen der laufenden Genehmigungsplanungen werden sämtliche rechtliche Rahmenbedingungen und Normen eingehalten. Mit dem Büro RSP aus Herne wurde vom ZAK ein erfahrener Partner beauftragt, der bereits die Anlage in Wuppertal projektiert hat.

Das Genehmigungsverfahren der Mobilten Tankstelle für die Abschlussveranstaltung und die Einhaltung der Sicherheitskonzepte der Hochschule brachte ebenfalls ein Vorgeschnack, was bei der Umsetzung des Reallabors auf die Betreiber zukommt. Der Partner Westfalen AG, der die mobile Tankstelle stellt, verfügt über ausgezeichnetes Knowhow in solchen Sicherheitsfragen.

Vorteilhaft ist auch der Sachverhalt, dass Betreiber von Kläranlagen und Abfallverwertungsanlagen ohnehin in genehmigungsrechtlich sensiblen Bereichen tätig sind, und somit ausreichend Erfahrung in der Bewältigung solcher Herausforderungen haben. Die frühzeitige Einbindung solcher Experten im Rahmen der Machbarkeitsstudie war auch die Grundlage realistischer Kosten- und Terminansätze für die Realisierung des Reallabors.

5 Anwendung von grünem Wasserstoff im Allgäu

Der Schwerpunkt im voraussichtlichen Absatzmarkt ist sicher der Mobilitätssektor. Die Preise an öffentlichen Tankstellen waren hier auch Grundlage für strategische Ziele und Kennzahlen der Machbarkeitsstudie. Ziel ist ein wettbewerbsfähiges Angebot von der Produktion von grünem Wasserstoff bis hin zum Endverbraucher. Somit darf der momentane Preis von 9,50 € incl. MwSt. an den Tankstellen nicht überschritten werden. Er sollte nach Möglichkeit unterschritten werden.



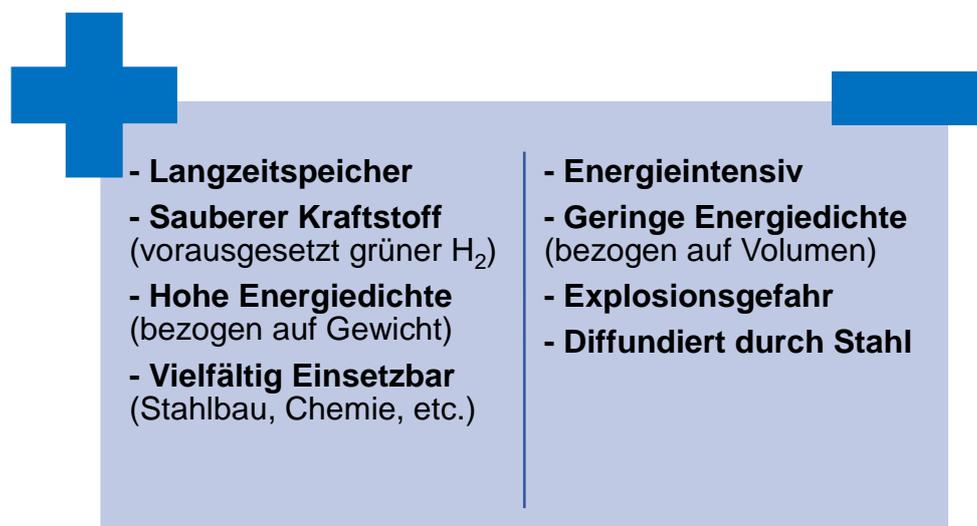
Übersicht H₂-Produktion & Absatzmärkte in „HyAllgäu“

Die entsprechenden Optionen im Mobilitätssektor werden in den nachfolgenden Einzelkapiteln näher behandelt. Produktionsanlagen für grünen Wasserstoff bedeuten aber trotz Förderung hohe Investitionen für die jeweiligen Unternehmen. Aus diesem Grund wurden aus Gründen der Diversifizierung in der Vermarktung weitere Sektoren als mögliche Absatzmärkte untersucht. Neben dem Mobilitätssektor wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie Lösungen im Gebäudesektor betrachtet und Absatzmöglichkeiten in der regionalen Industrie sondiert. Die Rückspeisung von grünem Wasserstoff in das Erdgasnetz wurde nicht betrachtet. Erste Preisindikationen und

überschlägige Effizienz- und CO₂-Berechnungen lassen hier derzeit keine sinnvolle Option für ein zukünftiges Reallabor erkennen.

5.1 Anwendungsfeld Mobilität

Wasserstoff kann bei der Dekarbonisierung des Mobilitätssektors zukünftig eine große Rolle spielen. Durch Effizienzvorteile und einem technologischen Vorsprung dürfte der Marktanteil im PKW-Bereich eher gering sein. Bei Hochseeschiffen und Flugzeugen mit großen Reichweiten könnten zukünftig H₂-basierende synthetische Kraftstoffe eine Rolle spielen. Spannend wird die Aufteilung der Marktanteile an alternativen Antrieben im Bereich von Bussen, Schwerlastverkehr, Zügen und Schiffen. Je nach Einsatzgebiet, Gewicht und Reichweite gilt es hier zwischen batterieelektrischen Antrieben und Brennstoffzellentechnik die richtige Technologie für den geeigneten Anwendungsfall zu ermitteln. Entscheidend ist das dieser Auswahlprozess technologieoffen und sachgerecht mit Blick auf Effizienz und Wirtschaftlichkeit erfolgt. Es ist nicht zielführend, wenn die beiden Zukunftstechnologien gegeneinander ausgespielt werden. Beide Technologien haben ihre Vor- und Nachteile und sollten jeweils bestmöglich eingesetzt werden, um schnellstmöglich gemeinsam fossile Kraftstoffe ablösen zu können. Es wird somit nicht auf ein „Entweder – Oder“ hinauslaufen, sondern auf eine optimale Ergänzung der beiden Technologien.



Vor- und Nachteile von Wasserstoff als Baustein der Energie- und Mobilitätswende

5.1.1 ÖPNV-Busse

Der Schwerpunkt des geplanten Absatzmarktes im Allgäu liegt im Mobilitätssektor und hier zunächst bei den ÖPNV-Bussen. Wesentliche Aspekte für diese positive Voreinschätzung ist die Tatsache, dass es in diesem Einsatzgebiet bereits von mehreren Herstellern Produkte am Markt gibt. Darüber hinaus sorgt die „Clean Vehicles Directive“ (CVD) für verbindliche Ziele und Vorgaben zur Umstellung auf alternative Antriebe im ÖPNV.



ÖPNV-Busse im Oberallgäu (Foto Melanie Steiner)

In Städten und flachen Landschaften können die Vorgaben der CVD sicher auch mit batterieelektrischen Bussen umgesetzt werden. Im Allgäu, also dem Voralpenland, gibt es viele ÖPNV-Verbindungen über weite Strecken, vor allem aber gebirgiges Gelände. Batterieelektrische Busse kommen hier schnell an ihre Grenzen. Eine Machbarkeitsstudie im Auftrag der Kemptener Kommunalunternehmen (KVB) aus dem Jahre 2016 (vgl. KKV Kempten 2016) endete z.B. mit dem Fazit

„Trotz enormer Fortschritte in der Entwicklung von Batterietechnologien sind Batteriebusse derzeit und auch noch in absehbarer Zukunft hinsichtlich ihrer Reichweite eingeschränkt. Daraus folgt, dass Batteriebusse nur mit Umläufen mit geringer bis mittlerer Fahrweite eingesetzt werden können bzw. die Speicher im laufenden Betrieb nachgeladen werden müssen.“

Aus diesem Grund bevorzugen regionale Busbetreiber und kommunale Entscheidungsträger im Allgäu zunächst den Einstieg in die Wasserstofftechnik. Weitere

Vorteile der Wasserstofftechnik im Segment der ÖPNV-Busse sind z.B. der Verzicht auf Zusatzheizungen wie er bei Batterieantrieben erforderlich ist und kürzere Tankzeiten, gerade im Schichtbetrieb. Den erforderlichen Superchargern mit unabsehbaren Netzanschlusskosten und zukünftig sich stark verändernden Stromkosten stehen zukünftig im Allgäu für Wasserstoffbusse langfristige Lieferverträge mit planbaren Konditionen gegenüber.



Wasserstoffbusse im Test – Veranstaltung HyBayern - HyPerformer (Foto bluemove consulting)

In Wuppertal, ebenfalls eine Region mit starken Steigungen, wurde die Brennstoffzellentechnik bevorzugt. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurde daher sehr stark auf diese Erfahrungen der WSW Stadtwerke Wuppertal GmbH zurückgegriffen. Auch der Erfahrungsaustausch mit der dortigen Erzeugungsanlage auf der Abfallentsorgungsanlage bietet sich für den ZAK und das Allgäu an.

Neben den Linien des KVB in Kempten bieten sich daher vor allem die Linien im Umland, also im Landkreis Oberallgäu, aber auch im Landkreis Lindau an. Im Landkreis Oberallgäu werden die relevanten Buslinien derzeit von der Regionalverkehr Allgäu GmbH (RVA), einer Tochter der DB Regio (Deutsche Bahn) betrieben. Im Landkreis Lindau (Bodensee) betrifft dies derzeit die Linien der RBA Regionalbus Augsburg GmbH. Neben den Landkreisen waren daher beide Konzessionsnehmer eng in die Projektarbeit eingebunden. Darüber hinaus konnten so die entsprechenden Daten ausgewertet und ein zukünftiges Anforderungsprofil an Fahrzeuge und Infrastruktur ermittelt werden.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie lag dann der Schwerpunkt auf der Untersuchung der umliegenden ÖPNV-Strecken im Gebirge. Für das genannte Anforderungsprofil wurden folgende drei Linien rund um Oberstdorf näher betrachtet:

- Linie 1: Oberstdorf – Söllereckbahn – Riezlern – Hirschegg - Baad
- Linie 5: Riezlern – Breitachbrücke - Ifen
- Linie 46: Oberstdorf – Obermaiselstein – Balderschwang – Hittisau

Sowohl die Linie 1 als auch die Linie 46 führen nach Österreich. Für die Linien wurden Entfernungen, Taktzeiten und Streckenprofile ausgewertet.



Bußverkehr im Gebirge am Giebelhaus-Hinterstein (Foto Simon Steuer)

Die ÖPNV-Busverbindungen und Transitrouten im Voralpenland führen teilweise über steile Passstraßen. Der Riedbergpass ist mit 1.407 m ü. NHN der höchste befahrbare Gebirgspass in Deutschland. Zudem dürften die Steigungen mit bis zu 16 % auch eine der steilsten sein. Der Höhenunterschied liegt auf dieser Strecke bei knapp 1.000 m bis zur Passhöhe und wieder abwärts ins Tal je einfacher Strecke. Die hier betroffene Linie 46 wird je nach Saison täglich zwischen 2 - und 5 - mal in beide Richtungen befahren, weist aber mit fast 40 km bis Hittisau jedoch die längste einfache Verbindung, aber auch die längsten Steigungen, aus. Die jährliche Fahrleistung beträgt allein auf dieser Linie 46 ca. 148.000 km was einem Wasserstoffverbrauch von ca. 12 t/a (Mehrverbrauch durch die Gebirgsstrecke noch nicht berücksichtigt) entsprechen würde. Das Einsparpotenzial an CO₂ beträgt somit auf dieser landschaftlich schönen und touristisch bedeutsamen Strecke ca. 95 t/a. Die Linie 1 kommt mit einfacher Entfernung von ca.

20 km, aber bis zu 50 Fahrten täglich in beide Richtungen auf die höchste Kilometerleistung.



Streckenverlauf & Höhenprofil am Beispiel Buslinie 46 Oberstdorf – Hittisau über den Riedbergpass

Neben den Steigungen stellen im Gebirge auch die Gefälle für Brennstoffzellenbusse eine Herausforderung dar. Es besteht bei Brennstoffzellenfahrzeugen bei Talfahrten die Gefahr der Überhitzung von Bremsen. So musste bei einer Testfahrt mit einem älteren Brennstoffzellenbus am Riedberger Horn wegen überhitzter Bremsen immer wieder gestoppt werden. Dies sollte bei geeigneten Bussen neuer Bauart nicht mehr passieren. Aber auch batterieelektrische Busse wiesen laut Landratsamt Oberallgäu in der Vergangenheit Hemmnisse auf. Eine bereits einige Jahre zurückliegende Testfahrt mit einem batterieelektrischen Bus konnte nur im Schrittempo stattfinden, was auf das hohe Eigengewicht des Busses und den dauerhaft hohen Energiebedarf zurückzuführen war, den die Batterie nicht leistete.

Eine der schönsten Begleiterscheinungen der Elektromobilität ist die Energierückgewinnung durch Rekuperation. Bei längeren Strecken in einem Elektrofahrzeug wird der entschleunigende und umweltschonende Sachverhalt deutlich. Schon bei Verzögerungen durch reduzierte Betätigung des Gaspedals kann je nach Fahrmodus diese Energierückgewinnung beobachtet werden. Beim Betätigen der

Bremsen verstärkt sich dieser Effekt. So wie Motorradfahrer nach ambitionierten Kurvenfahrten gegenseitig die Reifen bewundern, so kann z.B. bei Teslafahrern an Superchargern schon mal beobachtet werden wie diese gegenseitig ihre geschonten Bremsscheiben bewundern. Bremsenergie wird also nicht mehr sinnlos in Wärme umgewandelt, sondern kann im Batteriespeicher „geparkt“ und somit wieder genutzt werden. Diesen Vorteil nutzen auch einzelne Hersteller von Brennstoffzellenfahrzeugen. Der GLC F-CELL von Mercedes-Benz verfügt mit 13,5 kWh z.B. über eine vergleichsweise große Batterie für ein Brennstoffzellen-PKW.

Der von WSW in Wuppertal eingesetzte Brennstoffzellenbus der Marke van Hool verfügt über eine Batteriekapazität von 36 kWh. Ob dies ausreicht um bei Talfahrten, z.B. auf der o.g. Linie 46 über den Riedbergpass, den Alltagsbetrieb aufzunehmen gilt es nun zu testen. In Zukunft sind weitere Testfahrten geplant. Darüber hinaus sind weitere Untersuchungen im Rahmen einer weiteren Machbarkeitsstudie gemeinsam mit Busherstellern und Betreibern beantragt. Ziel ist die Strecken im Allgäu zu nutzen, um gemeinsam mit Herstellern von Brennstoffzellenbussen die Technik weiterzuentwickeln, um auch in anderen Regionen Europas vergleichbare Gebirgsstrecken mit Wasserstofftechnik bedienen zu können.

Die Transformation auf alternative Antriebe bedeutet für die Unternehmen und Betreiber von Busflotten eine starke technologische, aber auch wirtschaftliche Herausforderung. Gegenüber herkömmlichen Bussen mit Dieselantrieb mit einem Kaufpreis von ca. 250.000 €, sind Busse mit Brennstoffzellentechnik bei derzeitigen Richtpreisangeboten von 500.000 bis 600.000 € deutlich teurer in der Anschaffung. Selbst bei einer derzeit gängigen Förderquote von 80 % auf die Mehrkosten verbleibt somit ein Plus bei den Anschaffungskosten von 50.000 bis 100.000 € je Fahrzeug. Gerade für kleinere Busbetreiber ist das sehr viel Geld. Hinzu kommen die Mehrkosten für den Wasserstoff und für den Service. Beim Wasserstoff hängt viel von den tatsächlichen Preisen an der Zapfsäule ab. Wenn die Busse lokal in Kempten direkt beim Elektrolyseur für einen Preis von +/- 6,00 €/kg tanken können, besteht nahezu Kostengleichheit mit Dieselmotorkraftstoff. Wenn durch Transport und weiterer Infrastruktur der Preis auf die dann erforderlichen +/- 8,00 €/kg steigt bedeutet dies bereits Mehrkosten von min. 20,00 € auf 100 km. Hinsichtlich der Preise besteht ein Interessenskonflikt zwischen den Betreibern der Elektrolyseure und der ÖPNV-Busflotten. Um hier den „Schwarzen Peter“ nicht unnötig hin und her zu schieben bedarf es fairer und transparenter Abstimmungen und

Lösungen. Darüber hinaus könnten optimierte Förderkonditionen für die Produktion von grünem regionalem Wasserstoff einen weiteren Ausgleich schaffen.

Im Rahmen von HyAllgäu wurde mit der Idee eines Service-Hubs ein Lösungsansatz angedacht, der im Allgäu den oft kleineren Busbetreibern bei der Umstellung auf alternative Antriebe helfen kann. Ländliche Regionen verfügen, im Gegensatz zu Ballungszentren, nicht über ein engmaschiges Netz von Werkstätten. Fahrzeuge müssen oft über weite Strecken auf längere Zeit in den Service gebracht werden. Gerade in den ersten Jahren der Umstellung auf Brennstoffzellenantriebe wird dieses Hemmnis den Technologiewechsel erschweren und unnötige Mehrkosten verursachen.

Das Fahrzeug-Servicezentrum Berchtold GmbH, Bestandteil eines Regionalbusunternehmens in Kempten (Allgäu), behilft sich schon heute selbst mit Eigenleistungen. Das vorhandene Know-how und die Kontakte zu Van Hool und Solaris sind auch für den geplanten Einsatz von Brennstoffzellenbussen von unschätzbarem Wert.

Mittelfristig soll ein regionaler Service-Hub für Brennstoffzellen-Busse und -LKW, der von mehreren kleineren Bus- und Flotten-Betreibern genutzt werden kann, in Kempten aufgebaut werden. Es soll gemeinsam mit Flottenbetreibern und Herstellern das Anforderungsprofil für solch ein Service-Hub entwickelt werden. In der vorhandenen Betriebsstätte der Firma Berchtold soll dann ein erster Pilotbetrieb realisiert werden. Damit wäre der Service für die ersten Brennstoffzellenbusse im Allgäu sichergestellt, ohne die o.g. unnötigen Mehrkosten. Der Standort im Süden von Kempten (Allgäu) liegt darüber hinaus strategisch günstig zu den beiden anderen Einsatzgebieten von Wasserstoffbussen in Oberstdorf (Allgäu) und Lindau (Bodensee). Durch eine weitere Machbarkeitsstudie und Förderanträge sollen im Allgäu min. 1 – 2 solche Service-Hubs aufgebaut werden, womit auch o.g. Mehrkosten entfallen. Darüber hinaus könnte eine „Blaupause“ entwickelt werden, wovon auch andere ländliche Regionen in Deutschland und Europa profitieren können.

Mittelfristig werden Betreiber von ÖPNV-Bussen sicher mit dem Einsatz von beiden Technologien der alternativen Antriebe konfrontiert sein. Bereits der Einstieg in eine der beiden Technologien bedeutet für die Unternehmen eine große Herausforderung, so dass zeitgleich nicht beide Technologien eingeführt werden können. Durch die Produktionskapazitäten und der daraus resultierenden Infrastruktur bietet sich im Allgäu daher zunächst der Einstieg in die Wasserstofftechnik an. Dies passt auch zum o.g. Anforderungsprofil im Gebirge. So hat die DB Regio Bus Bayern GmbH mit Sitz in

Ingolstadt, die Dachgesellschaft der Regionalverkehr Allgäu GmbH (RVA), nach einer überregionalen Recherche das Allgäu als Pilotstandort für die Umsetzung ihrer Wasserstoffstrategie ausgewählt. Diese Entscheidung erfolgte neben dem Anforderungsprofil der Buslinien aufgrund der zu erwartenden Infrastruktur von HyAllgäu. Die Infrastruktur an Erzeugungskapazitäten und Tankstellen ist ein wesentlicher Faktor in diesem Henne-Ei-Dilemma der Energie- und Mobilitätswende.

Im Rahmen von HyAllgäu sollen zunächst an den drei Standorten Kempten, Oberstdorf und Lindau jeweils min. 5 – 10 Wasserstoffbusse eingesetzt werden. Die Landkreise Oberallgäu und Lindau bereiten bereits entsprechende Vorgaben in den anstehenden Konzessionsvergaben vor. Mit ca. 20 Bussen besteht ein Bedarf an grünem Wasserstoff von ca. 100 t/a. Dies wäre als zeitnah garantierte (Teil-)Auslastung bereits eine gute Basis für die anstehenden Investitionsentscheidungen für die Elektrolyseure im Allgäu. Darüber hinaus können mit diesem „Startpaket“ ca. 800 t CO₂ im Jahr eingespart werden.

5.1.2 Abfallentsorgungsfahrzeuge

Mit Faun gibt es einen Hersteller am deutschen Markt, der für Entsorgungsbetriebe schon erprobte Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb liefern kann. Als Aufbauspezialist für Kommunalfahrzeuge bringt Faun nach eigener Aussage reichlich Erfahrung in der Erprobung Alternativer Antriebssysteme mit. Mit dem BLUEPOWER konnte Faun bereits 2018 ein Prototyp präsentieren. Die Wasserstoffbrennstoffzelle dient als Range Extender in der Antriebstechnik. Seit 2019 fahren erste H₂-Müllfahrzeuge im Testbetrieb in der Entsorgungswirtschaft.

Mit gleicher Antriebstechnik liefert Faun auch Kehrmaschinen. Dies wurde im Rahmen von HyAllgäu nicht weiter betrachtet, sollte aber in weiteren Untersuchungen dringend bearbeitet werden.

Gerade bei Kommunalunternehmen gibt es hier ein Potenzial welches in Wasserstoffprojekten mit einer konsequenten regionalen Verwertungs- und Wertschöpfungskette wie im Allgäu die „regionale Wasserstoffstory“ sinnvoll abrundet. Allein der Fuhrpark der Stadt Kempten weist hier sinnvolle Optionen aus. Durch den o.g. Fokus auf den ÖPNV-Busverkehr wurden diese Einsatzgebiete, mit Ausnahme der Entsorgungsfahrzeuge, über die der bereits o.g. Projektpartner ZAK einen sehr guten Überblick hat, im Rahmen der Machbarkeitsstudie möglicherweise ungerechtfertigt vernachlässigt. Dies soll im Nachgang schnellstmöglich nachgeholt werden.



Abfallentsorgungsfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb von Faun (Bild von Faun)

Allein die Flotte der Abfallentsorgungsfahrzeuge rund um den Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK) verfügt im Allgäu bis Lindau (Bodensee) über ca. 60 LKWs. Bei einer Jahresleistung von über 2.000.000 km beträgt der jährliche CO₂-Ausstoß ca. 1.000 t/a. Eine vollständige Umrüstung auf Brennstoffzellenantriebe bedeutet für HyAllgäu mit ca. 100 t/a H₂ ein beachtliches Abnahmekontingent und passt perfekt in die Strategie der regionalen kurzen Verwertungsketten.

HyAllgäu koordiniert und unterstützt gemeinsam mit dem ZAK die unterschiedlichen Dienstleister und Fuhrparkunternehmer bei der Beschaffung und Einführung von geeigneten Brennstoffzellenfahrzeugen. Ziel sind optimierte Einkaufskonditionen und abgestimmte Technologien zur H₂-Infrastruktur von HyAllgäu.

Die Umstellung auf alternative Antriebe bedeutet aber auch in der Entsorgungswirtschaft eine starke technologische, aber auch wirtschaftliche Herausforderung. Gegenüber herkömmlichen Abfallentsorgungsfahrzeugen mit Dieselantrieb sind die Mehrkosten für Fahrzeuge mit Brennstoffzellentechnik in der Anschaffung erheblich höher als bei den Bussen. Auch hier kann dies nicht durch die Förderquoten aufgefangen werden. Hinzu kommen ebenfalls die Mehrkosten für den Wasserstoff und für den Service. Beim Wasserstoff kann dies im Allgäu leicht gelöst werden, da in der Regel die Routen fast aller Fahrzeuge beim Elektrolyseur und den Tankstellen des ZAK vorbeikommen. Wenn

die Abfallentsorgungsfahrzeuge lokal in Kempten beim ZAK direkt für einen Preis von +/- 6,00 €/kg tanken können, besteht nahezu Kostengleichheit mit Dieselkraftstoff. Die Option einer externen Betankung zu einem Preis von min. +/- 8,00 €/kg sollte im Reallabor HyAllgäu somit nicht relevant sein. Hinsichtlich der Preise besteht auch in der Entsorgungswirtschaft ein Interessenskonflikt zwischen den Betreibern der Elektrolyseure und Fahrzeugflotten.

Um mögliche Mehrkosten im Service zu vermeiden, würde der o.g. Service-Hub auch für die Abfallentsorgungsfahrzeuge im Raum Kempten zur Verfügung stehen.

Letztendlich reduziert sich somit das Problem der Mehrkosten auf die Anschaffung. Inwieweit diese Mehrkosten sich auf Abfallentsorgungsgebühren auswirken, müsste in einer folgenden Untersuchung ermittelt werden. Mit HyAllgäu II wurde diese bereits beim NOW beantragt und würden auch die offenen Themen der Abfallentsorgungsfahrzeuge beinhalten. Dies betrifft wie bei den ÖPNV-Bussen natürlich auch die Herausforderungen bei Gebirgsstrecken.

5.1.3 Speditionen

Der Einsatz von Wasserstofffahrzeugen bei Speditionen aus dem Allgäu war Gegenstand der ursprünglichen Projektskizze HyAllgäu. Aus unterschiedlichen Gründen wurde dies nach interner Abstimmung im Projektteam im Rahmen der Projektstudie HyAllgäu nicht weiterverfolgt. Ungeachtet dessen gab es aber auch hier im Rahmen der Projektarbeit immer wieder Berührungspunkte und Abstimmungen mit Speditionen.

Als erster zentraler Punkt ist hier die derzeit mangelnde Verfügbarkeit von Wasserstoff-LKWs am Markt zu benennen. Sicher gibt es z. B. die Pilotanwendungen von Hyundai in der Schweiz. Aber selbst diese Fahrzeuge sind real in Deutschland nicht oder sehr schwer verfügbar. So lässt sich die Situation auch leicht durch die Aussage eines großen Unternehmens aus der Region zusammenfassen, welches an dieser Stelle bewusst namentlich nicht benannt wird. Es besteht eine sehr große Bereitschaft in die Wasserstofftechnik einzusteigen, aber unter der Voraussetzung das dieser tatsächlich grün ist. Darüber hinaus wird stark auf die Entwicklung namhafter deutscher Hersteller gesetzt. Somit ist das Thema Wasserstoff realistisch erst ab den Jahren 2025 ff. eine Option.

Auch die Gespräche mit kleineren Spediteuren aus dem Allgäu waren sehr aufschlussreich und dienen zu einer realistischen Einschätzung der Situation.

Wasserstoffantriebe lösen auch dort sehr positive Visionen und Emotionen aus. Die Idee, „Ich besorge mir mal 1 – 2 LKWs mit Brennstoffzellenantrieb und irgendjemand wird mir dann eine H₂-Tankstelle auf den Hof stellen“, wurde mehrfach geäußert. Bei näherer und solider Betrachtung der Fakten stellt sich das natürlich sehr schnell als Utopie heraus, es sei denn ein Unternehmen ist in der Lage, aber auch gewillt, solche Anschubfinanzierungen in die Transformation zu neuen Antrieben wirtschaftlich zu stemmen. Im Sinn eines verlässlichen Absatzmarktes für die Produktionskapazitäten an grünem Wasserstoff im Allgäu sind solche Ideen bis auf Weiteres ungeeignet.



LKWs mit Elektroantrieben von den Herstellern DAF, Renault und MAN (Bilder Hersteller)

In der Logistik der „letzten Meter“, also der Kleintransporter, spielen batterieelektrische Antriebe schon seit Jahren eine zunehmende Rolle. Spannend ist die Tatsache, dass keine der Speditionen aus der Region diese Antriebstechnik als absehbare Option angesprochen hat, im Gegenteil, teilweise strikt ablehnt. Viele setzen und warten auf Wasserstoffantriebe. Dies ist umso bemerkenswerter, da sich auf der Anbieterseite ein „technologieoffener Wettlauf“ abzeichnet. Bei genauerer Betrachtung zeichnet sich aber auch, gerade am Beispiel des Segments der LKWs, eine mögliche Abgrenzung zwischen den geeigneten Einsatzgebieten für batterieelektrische Antriebe und der Wasserstofftechnik ab. Die meisten Hersteller, insbesondere die europäischen, wie MAN, Volvo, Renault, Emiss, DAF, etc. bieten im Bereich 3,5 t bis 26 t schon heute batterieelektrische Fahrzeuge an bzw. stehen kurz vor der Markteinführung. Lediglich Tesla setzt auch bei den 40 Tonner auf batterieelektrische Antriebe, endet aber bei einer Reichweite von 800 km.

Am Beispiel von Nikola wird der Vorteil von Wasserstoff bei schweren Fahrzeugen mit langer Reichweite deutlich. Der 40 Tonner wird dort mit Brennstoffzelle mit einer Reichweite von 1.600 – 2.000 km angegeben.



Wasserstoff ermöglicht Reichweiten für 40 Tonner für Reichweiten bis zu 2.000 km am Beispiel Nikola (Bild Nikola Motor)

Grundsätzlich kann man sagen, dass es im Bereich der batterieelektrischen Antriebe bereits mehr Produkte am Markt gibt, die derzeit aber in der Regel bei 26 t und einer Reichweite von 300 km enden. Darüber zeichnet sich beim Schwerlastverkehr das zukünftige Marktsegment der Wasserstofftechnik ab. Wann und von wem es hier Produkte gibt, bleibt abzuwarten. Der Unterschied, bzw. der Technologievorsprung in den unteren Segmenten wird im Übrigen auch bei der Recherche nach belastbaren Daten deutlich. Ob dieser Technologievorsprung die beschriebene Abgrenzung der Märkte zwischen den alternativen Technologien verschiebt, bleibt spannend und hängt auch von Themen wie Infrastruktur, Rohstoffen, Wirtschaftlichkeit, Förderstrategien, etc. ab.

Bei den Gesprächen mit den Speditionen wurde auffallend oft eine weitere Technologie der alternativen Antriebe angesprochen. Im beschriebenen „technologieoffenen Wettlauf“ wird die Diskussion fast immer auf die beiden Technologien Batterie vs. Brennstoffzelle eingegrenzt. Gasbetriebene Fahrzeuge spielen keine Rolle. Gerade diese alternativen Antriebe haben einige der Speditionen aber schon seit Jahren im Einsatz. Die Praxiserfahrungen ergaben auch durchweg positive Rückmeldungen. Konkret gab es z.B. auch Anfragen, ob das Klärgas der Kläranlage in Kempten nicht als „Biogas“ die derzeit eingesetzten fossilen Gase ersetzen könnte und somit die Umweltbilanz noch weiter optimiert werden kann. Diese Fragestellung, aber auch ein erweiterter technologieoffener Variantenvergleich, soll nun Gegenstand einer der bereits beantragten Machbarkeitsstudien werden.

5.1.4 Wasserstoffzug

Das Allgäu verfügt über weite Strecken über nicht elektrifizierte Strecken. Auch wenn zwischen Lindau (Bodensee) über Memmingen bis Buchloe auf dem Weg nach München die Strecke nun elektrifiziert wurden, verbleiben Strecken in den Landkreisen Ober- und Ostallgäu, die auf absehbare Zeit nicht elektrifiziert werden. Der Einsatz von Zügen mit Wasserstoffantrieben bietet sich hier an. Mit den Herstellern Alstom und Siemens gibt es bereits zwei potenzielle Partner, mit denen zumindest ein Testbetrieb im Allgäu durchgeführt werden kann. So hat die Firma Siemens für die Region Tübingen in Baden-Württemberg einen Testbetrieb angekündigt und bereits Interesse an solch einem Testbetrieb im Allgäu signalisiert.

Corona bremst Wasserstoff-Pläne

Energie Der Kemptener Hochschulprofessor Mehr sagt: „Ohne diese Technologie wird die Energiewende nicht funktionieren.“ Neuer Zugtyp im Zulassungsverfahren

VON MICHAEL MUNKLER

Kempten Auch wenn die Diskussion über Klimaschutz und Erderwärmung angesichts der Corona-Pandemie deutlich an öffentlichem Interesse verloren hat: Das Thema wird weiterhin auf der Agenda stehen. Und wenn die Klimaschutzziele erreicht werden sollen, könne in Zukunft nicht weiter mit Diesel gefahren werden, ist der Kemptener Maschinenbau-Hochschulprofessor Dr. Werner Mehr überzeugt. Er sagt zudem: „Die Energiewende wird ohne Wasserstofftechnik nicht funktionieren.“ Somit sei die Politik gefragt, die richtigen Weichen zu stellen.

Noch 2019 hatten Pläne für eine Wasserstoff-Modellregion Allgäu wiederholt für Aufbruchsstimmung gesorgt. Konkret geht es unter anderem um einen Produktionsstandort für Wasserstoff in Kempten. An dem Projekt beteiligt sind unter anderem der Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK) und der dortige Abwasserverband. Mit dort anfallendem, umweltfreundlich produziertem „grünen Strom“ könnte Wasserstoff in großer Menge hergestellt werden. „Noch aber fehlen die Abnehmer“, sagt Mehr. Nach Aussage des Experten wäre die Wasserstoff-Brennstoffzellentechnik ideal für den Schwerlastverkehr oder beispielsweise Busse. Die Entwicklung wasserstoffbetriebener Nutzfahrzeuge müsse beschleunigt werden.

Denn Interesse haben Unternehmen aus der Logistikbranche offensichtlich. Beispielsweise ist Dachser seit Anfang dieses Jahres neues Mitglied im Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband (DWV). Dieser Zusammenschluss ist seit 1996 auf die Förderung einer zügigen Markteinführung des Energieträgers Wasserstoff und der Brennstoffzellen-Technologie ausgerichtet. Mehrere Förderprogramme für die Nutzung der Wasserstofftechnik werden inzwischen im Allgäu in Anspruch genommen. Und an der Kemptener Hochschule

startet demnächst ein auf drei Jahre angelegtes Projekt mit einem Volumen von 2,4 Millionen Euro. Vor allem auf der Schiene eröffnen sich mit der Wasserstofftechnik umweltfreundliche Alternativen zum Dieselantrieb. Derzeit gilt die Region – im Hinblick auf die Bahn – immer noch als größtes Dieselloch Deutschlands. Das sei für eine der führenden Tourismus-Destinationen der Republik wenig schmeichelhaft, kritisieren Politiker.

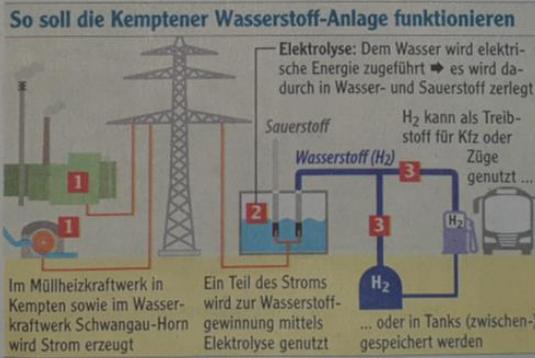
Testfahrt abgesagt

Eine für Januar geplante Testfahrt des Wasserstoffzug-Prototyps „iLint“ der Firma Alstom von Augsburg nach Kempten war vom bayerischen Verkehrsministerium abgesagt worden – wegen des Infektionsrisikos. Die Alternativen zum wenig geliebten Diesel-Triebzug sind rar gesät: Eine Elektrifizierung sämtlicher Allgäuer Strecken würde vermutlich noch Jahrzehnte dauern, vermuten Branchenkenner. Deshalb hat der Oberallgäuer FDP-Bundestagsabgeordnete Stephan Thomae einen weiteren Vorschlag unterbreitet: Die Siemens Mobility GmbH habe als Konkurrent zu Alstom mit dem „Mireo Plus H“ einen neuen Triebwagen entwickelt und der sei jetzt im Zulassungsverfahren. Dieser könne doch auf der Strecke München-Buchloe-Kempten-Oberstdorf in den Probebetrieb gehen, schlägt Thomae vor.



Eigentlich sollte mit dem wasserstoffgetriebenen Alstom-Zug bereits im Januar im Allgäu eine Probefahrt stattfinden.
Foto: Philipp Schulze, dpa

So soll die Kemptener Wasserstoff-Anlage funktionieren



Elektrolyse: Dem Wasser wird elektrische Energie zugeführt → es wird dadurch in Wasser- und Sauerstoff zerlegt

Sauerstoff **H₂ kann als Treibstoff für Kfz oder Züge genutzt ...**

Wasserstoff (H₂) **H₂**

Im Müllheizkraftwerk in Kempten sowie im Wasserkraftwerk Schwangau-Horn wird Strom erzeugt

Ein Teil des Stroms wird zur Wasserstoffgewinnung mittels Elektrolyse genutzt

... oder in Tanks (zwischen-) gespeichert werden

QUELLE: ZAK, DPA AZ INFOGRAPHIK, STB

Berichterstattungen über den Wasserstoffzug im Allgäu (Schwäbische Zeitung am 13.02.2021)

Im Vorfeld der Projektskizze HyAllgäu wurde diese Vision auch von zahlreichen Kommunalpolitikern und Wasserstoffexperten im Allgäu propagiert. Als Vision wurde die Idee im Projektantrag aufgeführt, auf Grund der damals absehbaren Mengen an grünem

Wasserstoff aus dem Allgäu von unter 100 t/a jedoch nicht mit hoher Priorität bearbeitet. Dies änderte sich auch nicht als das Thema Wasserstoffzug 2020 im bayerischen Kommunalwahlkampf sehr präsent war.

Zu diesem Zeitpunkt zeichneten sich o.g. 1.000 t/a an Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff aus dem Allgäu ab. Das Thema Zug wurde jedoch aus anderen Gründen nicht nachträglich in die Untersuchung HyAllgäu mit aufgenommen, obwohl solch ein „Großabnehmer“ nun sehr hilfreich wäre. Es gab immer wieder Abstimmungen mit der Kommunalpolitik und Unternehmen wie Siemens, die ihrerseits im Allgäu die Möglichkeit eines Testbetriebs prüfen. Auch mit der Bayerischen Eisenbahngesellschaft (BEG) gab es Abstimmungstermine. Hier ging es in erster Linie um technologieoffene Abwägungen und deren Pläne für einen Testbetrieb in Bayern, der aus heutiger Sicht mit der BEG in der Region Mühldorf am Inn erfolgen könnte. Auch die Herausforderungen von Strecken mit Steigungen und den Erfahrungen aus anderen Testbetrieben wurden ausgetauscht. Interessant sind z.B. Aspekte wie das aufgrund von Sicherheitsstandards immer höhere Gewicht von Zügen, welches für viele Strecken mit alten Brücken und engen Kurvenradien bei entsprechenden Geschwindigkeiten eine Herausforderung bedeutet. Die daraus resultierenden höheren Anschaffungskosten gehen wiederum zu Lasten der ebenfalls kostspieligen Taktverbesserungen. Diese wären jedoch wichtig, um bei Fahrgästen die Akzeptanz der Bahn zu erhöhen. Kleinere, leichtere Schienenfahrzeuge wären hier sicher ein Lösungsansatz. Auch die Tatsache aus welchem Resort die jeweiligen Kosten getragen werden scheint ein Thema zu sein. So werden Oberleitungen durch das Bundesverkehrsministerium finanziert, Wasserstoff wird jedoch „nur“ gefördert. Die Anschaffung des teureren Treibstoffs (im Vgl. zu Strom) müsste dann die BEG übernehmen.

Es blieb jedoch dabei, dass im Rahmen der Machbarkeitsstudie HyAllgäu das Thema Zug nicht aufgegriffen wurde. Als Ziel werden getrennte Anträge für eine technologieoffene Machbarkeitsstudie geprüft.

Am 12. Juli 2021 wurde dann im Rahmen einer Pressekonferenz durch die Verkehrsministerin Kerstin Schreyer und den Wirtschaftsminister Hubert Aiwanger ein Testbetrieb auf der Strecke Augsburg – Füssen angekündigt. Siemens Mobility-Chef Karl Blaim bestätigt das Vorhaben.



Berichterstattung in der Süddeutschen Zeitung vom 13. Juli 2021 zum geplanten Wasserstoffzug im Allgäu (Bildsimulation Siemens Mobility)

Der Betrieb ist durch die Bayerische Regionalbahn (BRB) geplant, die diese Strecke bedient. Die Betankungsinfrastruktur ist auf dem Betriebsgelände der BRB in Augsburg angedacht. Für die Herkunft des Wasserstoffes, bzw. ob dieser „grün“ sein wird, gab es offensichtlich noch keine konkreten Details. Hier gilt es für die Akteure aus dem Allgäu nun anzusetzen, ob sich der geplante Testbetrieb als gemeinsame Chance erweist.

5.2 Anwendungsfeld Industrie

5.2.1 Motivation

Nach ersten Recherchen im Rahmen der Machbarkeitsstudie war schnell klar, dass es bei Industriebetrieben im Allgäu schon heute einen großen Bedarf an Wasserstoff gibt. Der Wasserstoff wird derzeit, teilweise täglich, aus dem fernen Ingolstadt angeliefert. Ob diese Unternehmen konkretes Interesse an „grünem regionalen Wasserstoff“ aus dem Allgäu haben soll in Vertriebsgesprächen nun weiterverfolgt werden. Bereits die Bereitschaft solcher Unternehmen aus ökologischen Gründen, gerne auch wegen eines Marketingeffekts, einen kleinen 1-stelligen Prozentsatz ihres Gesamtbedarfs aus dem Allgäu zu beziehen würde der Grundauslastung der Produktionsanlagen von grünem Wasserstoff sehr behilflich sein. Für die Kunden wäre es jedoch nur eine vergleichsweise geringe finanzielle Zusatzbelastung.

5.2.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die kleinen Mengen werden angestrebt, da die ersten Gespräche einen derzeitigen Preis von 1,00 – 2,00 €/kg ergaben. Inwieweit solche Aussagen belastbar sind und ob das tatsächlich der Preis incl. Anlieferung und Infrastruktur ist konnte im Rahmen der

Machbarkeitsstudie nicht geklärt werden. Dies erscheint in Anbetracht des großen Preisunterschieds zum grünen regionalen Wasserstoff auch als irrelevant. Mit solchen Preisen wird grüner Wasserstoff auf absehbare Zeit nicht konkurrieren können. Auch die Berücksichtigung steigender CO₂-Abgaben in solchen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen reicht nicht aus. Die CO₂-Vermeidungskosten sind bei Wasserstoff mit 200 – 300 €/t zu hoch.

Zu Optimismus geben erste positive Rückmeldungen aus Gesprächen Anlass, bei denen Lieferanten signalisierten durchaus Interesse an grünem Wasserstoff zu haben und für Teilkontingente bereit wären einen Preis von 7,00 – 8,00 €/kg zu zahlen. Ziel ist es nun solchen Optionen weiter nachzugehen. In den Gesprächen zeigt sich auch ein klarer Trend, dass Wasserstoffkunden, deren eigenes Kerngeschäft sehr eng am Endkunden ist, eher bereit sind solche nachhaltigen und ökologischen Entscheidungen, auch unter der Berücksichtigung der Mehrkosten, zu treffen.

5.3 Wasserstoff im Gebäudesektor am Beispiel einer Quartierslösung

Neben dem Mobilitätssektor wird der Gebäudesektor als erweitertes Einsatzgebiet für Wasserstoff benannt. Die Motivation und die jeweils daraus resultierenden Projektansätze sind sehr vielschichtig. Eine einfache Verbrennung in Gaskesseln kann derzeit keine ernsthafte Option sein. Dafür ist Wasserstoff zu aufwendig und energieintensiv in der Herstellung, also zu wertvoll. Darüber hinaus gibt es für den Wärmesektor ausreichend Alternativen für eine schadstoffarme Lösung. Bemerkenswert ist jedoch die Tatsache, dass solche Energiekonzepte in der Immobilienwirtschaft auch dem Mobilitätssektor nützen.

Oft wird Wasserstoff in Lösungen für Einfamilienhäuser, teilweise aber auch Quartierslösungen, in Kombination mit lokalen Stromüberschüssen aus Solaranlagen gebracht. Die Idee ist hier den Wasserstoff als „Langzeitspeicher“ für Strom (Rückverstromung) zu sehen und/oder als Power to Gas (P2G) direkt für lokale Heizzwecke zu verwenden. Ob es diesen „Stromüberschuss“ tatsächlich gibt, ist bei näherer Betrachtung oft sehr fraglich. Darüber hinaus sind solche Prozessketten mit sehr hohen Wirkungsgradverlusten verbunden. Die Wirtschaftlichkeit solcher Projekte lässt sich auf absehbare Zeit ohnehin nur schwer darstellen, auch mit den gängigen Förderungen.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie HyAllgäu geht es um die Option und die Möglichkeiten BHKWs zukünftig ohne Erdgas zu betreiben. Die Existenz solcher BHKWs oder der Auslöser solcher Konzepte ist zunächst nicht der Wasserstoff, sondern die Vorteile von BHKWs, insbesondere im Rahmen der Sektorenkopplung in der Immobilienwirtschaft. In diesem Zusammenhang sollen in Kapitel 5.3.1. zunächst diese Vorteile von BHKWs aufgezeigt werden. In Kapitel 5.3.2. werden diese, insbesondere wirtschaftlichen Vorteile, am Beispiel einer Quartierslösung im Oberallgäu aufgezeigt. Kapitel 5.3.3. geht dann auf den aktuellen Stand der Technik von Wasserstoff-BHKWs ein, zeigt aber auch Hemmnisse in der praktischen Umsetzung auf.

5.3.1 Grundlagen für Energiekonzepte in Quartierslösung

Ganzheitliche Energiekonzepte beinhalten neben dem Wärmebedarf auch den Strombedarf von Immobilien, bei entsprechenden Objekten auch den Kältebedarf. Beim Strombedarf ist darauf zu achten das dieser in Zukunft durch den Bedarf der Elektromobilität in Gebäuden stark zunimmt.

Bei vielen Vorteilen der Wasserstofftechnik, so wird dennoch der größte Teil der PKWs in Zukunft voraussichtlich über batterieelektrische Antriebe verfügen. Die Ladevorgänge werden zum größten Anteil an Orten stattfinden, an denen sich Menschen länger aufhalten. Dies ist zu Hause, bei der Arbeit, im Hotel, etc., also im Wesentlichen in Immobilien. Das stellt den Gebäudesektor vor große Herausforderungen, bietet aber auch Chancen.

Der Wärmesektor, isoliert betrachtet, ist leicht zu lösen. Hier gibt es zahlreiche Optionen wie Fern- oder Nahwärme, Geothermie, Wärmepumpen, Solarthermie, Biomasse (Holzpellets oder Hackschnitzel), etc. Die größte Herausforderung ist die realistische Ermittlung des Wärmebedarfs. Gerade neue und gut gedämmte Gebäude haben fast keinen Wärmeverbrauch. Dies lässt investitionsintensive Technologien im wirtschaftlichen Vergleich schlechter abschneiden. Selbst Nahwärmeleitungen allein rechnen sich bei hohen Verlegungskosten durch die geringe Vollbenutzungszahl sehr schwer.

Im ganzheitlichen Vergleich kommt dem elektrischen Strom sowohl in der Wirtschaftlichkeit als auch hinsichtlich der CO₂-Einsparpotenziale die größte Bedeutung zu. Hier ist ein fundiertes Wissen über energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen und die Kenntnis der einzelnen Preiskomponenten unerlässlich. Neben dem eigentlichen Strompreis kommen mit dem Netzentgelt mit Steuern und Abgaben wesentliche

Bestandteile hinzu. Darüber hinaus verlagert sich, durch Ursachen, die auch in der zunehmenden Volatilität der Stromerzeugung liegen, die Bedeutung immer mehr vom Arbeits- zum Leistungspreis. Jegliche Aspekte, welche die notwendige Anschluss- bzw. Spitzenleistung erhöhen, werden zu „Preistreibern“. Neben der Elektrifizierung der Heizungstechnik durch Wärmepumpen kann dies auch durch neuen oder zusätzlichen Kältebedarf geschehen. In Zukunft wird jedoch der Haupttreiber die steigende Ladeleistung für Elektrofahrzeuge in den Immobilien sein. Wenn dann die Stichworte erweiterter Netzanschluss oder sogar zusätzliche Trafos fallen, ist „Alarmstufe Rot“. Im Umkehrschluss haben Maßnahmen zur Senkung des Strombedarfs oder der Spitzenleistung wirtschaftliche Vorteile.

	
<p style="text-align: center;">BHKWs</p> <ul style="list-style-type: none"> + hocheffizient + ENEV relevant + lastvariabler Betrieb * Erdgaseinsatz - Wärmesenken erforderlich 	<p style="text-align: center;">Solaranlagen</p> <ul style="list-style-type: none"> + Betrieb ohne Primärenergie + wirtschaftlich Eigennutzung * Statik prüfen - (Architektonische Bedenken)

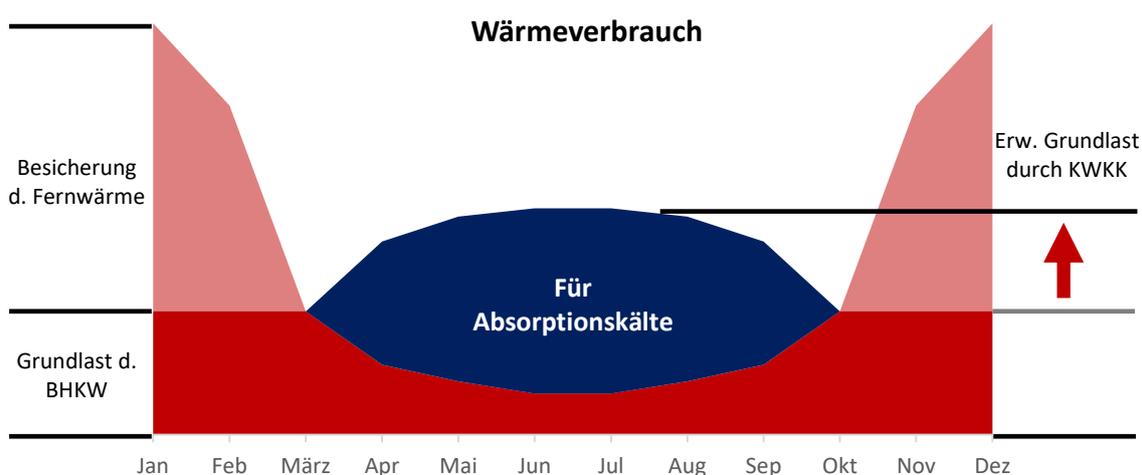
Schlüsseltechnologien der dezentralen Eigenerzeugung von Strom in der Immobilienwirtschaft

Neben einem Lastmanagement sind hier vor Allem Möglichkeiten der Eigenstromerzeugung zu nennen. In der Immobilienwirtschaft kann dies durch Solarstromanlagen oder BHKWs erfolgen. Beides hat Vor- und Nachteile. Solaranlagen stoßen an Ihre Grenzen bei unzureichenden Flächen, labiler Statik oder anspruchsvoller Architektur. BHKWs haben den Vorteil eines sehr hohen Gesamtwirkungsgrades. Voraussetzung hierfür ist aber ein sinnvolles Wärmekonzept. Sie haben zusätzlich bei ausreichend dimensionierten Wärmespeichern die Option temporär „stromgeführt“ betrieben zu werden, sind also ein Lösungsansatz für o.g. energiewirtschaftliche Entwicklungen. Im Gegensatz zu elektrischen Wärmepumpen sind BHKWs also kein neuer „Konsument“, sondern ein „Produzent“ von elektrischem Strom. Das Alles wirkt

sich bei guter Projektierung und Umsetzung sehr positiv auf die Gesamtwirtschaftlichkeit aus. Die Wärmeversorgung erfolgt dann teilweise als „Abfallprodukt“ der „Eigenstromerzeugung“. Bei richtiger Dimensionierung der BHKWs und Beachtung der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen ist der selbst produzierte Strom, trotz der höheren Wartungskosten von BHKWs, immer preiswerter wie zugekaufter Strom.

Im Wohnungsbau ist darauf zu achten das Mieterstrommodelle schwerer zu realisieren sind als Vereinbarungen mit Mietern in Gewerbeimmobilien. Eine realistische Herangehensweise ist Grundlage einer nachhaltigen Wirtschaftlichkeit. Bei normalen Immobilien hält sich die Eigenstromproduktion von „wärmegeführten BHKWs“ durch den fehlenden Wärmebedarf im Sommer ohnehin in Grenzen.

Dieser limitierende Faktor der wirtschaftlich sinnvollen Eigenstromproduktion durch BHKWs kann durch „Sommerwärmesenken“ optimiert werden. Dies könnten z.B. Schwimmbäder sein, was dann eine glückliche Fügung wäre. Realistischer ist da im Gebäudesektor die Produktion von Kälte aus Abwärme der BHKWs. Im hochpreisigen Wohnungsmarkt, vor Allem aber bei Gewerbeimmobilien, ist eine Kühlung unerlässlich. Steigende Temperaturen und eine Tendenz zur „Architektur“, also mehr Glasfassade und weniger Lochfassade, sind weitere Aspekte. Gerade unschlüssigen Bauherrn, die noch versuchen solche Mehrkosten für Kühlung zu vermeiden, dienen Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen (KWKK) möglicherweise als Entscheidungshilfe.



Erweitertes Potenzial der BHKW-Dimensionierung durch „Sommerwärmesenke Kälte“

Mit KWKK kann im Sommer durch den Einsatz von Absorptionskältemaschinen auch die Kälte als „Abfallprodukt“ der dezentralen Eigenstromerzeugung von elektrischem Strom betrachtet werden. Die o.g. „Eigenstromquote“ kann dann wirtschaftlich und energetisch sinnvoll ganzjährig optimiert werden. Die nun größeren BHKWs haben somit einen doppelten Effekt auf die Strombilanz in Gebäuden mit Kältebedarf. Neben der erweiterten Eigenstromerzeugung wird der Strombedarf für die dann geringere „Kompressionskälte“ reduziert. Dies optimiert darüber hinaus den Anteil der Wärmeversorgung aus BHKW-Abwärme, was wiederum den Anteil für Konventionelle „Restwärme“ reduziert.

Durch die nun sehr umfangreichen Eigenstromkapazitäten kommt der wirtschaftlich sinnvollen Stromverwertung eine größere Bedeutung zu. Durch die geringeren Gestehungskosten von BHKW-Strom gegenüber lokalem Solarstrom kann hier eine, isoliert betrachtet sinnvolle Solaranlage in der Priorität nach hinten rücken. Sollte dann auch noch durch Hemmnisse in der gebäudeinternen Vermarktung von Strom, z.B. bei Mietern, der lokale Absatzmarkt für Eigenstrom limitiert sein, dann wird nun der Strom, und nicht wie bei BHKWs üblich die Wärme, zum limitierenden Faktor einer sinnvollen Dimensionierung der Anlagentechnik. Von einer dauerhaften „Überproduktion“ von dezentralen Eigenstromanlagen kann in der Regel abgeraten werden, da die Rückspeisung großer Strommengen ins öffentliche Netz wirtschaftlich derzeit nicht interessant ist. Auch sogenannte „Direktvermarktungsmodelle“ für Abnehmer außerhalb der Immobilie sind wirtschaftlich schwer darstellbar, da einige der Vorteile wie z.B. eingespartes Netzentgelt, dann wegfallen.

Sinnvoller ist da eine weitere Stromsenke, gerade in Kombination mit den o.g. größeren Wärmespeichern. Mit einer Power to Heat – Anlage (P2H), also einer Art „Tauchsieder“, können temporär überschüssige Strommengen in Wärme umgewandelt werden und so den „Restwärmebedarf“ weiter absenken. Das geht mit geringen Zusatzinvestitionen, dient der Wirtschaftlichkeit und substituiert möglichen CO₂-Ausstoß der Restwärme.

Ansonsten wird zunehmend der lokale Bedarf an Ladestrom in der Immobilienwirtschaft zu solch einer wachsenden „Stromsenke“. Der Vorteil von Ladepunkten an Immobilienstandorten gegenüber dem „Gehwegladen“ ist, das es sich hier um vergleichsweise planbare Vorgänge handelt. Die Anzahl von Stellplätzen für Fahrzeuge und deren permanenten oder temporären Nutzer sind mehr oder weniger bekannt. Durch deren Nutzungsprofil kann das Ladeprofil abgeleitet werden. Hieraus kann auch die Anzahl der Vorgänge ermittelt werden, die in kurzer Zeit schnell laden müssen, und die,

bei denen geringe Mengen über eine lange Standzeit geladen werden. In der Praxis zeigt sich das durch einfaches Lademanagement schon viel optimiert werden kann.

Eine weitere Optimierung wird durch sogenannte „Mobilitätshubs“, eine Art Vermiet-Station für E-Fahrzeuge jeglicher Art, in den Immobilienobjekten möglich. Hier wird den Immobiliennutzern ein bedarfsgerechtes und nachhaltiges lokales Mobilitätsangebot unterbreitet. Durch Sharing-Effekte und den eigenerzeugten elektrischen Strom können marktgerechte Preise unterbreitet werden. Die dann noch transparentere Auslastung der Fahrzeuge optimiert o.g. „lokale Sektorenkopplung“ von Energie und Mobilität im jeweiligen Immobilienprojekt.

Stromspeicher werden auch im Gebäudesektor eine immer wichtigere Rolle einnehmen. Bei Solarstromanlagen sind sie schon fast nicht mehr wegzudenken. Auch bei BHKWs können sie für einen optimierten Anlagenbetrieb sorgen, insbesondere in dem sie das „Takten“ vermeiden und somit Instandhaltungskosten reduzieren und Wirkungsgrade optimieren.

Inwieweit in Zukunft „stationäre Stromspeicher“ in Gebäuden benötigt werden, oder ob diese Aufgaben zu einem Großteil auch von „mobilen Speichern“ übernommen werden können ist eine spannende Frage. Damit Elektrofahrzeuge von Stromsenken zu erweitert nutzbaren Stromspeichern werden, bedarf es einer Technologie, über die derzeit noch fast kein Elektroauto am Markt verfügt. Die Fahrzeuge müssten bidirektional Laden können, also auch Strom ins Netz oder in die Immobilie rückspeisen können. Das schon lang angekündigte Vehicle to Grid (V2G) wird erst dann richtig zur Realität und birgt erhebliche Effizienzpotenziale und wirtschaftliche Chancen.

In Summe würde solch eine komplexe Lösung schon einiges an Flexibilitätsbausteinen und -optionen bieten. Bei entsprechender Baugröße sollte dann geprüft werden, ob diese markt- bzw. netzdienlich an Flexibilitätsmärkten vermarktet werden können. Dies würde eine weitere wirtschaftliche Optimierung bedeuten, sofern diese Vorteile nicht durchsteigende Instandhaltungskosten kompensiert werden.

Gerade bei größeren Gewerbeimmobilien oder bei Quartierslösungen ist die freie interne Stromdurchleitung unerlässlich. Je nach Gebäudekonfiguration können einzelne Stromerzeuger von den relevanten Verbrauchern entfernt sein. Hier kommen dann zukünftig ggf. interne Arealnetze als weiterer Baustein ins Spiel. Auch die transparente Erfassung der Stromerzeugung, aber auch der jeweiligen Nutzer, idealerweise in Echtzeit, wird obligatorisch.

BHKWs haben mit Erdgas betrieben gegenüber anderen Technologien schon eine sehr gute CO₂-Bilanz. Ursache hierfür ist der Eigenstrom. Optimiert wird diese CO₂-Bilanz durch den Stromüberschuss, der im Gebäude dem „lokalen Mobilitätssektor“ zur Verfügung gestellt wird. Hier wird PKW-Kraftstoff substituiert, was ein sehr hohes Einsparpotenzial an CO₂ hat. Durch die geringen CO₂-Vermeidungskosten von BHKW-Strom hat dies wiederum positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

In vielen Projekten kommt zunehmend der Hinweis bzw. die Anfrage, ob es Alternativen zum Erdgas gibt. Diese gibt es in Form von Biogas aus unmittelbarer Nachbarschaft oder Biomethan, sofern das Biogas über das Erdgasnetz bezogen wird. Damit lässt sich die ohnehin schon sehr gute CO₂-Bilanz solcher Lösungen noch weiter optimieren. Dies geht derzeit zu Lasten der Wirtschaftlichkeit. Wie sich hier zukünftig die Berücksichtigung von CO₂-Abgaben auswirken, bleibt abzuwarten. Als Ersatz zu Biogas oder Biomethan kann in Zukunft auch „grüner Wasserstoff“ eine Rolle spielen. Diese Details werden in Kapitel 5.3.3. behandelt. Vor diesem Hintergrund wurde am Beispiel des Goethequartiers in Sonthofen nicht nur ein BHKW-Konzept untersucht, sondern auch die realen Möglichkeiten für einen Betrieb mit Wasserstoff.

5.3.2 BHKW-Konzept am Beispiel „Goethequartier Sonthofen“



Goethequartier Sonthofen – Visualisierung Goethestraße (Bild ©BOKEHdesignstudio)

Die Inhalte und erarbeiteten Ergebnisse für das Beispiel „Goethequartier Sonthofen“ stammen aus Projektunterlagen, die im Auftrag der Sozial-Wirtschafts-Werk des Landkreises Oberallgäu Wohnungsbau GmbH (SWW) durch die bluemove consulting

GmbH durchgeführt wurden. Für die Machbarkeitsstudie HyAllgäu konnten diese für die Studie nützlichen Informationen nach Freigabe durch die SWW in diesem Kapitel bearbeitet werden, ohne das Projektbudget zu belasten.

Der Landkreis Oberallgäu hat sich bis 2050 das ehrgeizige Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen um 95 % im Vergleich zu 1990 zu senken sowie den Energieverbrauch zu halbieren. Als zertifizierte Energie- und Klimaschutzstadt setzt die Alpenstadt Sonthofen verschiedenste Maßnahmen um.

Auch die SWW setzt es sich zum Ziel, Umwelt, Klima und Ressourcen zu schonen und gleichzeitig bezahlbaren Wohnraum zu schaffen. Gegründet wurde die SWW aus kommunaler Initiative, um die Herausforderung Wohnungsnot in den Nachkriegsjahren gemeinsam erfolgreich anzunehmen, liegen auch heute noch die Besitzverhältnisse zu 97 % in den Händen von Landkreis, Städten und Gemeinden. Die SWW errichtet, betreibt, bewirtschaftet und verwaltet deshalb Bauten aller Art und in allen Rechts- und Nutzungsformen. Ganz oben steht hier der Bau von preiswertem und bezahlbarem Wohnraum für Mieter und für die Erwerber von Eigentum. Die Strategie ist auf Nachhaltigkeit angelegt. Erfolgreiches wirtschaftliches Handeln, Verantwortung gegenüber unserer Umwelt und Heimat und die Verpflichtung zu sozialem Handeln: Das sind die Kernpunkte der Unternehmenskultur und daran lassen wird das tägliche Handeln messen.



Goethequartier Sonthofen – Visualisierung Östliche Alpenstraße (Bild ©BOKEHdesignstudio)

In diesem Rahmen sollen insbesondere im Goethequartier sowohl durch die Sanierung der 28 Bestandsgebäude als auch durch die ergänzende Bebauung ein Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen geleistet werden. Das Goethequartier befindet sich im nördlichen Teil von Sonthofen, der Kreisstadt im Landkreis Oberallgäu. Eigentümer ist die SWW.

Das Quartier stellt mit 421 Wohnungen in 28 Gebäuden ein Kerngebiet der SWW dar. Die Gebäude wurden in den Jahren 1957 bis 1962 errichtet. Die SWW hat sich zum Ziel gesetzt, eine ganzheitliche Quartierslösung zu entwickeln, das die Aspekte Wohnen, soziales Umfeld und Mobilität sowie Nachhaltigkeit berücksichtigt. In diesem Kontext ist neben der Aufwertung der Bestandsgebäude auch die Schaffung neuen Wohnraums im Goethequartier geplant. Über fünf Bauabschnitte (BAs) ist eine schrittweise Ergänzung (Verdichtung) des bestehenden Goethequartiers geplant.

Zentrale Herausforderungen sind unter anderem die Erneuerung der technischen Infrastruktur sowie die Unterbringung von Stellplätzen, auch für zukünftige Elektromobilität. Ursprünglich wurde das Quartier über drei Ölkessel beheizt. Im Rahmen einer Umrüstung wurde die Wärmezentrale bereits an das örtliche Fernwärmenetz angeschlossen. Die Fernwärme kommt aus dem Holzheizkraftwerk (HHKW) Sonthofen. Somit hat die Wärmeversorgung bereits einen sehr guten Primärenergiefaktor.

Die Stromversorgung erfolgt derzeit konventionell. Auch hier soll zukünftig der Einsatz erneuerbarer Energien realisiert werden. Für die zukünftige o.g. Elektromobilität sollen auch dezentrale Eigenerzeugungskapazitäten aus Solarstrom und BHKWs eine Rolle spielen.

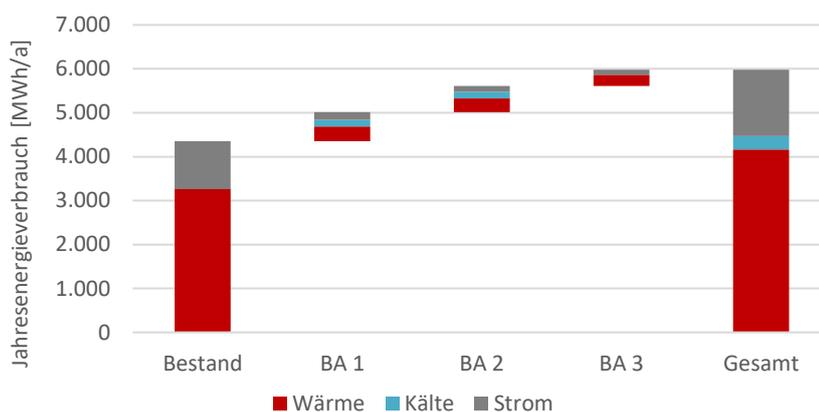
Die Verteilung der Wärme erfolgt derzeit z.T. über alte und verlustreiche Wärmeleitungen und Übergabestationen. Die Wärmeleitungen sind erdverlegt und müssen ohnehin erneuert werden. Zukünftig können diese gut in den Tiefgaragen der zusätzlichen Ergänzungsgebäude verlaufen. Allein die Sanierung von Leitungen und Übergabestationen bedeuten eine signifikante CO₂-Einsparung.

Im Rahmen einer überschlägigen Kalkulation des Wärme- und Kältebedarfes im finalen Ausbauzustand ergibt sich ein Gesamtwärmebedarf von ca. 4.167 MWh/a und ein möglicher Kältebedarf (optional) von ca. 303 MWh/a. Ausgehend vom Wohnungsbestand unter Berücksichtigung ggf. wegfallender Wohnfläche durch die

Veränderung des Erschließungsweges des Quartiers ergibt sich eine stufenweise Zunahme des Energiebedarfs.

	Bestand	BA 1	BA 2	BA 3	Summe
Anzahl Wohneinheiten	421	66	50	44	581
Wohnfläche [m ²]	28.077	4.210	3.961	3.173	39.421
Wärmebedarf Heizen [MWh/a]	2.417	211	198	159	2.985
Wärmebedarf TWE* [MWh/a]	842	126	119	95	1.183
Gesamtwärmebedarf [MWh/a]	3.260	337	317	254	4.167
Kältebedarf [MWh/a]	-	152	152		303
Mieterstrom* [MWh/a]	1.010	158	120	106	1.394
Allgemeinstrom [MWh/a]	84	13	12	9	118
Gesamtstrom [MWh/a]	1.094	171	132	115	1.512

*TWE: Annahme 30 kWh/m²; Mieterstrom: Annahme durchschnittl. Personenanzahl pro Wohnung: 2 -> 2.400 kWh/a

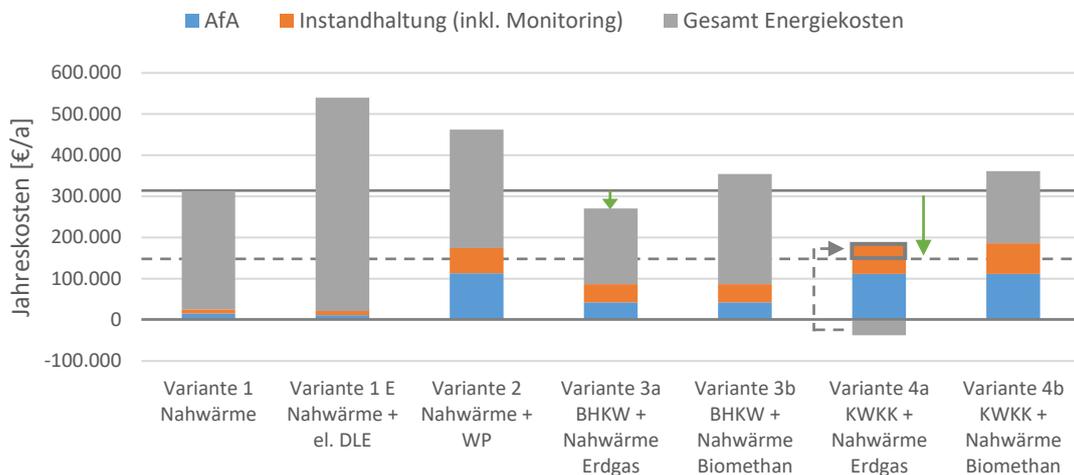


Entwicklung Energieverbräuche durch die zukünftigen Ausbaustufen (vgl. SWW 2020; vgl. IB Schötz 2020)

Im Rahmen der Untersuchung wurde ein sinnvolles Zusammenspiel aus Fernwärmenutzung und der gekoppelten Eigenerzeugung von Wärme und Strom durch ein BHKW betrachtet. Für den Betrieb des BHKWs wurden neben Erdgas auch die Optionen Biogas und grüner Wasserstoff geprüft.

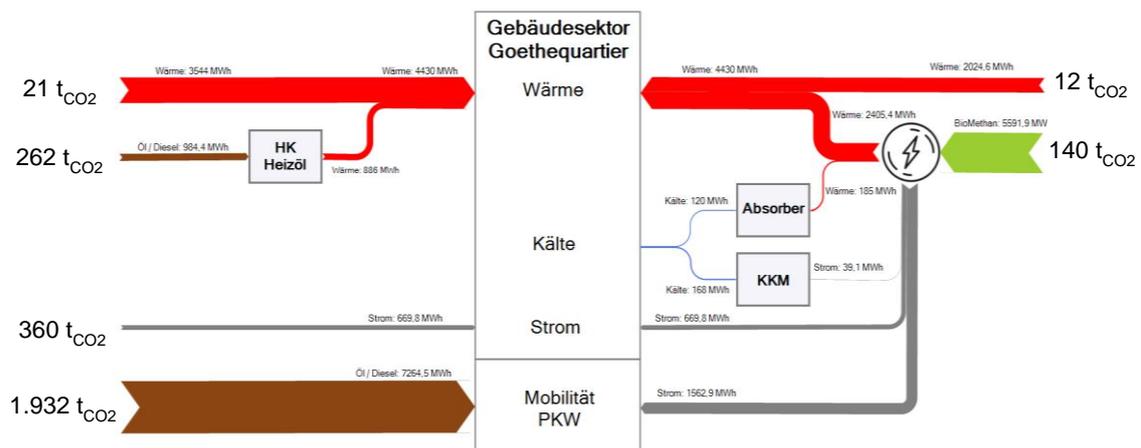
Derzeit befinden sich keine Ladestationen im gesamten Goethequartier. Der aktuelle Planungsstand sieht zehn Ladepunkte in der Tiefgarage sowie einen Schnelllader im BA 2 vor. Im Rahmen der o.g. Sektorenkopplung und der zu erwartenden Überschussmenge an lokalem ökologischem Strom soll dies deutlich erweitert werden. Darüber hinaus soll auch der Stromsektor komplett CO₂-frei ausgerichtet werden. Durch den sehr hohen Autarkiegrad im Rahmen der Eigenerzeugung (BHKWs & Solarstrom) werden zusätzlich

die vorgelagerten Netze entlastet. Weitere netz- und marktdienliche Aspekte im Rahmen der Flexibilität (z.B. Regelenergie) ermöglicht im Goethequartier neben den Komponenten zur Eigenstromerzeugung zukünftig der Einsatz von Stromspeichern.



Variantenvergleich (wirtschaftlich) zur Vorauswahl des Wärmekonzeptes

Im Rahmen der Projektierung wurde ein Variantenvergleich für ein zukunftsweisendes Energiekonzept erstellt. Eine Lösung mit BHKW erwies sich hier schnell als wirtschaftlich und ökologisch vorteilhaft. Durch einen möglichen Kältebedarf in einzelnen Wohnungen kann dieser Effekt durch eine KWKK optimiert werden.



2.575 t_{CO2}



Reichweite: 10,42 Mio. km/a
Anzahl PKWs: ca. 690 (je 15.000 km/a)

152 t_{CO2}

Vergleich Energieströme & CO₂-Ausstoß im Bestand und durch Quartierskonzept

Als weiterer Aspekt soll die Möglichkeit aufgezeigt werden, zukunftsweisende Ideen und Lösungen nicht nur in Neubauprojekten zu realisieren, sondern auch in Sanierungs- und

Revitalisierungsprojekten anzugehen. Beim Goethequartier handelt sich es um eine Kombination aus Sanierung, teilw. ggf. auch Revitalisierung und Ergänzungsbauten (Verdichtung).

5.3.3 Wasserstoff als letzter Schritt für CO₂-freie BHKWs



Erdgas-/Biogas-BHKW & Wasserstoff-BHKW gleicher Baugröße (vgl. 2G Energy 2020)

Am Markt gibt es inzwischen BHKWs die problemlos mit Wasserstoff betrieben werden können. Der Wasserstoffanteil kann zwischen 0 und 100 % betragen Hier handelt es sich in der Regel um umgerüstete Gasmotoren. Bei der Auslegung der richtigen Baugröße für den konkreten Anwendungsfall sind die geänderten Wirkungsgrade, Leistungen, Anschaffungskosten und Aufwendungen für Instandhaltung zu berücksichtigen.

	BHKW					
Hersteller	2G					
Typ	agenitor 406			agenitor 412		
Konfiguration	ct80-1, ct70-1, bt80-1	ct135-0	ct0-0	ct70-1, bt70-1	ct135-0	ct0-0
Brennstoff	Erdgas	Biogas	Wasserstoff	Erdgas	Biogas	Wasserstoff
Elektrische Nennleistung [kW]	250	250	170	450	450	360
Thermische Nennleistung [kW]	260 - 304	245	183	493 - 609	468	371
Elektrischer Wirkungsgrad [%]	39,8 - 41,8%	42,5%	39,0%	39 - 41,3%	41,1%	40,5%
Thermischer Wirkungsgrad [%]	43,5 - 48,3%	41,6%	41,9%	45,3 - 52,8%	42,7%	41,7%
Gesamtwirkungsgrad [%]	85,3 - 88,1 %	84,1%	80,9%	86,6 - 91,8%	83,8%	82,2%
Kosten [T€]	198	202	250	302	308	380
Kosten für Vollwartung* [€/Bh]	2,91	angefragt	angefragt	5,08	angefragt	angefragt
Kosten für Vollwartung bei Vbh = 5.000h/a [€/a]	14.550	angefragt	angefragt	25.400	angefragt	angefragt

*ohne 60.000 Vbh Revision

Vergleich von BHKWs mit Erdgas, Biogas und Wasserstoff

H ₂ -Anteil	BHKW bei 6.000 VBh				
	20 kW _{el}	50 kW _{el}	100 kW _{el}	200 kW _{el}	400 kW _{el}
100%	316.623 kWh	791.557 kWh	1.583.113 kWh	3.166.227 kWh	6.332.454 kWh
	9.500 kg	23.749 kg	47.498 kg	94.996 kg	189.993 kg
50%	158.311 kWh	395.778 kWh	791.557 kWh	1.583.113 kWh	3.166.227 kWh
	4.750 kg	11.875 kg	23.749 kg	47.498 kg	94.996 kg
20%	63.325 kWh	158.311 kWh	316.623 kWh	633.245 kWh	1.266.491 kWh
	1.900 kg	4.750 kg	9.500 kg	18.999 kg	37.999 kg

Übersicht Jahresverbrauch von Wasserstoff für unterschiedliche BHKW-Größen und Wasserstoffanteile

Es gab schon Brennstoffzellen im Leistungsbereich von 200 – 400 kW am deutschen Markt. Derzeit gibt es nur Baugrößen im Segment der Einfamilienhäuser und etwas darüber. Für die untersuchte Quartierslösung in Sonthofen kommen diese nicht in Frage.

Erste Überlegungen in Sonthofen für den lokalen Einsatz von Wasserstoff basierten ganz einfach darauf die bestehenden Erdöltanks durch Wasserstofftanks zu ersetzen (Variante I a). Es ist wichtig vor einer Dimensionierung von möglichen Wasserstofftanks für BHKWs die jeweilige Baugröße und Laufzeit sowie Verbrauchswerte zu kennen.

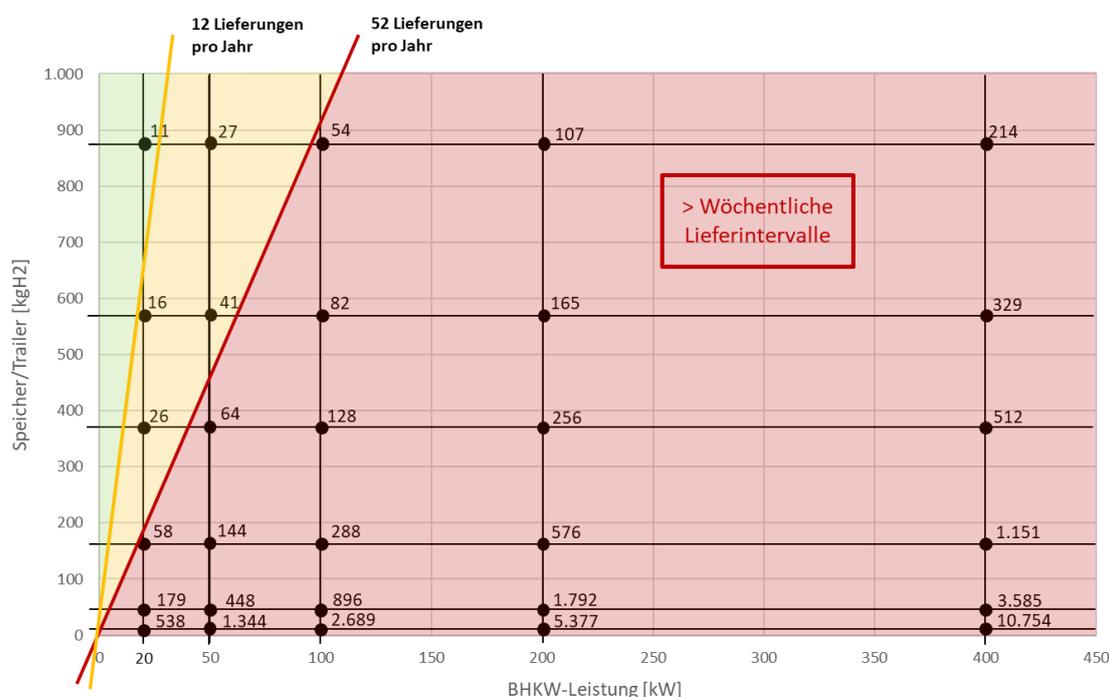
Trailer-/ Speichergrößen		Wasserstoffbedarf pro Jahr							
		50 kW*		300 kW*					
		20 kW*	100 kW*	400 kW*	60 MWh 1,8 t	150 MWh 4,5 t	350 MWh 10,5 t	800 MWh 24 t	1.500 MWh 45 t
	17,7 kg	102	255	594	1.359	2.547	5.095	10.190	
	53 kg	34	85	198	453	849	1.698	3.397	
	165 kg	11	27	64	145	273	546	1.091	
	371 kg	5	12	28	65	121	243	485	
	577 kg	3	8	18	42	78	156	312	
	887 kg	2	5	12	27	51	101	203	

* BHKW-Größe: Wasserstoffbedarf bei einem H₂-Gas-Verhältnis im Bereich 20% - 100% und 6.000 VBh

Übersicht zu den Transportintervallen pro Jahr nach BHKW- und Trailer-Größen

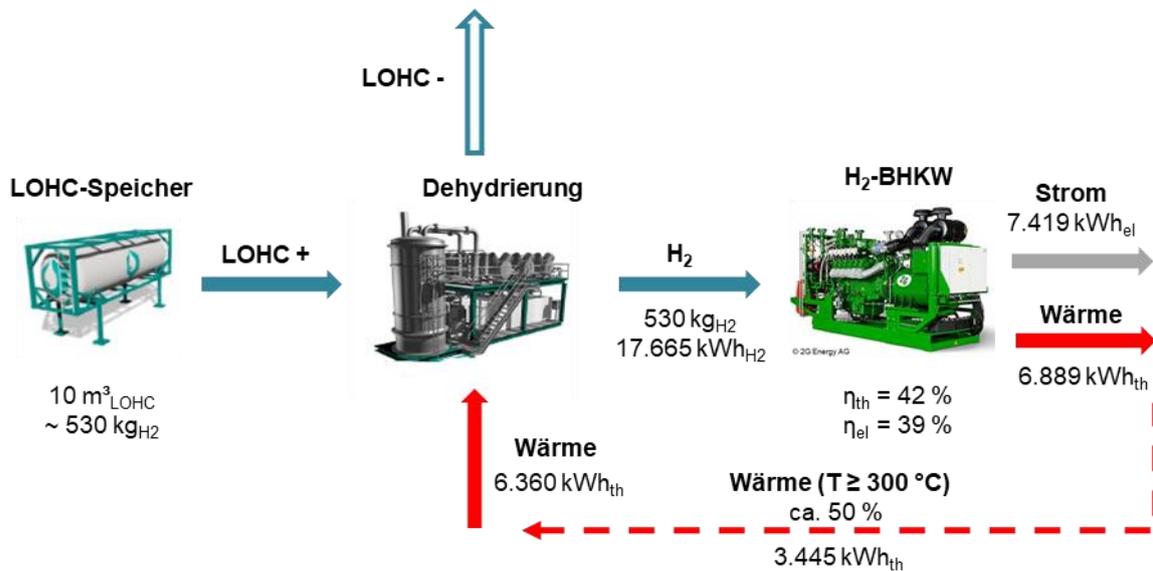
Schnell wird klar das solch große Tanks in den seltensten Fällen in Immobilienobjekten untergebracht werden können. Um die Baukosten für Speicher zu reduzieren, wird gern auf Trailer ausgewichen. Hier können im Wechsel die Transportbehälter vor Ort abgestellt und jeweils bei Bedarf ausgetauscht werden (Variante I b). Diese Behälter gibt es auch in Baugrößen, die in Immobilienprojekten vorstellbar sind.

Leider taucht dann das nächste Hemmnis auf. Schnell ist man mit Transportzyklen konfrontiert, die solch ein Konzept sinnlos machen. Lösungen mit Tanks oder Trailern eignen sich somit nur für Projekte mit sehr kleinen BHKWs und/oder mit sehr kleinem Anteil an Wasserstoff. Darüber hinaus hat der Wasserstofftransport den Nachteil zusätzlicher Kosten und Emissionen für den Transport. Je nach Entfernung kann dies erheblich sein.



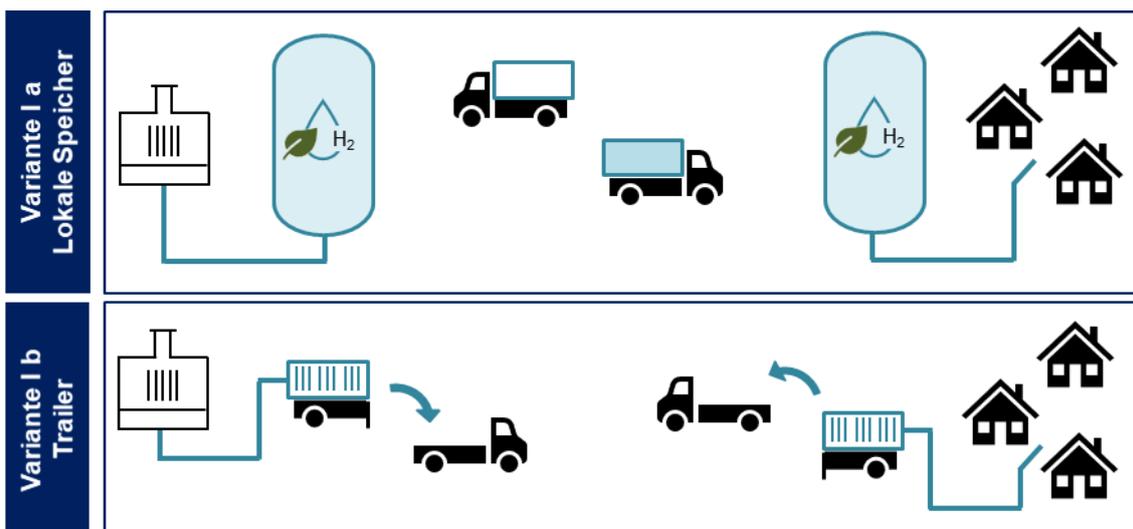
Übersicht Transportzyklen nach BHKW- und Trailer-Größe

Ein möglicher Lösungsansatz für die H₂-Speicherung könnte auch hier in Zukunft LOHC sein. Bei erster Betrachtung bedeutet aber auch dies sehr große Behältergrößen. Eine Beispielrechnung zeigt, dass nur die Hälfte der Wärme aus dem BHKW für die geforderten Temperaturen in Frage kommt. Das bedeutet das für den LOHC-Prozess ein weiterer Wärmebedarf besteht oder der Wasserstoffanteil im BHKW max. 50 % betragen darf.



Wärmebilanz beim Einsatz von LOHC in Kombination mit Abwärme-(Teil-)Nutzung aus Wasserstoff-BHKWs

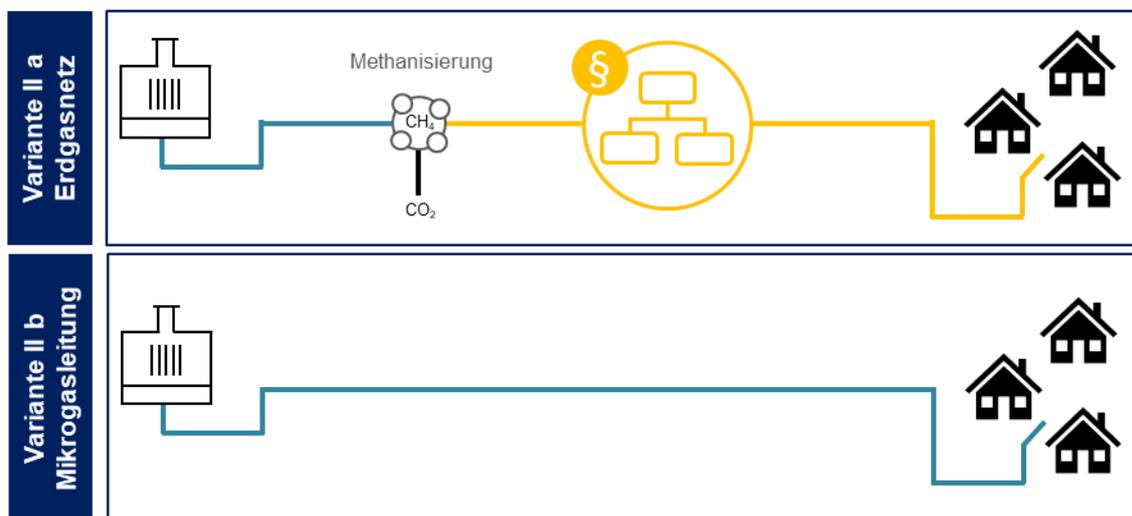
Somit bleibt eigentlich nur der leitungsgebundene Transport von Wasserstoff. Zunächst ist der Transport über das bestehende Gasnetz (Variante II a) zu nennen. Eine Beimischung von bis 10 % Wasserstoff scheint nach Rücksprachen mit Gasnetzbetreibern unkritisch zu sein. Grundsätzlich gibt es hier offensichtlich noch zahlreiche technische, rechtliche und wirtschaftliche Fragestellungen, die in einer fortführenden Untersuchung behandelt werden müssen.



Übersicht von Transportoptionen für den Einsatz bei Wasserstoff-BHKWs (Variante I)

Darüber hinaus gibt es bei räumlicher Nähe die Option einer reinen Wasserstoffleitung (Variante II b) zwischen dem Elektrolyseurstandort und dem Wasserstoff-BHKW. Solch

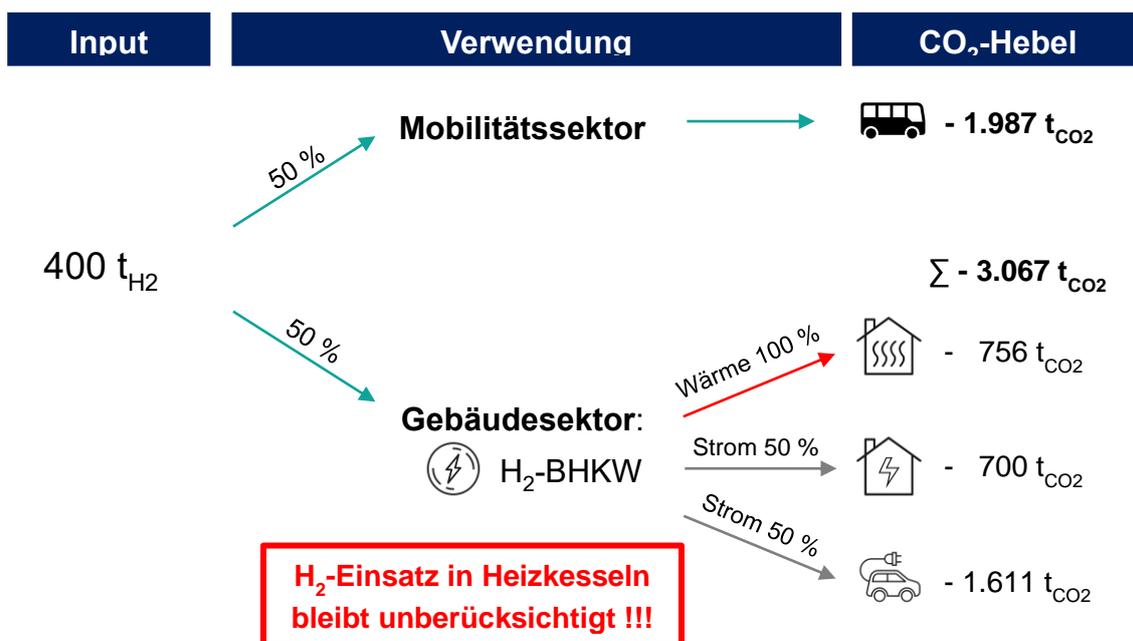
ein Konzept müsste projektbezogen an einem konkreten Projekt im Rahmen einer Machbarkeitsstudie näher betrachtet werden.



Übersicht von Transportoptionen für den Einsatz bei Wasserstoff-BHKWs (Variante II)

5.3.4 Zusammenfassung zur Wasserstoffnutzung im Gebäudesektor

In Zukunft bieten Anwendungsoptionen mit Wasserstoff-BHKWs im Gebäudesektor eine interessante Perspektive. Im Rahmen der Untersuchung wurde hinsichtlich einer möglichen CO_2 -Einsparung die Anwendung bei ÖPNV-Bussen mit dem Einsatz in einem Wasserstoff-BHKW verglichen.



Vergleich der möglichen CO_2 -Einsparung mit ÖPNV-Bussen und im Gebäudesektor

Der Wasserstoff eines größeren Elektrolyseurs wie beim ZAK sollte zu gleichen Anteilen auf die beiden Anwendungsfälle aufgeteilt werden. Beim BHKW geht die Wärme natürlich zu 100 % in den Gebäudesektor. Beim elektrischen Strom wurde ebenfalls von einer 50/50 – Quote auf den Gebäudebedarf und für Elektrofahrzeuge ausgegangen. Neben den 50 % für die ÖPNV-Busse landet also ein weiterer Anteil des produzierten Wasserstoffs, wenn auch indirekt, im Mobilitätssektor. Spannend ist hier der Anteil der möglichen CO₂-Einsparung. Der Gebäudesektor hat hier sogar Vorteile. Dies liegt zunächst an den sehr guten Gesamtwirkungsgraden von BHKWs, aber auch am großen Hebel des Stromanteils, der in Elektrofahrzeuge geht. Als weiterer Vorteil solcher Lösungen wäre die Entlastung von Stromnetzen zu nennen. Inwieweit die zu erwartenden reduzierten CO₂-Vermeidungskosten einen wirtschaftlichen Vorteil ermöglichen, müsste an einem konkreten Projekt, bei dem auch konkrete Daten bzgl. Ladevorgängen und Flotten verfügbar sind, vertieft werden. Das hätte den Rahmen von HyAllgäu in jedem Fall gesprengt.

6 Fazit und weiteres Vorgehen

6.1 Ergebnisse der Machbarkeitsstudie HyAllgäu zusammengefasst

Der positive Impuls aus der Benachrichtigung einer Förderzusage des NOW lies im Allgäu die mögliche Kapazität für grünen Wasserstoff sofort von 50 auf 1.000 t/a hochschnellen. Sehr zielgerichtet und schnell konnten teilweise mit Unterstützung durch die potenziellen Betreiber die untersuchten vier Standorte, die den internen Kriterien der Wirtschaftlichkeit entsprachen, abgearbeitet werden.

	AVKE		ZAK	Horn	Wildpoldsried
					
Geplante Elektrolyseurleistung [kW]	225	1.000	3.000	3.000	1.000
Derzeit verfügbarer Strom [MWh]	8.400		50.000	42.500	53.112
Stromzuwachs netto [MWh]	3.700		-	-	-
benötigte Strommenge 4.000 Vbh [MWh]	900	4.000	12.000	12.000	4.000
benötigte Strommenge 8.000 Vbh [MWh]	1.800	8.000	24.000	24.000	8.000
realistische Vbh [h]	8.000	3.700	8.000	7.000	4.343
Derzeitige Vergütung Strom [ct/kWh]	2-3		6-7	7	+/- 5
Strompreis Elektrolyseur [ct/kWh]	5				
Abweichung zu derzeitigen Strompreis [ct/kWh]	+2-3		-1-2	-2	+/- 0
Investitionskosten [€]	1.440.000	2.200.000	5.500.000	4.630.000	2.200.000
Förderquote	70%		45%	45%	55%
Eigenanteil Investitionskosten [€]	432.000	660.000	3.025.000	2.546.500	990.000
Jahreskosten AfA (10a, 3%) [€/a]	50.644	77.372	354.622	298.527	116.058
Instandhaltungskosten [€/a]	30.000	62.000	174.754	110.000	62.000
Jahresstromkosten 5 ct/kWh [€]	90.000	185.000	1.200.000	1.050.000	217.150
Jahresstromkosten derzeitige Vergütung [€]	45.000	92.500	1.560.000	1.470.000	217.150
Produzierter H ₂ (ohne Kompression) [kg]	32.727	67.273	436.364	381.818	78.964
Gestehungskosten bei 5 ct/kWh [€/kg]	5,21	4,82	3,96	3,82	5,00
Gestehungskosten (derzeitige Strompreise) [€/kg]	3,84	3,45	4,79	4,92	5,00

Übersicht und Vergleich der Gestehungskosten der möglichen Standorte für die Produktion von grünem Wasserstoff im Allgäu

Sämtliche Standorte bieten, wenn teilweise auch nur unter Idealbedingungen, die Voraussetzung den grünen Wasserstoff im Rahmen des Zielpreises von 5,00 – 6,00 €/kg zu produzieren. Nicht enthalten sind Investitions- und Betriebskosten für die Komprimierung und Abfüllung. Somit sind die Standorte vergleichbar. Bis zum Endkunden vor Ort, oder per Transport kommen dann noch Kosten hinzu, die eine Gesamtwirtschaftlichkeit noch gefährden können. Am Beispiel der Standorte ZAK und AÜW wird der wirtschaftliche Vorteil größerer Anlagen deutlich. Dies gilt nur bei entsprechender Vollauslastung. Der Standort AVKE profitiert von geringeren Strompreisen und höheren Förderquoten.

Zusammengefasst bedeutet ein Reallabor im Allgäu mit der Produktionskapazität von den beschriebenen 1.000 t/a ein Investitionsvolumen für Produktion, Speicher und Tankstellen, ein Investitionsvolumen von ca. 60 Mio. €. Die erforderlichen Fahrzeuge sind jedoch nicht enthalten. Durch die schnelle Bearbeitung der Machbarkeitsstudie konnten für drei der Standorte bereits Investitionsförderanträge gestellt werden. Zwei der Anträge erhielten bereits eine Investitionszusage oder es wurde diese in Aussicht gestellt. Das Ziel, die Investitionsförderung zum Aufruf HyPerformance II zu beantragen, wurde somit „übererfüllt“. Ungeachtet dessen wird bei Bekanntgabe solch eines Förderaufrufs geprüft inwieweit dies für Inhalte der Infrastruktur und für Fahrzeuge dennoch beantragt wird.

6.2 Weiteres Vorgehen

Dank der Förderzusage im Rahmen des „Förderaufruf für Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative im Förderbereich: Antrag für Förderaufruf für Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte“, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und nukleare Sicherheit, kann mit dem Elektrolyseur auf der Kläranlage Kempten (AVKE) bereits der erste Baustein aus dem Reallabor HyAllgäu realisiert werden. Vorteil dieser Förderung ist mit min. 70 – 80 % eine deutlich höhere Förderquote. Eingeschränkt wird der Förderaufruf durch die Vorgabe einer 100 % - igen Verwertung im kommunalen Sektor. Darüber hinaus sind bei solchen Förderquoten Beihilferechtliche Bedenken auszuräumen.

Mit diesen ersten 70 t/a an grünem Wasserstoff vom AVKE können dann die ersten ÖPNV-Busse mit Brennstoffzellenantrieb im Raum Kempten betrieben werden. Ab wann der zweite Standort beim ZAK, mit einer ungleich größeren Kapazität (400 t/a), realisiert

werden kann, hängt von Förderzusagen, aber auch Förderquoten, aber auch von der konkreten Nachfrage für grünen Wasserstoff zu auskömmlichen Konditionen ab.

Für die offenen Fragen rund um den ÖPNV-Busverkehr wurde beim NOW eine F&E-Förderung beantragt. Zum Zeitpunkt der Antragstellung standen die Industriepartner bzw. Bushersteller noch nicht fest, die sich als Projektpartner mit entsprechender Eigenbeteiligung, einbinden lassen. Hier gibt es nun mindestens zwei Partner, weshalb nun ein überarbeiteter Antrag eingereicht werden kann. Optional wird geprüft dies im Rahmen einer Machbarkeitsstudie fördern zu lassen. In jedem Fall sind hier die Aspekte noch zu untersuchen, die als Hemmnisse für den Markthochlauf für ÖPNV-Busse in ländlichen Regionen im Rahmen von HyAllgäu identifiziert wurden. Dies sind Herausforderungen an die Busse im Gebirge, da es derzeit offensichtlich keinen Bus am Markt gibt, der für die im Kapitel 5.1.1 beschriebenen Passstrecken geeignet ist. Darüber hinaus ist die Frage des „Service-Hubs“ für Brennstoffzellenbusse zu lösen.

Ebenfalls mit dem Ziel eines gesicherten Absatzes der 1.000 t/a grünen Wasserstoff aus dem Allgäu wurden Kooperationen mit den Nachbarregionen eingegangen. Hier kann HyAllgäu ebenfalls schnell eine aufkommende Nachfrage an grünem Wasserstoff bedienen. Unter anderem entstanden aus der Zusammenarbeit mit Nachbarregionen die zwei in den Kapiteln 6.5.1 und 6.5.2 beschriebenen HyExperts II – Anträge.

6.3 Nächsten Schritte

Ungeachtet der Förderzusage läuft beim ZAK auf eigenes Risiko für den Elektrolyseur die Genehmigungsplanung. Somit kann im Fall einer Förderzusage bzw. dem erforderlichen „Mindestabsatz“ sofort mit der Umsetzung begonnen werden.

Der AVKE kann sofort nach Eintreffen des Förderbescheids mit der Vergabe der Ingenieurleistungen beginnen. Dieser Zeitraum wird auf eigenes Risiko mit Vorplanungen und vorbereitenden Maßnahmen überbrückt. Darüber hinaus wird derzeit mit dem Projektträger die „Unbedenklichkeit in Sachen Beihilferecht“ final abgestimmt.

In den Landkreisen Lindau (Bodensee) und Oberallgäu laufen derzeit Vorbereitungen für Ausschreibungen für ÖPNV-Konzessionen. Hier werden Vorgaben für alternative Antriebe, konkret auch Wasserstoff, eingearbeitet.

6.4 Akzeptanz und Öffentlichkeitsarbeit / Erfolgsfaktoren

Es gibt viele Konzepte und Machbarkeitsstudien, auch beim Thema Wasserstoff, die im „Papierkorb“ landen. Die Ursache liegt oft an unrealistischen und praxisfernen Ideen, die sich nicht für den Realbetrieb eignen. Als Erfolgsfaktor für die o.g. Ergebnisse des Realbetriebs kann die frühzeitige Einbindung potenzieller Investoren und Betreiber in die Bearbeitung der Machbarkeitsstudie betrachtet werden. In HyAllgäu waren dies der AVKE und der ZAK. Aber auch die zahlreichen Abstimmungstermine mit den Busbetreibern und die offene Kommunikation und Bearbeitung der Hemmnisse, ermöglicht einen realistischen Projektansatz. Der Ersteller einer Machbarkeitsstudie, mit der Vorgabe eines praxistauglichen und wirtschaftlichen Reallabors, muss nicht nur über eine hohe Kompetenz in Sachfragen verfügen, sondern über jahrelange Erfahrung in der Projektentwicklung komplexer Lösungen. Die Fachkompetenz muss darüber hinaus auch interdisziplinär und sektorübergreifend sein. Bei HyAllgäu war dies konkret die langjährige Erfahrung der bluemove consulting GmbH, bzw. der Bearbeiter, in den Themen Energiedienstleistung, Abwasserbehandlung und Elektromobilität.

Hinsichtlich der Akzeptanz gibt es in Sachen Wasserstoff auch kritische Stimmen im Allgäu. Eine mögliche Ursache hierfür ist interessanterweise die „Gegenfraktion“ der Wasserstoffbefürworter. Teilweise unrealistische „Luftschlösser“ führen gerade in Fragen der Effizienz, aber auch der Wirtschaftlichkeit, zu einer ablehnenden Haltung. HyAllgäu konnte hier durch viele Vorträge, Fachbeiträge, Fragestunden, etc. zur Versachlichung und Aufklärung beitragen. Utopischen Ansätzen wird eine klare Absage erteilt, der regionale grüne Ansatz im Allgäu für ein Reallabor aber auch um so mehr vertreten. Trotz Corona konnte HyAllgäu auf vielen Veranstaltungen präsentiert werden. Die Rückmeldungen waren durchweg positiv.

6.5 Skalierbarkeit & Kooperationen mit Nachbarregionen

Die Inhalte der Einzelthemen in HyAllgäu wurden schon von Beginn an auf eine mögliche Übertragbarkeit auf andere Regionen ausgerichtet.

Das Beispiel der Kläranlage ist selbst ein (Teil-)Ergebnis aus zahlreichen Machbarkeitsstudien und Forschungsprojekten rund um den Themenkomplex „Vom Klärwerk zum Kraftwerk“. Mit der Realisierung des ersten Elektrolyseurs in der Abwasserbehandlung in Deutschland leistet die Kläranlage wiederum Pionierarbeit, von der zahlreiche andere Abwasserbehandlungsanlagen in Deutschland profitieren können.

Die intelligent kombinierten Erzeugungsanlagen in Wildpoldsried können wiederum als Blaupause für zahlreiche vergleichbare Standorte in Deutschland, aber auch Europa, dienen. Die Ergebnisse der vorliegenden Machbarkeitsstudie HyAllgäu können einfach auf andere Anlagen übertragen werden.



HyAllgäu und die Übersicht sämtlicher Nachbarregionen

Bei den Themen Wasserstoff aus einer Abfallverwertung und ÖPNV-Busse profitiert das Allgäu wiederum von wertvollen Erfahrungen aus Wuppertal. Von der im Voralpenland anstehenden weiteren Bearbeitung im Bereich ÖPNV-Busse, für die Lösungen rund um den Service in ländlichen Regionen und bei gebirgigem Gelände bis in die Alpen hinein, können zukünftig wiederum andere vergleichbare Regionen in Deutschland und Europa profitieren.

Auch das „Regionalprinzip“ mit lokaler Wertschöpfungskette und kurzen Prozessen einer Wasserstoffregion jenseits von Industriemetropolen erfährt überregionale

Aufmerksamkeit. Sollte im Allgäu ein solches Projekt gelingen, so hätte dies sehr starkes Nachahmungspotenzial in vielen ländlichen Regionen dieser Welt.

Als wesentlicher Aspekt ist jedoch der fachliche Austausch mit anderen Wasserstoffregionen zu nennen. Zunächst erfolgte dies vorrangig durch das NOW- bzw. das HyLand-Netzwerk. Im Laufe der Bearbeitungszeit ergab es einen intensiven Austausch und teilweise bereits eine projektbezogene Zusammenarbeit mit sämtlichen Nachbarregionen.

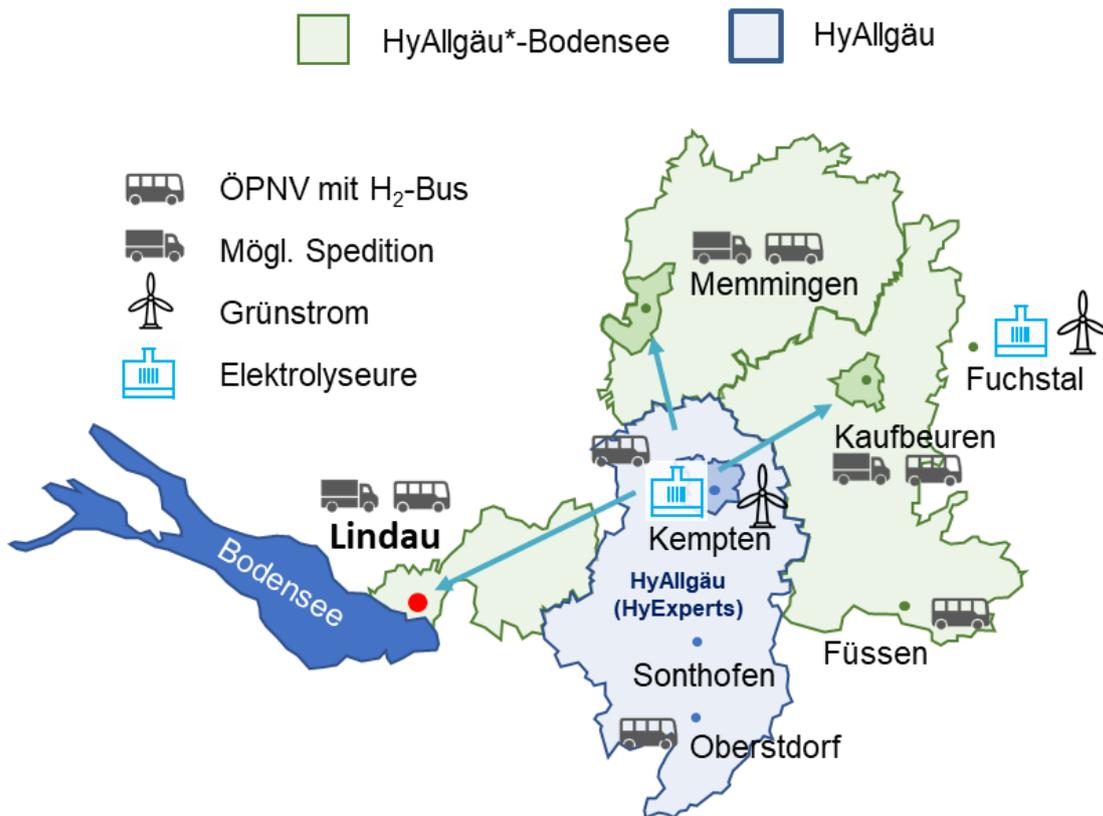
Mit dem benachbarten Vorarlberg in Österreich ist das Oberallgäu unmittelbar mit einigen ÖPNV-Buslinien verbunden. Schon hierdurch gab es im Rahmen der Machbarkeitsstudie, insbesondere bei den ÖPNV-Strecken durch die Alpen sehr enge Abstimmungen. Der Kontakt in das benachbarte Tirol, ebenfalls Österreich, basiert in erster Linie aus einer Anfrage der Firma Thöni (siehe Kapitel 6.5.3.).

Gegen Ende des Projektes konnte HyAllgäu mit zwei Nachbarregionen im Norden und Westen für weitere HyExperts II Anträge kooperieren. Es wurden jeweils Anträge unterstützt, bei denen die jeweilige Region von den positiven Voraussetzungen zur Produktion von „grünem regionalen Wasserstoff“ im Allgäu profitiert. Ziel ist jeweils der Schwerpunkt für erweiterte Absatzmärkte für grünen Wasserstoff aus dem Allgäu.

6.5.1 Nachbarregion 1: „HyAllgäu*-Bodensee“

„Vom Standort in die Fläche“ – unter diesem Motto möchte das Verbundprojekt HyAllgäu*-Bodensee kleinräumig vorhandene Ansätze einer Wasserstoffwirtschaft in den ländlichen Raum des Allgäus und der Bodenseeregion ausdehnen. Dazu bedient die Antragsregion ein breites Spektrum unterschiedlicher Gebietskörperschaften: sie setzt sich zusammen aus den Landkreisen Lindau (Bodensee), Unterallgäu und Ostallgäu, den kreisfreien Städten Memmingen und Kaufbeuren, sowie der Stadt Lindau (Bodensee) und der Gemeinde Fuchstal.

Im Zuge von HyAllgäu wurden große Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff ermittelt. Mit regionalen ÖPNV-Partnern und Flottenbetreibern von Entsorgungsfahrzeugen wurden erste Nutzungsoptionen für H₂-Fahrzeuge abgestimmt. Durch HyAllgäu*-Bodensee sollen die mit HyAllgäu erfolgreich gestarteten Aktivitäten auf das gesamte Allgäu und den Lindauer Bodensee ausgedehnt werden.



Projektübersicht HyAllgäu-Bodensee (aus Projektskizze HyExperts II – Antrag)*

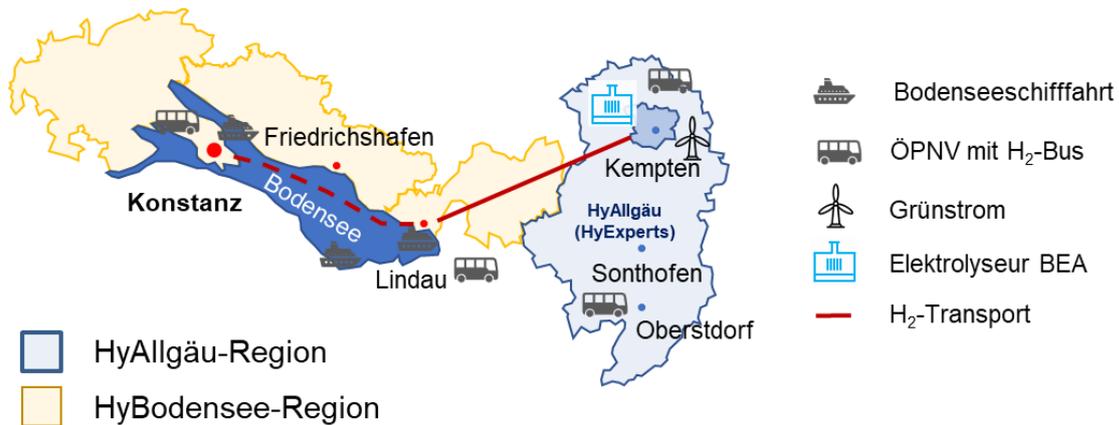
In diesem Zusammenhang werden auch die vielversprechenden Ansätze der Wasserstoffmodellregion Ostallgäu (HyStarter) mit aufgenommen. Ziel ist ein diversifizierter regionaler Absatzmarkt für Wasserstoff im polyzentrischen ländlichen Raum. Ab 2023 kann die Lieferung grünen Wasserstoffs durch die BioEnergie Allgäu starten. Dieser kommt vorrangig in wirtschaftlichen Use-Cases (ÖPNV, Logistik und Abfallentsorgung) zum Einsatz. Zusätzlich bietet sich ein Nebenfokus auf „Alternative Verfahren“ zur Wasserstoffproduktion an, da die Region über relevante Technologiepartner verfügt. Besonderheiten sind der international bedeutende Bereich der Flugzeugschlepper und die Umrüstung eines Schiffes in Lindau (B). Die Region ist zudem eine der Top-Tourismusebenen Deutschlands. Daher kann die Wasserstofftechnologie bestens in der Breite sichtbar gemacht werden.

6.5.2 Nachbarregion 2: „HyBodensee“



Der Hafen in Lindau als Brücke von HyAllgäu zur Bodenseeschifffahrt (Bild. bluemove consulting)

HyBodensee wurde bereits als HySee im ersten HyExperts-Verfahren eingereicht. Die überarbeitete Projektskizze erhält nun einen klaren Fokus auf die Bodenseeschifffahrt. Bis 2035 sollen, sofern technisch und betriebswirtschaftlich möglich, sämtliche Schiffe der Bodensee Schiffsbetriebe GmbH (BSB) und die Autofähren der Stadtwerke Konstanz, die ganzjährig zwischen Konstanz Staad und Meersburg verkehren, auf alternative Antriebe umgerüstet werden. Dies bedeutet allein für die BSB eine Einsparung von ca. 2,2 Mio. und für die Fähren der Stadtwerke Konstanz 3,5 Mio. Liter Dieselkraftstoff im Jahr. Hinzu kommt der Energiebedarf für Häfen, Gebäude und Fahrzeugflotten. Damit wird auch ein Stadtratsbeschluss vom 23.07.2020 umgesetzt, der sich zur Klimaneutralität der Stadt Konstanz bis 2035 bekennt.



Projektübersicht HyBodensee (aus Projektskizze HyExperts II – Antrag)

Darüber hinaus erhält HyBodensee von einem strategischen Partner Unterstützung mit Erfahrungen in HyLand-Projekten und einer Produktionskapazität von zunächst ca. 1.000 t Grünem Wasserstoff aus dem benachbarten Allgäu.

Die Umrüstung der Schiffe ist eine große Herausforderung. Mehrere Technologiepartner unterstützen das Projekt, u.a. Rolls-Royce (ehemals MTU) aus Friedrichshafen und CMB mit einer Referenz aus Antwerpen (Belgien). Auch am Bodensee soll die Infrastruktur in den Häfen so aufgebaut werden, dass das lokale ÖPNV-Fuhrpark, etc. diese mitnutzen können.

Mit HyBodensee erhält HyAllgäu eine ideale Ergänzung und ermöglicht dort eine zeitnahe Transformation der Bodenseeschifffahrt auf CO₂-freie Antriebe. Das landkreisübergreifende Projekt nutzt Erfahrungen und Synergien aus HyLand-Projekten und diversen Anträgen in Baden-Württemberg. Wo HyAllgäu über große Produktionskapazitäten verfügt, hat HyBodensee den Schwerpunkt auf einem regionalen Absatzmarkt in der Schifffahrt und z.B. in ÖPNV-Bussen.

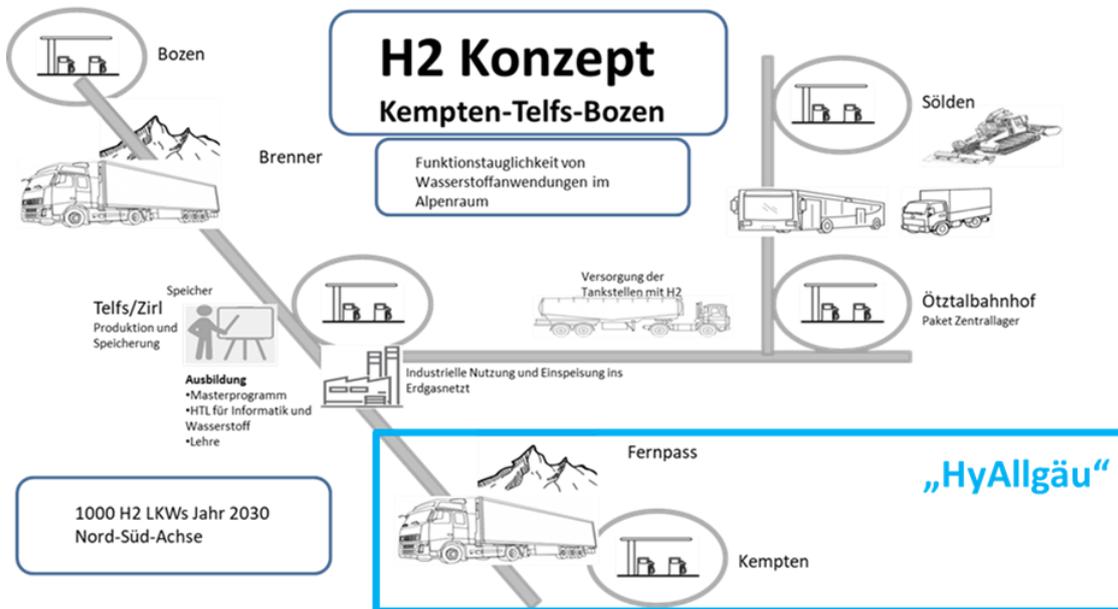
6.5.3 Nachbarregion 3: „Europaregion Tirol – Südtirol – Trentino“

Im Industriesektor besteht neben Industriebetrieben im Allgäu, die derzeit ihre großen Mengen an Wasserstoff teilweise aus fernen Bezugsquellen bis nach Ingolstadt beziehen, auch Bedarf an Grünem Wasserstoff bei Industriebetrieben in Tirol (Österreich). Neben grenznahen Unternehmen auf Tiroler Seite ist dies auch die Firma Thöni mit Sitz in Telfs (Österreich) und einem Werk in Kempten (Allgäu).



Thöni Strategie Zeitplan Fuhrpark & H₂-Tankstellen in Tirol (Thöni 2020)

Die Firma Thöni möchte für ihren grenzüberschreitenden Materialtransport über den Fernpass ab 2023 LKWs mit Wasserstoffantrieb einsetzen. Am Standort Kempten ist keine eigene Wasserstoffinfrastruktur geplant. Hier bietet sich die Zusammenarbeit mit dem benachbarten ZAK an. In ersten Gesprächen und einem gemeinsamen Förderantrag wurde solch eine Zusammenarbeit bereits inhaltlich behandelt.



Thöni H₂-Konzept Bozen - Kempten verbindet sich mit „HyAllgäu“ (vgl. Thöni 2020)

Viel mehr Anknüpfungspunkte für eine umfassende europäische Zusammenarbeit in der Wasserstofftechnik liefert jedoch die Tatsache, dass Thöni selbst Hauptakteur in einer grenzüberschreitenden Wasserstoffregion ist. Die benachbarten europäischen Wasserstoffregionen Tirol-Südtirol-Trentino und Allgäu-Bodensee haben nicht nur vergleichbare Ansätze und Inhalte, sondern ermöglichen internationale Technologiepartnerschaften in der zukünftigen Wasserstoffwirtschaft über mindestens 3

EU-Länder (Deutschland, Österreich & Italien). Ziel ist eine einheitliche Infrastruktur und abgestimmte Wertschöpfungsketten über die gesamten Alpen.

Im Jahr 2030 leisten somit 1.000 t Wasserstoff aus „HyAllgäu“ einen wichtigen Beitrag im Fernverkehr für 1.000 H₂-LKWs auf der Nord-Süd-Achse

6.6 Handlungsempfehlungen

Derzeit sind Investitionen in eine Produktion von grünem Wasserstoff, auch unter Berücksichtigung der aktuellen Förderquoten des NOW (+/- 50 %), wirtschaftlich nicht darstellbar. Das Beispiel Kläranlage Kempten zeigt wie mit einer höheren Förderquote ein Projekt realisiert werden kann. Somit kann als Ziel eine notwendige Förderquote von min. 65 – 70 % benannt werden.

Darüber hinaus stellt das, wenn auch temporäre, „Aufweichen“ der Anforderung nach grünem Wasserstoff im Mobilitätssektor eine Gefahr für Pilotanlagen für grünen Wasserstoff in Deutschland dar. Die absehbaren „Dumpingpreise“ aus Sicht des grünen Wasserstoffs können nicht gehalten werden und führt zu einer Ungleichheit am Markt. Solche Mengen, ggf. auch aus importiertem Wasserstoff, wären das Ende sämtlicher nationalen Produktionsstandorte. Zusätzlich hätte die Wasserstoffwirtschaft ein Glaubwürdigkeitsproblem, dessen Schaden noch viel größer wäre. Die derzeit, auch durch die gute Arbeit des NOW, unterstützten und geplanten Projekte bzw. „zarten Pflänzchen“, wären sofort wieder zerstört. Eine Lösung könnte hier aber auch ein Ausgleich bzw. eine „Mindestvergütung“, in Anlehnung an das EEG, sein. Jedes tatsächlich produzierte kg grünen Wasserstoff könnte somit abgesichert werden. Das verhindert zum einen „Investitionsruinen“, ermöglicht aber gerade in der Phase des Markthochlaufs gegenüber den Pionieren z.B. im ÖPNV, etc., einen reduzierten Marktpreis, auch für grünen Wasserstoff. Dies fördert auch höhere Bereitschaft und Stückzahlen bei den Flottenbetreibern für die angemessene und schnelle Transformation. Die Erzeuger von grünem Wasserstoff werden dadurch abgesichert und vor Dumpingwettbewerb geschützt. Bei solch einer Regelung kann dann auch die o.g. Förderquote von +/- 50 % beibehalten werden.

7 Quellenverzeichnis

AÜW (2021): Privatkunden - Allgäuer Überlandwerk. Online verfügbar unter <https://www.auew.de>, zuletzt geprüft am 26.07.2021.

BAFA (2019): Merkblatt zu den CO₂ – Faktoren. Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit. Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Online verfügbar unter https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_merkblatt_co2.pdf?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 02.06.2020.

Destatis (2020): Erzeugung. Bruttostromerzeugung in Deutschland. Hg. von Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/Tabellen/bruttostromerzeugung.html>, zuletzt geprüft am 22.07.2021.

Google Earth (2021): Geographische Informationen. Online verfügbar unter https://www.google.com/intl/de_de/earth/, zuletzt geprüft am 20.07.2021.

Hydrogenious (2021): Produktbroschüre. Online verfügbar unter <https://www.hydrogenious.net/>, zuletzt geprüft am 26.07.2021.

IB Koch (2020): Projektunterlagen Dr.-Ing. Koch Bauplanung GmbH.

IEA (2021): Key energy statistics. Hg. von International Energy Agency. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/countries>, zuletzt geprüft am 22.07.2021.

KKU Kempten (2016): Elektrobuseinsatz in Kempten. Machbarkeitsstudie. Beauftragt v.: Kemptener Kommunalunternehmen. Erstellt v.: VCDB VerkehrsConsult Dresden Berlin GmbH.

LfU (2018): Excel-Tabelle zur Berechnung der Treibhausgasemissionen (Stand 2018). Hg. v. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter https://www.umweltpakt.bayern.de/energie_klima/fachwissen/217/berechnung-co2-emissionen, zuletzt geprüft am 02.06.2020.

OpenStreetMap (2021): Geographische Informationen. Online verfügbar unter <https://www.openstreetmap.org/>, zuletzt geprüft am 10.03.2021.

RSP (2020): Projektunterlagen RSP Riemann, Sonnenschein & Partner GmbH.

Schwäbische Zeitung (2021): Corona bremst Wasserstoff-Pläne. Erschienen am 13.02.2021.

StMWi (2021): Energie-Atlas Bayern. Hg. v. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. Online verfügbar unter <https://www.energieatlas.bayern.de/karten/mobile.html>, zuletzt geprüft am 20.07.2021.

SWW (2020): Geschäftsbericht 2019. Lagebericht. Hg. v. SWW Oberallgäu Wohnungsbau GmbH. Online verfügbar unter <https://www.sww-oa.de/unternehmen/ueber-uns/aktuelle-zahlen>, zuletzt geprüft am 15.10.2020.

Thöni (2020): Projektunterlagen Thöni H2 Energie Euregio Tirol GmbH.

Gemeinde Wildpoldsried (2021): Wildpoldsried. Das Energiedorf. <https://www.wildpoldsried.de/>, zuletzt geprüft am 26.07.2021

ZAK (2021): Müllheizkraftwerk. Online verfügbar unter <https://www.zak-kempten.de/>, zuletzt geprüft am 26.07.2021.



Oberallgäu
Landkreis



Kempten^{Allgäu}

