

Sachbericht Teil I: Kurzbericht

WIR! – ViridisH2 Südniedersachsen - Verbundvorhaben Konzeptentwicklung;
**TP3: Wissenschaftliche Analyse der Rahmenbedingungen einer Wasserstoffkreislaufwirtschaft
in Südniedersachsen**

WIR!-Bündnis:

**ViridisH2 Südniedersachsen: Etablierung einer grünen Wasserstoffwertschöpfungskette für
den Mobilitätssektor**

Förderkennzeichen: 03WIR5201C

Förderzeitraum: 01.09.2020 bis 31.05.2021

Smart Mobility Research Group (SMRG)
Lehrstuhl für Informationsmanagement
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Georg-August-Universität Göttingen

Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

November 2021

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03WIR5201C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

Das Projekt „ViridisH2 Südniedersachsen“ (im Folgenden *ViridisH2*) hatte das Ziel, ein Konzept zur Etablierung einer grünen Wasserstoffwertschöpfungskette für den Mobilitätssektor in Südniedersachsen zu erarbeiten, um die Region innovationsbasiert zu stärken. In einer neunmonatigen Konzeptphase haben die Verbundpartner, die *SüdniedersachsenStiftung*, die *ELO Mobility GmbH* und die *Smart Mobility Research Group (SMRG)* an der Georg-August-Universität Göttingen, ein 40-seitiges Konzeptdokument entwickelt, um sich für eine bis zu 6-jährige Umsetzungsphase zu bewerben. Es wurde an den Stand der Projektskizze und des Projektantrages angeknüpft. In der räumlichen Eingrenzung im Sinne des Vorhabens umfasst Südniedersachsen die Landkreise Göttingen (einschließlich Stadt Göttingen), Northeim, Goslar und Holzminden. Die SMRG hat dabei im Teilprojekt 3 eine wissenschaftliche Analyse der Rahmenbedingungen einer Wasserstoffkreislaufwirtschaft in Südniedersachsen durchgeführt. Inhaltlicher Fokus des Teilprojektes waren insbesondere die Wasserstoffnutzung und in diesem Kontext der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV). Das Kernziel des Verbundvorhabens, die Einreichung des 40-seitigen WIR!-Konzeptes im Mai 2021 zur Bewerbung für eine Umsetzungsphase, wurde dabei in Zusammenarbeit mit den Partnern erreicht. Die Verbundpartner haben eine Kick-off-Veranstaltung im Oktober 2020 und eine Informationsveranstaltung im April 2021 durchgeführt.

Im Rahmen der technischen Fortschritte und politischen Ambitionen im Bereich der Wasserstofftechnologien wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Wasserstoffvorhaben in Deutschland initiiert. Als Bestandteil des Teilprojektes der SMRG wurden diese Vorhaben u.a. hinsichtlich ihrer Erfolgsfaktoren untersucht. Zurückgegriffen wurde dabei auf veröffentlichte Literatur und Medienberichte, Teilnahme an Online-Veranstaltungen sowie auf den Austausch mit Erfahrungsträgern. Zahlreiche Wasserstoffvorhaben nutzen Standortvorteile wie Ballungsgebiete, Überschussstrom durch erneuerbare Energien und Wasserstoff-produzierende oder -verbrauchende Industrie. Südniedersachsen erfüllt diese Standortfaktoren nach Kenntnisstand von *ViridisH2* in nur sehr geringem Maße. Gleichzeitig sieht es *ViridisH2* als sehr wahrscheinlich an, dass langfristig eine vollständige Dekarbonisierung und Erreichung der Klimaziele auch die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger erfordert. Aus diesem Grund wurde im erarbeiteten Konzept auf die Nutzung der vorhandenen Ressourcen des ländlichen Raums abgezielt. Hierzu gehört insbesondere die Einbeziehung von Biogasanlagen und die Verwendung von Agri-Photovoltaik.

Die SMRG hat sich zudem mit der Akzeptanz von Wasserstofftechnologien in Südniedersachsen beschäftigt. Grundsätzlich zeigt die Literatur im Wesentlichen keine ablehnende Einstellung gegenüber Wasserstofftechnologien. Dies hat sich in einer durch die SMRG durchgeführten Umfrage (212 Teilnehmende) mit einer eher jungen Zielgruppe weitgehend bestätigt. Es wurden (Remote-)Interviews mit Personen aus verschiedenen Tätigkeitsbereichen regionaler Unternehmen/Organisationen durch die SMRG durchgeführt und zwei Workshops mit ExpertInnen aus der Landwirtschaftsbranche durch die Verbundpartner organisiert. Außerdem hat die SMRG zahlreiche zeitintensive, projektbezogene Gespräche mit externen Personen durchgeführt oder an diesen teilgenommen. Interviews mit Verkehrs- und Logistikunternehmen in Südniedersachsen sehen Wasserstoff insb. durch die hohe Reichweite und kurzen Betankungsdauern als sinnvolles mögliches Instrument für eine Minderung der Treibhausgasemissionen. Jedoch werden besonders die voraussichtlich geringere Wirtschaftlichkeit, fehlende Erfahrungswerte und Infrastruktur sowie die ungewisse Zukunft von Wasserstofftechnologien als Hindernisse für die Einführung von Wasserstoff-Fahrzeugen genannt. In Summe ist zu erwarten, dass eine gewisse zeitliche Staffelung mit einem vorrangigen Aufbau von Anreizen durch Wasserstoffinfrastruktur notwendig ist, da zurzeit nicht davon auszugehen, dass einzelne Unternehmen unmittelbar mit einer Vielzahl von Fahrzeugen Wasserstoffantriebe einführen würden. Daher erscheint es sinnvoll,

nicht allein den ÖPNV als Abnehmer einzuplanen, sondern auch auf Logistik und etwa landwirtschaftliche Fahrzeuge und kommunale Spezialfahrzeuge zu setzen.

Es wurden u.a. Simulationen/Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit von Wasserstoff-Fahrzeugen, zum Wasserstoffbedarf und zur Anbindung an vor- und nachgelagerte Infrastruktur durchgeführt. Für die Evaluation der möglichen geographischen Platzierung von Wasserstofftankstellen wurde ein Software-Tool entwickelt. Wasserstofftankstellen sollten zunächst dort platziert werden, wo die voraussichtlich höchste Auslastung vorliegt, bei/in Göttingen. Dies ist dadurch bedingt, dass Wasserstoff als Energieträger auch in eher optimistischen Szenarien voraussichtlich mit Mehrkosten gegenüber Dieselfahrzeugen verbunden ist. Diese Mehrkosten könnten für Unternehmen durch eine hohe Auslastung und Effizienz der Infrastruktur (bspw. durch gemeinsam genutzte Tankstellen und kurze Umwege zur Betankung) sowie Fördermaßnahmen reduziert werden. Auch die zukünftige Wasserstoffabnahme durch den Fahrzeugbestand und Durchgangsverkehr in Südniedersachsen ist zu berücksichtigen.

Während der Durchführung des Teilprojektes war die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern und externen Unternehmen und Organisationen sehr intensiv. Die *ViridisH2*-Verbundpartner standen dabei auch mit anderen Forschungseinrichtungen wie der Technischen Universität Clausthal und dem Fraunhofer IFF im Austausch. Neben den bereits genannten Workshops und Veranstaltungen wurde das Projekt durch die SMRG auf verschiedenen Veranstaltungen präsentiert. Die Aktivitäten der SMRG konnten dabei auch zur Gewinnung von assoziierten Kooperationspartnern im Rahmen von „Letters of Intent“ beitragen. Das in dem Verbundvorhaben entstandene und zum Teil in der *Wasserstoff-Allianz Südniedersachsen* verstetigte Netzwerk konnte dabei durch inhaltlichen Input zum Konzept beitragen. Das *ViridisH2*-Vorhaben kann eine Stärkung der SMRG und der Region Südniedersachsen im Themenfeld der Wasserstofftechnologien ermöglichen und einen Ausgangspunkt für weitere Aktivitäten im Bereich Wasserstoff in Südniedersachsen darstellen.

Sachbericht Teil II: Eingehende Darstellung

WIR! – ViridisH2 Südniedersachsen - Verbundvorhaben Konzeptentwicklung;
**TP3: Wissenschaftliche Analyse der Rahmenbedingungen einer Wasserstoffkreislaufwirtschaft
in Südniedersachsen**

WIR!-Bündnis:

**ViridisH2 Südniedersachsen: Etablierung einer grünen Wasserstoffwertschöpfungskette für
den Mobilitätssektor**

Förderkennzeichen: 03WIR5201C

Förderzeitraum: 01.09.2020 bis 31.05.2021

Smart Mobility Research Group (SMRG)
Lehrstuhl für Informationsmanagement
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Georg-August-Universität Göttingen

Platz der Göttinger Sieben 5
37073 Göttingen

November 2021

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03WIR5201C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

1 Projektübersicht

Das Vorhaben „ViridisH2 Südniedersachsen“ (im Folgenden *ViridisH2*) wurde im Rahmen des Förderprogrammes *Wandel durch Innovation in der Region (WIR!)*¹ durchgeführt. In einer neunmonatigen Konzeptphase haben die Verbundpartner, die *SüdniedersachsenStiftung*, die *ELO Mobility GmbH* und die *Smart Mobility Research Group (SMRG)* an der Georg-August-Universität Göttingen, ein 40-seitiges Konzeptdokument entwickelt, um sich für eine bis zu 6-jährige Umsetzungsphase zu bewerben. Übergeordnetes Ziel ist ein innovationsbasierter Strukturwandel in einer (bisher) strukturschwachen Region².

Das Konzeptdokument des *ViridisH2*-Vorhabens wurde am 31.05.2021 fristgerecht durch den Verbundkoordinator, die SüdniedersachsenStiftung, bei dem zuständigen Projektträger eingereicht. Inhaltlich beschäftigt sich *ViridisH2* mit dem langfristigen Ziel, eine grüne Wasserstoffwertschöpfungskette insbesondere für den Mobilitätssektor in Südniedersachsen zu etablieren. Im Sinne des Projektes umfasst die Region Südniedersachsen die Landkreise Göttingen (einschließlich Stadt Göttingen), Northeim, Holzminden und Goslar.

Die SMRG bearbeitete das dritte Teilprojekt (TP), das eine wissenschaftliche Analyse der Rahmenbedingungen einer Wasserstoffkreislaufwirtschaft in Südniedersachsen vorsah. Inhaltlicher Schwerpunkt war dabei die Identifikation von Herausforderungen und Lösungsmöglichkeiten bei der Umsetzung einer regionalen Wasserstoffwertschöpfungskette mit dem Fokus auf die Abnahme bzw. den Verbrauch von Wasserstoff insbesondere im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Die im Rahmen der Arbeitspakete erzielten Ergebnisse und gewonnenen Erkenntnisse werden in diesem Bericht kurz vorgestellt. Neben den Arbeiten an dem eigenen Teilprojekt hat die SMRG auch an den anderen Teilprojekten mitgewirkt, dies umfasst insbesondere die gemeinsame Arbeit mit den Verbundpartnern an dem WIR!-Konzept (TP 1) und der regelmäßige Austausch mit der *ELO Mobility GmbH* in Workshops zu Simulationskonzepten für die Wasserstoffwertschöpfungskette (Mitwirkung an TP 2). Diese Mitwirkung war in der Teilvorhabenbeschreibung vorgesehen. Gleichzeitig haben die anderen Verbundpartner auch die Arbeit der SMRG in TP 3 unterstützt.

Unter der Leitung des Verbundkoordinators wurde eine Kick-off-Veranstaltung im Oktober 2020 und eine Informationsveranstaltung im April 2021 durchgeführt. Das Projekt wurde zudem durch die SMRG im Rahmen von mehreren Vorträgen präsentiert. Darüber hinaus hat die SMRG – auch im Sinne der Bearbeitung ihrer Arbeitspakete – zahlreiche projektbezogene Gespräche projektintern und mit externen Personen durchgeführt oder an diesen teilgenommen.

2 Arbeits- und Zeitplan sowie wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises und Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Das Teilprojekt der SMRG umfasste in den Arbeitspaketen AP 3.1-3.4 als inhaltliche Schwerpunkte den Aufbau einer aggregierten Wissensbasis zu Wasserstoffkreislaufwirtschaften in anderen Regionen/Ländern (AP 3.1), die Untersuchung von Akzeptanz- und Adaptionseinstellungen in der Region Südniedersachsen (AP 3.2), die Analyse und Simulation von Tragfähigkeitskonzepten für eine sektorengerkoppelte Kreislaufwirtschaft (AP 3.3) sowie die Aggregation der Ergebnisse und die Ableitung von Handlungsempfehlungen für den Hauptantrag (AP 3.4).

Wie im Zwischenbericht beschrieben hat sich im Projektverlauf eine leichte inhaltliche Neuausrichtung von *ViridisH2* ergeben. Der ursprüngliche Antrag des Projektes hat u.a. auf eine Prüfung und Nutzung

¹ Siehe Bundesministerium für Bildung und Forschung (2019): https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2019/11/2698_bekanntmachung.html (zuletzt abgerufen am 04.10.2021).

² Siehe zur Definition von strukturschwachen Regionen <https://www.innovation-strukturwandel.de/gebietsabgrenzung> (zuletzt abgerufen am 04.10.2021).

des Plasmalyse-Verfahrens zur Wasserstoffproduktion abgezielt. Insbesondere im Rahmen der Arbeiten im Arbeitspaket 2.1 (nicht durch die SMRG bearbeitet) war jedoch frühzeitig abzusehen, dass das Plasmalyse-Verfahren im Rahmen der Konzeptentwicklung nicht abschließend für eine Anwendung im Rahmen einer möglichen Umsetzungsphase wissenschaftlich/technisch geprüft werden kann. Gleichzeitig zeigte sich hierbei, dass andere und bereits etabliertere Verfahren im Kontext der regionalen Gegebenheiten auch geeignet sind. Aus diesem Grund wurde auch im Teilprojekt der SMRG ein Fokus auf andere Konzepte zur Wasserstoffproduktion und -verteilung gelegt; andere Fragestellungen wie bspw. Positionierung der Tankstellen, Anbindung an vor- und nachgelagerte Infrastruktur, Wasserstoff-Abnahmebedarfsschätzungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden intensiver betrachtet.

Das Projekt lag im Wesentlichen innerhalb des im Antrag angegebenen Zeit- und Kostenplans. Durch die inhaltliche Neuausrichtung hat die Fertigstellung der Arbeitspakete, wie bereits im Zwischenbericht vermerkt, etwas mehr Zeit in Anspruch genommen. Aufgrund des kurzfristigen Projektanlaufes nach Erhalt des Zuwendungsbescheides, der insgesamt kurzen Projektdauer und der Corona-Pandemie konnte das Personal nicht genau wie ursprünglich geplant eingesetzt werden. Ein Minderbedarf im Vergleich zu den ursprünglich geplanten Kosten ergab sich dementsprechend in den Personalausgaben der studentischen Hilfskräfte, den Reisekosten, den sonstigen allgemeinen Verwaltungskosten und den Raummieten. Stattdessen erfolgten geringe Mehrausgaben für den projektbezogenen Einsatz von wissenschaftlichen Mitarbeitenden. Zudem wurde ein Geoinformationssystem angeschafft, das zur Unterstützung der Auswertung und Betrachtung der geographischen Gegebenheiten in Südniedersachsen genutzt wurde. Für die Beschaffung der Software wurden Mittel umgewidmet. Die für Software umgewidmeten Mittel konnten jedoch nicht vollständig genutzt werden, da weitere Software in der kurzen Projektlaufzeit nicht rechtzeitig zu beschaffen war. In Summe lag der Mittelbedarf um knapp 7 % unter den geplanten Kosten. In den Arbeitspaketen 3.2 und 3.4 wurde ein Berichtsdokument erstellt.

Die geleisteten Projektarbeiten entsprechen im Wesentlichen den im Antrag vorgesehenen Arbeiten (unter Berücksichtigung der an den Projektträger kommunizierten finanziellen und inhaltlichen Anpassungen). Das Ziel der Einreichung des 40-seitigen WIR!-Konzeptdokumentes zur Bewerbung für eine Umsetzungsphase wurde erreicht. Die geleisteten Projektarbeiten entsprechen im Wesentlichen den im Antrag vorgesehenen Arbeiten und Zielen (unter Berücksichtigung der an den Projektträger kommunizierten finanziellen und inhaltlichen Anpassungen). Aufgrund der Corona-Pandemie konnten weitgehend nicht wie ursprünglich geplant Präsenz-Aktivitäten (bspw. vor-Ort-Besuche bei anderen Wasserstoffvorhaben in AP 3.1, Workshops in AP 3.2) durchgeführt werden und es musste in diesen Fällen auf Online-Formate (bspw. Teilnahme an Online-Veranstaltungen, Online-Umfrage/Interviews/Workshops) ausgewichen werden. Die SMRG betrachtet die geleisteten Projektarbeiten als angemessen und notwendig.

3 Wesentliche erzielte Ergebnisse

3.1 Bestehende Wasserstoffvorhaben

Im Rahmen des Arbeitspaketes 3.1 wurde eine Wissensbasis zu bestehenden Wasserstoffvorhaben in anderen Regionen und Ländern erstellt. Dabei wurde methodisch auf die systematische Auswertung von Literatur und Medienberichten, die Teilnahme an Online-Veranstaltungen³ sowie auf den Austausch mit Erfahrungsträgern aus anderen Regionen⁴ zurückgegriffen. Die geplanten vor-Ort-Besuche konnten aufgrund der Corona-Pandemie nicht stattfinden.

³ u.a. HYDROGEN DIALOGUE & NUEdialog 2020, Brennstoffzellenforum Hessen, Aktionswoche "Berlin spart Energie" 2020, Deutsche Wasserstoff-Vollversammlung.

⁴ u.a. Austausch mit Wasserstoffvorhaben in Münster, Leipzig, Schaumburg.

Basierend auf der durchgeführten Recherche und in Zusammenarbeit mit der SüdniedersachsenStiftung wurden u.a. die folgenden wesentlichen Standortvorteile für Wasserstoffvorhaben identifiziert:

- **Überschuss an erneuerbaren Energien:** Die „Nationale Wasserstoffstrategie“ sieht eine wesentliche Chance darin, Wasserstoff als Energiespeicher für erneuerbare Energien einzusetzen und damit flexibel Angebot und Nachfrage auszugleichen (siehe BMWi 2020, S. 2). Dieser Aspekt wird auch vielfach in der Literatur als wesentliche Einsatzmöglichkeit für Wasserstoff angeführt (siehe etwa Uusitalo 2017; Ajanovic und Haas 2018; Drünert et al. 2019; Carmo und Stolten 2019; Liu et al. 2020). Wird die Speicherung von Überschussstrom umgesetzt, so könnte die Wirtschaftlichkeit einer Wasserstoffnutzung gesteigert und gleichzeitig sichergestellt werden, dass nicht weniger erneuerbare Energien anderen Abnehmern zur Verfügung stehen. Die Speicherung von Überschussstrom wird als Eigenschaft bei einer Vielzahl von Wasserstoffprojekten in Deutschland hervorgehoben (siehe etwa Vorhaben in Brunsbüttel⁵, im Fichtelgebirge⁶ und in Bremerhaven⁷).
- **Ballungsräume:** Wasserstoffvorhaben erreichen in der Regel mit einer höheren Skalierung eine Reduktion der Kosten (siehe bspw. Reddi et al. 2017; Ajanovic und Haas 2018). Die Durchführung von Wasserstoffvorhaben in Ballungsräumen könnte eine solche Skalierung begünstigen, da eine höhere Dichte an Wasserstoffabnehmern im Einzugsgebiet einer Wasserstofftankstelle zu erwarten ist. Zudem stellen die Investitions- und Betriebskosten einen geringeren Anteil am öffentlichen Haushalt dar, sofern das Vorhaben durch eine Gebietskörperschaft oder ein kommunales Unternehmen finanziell (mit) getragen wird. Derzeit werden etwa in den Ballungsräumen im Rhein-Neckar-Kreis⁸, Rhein-Main-Gebiet⁹ und Hamburg¹⁰ Wasserstoffvorhaben durchgeführt.
- **Wasserstoff-verbrauchende oder -produzierende Industrie:** Neben Anwendungsfällen im Mobilitätsbereich wird Wasserstoff in der Industrie sowohl als Ausgangsstoff genutzt als auch als Neben- oder Endprodukt produziert. Hauptanwendungsfälle sind dabei u.a. Kraftstoffraffinerien, die Herstellung von Ammoniak, die Stahlherstellung und die Zementindustrie (siehe bspw. Ramachandran und Menon 1998; Otto et al. 2017; BMWi 2020). Ist in einer Region bereits Wasserstoff-verbrauchende oder -produzierende Industrie vorhanden, so könnte diese einen kostengünstigeren Wasserstoffbezug für den Mobilitätsbereich ermöglichen, es könnte auf vorhandene Infrastruktur zurückgegriffen werden oder durch einen höheren Wasserstoffverbrauch eine großskalige Produktion begünstigt werden. Zudem könnte regionale Expertise positiv zum Erfolg von Wasserstoffvorhaben beitragen. In Deutschland nutzt etwa das Projekt HyCologne als Nebenprodukt entstandenen Wasserstoff, das Projekt IN2H2 plant mit der Nutzung von in Raffinerien erzeugten Wasserstoff und am Wasserstoffcampus Salzgitter wird u.a. das Thema klimafreundlicher Stahl mithilfe von Wasserstoff behandelt¹¹.

⁵ Siehe Green Planet Energy eG (2019): <https://green-planet-energy.de/presse/artikel/neuer-elektrolyseur-in-brunsbuettel-nuetzt-dem-netz-und-der-energiewende.html>.

⁶ Siehe Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge: <https://wasserstoff-modellregion-fichtelgebirge.de/>.

⁷ Siehe Fraunhofer IWES: https://www.iwes.fraunhofer.de/de/presse_medien/projekt--gruener-wasserstoff-fuer-bremerhaven--startet.html.

⁸ Siehe NOW GmbH: <https://www.hy.land/hyperformer-h2rivers/>.

⁹ Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH (2020): https://www.rmv.de/c/fileadmin/documents/PDFs/_RMV_DE/Presse/Pressemitteilungen_2020/201026_Startschuss_f%C3%BCr_die_erste_Wasserstofftankstelle_f%C3%BCr_Passagierz%C3%BCge_in_Hessen.pdf

¹⁰ Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstenländer (2019): <https://www.hamburg.de/content-blob/13179812/f553df70f865564198412ee42fc8ee4b/data/wasserstoff-strategie.pdf>.

¹¹ Siehe Wasserstoff Region Rheinland e.V.: <https://www.hycologne.de/>; IFG Ingolstadt Kommunalunternehmen Anstalt des öffentlichen Rechtes der Stadt Ingolstadt: <https://wasserstoffregion-ingolstadt.de/offizieller-kick-off-im-in2h2-projekt/>; Stadt Salzgitter (2021): <https://www.salzgitter.de/pressemitteilungen/2021/wasserstoffcampus.php>.

Basierend auf der durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) online¹² zur Verfügung gestellten Liste laufender Vorhaben der HyLand- und NIP-Förderprogramme wurde für das Konzeptdokument Abbildung 1 erstellt. Diese zeigt die Ende Mai 2021 laufenden Vorhaben der Förderlinien geographisch in Zusammenhang mit der Ländlichkeit von Regionen basierend auf der Klassifikation des Landatlas des Thünen-Instituts für Ländliche Räume (2021). Es wird ersichtlich, dass eine Mehrheit der Vorhaben¹³ in urbanen Regionen durchgeführt wird.

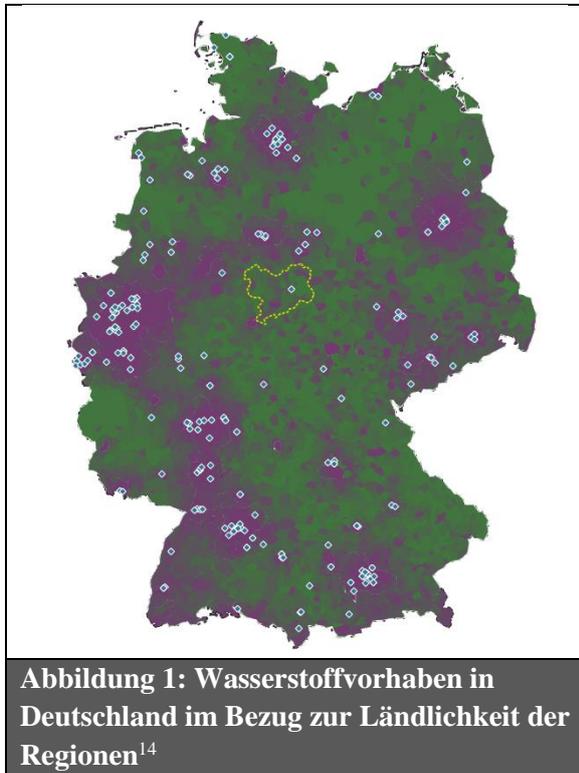


Abbildung 1: Wasserstoffvorhaben in Deutschland im Bezug zur Ländlichkeit der Regionen¹⁴

Südniedersachsen kann jedoch als eher ländlich geprägte Region nach Kenntnisstand von *ViridisH2* nur in sehr begrenztem Maße auf die genannten Standortvorteile zurückgreifen. Dennoch ist eine Grundannahme des Projektes, dass Wasserstoff in Zukunft ein notwendiges Instrument zur Erreichung der Klimaziele darstellt und damit Teil des Technologiemixes im Mobilitätssektor auch in ländlichen Regionen sein wird. Aus diesem Grund könnte sich eine Nutzung der Ressourcen des ländlichen Raumes für die Umsetzung einer Wasserstoffwerterschöpfungskette anbieten und für die Umsetzung sogar erforderlich sein. Der Ansatz, Wasserstoff in (teilweise) ländlichen Regionen zu nutzen, wurde/wird bereits bspw. in Regionen wie Steinfurt (siehe Kreis Steinfurt 2020), Elbe-Elster (siehe Feller 2019) und Rügen-Stralsund (siehe Epp et al. 2021) verfolgt, die allerdings teilweise vorrangig auf die Nutzung vorhandener Windkraftkapazitäten für die Erzeugung der Energie für die Wasserstoff-

produktion setzen.

Auch wesentlich basierend auf den Arbeitsergebnissen der anderen Verbundpartner sieht *ViridisH2* die Verknüpfung von Agri-Photovoltaik und Biogasanlagen mit der Wasserstoffherzeugung vor. In Deutschland planen bspw. auch Vorhaben in den Regionen Hof (siehe Krauß 2020) und Schaumburg (siehe Koch und Hölzinger 2021) die Nutzung von Biogasanlagen im Bereich Wasserstoff ein.

Werden die zahlreichen Anwendungsfälle von Wasserstoff betrachtet, erscheint die Nutzung von wasserstoffbetriebenen Bussen im ÖPNV dabei als einer der besterprobten bzw. vielversprechendsten Einsatzmöglichkeiten für Wasserstoff im Mobilitätsbereich. Aus diesem Grund wurden in diesem Kontext verschiedene Vorhaben mit der Nutzung von Wasserstoffbussen betrachtet. Hinsichtlich der

¹² Siehe BMVI (2021a): <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/042-scheuer-deutschland-wird-wasserstoffland.html>.

¹³ Da die dem Schaubild zugrunde liegenden Liste von geförderten Vorhaben nur aus zwei Förderprogrammen entstammen, ist eine Interpretation der Ergebnisse nicht ohne Einschränkungen zu verallgemeinern. Für Übersichten weiterer Wasserstoff-Vorhaben siehe etwa Wulf et al. 2018.

¹⁴ **Blaue Rauten:** Laufende NIP-/HyLand-Vorhaben (gem. BMVI (2021a): <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/laufende-nip-vorhaben-hyland.html>). Grundlage der räumlichen Zuteilung sind die eingetragenen Postleitzahlen.)

Grün: ländliche Gemeinden; **violett:** urbane Gemeinden. Einteilung gemäß Ländlichkeitsindex des Thünen-Instituts (Landatlas. Ausgabe 28/05/2021. Hg.: Thünen-Institut für Ländliche Räume - Braunschweig 2021)

Gelb begrenzter Raum: Vorhabensregion Südniedersachsen.

Erstellt via QGIS (QGIS.org 2021).

Wasserstoffversorgung wird überwiegend auf „on-site“ Elektrolyse zurückgegriffen¹⁵. Hervorzuheben sind die Projekte CUTE/HyFleet:CUTE (siehe bspw. HyFLEET:CUTE Partners 2009), CHIC (siehe bspw. CHIC project partners o.J.) und JIVE (siehe bspw. Skiker 2017), die ortsübergreifende Vorhaben zur Erprobung/Nutzung von Wasserstoffbussen darstellen.

3.2 Untersuchung von Akzeptanz- und Adaptionseinstellungen in der Region Südniedersachsen zum Thema Wasserstoff

Schwerpunkt des Arbeitspaketes 3.2 war es, Akzeptanz- und Adaptionseinstellungen zur Umsetzung von Wasserstoffvorhaben in Südniedersachsen zu untersuchen. In einem ersten Schritt wurden zunächst die wesentlichen Regularien und Förderprogramme betrachtet. Im Projektkontext von *ViridisH2* spielt insbesondere die CO₂-Bepreisung (siehe BMU 2020) als relevanter Grund für die Etablierung von Wasserstofftechnologien eine wesentliche Rolle. Die 2021 eingeführte CO₂-Bepreisung wirkt sich auf den Preis fossiler Brennstoffe und damit auch die Bereiche Wärme und Verkehr aus. Der CO₂-Preis liegt dabei bei zunächst 25 € pro Tonne CO₂ und wird bis 2025 jährlich um 5 € ansteigen (ebd.). Diesel verteuert sich damit um zunächst 7,9 Cent pro Liter (ebd.). Entlastungen sind insbesondere durch höhere Regionalisierungsmittel für den ÖPNV sowie Prämien und Förderungen für Elektrofahrzeuge vorgesehen (ebd.). Weiterhin hat für die Entwicklung hin zu klimafreundlichen Antrieben die Clean Vehicles Directive (CVD)¹⁶ Relevanz. Die durch die Europäische Union beschlossene Richtlinie (siehe Directive (EU) 2019/1161) sieht konkrete Mindestquoten an emissionsarmen bzw. -freien Fahrzeugen bei Beschaffungen durch die öffentliche Hand vor. Diese Mindestquoten gelten zunächst ab 2021 und werden 2025 nochmals gesteigert. Besonders betroffen ist dabei der ÖPNV, bei dem 22,5 % bzw. 32,5 % der neu angeschafften Busse emissionsfrei sein müssen. Die CVD sieht jedoch Ausnahmen¹⁷ für Fahrzeuge mit wenigen Stehplätzen (Aufbauart 2) vor. Diese Ausnahme wurde mittlerweile auch in deutsches Recht überführt, sodass die CVD nach Kenntnisstand der SMRG im Wesentlichen Stadtbusverkehr betrifft und für Regionalbuslinien nur begrenzt anwendbar ist. Neben dem ÖPNV wirkt sich die CVD auf die Anschaffung von Pkw sowie leichten und schweren Nutzfahrzeugen durch die öffentliche Hand aus (siehe BMVI 2021b). Im Hinblick auf die Förderprogramme stehen zahlreiche Möglichkeiten zur Förderung von Wasserstoffvorhaben zur Verfügung. Dabei ist besonders die „Niedersächsische Wasserstoffrichtlinie“¹⁸ sowie die Fördermöglichkeit im Rahmen des „Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien Phase II“¹⁹ hervorzuheben. Die zahlreichen Förderprogramme könnten einen Strukturwandel im Sinne der Einführung von Wasserstofftechnologien deutlich begünstigen.

Eine entscheidende Grundannahme für die Bedeutung von Wasserstoffantrieben sind die Vorteile von Wasserstoffbussen im Sinne hoher Reichweiten und kurzer Betankungsdauern im Vergleich zu reinen batterieelektrischen Fahrzeugen. Die Hypothese ist, dass Wasserstoffantriebe als Technologie für die vollständige Dekarbonisierung des Mobilitätssektors notwendig sind, da Anwendungsfälle, die für batterieelektrische Fahrzeuge ungeeignet sind, (lokal) emissionsfrei bedient werden können.

Hinsichtlich der Akzeptanz der Einführung von Wasserstofftechnologien wurde auf die Auswertung allgemeiner Literatur und Berichte zur Akzeptanz von Wasserstoff, leitfadengestützte Online-

¹⁵ Betrachtete Orte/Regionen u.a.: Aargau, Amsterdam, Auxerre, Barcelona, Berlin, Bolzano, Bosbul/Husüm/Niebull, Dundee, Frankfurt/Mainz, Groningen, Hamburg, Köln, London, Luxemburg, Madrid, Mailand, Oslo, Pau, Perth, Reykjavic, Riga, Stuttgart, Toulouse, Whistler, Wuppertal

¹⁶ Siehe Europäische Union: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/clean-vehicles-directive_en.

¹⁷ Zudem bestehen verschiedene weitere Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der CVD.

¹⁸ Siehe NBank: <https://www.nbank.de/medien/nb-media/Downloads/Programminformation/Produktinformationen/Produktinformation-Wasserstoffrichtlinie.pdf>.

¹⁹ Siehe Projektträger Jülich: <https://www.ptj.de/nip>.

Interviews, zwei Workshops mit ExpertInnen aus der Landwirtschaftsbranche und eine Online-Umfrage zurückgegriffen.

Im Rahmen einer strukturierten Literaturrecherche wurde Literatur zum Thema Akzeptanz von Wasserstoff identifiziert. Auszugsweise werden hier einige relevante Publikationen und Untersuchungen beschrieben. Bögel et al. (2018) sehen insbesondere Informationskampagnen als wichtige Möglichkeit zur Änderung der Einstellung hinsichtlich Brennstoffzellen-Anwendungen. Schmidt und Donsbach (2016) fanden in einer Telefonumfrage eine eher positive Einstellung gegenüber Wasserstoff mit der Speicherung von überschüssiger Energie als bekanntesten, in der Umfrage abgefragten Vorteil. Emerich et al. (2020) stellten fest, dass Vertrauen in die Industrie und die Verwaltung wichtige Eigenschaften für die Einstellung gegenüber Wasserstofftankstellen sind. Upham et al. (2020) haben in Interviews mit Stakeholdern im Bereich Wasserstofftechnologien ebenfalls eine positive Einstellung gegenüber Wasserstoff festgestellt, gleichzeitig jedoch auch viele eher negative Rückmeldungen mit Hinblick auf die Ungewissheit der Zukunft von Wasserstoff erhalten. Zaunbrecher et al. (2016) haben die Einstellungen hinsichtlich Wasserstoffspeichern im Kontext der „Energiewende“ untersucht. Dabei war das Vertrauen in die Technologie grundsätzlich hoch, die Berücksichtigung von Ängsten bei Vorhaben in Wohngebieten wurde jedoch dennoch als relevant betrachtet. In einer Studie im Rahmen des Projektes „H2Bus“ in Offenburg wurden Wasserstoffbusse sehr positiv bewertet und als zukunftsfähig und attraktiv bewertet (siehe Zeller et al. 2019, S. 23). In Summe wird das Thema Wasserstoff basierend auf bestehenden Untersuchungen in Deutschland eher positiv wahrgenommen.

Für eine tiefergehende Untersuchung wurden semistrukturierte Remote-Interviews mit Personen aus dem Tätigkeitsbereich von regionalen *Verkehrsunternehmen (5 Interviews)*, *Organisationen aus der Logistikbranche (3 Interviews)*, *Energieversorgern (4 Interviews)*, *Industrieunternehmen (1 Interview)* sowie *Interessensvertretungen/Gebietskörperschaften (4 Interviews)* durchgeführt. Für die Befragung wurde ein Interview-Leitfaden entwickelt, der sich an der von Taubitz und Hildebrand (2019) vorgeschlagenen Akzeptanzmatrix sowie den Untersuchungen von Huijts et al. (2014) zu Wasserstofftankstellen und von Renn (2015) zur Energiewende orientiert. Je nach Tätigkeitsfeld der befragten Person wurden (z.T. vorab formulierte) Fragen aus den in Tabelle 1 gelisteten Themenbereichen in den Interviews berücksichtigt:

Tabelle 1: Bausteine des Interviewleitfadens

Themenbereich	Unterkategorien
Generelle Einschätzung zu Wasserstoff	Kenntnisstand, Relevanz von Wasserstoff, bisherige Erfahrungen im Bereich Wasserstoff, geplante Nutzung
Einstellungen zur Nutzung von Wasserstoff	Anforderungen an die Nutzung, Vor- und Nachteile, Einschätzung der öffentlichen Wahrnehmung, Sicherheitsbedenken
Akzeptanz	Unterstützung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft, Erwartungen, Einfluss und Involvierung in den Prozess der Etablierung einer Wasserstoffwertschöpfungskette
Mobilität, Verkehr und Logistik	Gesetzliche Regularien und Förderprogramme, Voraussetzung für die Nutzung, aktueller Tagesablauf, Einschätzung der zukünftigen Entwicklung verschiedener Antriebe, Mehrkosten, Betankung, Eigenproduktion von Wasserstoff, Einstellung der KundInnen

Energieversorger	Einspeisung in das Gasnetz (Standorte, Kosten, Finanzierung, rechtliche Rahmenbedingungen), Produktion von Wasserstoff (erneuerbare Energien, Produktion, Abwärme, Rückverstromung), Betankung
Akzeptanz in der Bevölkerung	Öffentliche Wahrnehmung, Interesse an grünen Verkehrsmitteln, Bekanntheit in der Bevölkerung, Maßnahmen zur Steigerung des Interesses in der Bevölkerung

Die sich in den Interviews ergebenden Kernaussagen sind verkürzt in Tabelle 2 dargestellt. Insgesamt war die Einstellung gegenüber Wasserstoff als positiv zu bewerten, jedoch haben sich noch keine konkreten, zeitnahen Bestrebungen zu einem „vollständigen“ Umstieg auf Wasserstoff als Energieträger abgezeichnet.

Tabelle 2: Kernaussagen der durchgeführten Interviews

Öffentlicher Personennahverkehr
<p>Herausforderungen für den Einsatz von Wasserstoffbussen sehen die befragten Personen besonders in der fehlenden Infrastruktur, voraussichtlich geringeren Wirtschaftlichkeit, fehlenden Erfahrungswerten und ungewisser Zukunft gegenüber technologischen Alternativen. Ein Ausgleich von etwaig anfallenden Mehrkosten durch Förderprogramme und die zuständigen Aufgabenträger wird als notwendig angesehen. Ein Spielraum für Mehrkosten, die durch privatwirtschaftliche Verkehrsunternehmen selbst getragen werden, besteht nur in sehr begrenztem Umfang. Ein weitgehender Ausgleich der Mehrkosten durch eine Erhöhung der Fahrpreise wird durch kein Verkehrsunternehmen als sinnvoll betrachtet.</p> <p>Sicherheitsbedenken bestehen überwiegend nicht. Die Sicherheitsperspektive wird eher aus Sicht der zu erfüllenden regulatorischen Anforderungen (etwa hinsichtlich Tankstelle, Werkstatt und Betriebs-hof) betrachtet. Dass grundsätzliche Sicherheitsbedenken der Fahrgäste bestehen könnten, wird aufgrund der Assoziation von Wasserstoff mit Explosionen als möglich erachtet.</p> <p>Die CVD ist allen befragten Verkehrsunternehmen bekannt. Auf die Erfüllung der Verordnung wird dadurch reagiert, dass sich mit der Anschaffung batterieelektrischer Fahrzeuge beschäftigt wird oder an Machbarkeitsuntersuchungen und Projekten wie <i>ViridisH2</i> mitgewirkt wird. Einige Unternehmen sehen die Umsetzung der CVD in Deutschland (zum Zeitpunkt des Interviews) als noch unklar an, insbesondere wird darauf verwiesen, dass die CVD²⁰ -je nach Umsetzung in deutsches Recht- möglicherweise den Regionalverkehr nur eingeschränkt betrifft. Hintergrund ist die Beschränkung auf Busse mit einer bestimmten Mindestanzahl an Stehplätzen.</p> <p>Die Betankung wird von Busunternehmen bisher in unterschiedlicher Weise durchgeführt. Eine Möglichkeit stellt die Betankung auf dem Betriebs-hof dar. Für Buslinien, die nicht vom Betriebs-hof ausgehend bedient werden können, wird auf Tankstellen von Dritten zurückgegriffen. Die Betankung auf dem Betriebs-hof erfolgt in der Regel durch zusätzliches Personal. Als relevant für den Betankungsprozess werden teilweise die zeitlichen Betriebsabläufe angegeben, die von Verzögerungen bei dem Betankungsprozess gestört werden könnten.</p>

²⁰ Zum Zeitpunkt dieses Berichtes wurde die CVD im Rahmen des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetzes (SaubFahrzeugBeschG, siehe <https://www.gesetze-im-internet.de/saubfahrzeugbeschg/>) in deutsches Recht umgesetzt.

Hinsichtlich des ÖPNV in Südniedersachsen ist außerdem anzumerken, dass mehrere Aufgabenträger für das Gebiet zuständig sind und eine Vielzahl von Verkehrsunternehmen in Südniedersachsen aktiv ist, die sich in ihren Möglichkeiten und Einschätzungen unterscheiden²¹.

Bei einer möglichen Umstellung auf Wasserstoffbusse sind die Genehmigungslaufzeiten der Linienbündel zu beachten. Außerdem sind bei der Einführung von Wasserstoffbussen auch die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf den Busverkehr (sowohl ÖPNV als auch Reiseverkehr) und die damit verbundenen Belastungen zu berücksichtigen.

Hinweis (nicht basierend auf Interviews): In den Landkreisen Göttingen, Northeim und Holzminden enden etwa zahlreiche Genehmigungen in 2024²².

Logistik

In der Logistik wird ebenso wie im ÖPNV die allgemeine Notwendigkeit von emissionsarmen Antrieben anerkannt. Die Einstellung gegenüber wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen ist hier grundsätzlich als sehr ähnlich zu den Unternehmen des ÖPNV einzuschätzen. Sicherheitsbedenken gegenüber Wasserstoff bestehen wenige, viel mehr steht die geringere bzw. schwer einschätzbare Wirtschaftlichkeit einem Einsatz von Wasserstoff-Lkw entgegen. Zudem wird der aktuelle Entwicklungsstand im Bereich Wasserstoff-Lkw als unklar eingeschätzt, batterieelektrische Fahrzeuge stellen jedoch für einen wesentlich Teil der Fahrten aufgrund der begrenzten Reichweite voraussichtlich keine Alternative dar. Insgesamt wird die Umstellung insbesondere durch gesetzliche Vorgaben vorangetrieben, die zwar Fahrzeuge mit Emissionen nicht verbieten, aber (wirtschaftlich) unattraktiver machen. Die Betankung von Lkw wird je nach Unternehmen unterschiedlich gestaltet. Eine eigene Diesel-Tankstelle auf dem Betriebsgelände ist in der Regel vorhanden. Gleichzeitig unterscheidet sich der Tankbedarf auch je nach Geschäftssegment. Für kürzere Strecken ist eine Betankung erst nach ggf. mehreren durchgeführten Hin- und Rückfahrten notwendig, Wasserstofftankstellen müssten damit entlang der gefahrenen Strecken nicht vorhanden sein. Zudem wurde der Einsatz von wasserstoffbetriebenen Flurförderzeugen in den Interviews diskutiert.

Energieversorger

Energieversorger sind sowohl als Verwerter von Wasserstoff als auch Produzenten und Betreiber von Wasserstoffinfrastruktur relevant. Grundsätzlich sind die befragten Energieversorger in Südniedersachsen an dem Thema Wasserstoff interessiert. Die Energieversorger sehen einhergehend mit der Produktion von Wasserstoff den Ausbau der Erzeugung erneuerbarer Energien als wichtig an. Ein wesentlicher Aspekt sind hierbei jedoch die Hürden bei der Akzeptanz in der Bevölkerung, besonders bezogen auf den Bau von Windkraftanlagen. Auf der Abnahmeseite stellt die Einspeisung in das Gasnetz eine Möglichkeit dar und es wird überwiegend davon ausgegangen, dass die bisherigen Netze für den Transport von Wasserstoff geeignet sind, ein Aspekt, auf den nun auch bei einigen Unternehmen explizit geachtet wird. Für konkrete Vorhaben müssten allerdings die Netze entsprechend geprüft werden und es wird als unklar angesehen, welche Finanzierungsmöglichkeiten für eingespeisten Wasserstoff bestehen. Im Vergleich zum Erdgaspreis²³ wird Wasserstoff aus wirtschaftlicher Sicht als eher unattraktiv eingeschätzt. Erdgas selbst wird dabei durch die Energieversorger als zurzeit nicht vollständig ersetzbar beurteilt. Eine weitere Hürde hinsichtlich der Wasserstoffnutzung stellen die fehlenden Erfahrungswerte und unklaren Regularien dar.

Akzeptanz in der Bevölkerung

²¹ Siehe die jeweiligen Nahverkehrspläne und die darin enthaltenen Vorgaben hinsichtlich emissionsarmer Busse. Siehe **Landkreise Northeim, Holzminden, Göttingen**: Zweckverband Verkehrsverbund Süd-Niedersachsen: www.zvsn.de; **Landkreis Goslar**: Regionalverband Großraum Braunschweig: <https://www.regionalverband-braunschweig.de/verkehrsplanung/> und **Stadtgebiet Göttingen**: Stadt Göttingen: <https://www.goettingen.de/rathaus/konzepte/verkehr/nahverkehrsplan.html>.

²² Siehe Nahverkehrsplan, abrufbar auf der Webseite Zweckverbandes Verkehrsverbund Süd-Niedersachsen, www.zvsn.de.

²³ Zum Zeitpunkt der Interviews.

Hinsichtlich der Akzeptanz in der Bevölkerung haben die befragten Personen überwiegend angegeben, dass Umweltschutz und Nachhaltigkeit in der Bevölkerung eine wichtige Rolle spielen und das Thema Wasserstoff bereits grundsätzlich, aber nur relativ oberflächlich der Öffentlichkeit bekannt ist. Insbesondere fehlen konkret „anfassbare/greifbare“ Beispiele für Wasserstofftechnologien. Widerstände in der Bevölkerung werden eher bei der Durchführung konkreter Vorhaben (bspw. Bau einer Wasserstofftankstelle) gesehen.

Weitere Ergebnisse

Ergänzend zu Lkw und Bussen wird der Einsatz von kommunalen Spezialfahrzeugen mit Wasserstoffantrieben als möglicherweise zielführend betrachtet. Neben den Interviews wurden zwei Workshops mit Experten aus der Landwirtschaft durchgeführt. Das Thema der Erzeugung erneuerbare Energien wird hinsichtlich der Wasserstoffproduktion bereits als sehr relevant wahrgenommen. Bisherige Erfahrungen mit emissionsarmen Kraftstoffen lassen jedoch auf ein Risiko durch den möglichen Wegfall von Fördermitteln und politischer Unterstützung schließen. Hinsichtlich der Betankung müssten Lösungen für eine Hoftankstelle und ggf. mobile Betankungsmöglichkeiten während der Nutzung der landwirtschaftlichen Fahrzeuge gefunden werden.

In Summe ist zu erwarten, dass eine gewisse zeitliche Staffelung mit einem vorrangigen Aufbau von Anreizen durch Wasserstoffproduktion notwendig ist. Es ist nicht davon auszugehen, dass einzelne Unternehmen in Südniedersachsen unmittelbar mit einer Vielzahl von Fahrzeugen Wasserstoffantriebe einführen würden. Hierfür erscheint auch die zukünftige Entwicklung hinsichtlich von Wasserstoffbussen gegenüber batterieelektrischen Fahrzeugen als zu unsicher. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, nicht allein den ÖPNV als Abnahme einzuplanen, sondern auch auf Logistik und etwa landwirtschaftliche Fahrzeuge und kommunale Spezialfahrzeuge zu setzen.

Für den möglichen Einsatz von Wasserstoffbussen im ÖPNV wurde eine Umfrage²⁴ mit 212 Personen²⁵ durchgeführt. Der Kenntnisstand hinsichtlich Wasserstoffes ist bei den befragten Personen etwa gleichmäßig über die ganze Bandbreite der Antwortskala verteilt. Etwa 85 % sehen jedoch den Bedarf nach weiteren Informationen, um eine fundierte Meinung bilden zu können, als eher hoch bis sehr hoch. Die Mehrheit der Befragten betrachtet Wasserstoff als Energieträger als wichtiges Instrument zum langfristigen Erreichen der Klimaziele.

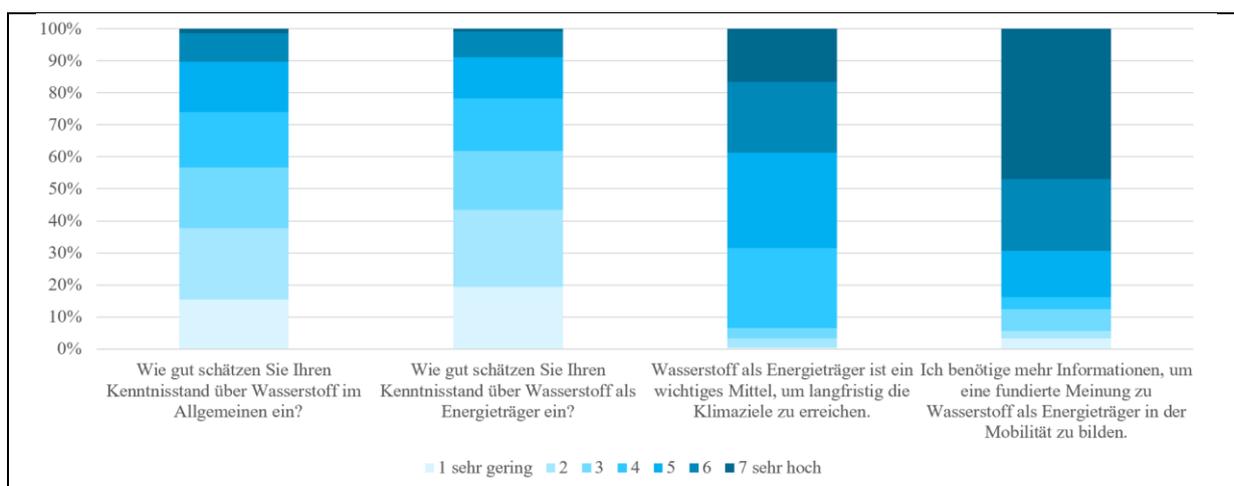


Abbildung 2: Grundsätzliche Einstellungen zu Wasserstoff

²⁴ Aufgrund der Corona-Pandemie konnten ursprünglich geplante Workshops nicht durchgeführt werden. Daten zur Umfrage: Räumlicher Schwerpunkt: Göttingen. Alter: <26: 127; 26-30: 46; 31-40: 13; >40: 12, keine Angabe: 14.

²⁵ Nach Plausibilitätsprüfung.

Werden die Assoziationen²⁶ der Umfrageteilnehmer mit dem Begriff Wasserstoff betrachtet, so lassen sich diese überwiegend in die Kategorien „Chemie“ (bspw. „chemisches Element“ und „Chemieunterricht“) und „umweltfreundlich“ einordnen. Allerdings wird Wasserstoff häufig auch mit Innovation und Zukunftsfähigkeit assoziiert. Diesen eher positiv oder neutral besetzten Kategorien stehen jedoch auch die Explosionsfähigkeit und die mit Wasserstoff verbundenen Probleme wie etwa „geringer Wirkungsgrad“ und „problematische Produktion“ gegenüber (Kategorie „problematisch“).

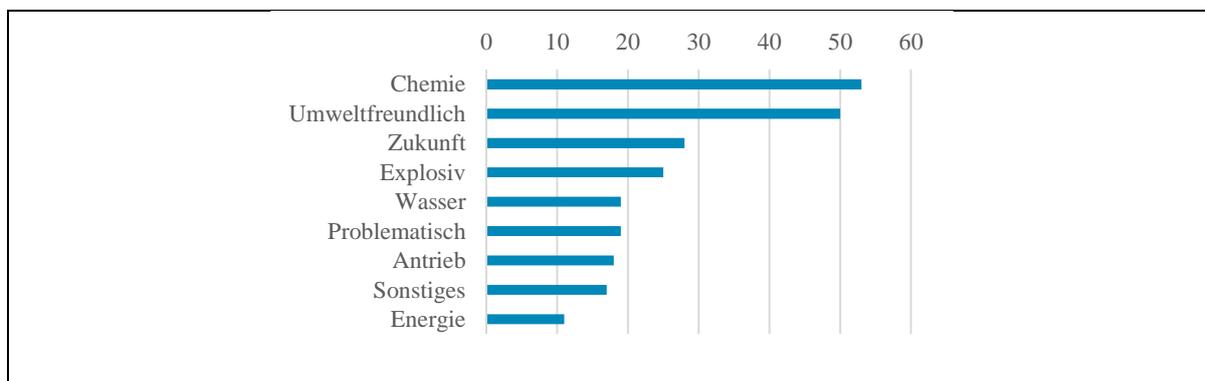


Abbildung 3: Assoziationen zu Wasserstoff (Mehrfachnennungen möglich)

Die befragten Personen würden zu 40 % einen Mehrpreis für Fahrkarten in Kauf nehmen, um den Betrieb von Wasserstoffbussen zu unterstützen. Insgesamt werden Wasserstoffbusse – insbesondere hinsichtlich des Effekts auf die Umwelt – als positiv betrachtet. In den Kategorien der Kosten und des Kosten-Nutzen-Verhältnis ist das Ergebnis weniger positiv.

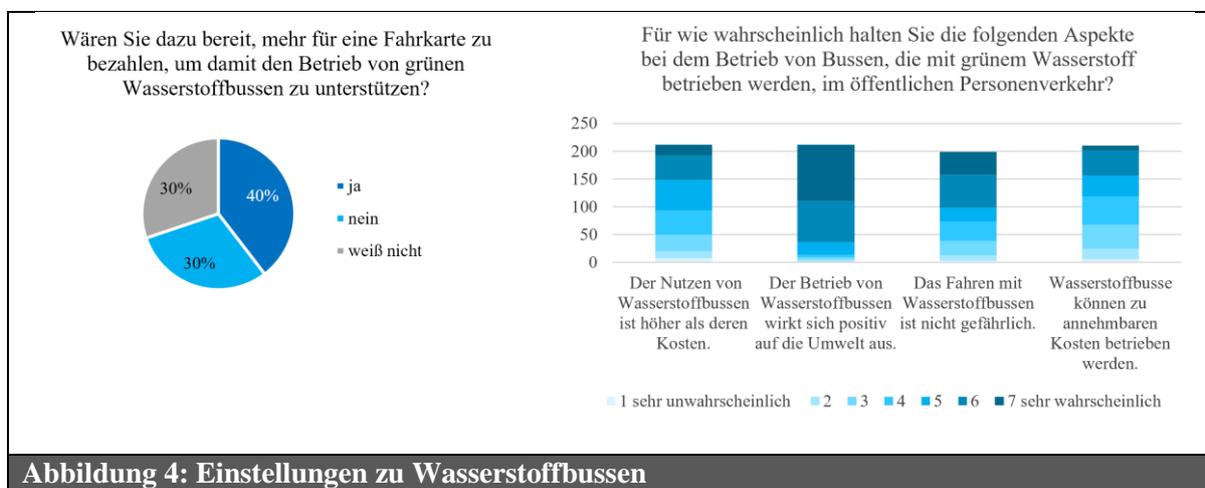


Abbildung 4: Einstellungen zu Wasserstoffbussen

In Summe zeigt die durchgeführte Umfrage jedoch ein positives Bild von Wasserstoffbussen bei jungen Personen. Der Wissensstand wird allerdings als eher gering angesehen und die Kosten weniger positiv als der Umwelteffekt.

3.3 Analyse und Simulation von Tragfähigkeitskonzepten für eine sektorenggekoppelte Kreislaufwirtschaft

Das Arbeitspaket der Untersuchung von Tragfähigkeitskonzepten wurde wie eingangs beschrieben teilweise inhaltlich neu ausgerichtet, da mit der Plasmalyse verbundene Fragestellungen im Projektverlauf

²⁶ Die durch die befragten Personen genannten Assoziationen wurden den Themenbereichen in der Abbildung 3 zugeordnet.

als weniger relevant eingestuft wurden. Insbesondere sind hier Schätzungen und Analysen zur Wirtschaftlichkeit, zur Anbindung an die Infrastruktur und zum Wasserstoffbedarf durchgeführt worden. Im Fokus steht dabei der mit Brennstoffzellen betriebene ÖPNV, der in Deutschland im Bereich Wasserstoff technologisch als relativ weit fortgeschritten gilt.

Eine genaue Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Wasserstoffbussen ist durch fehlende Erfahrungswerte und verkehrsunternehmens- und umsetzungsspezifische Charakteristiken als eher schwierig einzuschätzen. Eine erste Auskunft zur Wirtschaftlichkeit gibt der durch das BMVI veröffentlichte Leitfaden für emissionsarme Busse (siehe BMVI 2021c). Insbesondere hinsichtlich Anschaffungs-, Kraftstoff- und Infrastrukturkosten unterscheiden sich Wasserstoffbusse von Dieselnbussen. Allerdings können Mehrkosten für Wasserstoffbusse u.a. auch durch notwendige Werkstattumbauten, Schulungen, Kosten für Versicherung, Wartung und eine erhöhte Ausfallhäufigkeit entstehen.

Da nur eine grobe Schätzung möglich ist, wurden nur folgende Kostenkategorien für die simulative Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Wasserstoff-Fahrzeugen genutzt (teilweise basierend auf Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (o.J.); Reichenbach et al. 2016; BMVI 2021c):

- **Anschaffungsmehrkosten:** Allgemein kann derzeit für die Anschaffungskosten für Wasserstoffbusse (12 m Solobus) mit dem ungefähr 3-3,5fachen der Anschaffungskosten eines Dieselnbusses gerechnet werden²⁷. Zudem sind auch die Kosten für den einmaligen Tausch der Brennstoffzelle und Batterie einzubeziehen. Die von einem Verkehrsunternehmen zu tragenden Anschaffungskosten können jedoch durch die Nutzung von Förderprogrammen deutlich reduziert werden. Das zum Zeitpunkt dieses Sachberichts aktuelle Förderprogramm für emissionsarme Busse sieht eine Förderung von bis zu 80 % der Investitionsmehrkosten vor²⁸.
- **Kraftstoff- und Infrastrukturmehrkosten:** Die für den Kraftstoff anfallenden Mehrkosten sind stark von der Entwicklung des Diesel- und Strompreises sowie der Jahresfahrweite und Kraftstoffverbräuche abhängig. Während der Projektlaufzeit von *ViridisH2* lag der Dieselnbustoppreis für Großabnehmer zwischen 0,8 € und 1,04 € pro l²⁹ (siehe Statistisches Bundesamt 2021), ist jedoch zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Berichtes bereits weiter angestiegen. Der Nettopreis für grünen Wasserstoff hängt sehr stark von der gewählten Skalierung und Produktionsmethode ab (siehe etwa Dincer und Acar 2015; Nikolaidis und Poullikkas 2017; Deutscher Bundestag 2020). Für kleinere Projekte ist eher konservativ von einem Bezugspreis für grünen Wasserstoff von 5 € bis 8 € pro kg auszugehen. An dieser Stelle wird auch auf die Simulationen zur Wasserstoffproduktion aus Teilprojekt 2 von *ViridisH2* verwiesen. Der Verbrauch von Dieselnbussen wird für dieses Dokument auf zwischen 30 und 50 l pro 100 km und der Verbrauch von Wasserstoffbussen auf 7-10 kg geschätzt. Die Spanne der Jahresfahrweiten wird mit 45.000 bis 75.000 km als Berechnungsgrundlage gewählt. Hintergrund ist, dass davon ausgegangen wird, dass für emissionsarme Busse eher hohe Reichweiten genutzt werden, um einen möglichst hohen Anteil des Liniennetzes emissionsfrei zu bedienen³⁰ und die hohen Reichweiten von Wasserstoffantrieben zu nutzen. Als Lebensdauer des Busses werden 12 Jahre angesetzt. Der Preis für Wasserstofftankstellen ist im Wesentlichen von der Größe und ebenso wie die Anschaffungskosten von BZ-Bussen stark von den genutzten Förderprogrammen abhängig.

²⁷ Das JIVE 2 Vorhaben hat bspw. einen maximalen Anschaffungspreis von 625.000 € vorgesehen (Stolzenburg et al. 2020).

²⁸ Siehe Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021d): <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/09/103-richtlinie-foerderung.pdf>.

²⁹ Vergünstigungen nach § 56 EnergieStG hier nicht berücksichtigt.

³⁰ Dem könnte jedoch eine höhere Ausfallwahrscheinlichkeit entgegenstehen.

Mithilfe der beschriebenen Parameter wurden simulativ Kombinationen aus optimistischen, durchschnittlichen und pessimistischen Annahmen je Parameter³¹ gebildet. Beispielsweise ist in Abbildung 5 eine mögliche Berechnung für die Spanne der Mehrkosten eines Wasserstoffbusses im Vergleich zu einem Dieselbus bei Umstellung auf eine Flottengröße von 15 Wasserstoffbussen inklusive Nutzung von Fördermöglichkeiten. Dabei wurde eine durchschnittliche Dieselpreissteigerung (ohne Inflation) zwischen 0 und 5 % p.a.³² und einer Reduktion des Wasserstoffpreises zwischen 0 und 5 % p.a. zu Grunde gelegt.

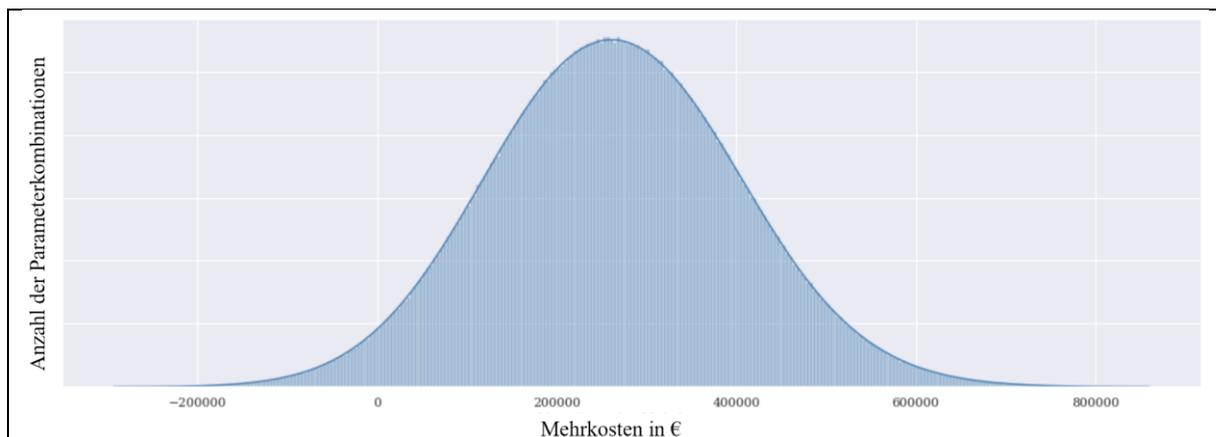


Abbildung 5: Beispielhafte Verteilung der Simulationsdurchläufe zu den möglichen Mehrkosten eines Wasserstoffbusses über die gesamte Lebensdauer gegenüber einem Dieselbus

Abhängig von den konkreten Möglichkeiten vor Ort, etwa bei Bezug von als Nebenprodukt angefallenem Wasserstoff und günstiger Kumulierung von Förderprogrammen erscheinen in diesem Szenario auch geringere Mehrkosten möglich. Im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen ist bei Wasserstofffahrzeugen aufgrund des geringeren „Well-to-Wheel“-Wirkungsgrades von höheren Kosten auszugehen (siehe etwa Streichfuss und Schwilling 2020). Aus diesem Grund wird wie eingangs beschrieben in *ViridisH2* nur ein Einsatz von Wasserstoff-Fahrzeugen in den Bereichen angestrebt, in denen ein Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen derzeit nicht möglich erscheint – insbesondere in den Szenarien der hohen benötigten a) Reichweiten, b) Flexibilität durch geringe Betankungsdauern und c) Zuladung. Die CO₂-Emissionen, die ein Wasserstoffbus pro 100 km mit grünem Wasserstoff einspart, werden auf ca. 90 kg beziffert (siehe BMVI 2021c). Bei einer Jahresfahrweite von 60.000 km und 15 Bussen würde dies eine jährliche Einsparung von 810 t CO₂ ergeben.

Basierend auf dem Fahrzeugbestand und dem Durchgangsverkehr wurden Schätzungen für den zukünftigen Wasserstoffbedarf durchgeführt. Gemäß Kraftfahrt-Bundesamt (2020) betrug etwa der Fahrzeugbestand Anfang 2020 in Südniedersachsen (Summe der Landkreise Göttingen, Northeim, Holzminden und Goslar) ~395 Tsd. Pkw, ~2,5 Tsd. Lkw über 7,5 Tonnen, ~500 Busse, ~14 Tsd. Zugmaschinen (land- und forstwirtschaftlich) und ~3 Tsd. Sattelzugmaschinen. Damit wird deutlich, dass unabhängig von konkreten Wasserstoffvorhaben auch der Fahrzeugbestand eine wesentliche zukünftige Wasserstoffabnahme darstellen kann. Dies zeigt sich am Beispiel der Pkw, die eigentlich nicht im Fokus von

³¹ Einschränkung ist anzumerken, dass einige Parameter korrelieren (Verbrauch von Diesel- und Wasserstoffbussen), was in Abbildung 5 vereinfachend nicht berücksichtigt wurde.

³² Die Preissteigerung von Diesel ist schwer abzusehen und unterliegt hohen Fluktuationen durch die Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage. Aus diesem Grund ist auch eine deutlich höhere Preissteigerung denkbar. Eine Kostenparität mit Wasserstoff kann angenommen werden, wenn der Wasserstoffpreis pro kg etwa das 4-5fache des Dieselpreises pro l beträgt. AdBlue-Kosten sind hier nicht berücksichtigt.

ViridisH2 stehen: Sind nur 0,3 % der Pkw mit einer Brennstoffzelle betrieben und wird von einer Jahresfahrleistung³³ von 13.000 km und einem Wasserstoffverbrauch von unter 1 kg pro 100 km³⁴ ausgegangen, so entsteht ein rechnerischer Bedarf von bis zu ~400 kg Wasserstoff pro Tag. Wird bei einem Lkw bspw. eine Jahresfahrleistung von 70.000 km und ein Wasserstoffverbrauch von bis zu 8 kg pro 100 km vorausgesetzt, so ergibt sich bei einem Anteil von 5 % ein Bedarf von bis zu ~1.900 kg Wasserstoff pro Tag. Eine gleiche Modellrechnung lässt sich auch auf die (z.T. Durchgangs-)Verkehre auf den Bundesautobahnen und Bundesstraßen anwenden. Der Zählpunkt Nr. 3430 an der A7 bei Göttingen zählte beispielsweise im Jahr 2019 66.985 Kfz-Verkehre und 11.039 Schwerverkehre pro Tag und der Zählpunkt Nr. 3409 bei Seesen an der B249 11.892 bzw. 2.081 pro Tag³⁵. Damit wird deutlich, wie stark der zukünftige Bedarf an Wasserstoff im Mobilitätssektor von der Durchsetzung der Brennstoffzelle als Antriebstechnologie abhängt und, sofern sich Wasserstoff-Antriebstechnologien etablieren, dass erheblicher Bedarf auch in Südniedersachsen entstehen könnte. Brandes et al. (2020) sehen je nach Zielvorgabe zur Senkung der CO₂-Emissionen ab 2030-2035 stark wachsende Anteile an Wasserstoffantrieben im Lastgüterverkehr. Bereits 2030 könnten demnach geringe einstellige Prozentzahlen des Personen- und Lastgüterverkehrs aus Brennstoffzellenfahrzeugen bestehen. Diese Annahme würde bereits die o.g. Beispielrechnungen erfüllen. Für eine erste, zeitnahe Pilotphase im Rahmen des *ViridisH2*-Projektes ist ein sich „von alleine“ entwickelnder Bedarf an Wasserstoff jedoch unwahrscheinlich. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass die geographisch nächsten Wasserstofftankstellen jeweils im Norden bei Hannover und im Süden bei Kassel liegen. Eine Wasserstofftankstelle in Südniedersachsen könnte dadurch Durchgangsverkehre bedienen und von einer positiven Entwicklung an Wasserstoff-Fahrzeugen (bspw. bei Logistikunternehmen) in anderen Regionen profitieren.

Neben dem ÖPNV (Busverkehr), Pkw, der Logistik (Lkw und Flurförderzeuge) und der Einspeisung in das Gasnetz ist auch die Industrie als Verbraucher von Wasserstoff zu nennen. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass vorrangig eine „on-site“ Produktion anstelle des Transportes von Wasserstoff aus dezentralen Anlagen bei Wasserstofftankstellen oder der Kauf von Wasserstoff von etablierten Gasproduzenten (mit Transport per Trailer) genutzt werden könnte. Idealerweise müsste industrieller Wasserstoffverbrauch mit Produktion und Abnahme im Mobilitätssektor geographisch zusammenfallen. Auch ist zukünftig die Nutzung von wasserstoffbetriebenen Zügen grundsätzlich eine Möglichkeit, da in Südniedersachsen nicht elektrifizierte Bahnstrecken vorhanden sind. Diese Anwendungsfälle wurden aber aufgrund des Fokus auf den Mobilitätsbereich und den Rahmenbedingungen der im WIR!-Förderprogramm geplanten Umsetzungsphase nicht näher betrachtet.

Hinsichtlich der geographischen Positionierung der Wasserstofftankstellen ist insbesondere die Anbindung an die vor- und nachgelagerte Infrastruktur relevant. Vorgelagert an eine Wasserstofftankstelle ist die Produktion. Diese kann entweder „on-site“ oder (ggf. zentral) an einem anderen Ort erfolgen (siehe bspw. Demir und Dincer 2018). Eine „on-site“ Produktion hat den Vorteil, dass keine Transportkosten und damit verbundene CO₂-Emissionen entstehen. Für *ViridisH2* wird daher vorrangig die dezentrale „on-site“ Produktion betrachtet. Die auch in den anderen Teilprojekten erfolgten Arbeiten sehen eine Einbindung von Agri-Photovoltaik und Biogasanlagen in die Wasserstoffproduktion vor. Aus diesen Gründen könnte sich der Bau einer Wasserstofftankstelle in der Nähe einer Biogasanlage anbieten, auch wenn dies nicht zwingend erforderlich ist. In Südniedersachsen befinden sich zahlreiche Anlagen, die grundsätzlich in Frage kommen. Eine Übersicht von Biogasanlagen in Südniedersachsen ist im

³³ Siehe Kraftfahrt-Bundesamt (2019): https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_revisionsbericht_2019_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=6.

³⁴ Siehe etwa Toyota Deutschland GmbH (2021): <https://www.toyota.de/automobile/mirai/>.

³⁵ Siehe Bundesanstalt für Straßenwesen: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/Aktuell/zaehl_aktuell_node.html.

Energieatlas Niedersachsen unter <https://energieatlas.niedersachsen.de/startseite/> zu finden. Eine weitere Option könnte die Platzierung einer Wasserstofftankstelle auf dem Betriebshof eines Wasserstoffverbrauchenden Unternehmens darstellen, um zumindest bei diesem Unternehmen Umwege für die Betankung zu vermeiden. Da davon auszugehen ist, dass ein Großteil des Wasserstoffverbrauches in den unmittelbaren Einzugsgebieten der Städte (ÖPNV, kommunaler Fuhrpark und Spezialfahrzeuge) und entlang der Hauptverkehrsstraßen (Logistik und Durchgangsverkehr) stattfinden wird, erscheint insgesamt und damit auch für *ViridisH2* eine Wasserstofftankstelle mit Maximierung des möglichen Bedarfs und damit in den größeren Städten als sinnvoll. Beispielhaft zeigt Abbildung 6 die Einzugsgebiete³⁶ bei geographischer Positionierung von Wasserstofftankstellen in den Kreisstädten in Südniedersachsen und einer Tankstelle nur bei Göttingen/Rosdorf. Es wird deutlich, dass eine vollständige Abdeckung von Südniedersachsen in einer Anfangsphase nicht möglich ist. Bei der Identifizierung relevanter Positionen für Wasserstofftankstellen im Hinblick auf den Busverkehr im ÖPNV ist ein wichtiger Aspekt, dass Busse sehr flexibel eingesetzt werden können. Das heißt, dass Busse nicht notwendigerweise exklusiv auf einer Buslinie fahren, sondern in Umlaufplänen verschiedene Buslinien bedienen. Gleichzeitig müssen einzelne Busse nicht einzelnen Umlaufplänen fest zugeordnet sein. Zudem unterscheiden sich die Umläufe abhängig von dem Wochentag (Schultag, Samstag, Sonntag, Feiertag oder Ferientag). Hieraus könnten wesentliche Vorteile von Wasserstoffbussen gegenüber Elektrobussen entstehen, da der Einsatz von Wasserstoffbussen aufgrund hoher Reichweiten und kurzer Betankungsdauern flexibler gestaltet werden kann als mit batterieelektrischen Fahrzeugen. Bedingt durch die Einschränkungen batterieelektrischer Fahrzeuge kann ein wesentlicher Anteil von Umlaufplänen derzeit nicht sinnvoll durch rein batterieelektrische Busse bedient werden³⁷.

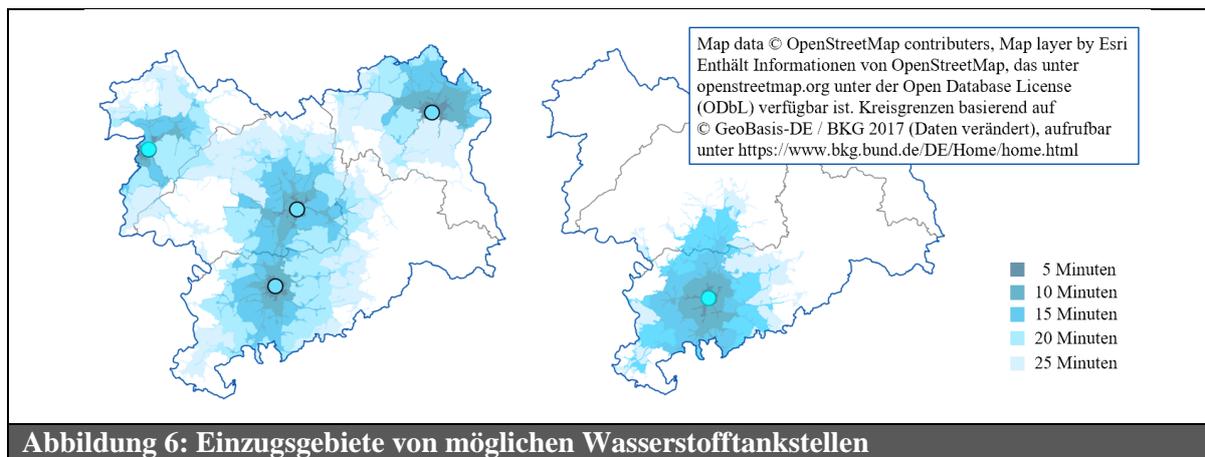


Abbildung 6: Einzugsgebiete von möglichen Wasserstofftankstellen

Basierend auf den durchgeführten Interviews könnte hinsichtlich der Betankung im ÖPNV auch (abhängig vom Linienbündel und von der Anzahl der Fahrzeuge) auf eine Betankung auf dem Betriebshof der Unternehmen verzichtet werden. Im Sinne der Minimierung von Umwegen könnte sich eine Positionierung von Wasserstofftankstellen in der Nähe von Endhaltestellen anbieten. Liegt ein möglicher Standort für eine Wasserstofftankstelle auf einer Buslinie, so könnte diese – zumindest theoretisch – geteilt werden, um eine Betankung zu ermöglichen.

³⁶ Einzugsgebiete basierend auf *DriveGeneric-Konfiguration* der ArcGIS-Software. Je nach möglicher Geschwindigkeit und Straßennutzung des Fahrzeugtyps ergibt sich ein entsprechend kleineres (oder größeres) Einzugsgebiet.

³⁷ Hintergrund ist besonders die Reichweite, bspw. zeigt BMVI (2021c) die Reichweitenverteilung bei verschiedenen Verkehrsunternehmen. Wird von einer Reichweite von 200 km für batterieelektrische Busse ausgegangen, ist ein großer Anteil der Umläufe nicht bedienbar. Eine Befragung von einigen Verkehrsunternehmen in Südniedersachsen zeigt ein ähnliches Bild mit einem etwas kleineren Anteil hoher Umlaufweiten als in BMVI (2021c).

Für die Ermittlung von geeigneten Standorten wurden „Location-Allocation“-Fragestellungen untersucht und zu diesem Zweck auch ein einfaches Simulationstool entwickelt (siehe Abbildung 7). Mithilfe dieses Software-Tools³⁸ können mögliche geographische Positionen für Wasserstofftankstellen basierend auf Übersichtsrechnungen für potentielle Wasserstoff-Flotten im Hinblick auf die anfallenden Umwege analysiert werden³⁹. Hierauf könnte insbesondere zu einem späteren Zeitpunkt erneut zurückgegriffen werden, sobald eine Detailplanung der Umsetzung angelaufen ist und sich Produktion und Verbräuche konkretisieren.

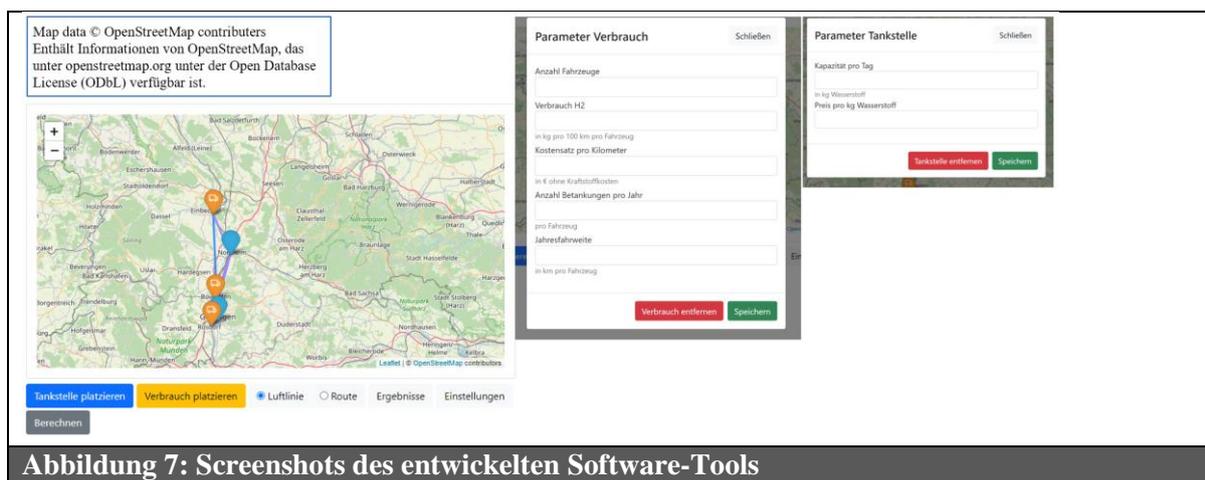


Abbildung 7: Screenshots des entwickelten Software-Tools

3.4 Fazit: Strukturelle Handlungsempfehlungen für die Etablierung einer Wasserstoffwertschöpfungskette in Südniedersachsen

Basierend auf den zuvor dargestellten Erkenntnissen ergeben sich Handlungsempfehlungen für die Umsetzung einer Wasserstoffwertschöpfungskette in Südniedersachsen. Im Rahmen der durchgeführten Gespräche und Interviews ist deutlich geworden, dass das Schaffen von Anreizen für eine Wasserstoffnutzung im Mobilitätssektor notwendig ist. Hierzu gehört die Möglichkeit einer Betankung und eine möglichst (kosten)günstige Produktion von Wasserstoff. Die Senkung von Kosten könnte durch Effizienzsteigerungen (bspw. auch durch eine intelligente Software-Steuerung) und eine hohe Auslastung der Infrastruktur ermöglicht werden. Gleichzeitig zeichnet sich jedoch basierend auf den durchgeführten Gesprächen kein „vollständiges“ Engagement von Unternehmen im Sinne der Umstellung des gesamten Fuhrparks ab. Dies ist neben den bereits genannten Aspekten der Wirtschaftlichkeit und der fehlenden Infrastruktur durch fehlende Erfahrungswerte und die unklare Entwicklung im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen begründet. Eine Anreizschaffung durch den Aufbau von Wasserstoffinfrastruktur ist sinnvoll. Um dennoch eine hohe Auslastung in einer Pilotphase zu gewährleisten, stellt eine synergetische bzw. gemeinsame Nutzung durch verschiedene Abnehmer eine sinnvolle Möglichkeit dar. Hierfür wird eine intelligente Platzierung der Wasserstoffinfrastruktur benötigt, die möglichst vielen Abnehmern mit möglichst geringen Umwegen zugänglich ist. Dies ist derzeit voraussichtlich nur im und um das Göttinger Stadtgebiet der Fall. Hinsichtlich der Akzeptanz von Wasserstoff zeichnen sich keine allgemeinen Vorbehalte ab. Dennoch ist davon auszugehen, dass bei der Umsetzung konkreter Vorhaben wie dem Bau einer Wasserstofftankstelle, Widerstände in der Bevölkerung nicht

³⁸ Nutzung von leaflet.js (Lizenz: <https://github.com/Leaflet/Leaflet/blob/master/LICENSE>), OpenStreetMap (Lizenz: ODbL, <https://opendatacommons.org/licenses/odbl/>), Bootstrap (Lizenz: MIT License, <https://github.com/twbs/bootstrap/blob/main/LICENSE>), Leaflet.awesome-markers plugin v2.0 (Lizenz: MIT License, <https://github.com/lennardv2/Leaflet.awesome-markers/blob/2.0/develop/LICENSE>).

³⁹ Der/die Nutzer/-in kann mögliche Positionen für Wasserstofftankstellen und -verbräuche auf einer Karte positionieren. Anschließend können mit Klick auf die Markierung Parameter konfiguriert werden. Das Tool berechnet, welche der möglichen Positionen der Wasserstofftankstelle am geeignetsten ist.

ausgeschlossen werden können und hierfür gezielt Überzeugungsarbeit zu leisten ist. Im deutschlandweiten Vergleich ist nicht davon auszugehen, dass Wasserstoffvorhaben in Südniedersachsen mit den Vorteilen anderer Standorte rechnen können. Stattdessen sieht *ViridisH2* vor, dass durch einen Einbezug der Ressourcen des ländlichen Raums diese Nachteile (teilweise) kompensiert werden und F&E-Potential im Sinne der WIR!-Förderlinie besteht. In diesem Bereich ist die Nutzung von Agri-PV und Biogasanlagen für die Wasserstoffherzeugung und auch die Einbindung von wasserstoffbetriebenen landwirtschaftlichen Fahrzeugen zu nennen. Auch Umrüstungen bestehender Dieselfahrzeuge und Unterstützung bei der Einbindung von Wasserstoff-Fahrzeugen in Betriebsabläufe sowie die Einspeisung von Wasserstoff in das Gasnetz könnten positiv zur Etablierung einer Wasserstoffwertschöpfungskette für den Mobilitätssektor beitragen.

4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertung der Ergebnisse und Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Rahmen der „Nationalen Wasserstoffstrategie“ ist davon auszugehen, dass Wasserstoff in Zukunft als Instrument zur Erreichung der Klimaziele zunehmend relevanter wird. Insofern sind auch die Aussichten einer Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse des Verbundprojektes als grundsätzlich vielversprechend anzusehen. Wie im Antrag vermerkt, verfolgt die SMRG jedoch keine eigenen Absichten, die Projektergebnisse (über Projekt- und Forschungsförderungen hinaus) wirtschaftlich zu verwerten. Die SMRG unterstützt aber ideell die Bemühungen von Partnern und Externen, anhand des Projektes die Region Südniedersachsen wirtschaftlich zu stärken.

Das entwickelte WIR!-Konzept kann als Grundlage für weitere Wasserstoffaktivitäten in Südniedersachsen dienen. Die identifizierten Stakeholder und Herausforderungen sowie die Verknüpfung der Ressourcen des ländlichen Raumes mit der Wasserstoffnutzung erleichtern eine regionale Weiterarbeit an dem Thema Wasserstoff. Damit kann das *ViridisH2*-Konzept zu dem Klimaschutz in der Region Südniedersachsen beitragen und einen Ausgangspunkt für emissionsarme Mobilität in der Region, besonders im Hinblick auf die Daseinsversorgung durch den ÖPNV, darstellen.

Aus wissenschaftlicher/technischer Sicht bestehen verschiedene Anknüpfungspunkte an die Projektergebnisse:

- Die Georg-August-Universität Göttingen ist Mitglied in der *Wasserstoff-Allianz Südniedersachsen* geworden. Das durch die Allianz geschaffene Netzwerk könnte eine Grundlage für die Bildung von neuen Projektkonsortien für die Durchführung von Vorhaben im Bereich Wasserstoff unter Teilnahme der Georg-August-Universität Göttingen darstellen. Gleichzeitig konnten auch durch die während des Vorhabens durchgeführten Gespräche, Interviews, Workshops und Vorträge zahlreiche neue Kontakte geknüpft werden.
- Die im Rahmen des WIR!-Konzeptes konkret benannten Handlungsfelder und Projektideen können auch ohne Bewilligung der Umsetzungsphase eine Grundlage für F&E- und Demonstrationsvorhaben in Südniedersachsen darstellen. Aus wissenschaftlicher Sicht könnte die Untersuchung von Akzeptanzveränderungen gegenüber Wasserstoff bei tatsächlicher Einführung der Technologien in Südniedersachsen durchgeführt werden. Eine zukünftige Bewertung und Anpassung des entwickelten Konzepts vor dem Hintergrund der technologischen Weiterentwicklung von Wasserstofftechnologien stellt ein weiteres mögliches Vorhaben dar. Diese Aspekte waren als Projektidee im Sinne der Strategieentwicklung im WIR!-Konzept vermerkt. Auch die Weiterentwicklung der Simulationen und der Vergleich mit tatsächlich durchgeführten Projekten kann von Interesse sein.

- Neben den konkret im WIR!-Konzept beschriebenen Projektideen kann auch das gewonnene bzw. vertiefte Know-How der SMRG im Bereich Wasserstoff als eine mögliche Ausgangsbasis und Inspiration für die weitere wissenschaftliche Arbeit der Forschungsgruppe und der Projektmitarbeitenden dienen. Diese Vertiefung des Know-Hows der SMRG im Bereich Wasserstoff stärkt die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit der Forschungsgruppe.
- Bereits während der Projektlaufzeit hat das Projekt zur wissenschaftlichen Weiterbildung der Projektmitarbeitenden (wissenschaftliche Mitarbeitende und studentische Hilfskräfte) beitragen können. Zudem wurden im inhaltlichen Projektkontext Seminararbeiten und eine Abschlussarbeit betreut. Auch in Zukunft ist eine Einbindung von thematischen Aspekten des Teilprojektes in Lehraktivitäten vorgesehen.

Da es sich auf dem Gebiet des (grünen) Wasserstoffes um ein hochaktuelles Thema mit vielen geförderten Projekten (siehe etwa Abbildung 1) handelt, ist eine Weiterentwicklung des Wissenstandes in mit dem Vorhaben verwandten Themengebieten kontinuierlich zu beobachten⁴⁰ und inhaltliche Überschneidungen sind nicht auszuschließen. In *ViridisH2* wurde angestrebt, neue Entwicklungen (bspw. hinsichtlich der Wasserstoffproduktion) bereits in das entwickelte Konzept einfließen zu lassen. Das übergeordnete Ziel der Entwicklung eines umfassenden, mit *ViridisH2* vergleichbaren Konzeptes für eine Wasserstoffwertschöpfungskette in Südniedersachsen mit einer Untersuchung der regionalen Rahmenbedingungen wurde allerdings nach Kenntnisstand der SMRG nicht von anderer (*ViridisH2*-externer) Stelle im Vorhabenszeitraum verfolgt bzw. erreicht.

5 Weitere erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 NABF

Teilweise basierend auf Arbeiten in diesem Teilprojekt wurde nach Ende des Förderzeitraums eine Publikation in dem Open-Access Journal *Sustainability* veröffentlicht⁴¹.

Gem. Nr. 5.2.1 NABF wird die SMRG die erzielten Ergebnisse – mindestens im sachlichen Gehalt des Sachberichtes zum Verwendungsnachweis – unter Beachtung der Nr. 5.1 NABF innerhalb von neun Monaten nach Abschluss des Vorhabens (bis zum 28.02.2022) veröffentlichen oder fachlich interessierten Stellen in der Bundesrepublik Deutschland zugänglich machen.

Literaturverzeichnis

- Ajanovic, A.; Haas, R. (2018): Economic prospects and policy framework for hydrogen as fuel in the transport sector. In: *Energy Policy* 123, S. 280–288. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.08.063.
- Bögel, P.; Oltra, C.; Sala, R.; Lores, M.; Upham, P.; Dütschke, E. et al. (2018): The role of attitudes in technology acceptance management: Reflections on the case of hydrogen fuel cells in Europe. In: *Journal of Cleaner Production* 188, S. 125–135. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.266.
- Brandes, J.; Haun, M.; Senkpiel, C.; Kost, C.; Bett, A.; Henning, H.-M. (2020): WEGE ZU EINEM KLIMANEUTRALEN ENERGIESYSTEM 2050. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen – Update unter einer Zielvorgabe von 65% CO₂-Reduktion in 2030 und 100% in 2050. Hg. v. Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem-Update-Zielverschärfung.pdf>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.): Automatische Zählstellen 2019. Online verfügbar unter https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszählung/Aktuell/zaehl_aktuell_node.html, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (Hg.) (2020): Fragen und Antworten zur Einführung der CO₂-Bepreisung zum 1. Januar 2021. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/service/fragen-und-antworten-faq/fragen-und-antworten-zur-einfuehrung-der-co2-bepreisung-zum-1-januar-2021>, zuletzt geprüft am 05.10.2021.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hg.) (2021a): Tabelle: Laufende NIP-Vorhaben mit HyLand. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/laufende-nip-vorhaben-hyland.html>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hg.) (2021b): Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/clean-vehicles-directive.html>, zuletzt geprüft am 18.10.2021.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hg.) (2021c): Leitfaden für Busse mit alternativen Antrieben.

⁴⁰ Bspw. im Rahmen des Vorhabens der „Begleitforschung Innovative Antriebe im straßengebundenen ÖPNV“, deren Abschlussveranstaltung nach Ende des Vorhabenszeitraums, aber vor dem Zeitpunkt der Einreichung dieses Berichtes stattgefunden hat.

⁴¹ Siehe <https://doi.org/10.3390/su132111652> (zuletzt abgerufen am 25.10.2021).



- Online verfügbar unter https://www.xn--starterset-elektromobilit4hc.de/content/3-Infothek/2-Publikationen/6-leitfaden-fur-busse-mit-alternativen-antrieben/leitfaden-fuer-busse-mit-alternativen-antrieben_now.pdf, zuletzt geprüft am 05.10.2021.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hg.) (2021d): Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr. Online verfügbar unter <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/09/103-richtlinie-foerderung.pdf>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (Hg.) (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publication-File&v=20, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Carmo, M.; Stolten, D. (2019): Energy Storage Using Hydrogen Produced From Excess Renewable Electricity. In: Science and Engineering of Hydrogen-Based Energy Technologies: Elsevier, S. 165–199.
- CHIC project partners (Hg.): CLEAN HYDROGEN IN EUROPEAN CITIES. Online verfügbar unter https://fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/CHIC_publication_final_0.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Demir, M. Emre; Dincer, I. (2018): Cost assessment and evaluation of various hydrogen delivery scenarios. In: International Journal of Hydrogen Energy 43 (22), S. 10420–10430. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.08.002.
- Deutscher Bundestag (Hg.) (2020): Kosten der Produktion von grünem Wasserstoff. Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/691748/01a954b2b2d7c70259b19662ae37a575/WD-5-029-20-pdf-data.pdf>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Dincer, I.; Acar, C. (2015): Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. In: International Journal of Hydrogen Energy 40 (34), S. 11094–11111. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.12.035.
- Drünert, S.; Neuling, U.; Timmerberg, S.; Kaltschmitt, M. (2019): Power-to-X (PtX) aus „Überschussstrom“ in Deutschland – Ökonomische Analyse. In: Z Energiewirtschaft 43 (3), S. 173–191. DOI: 10.1007/s12398-019-00256-7.
- Emmerich, P.; Hülemeier, A.-G.; Jendryczko, D.; Baumann, M. Johann; Weil, M.; Baur, D. (2020): Public acceptance of emerging energy technologies in context of the German energy transition. In: Energy Policy 142, S. 111516. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111516.
- Epp, J.; Scheidler, V.; Schmidt, A.; Steiger, P. (2021): HYSTARTER-REGION RÜGEN-STRALSUND. DIE ROLLE VON WASSERSTOFF IN DER REGIONALEN ENERGIE- UND VERKEHRSWENDE. Hg. v. EnergieWerk Rügen e.G., Hansestadt Stralsund, IRES Institut für Regenerative EnergieSysteme an der Hochschule Stralsund, Landesenergie- und Klimaschutzagentur Mecklenburg-Vorpommern GmbH, Landkreis Vorpommern-Rügen, Mukran Port, Nachhaltigkeitszentrum Rügen e.V., SWS Energie GmbH, SWS Seehafen Stralsund GmbH, UmWeltSchule Rügen e.V., Weiße Flotte GmbH, Windenergiecluster Mecklenburg-Vorpommern, Wirtschaftsfördergesellschaft Vorpommern mbH, Verkehrsgesellschaft Vorpommern-Rügen mbH, Zweckverband Wasserversorgung und Abwasserbehandlung Rügen. Online verfügbar unter <https://www.hy-starter.de/wp-content/uploads/2021/05/HYStarter-Ruegen-Stralsund-WEB.pdf>, zuletzt geprüft am 12.10.2021.
- Europäische Union (Hg.): Clean Vehicles Directive. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/clean-vehicles-directive_en, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Feller, M. (2019): Elbe-Elster geht beim Wasserstoff voran. In: Lausitzer Rundschau (online), 16.09.2019. Online verfügbar unter <https://www.lr-online.de/lausitz/herzberg/die-zukunft-heisst-auch-wasserstoff-elbe-elster-geht-beim-wasserstoff-voran-39313805.html>, zuletzt geprüft am 18.10.2021.
- Fraunhofer IWES (Hg.): Projekt „Grüner Wasserstoff für Bremerhaven“ startet. Online verfügbar unter https://www.iwes.fraunhofer.de/de/presse_medien/projekt--gruener-wasserstoff-fuer-bremerhaven--startet.html, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Green Planet Energy eG (Hg.) (2019): NEUER ELEKTROLYSEUR IN BRUNSBÜTTEL NÜTZT DEM NETZ UND DER ENERGIEWENDE. Online verfügbar unter <https://green-planet-energy.de/presse/artikel/neuer-elektrolyseur-in-brunsbuettel-nuetzt-dem-netz-und-der-energievende.html>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (Hg.): Brennstoffzellen im öffentlichen Personennahverkehr. Elektrobusse verbessern die Lebensqualität in den Städten. Online verfügbar unter https://www.h2bz-hessen.de/mm/brennstoffzellenbusse_web.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Hildebrand, J.; Gebauer, C.; Taubitz, A. (2019): Anforderungen an die gesellschaftliche Einbettung von Power-to-X Pfaden-Entwicklung einer Akzeptanzmatrix als Bewertungsmethodik. In: Akzeptanz und politische Partizipation in der Energietransformation: Springer, S. 441–461.
- Huijts, N.; Molin, E.; van Wee, B. (2014): Hydrogen fuel station acceptance: A structural equation model based on the technology acceptance framework. In: Journal of Environmental Psychology 38, S. 153–166. DOI: 10.1016/j.jenvp.2014.01.008.
- HyFLEET:CUTE Partners (Hg.) (2009): HYDROGEN TRANSPORTS. Bus Technology & Fuel for TODAY and for a Sustainable Future. Online verfügbar unter https://www.eltis.org/sites/default/files/case-studies/documents/hfc_brochure_10_12_09_4.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- IFG Ingolstadt Kommunalunternehmen Anstalt des öffentlichen Rechtes der Stadt Ingolstadt (Hg.): Wasserstoffregion Ingolstadt. Online verfügbar unter <https://wasserstoffregion-ingolstadt.de/officialer-kick-off-im-in2h2-projekt/>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Koch, J.; Hölzinger, N. (2021): WASSERSTOFFREGION SCHAUMBURG. HyStarter-Konzept Landkreis Schaumburg. Hg. v. Landkreis Schaumburg. Online verfügbar unter https://www.hy-starter.de/wp-content/uploads/2021/05/HyStarter_Schaumburg_Konzeptentwurf.pdf, zuletzt geprüft am 31.05.2021.
- Kraftfahrt-Bundesamt (Hg.) (2019): Statistik Verkehr in Kilometern (VK) Revisionsbericht. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/vk_revisionsbericht_2019_pdf.pdf?__blob=publication-File&v=6, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Kraftfahrt-Bundesamt (Hg.) (2020): Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/ZulassungsbezirkeGemeinden/zulassungsbezirke_node.html, zuletzt geprüft am 25.10.2021.
- Krauß, R. (2021): Regionaler Wasserstoff aus Biomasse – sauber und effizient! In: idw - Informationsdienst Wissenschaft, 18.01.2021. Online verfügbar unter <https://idw-online.de/en/news761393>, zuletzt geprüft am 12.10.2021.
- Kreis Steinfurt (Hg.) (2020): Treibstoff der Zukunft – Grüner Wasserstoff mobilisiert das energieland2050. Bewerbung des Kreises Steinfurt als Modellregion Wasserstoff-Mobilität NRW. Online verfügbar unter <https://hymat-energie.de/wp-content/uploads/2020/11/1-Feinkonzept-Kurzfassung-Kreis-Steinfurt-Wasserstoffmobilitaet.pdf>, zuletzt geprüft am 31.05.2021.
- Landkreis Wunsiedel i. Fichtelgebirge (Hg.): WASSERSTOFF-MODELLREGION FICHELGEGBIRGE. Online verfügbar unter <https://wasserstoff-modellregion-fichtelgebirge.de/>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Liu, B.; Liu, S.; Guo, S.; Zhang, S. (2020): Economic study of a large-scale renewable hydrogen application utilizing surplus renewable energy and natural gas pipeline transportation in China. In: International Journal of Hydrogen Energy 45 (3), S. 1385–1398. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.11.056.
- NBank (Hg.) (2021): Wasserstoffrichtlinie. Online verfügbar unter <https://www.nbank.de/medien/nb-media/Downloads/Programminformation/Produktinformationen/Produktinformation-Wasserstoffrichtlinie.pdf>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Nikolaidis, P.; Poullikkas, A. (2017): A comparative overview of hydrogen production processes. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 67, S. 597–611. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.044.



- NOW GmbH (Hg.) (2021): HyPerformer I: H2Rivers. Metropolregion Rhein-Neckar. Online verfügbar unter <https://www.hy.land/hyperformer-h2rivers/>, zuletzt aktualisiert am 11.10.2021.
- Otto, A.; Robinius, M.; Grube, T.; Schiebahn, S.; Praktijn, A.; Stolten, D. (2017): Power-to-Steel: Reducing CO₂ through the Integration of Renewable Energy and Hydrogen into the German Steel Industry. In: *Energies* 10 (4), S. 451. DOI: 10.3390/en10040451.
- Projekträger Jülich (Hg.): NATIONALES INNOVATIONSPROGRAMM WASSERSTOFF- UND BRENNSTOFFZELLENTechnologie (NIP). Online verfügbar unter <https://www.ptj.de/nip>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- QGIS.org (Hg.) (2021): QGIS Geographic Information System. QGIS Association. Online verfügbar unter <http://www.qgis.org/>, zuletzt geprüft am 18.10.2021.
- Ramachandran, R.; Menon, R. K. (1998): An overview of industrial uses of hydrogen. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 23 (7), S. 593–598. DOI: 10.1016/S0360-3199(97)00112-2.
- Reddi, K.; Elgowainy, A.; Rustagi, N.; Gupta, E. (2017): Impact of hydrogen refueling configurations and market parameters on the refueling cost of hydrogen. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (34), S. 21855–21865. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.05.122.
- Regionalverband Großraum Braunschweig (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.regionalverband-braunschweig.de/verkehrsplanung/>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Reichenbach, F.; Schubert, G.; Stein, P.; Grandy, C.; Herz, N.; Sille, I.; Müller, F. (2019): Emissionsfreier ÖPNV auf Basis der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie - Regionale Konzeptentwicklung zur Vorbereitung des Aufbaus einer Infrastruktur. Online verfügbar unter https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10143-Emissionsfreier_%C3%96PNV_auf_Basis_der_Wasserstoff-_und_Brennstoffzellentechnologie_-_Regionale_Konzepte.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Renn, O. (2015): Akzeptanz und Energiewende. Bürgerbeteiligung als Voraussetzung für gelingende Transformationsprozesse. In: *Jahrbuch für christliche Sozialwissenschaften* 56, S. 133–154.
- Rhein-Main-Verkehrsverbund GmbH (Hg.) (2020): Startschuss für die erste Wasserstofftankstelle für Passagierzüge in Hessen. Online verfügbar unter https://www.rmv.de/c/fileadmin/documents/PDFs/_RMV_DE/Presse/Pressemitteilungen_2020/201026_Startschuss_f%C3%BCr_die_erste_Wasserstofftankstelle_f%C3%BCr_Passagierz%C3%BCge_in_Hessen.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Schmidt, A.; Donsbach, W. (2016): Acceptance factors of hydrogen and their use by relevant stakeholders and the media. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 41 (8), S. 4509–4520. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.01.058.
- Skiker, S. (2017): JIVE – fuel cell buses, a zero emission solution. Online verfügbar unter https://civitas.eu/sites/default/files/4_jive-fuel_cell_buses_-_s_skiker.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Stadt Göttingen (Hg.): Nahverkehrsplan. Online verfügbar unter <https://www.goettingen.de/rathaus/konzepte/verkehr/nahverkehrsplan.html>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Stadt Salzgitter (Hg.) (2021): Projektstart am Wasserstoffcampus Salzgitter. Online verfügbar unter <https://www.salzgitter.de/pressemeldungen/2021/wasserstoffcampus.php>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2021): Preise Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz) Preise für leichtes Heizöl, Motorenbenzin und Dieselmotorenkraftstoff- Lange Reihen ab 1976 bis August 2021 -. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Erzeugerpreisindex-gewerbliche-Produkte/Publikationen/Downloads-Erzeugerpreise/erzeugerpreise-preisreihe-heizoeol-pdf-5612402.html>, zuletzt geprüft am 05.10.2021.
- Stolzenburg, K.; Whitehouse, N.; Whitehouse, S. (2020): JIVE Best Practice and Commercialisation Report 2, JIVE 2 Best Practice Information Bank Report 1. Online verfügbar unter https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/Best_Practice_Report_January_2020_JIVE_D3.24_JIVE_2_D3.7.pdf, zuletzt geprüft am 25.10.2021.
- Streichfuss, M.; Schwillung, A. (2020): Batterieantrieb oder doch eher Brennstoffzelle? Ersatz des Dieselantriebs im städtischen und regionalen Busverkehr. In: *DER NAHVERKEHR - Elektrobus-Spezial* 2020.
- Thünen-Institut für Ländliche Räume - Braunschweig (Hg.) (2021): Landatlas. Online verfügbar unter www.landatlas.de, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Toyota Deutschland GmbH (Hg.) (2021): MIRAI BASIS - LI-MOUSINE. Online verfügbar unter <https://www.toyota.de/automobile/mirai/>, zuletzt geprüft am 28.10.2021.
- Upham, P.; Bögel, P.; Dütschke, E.; Burghard, U.; Oltra, C.; Sala, R. et al. (2020): The revolution is conditional? The conditionality of hydrogen fuel cell expectations in five European countries. In: *Energy Research & Social Science* 70, S. 101722. DOI: 10.1016/j.erss.2020.101722.
- Uusitalo, V.; Väisänen, S.; Inkeri, E.; Soukka, R. (2017): Potential for greenhouse gas emission reductions using surplus electricity in hydrogen, methane and methanol production via electrolysis. In: *Energy Conversion and Management* 134, S. 125–134. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.12.031.
- Wasserstoff Region Rheinland e.V. (Hg.) (2021). Online verfügbar unter <https://www.hycologne.de/>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Wirtschafts- und Verkehrsministerien der norddeutschen Küstländer (Hg.) (2019): Norddeutsche Wasserstoffstrategie. Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/content-blob/13179812/f553df70f865564198412ee42fc8ee4b/data/wasserstoff-strategie.pdf>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Wulf, C.; Linßen, J.; Zapp, P. (2018): Review of Power-to-Gas Projects in Europe. In: *Energy Procedia* 155, S. 367–378. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.11.041.
- Zaubrecher, B. S.; Bexten, T.; Wirsum, M.; Ziefle, M. (2016): What is Stored, Why, and How? Mental Models, Knowledge, and Public Acceptance of Hydrogen Storage. In: *Energy Procedia* 99, S. 108–119. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.10.102.
- Zeller, M.; Luise, R.; Sikka, M.; Hartmann, N.; Kim, H.; Soyulu, T. (2019): Wasserstoffmobilität im ÖPNV der Stadt Offenburg und Umgebung - Konzeptentwicklung, technoökonomische Analyse und gesellschaftliche Akzeptanz "H2Bus". Online verfügbar unter https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10141-Wasserstoffmobilit%C3%A4t_im_%C3%96PNV_der_Stadt_Offenburg_und_Umgebung_-_Konzeptentwicklung_techno%C3%B6konomisch.pdf, zuletzt geprüft am 11.10.2021.
- Zweckverband Verkehrsverbund Süd-Niedersachsen (Hg.). Online verfügbar unter <https://zvsn.de/>, zuletzt geprüft am 11.10.2021.