

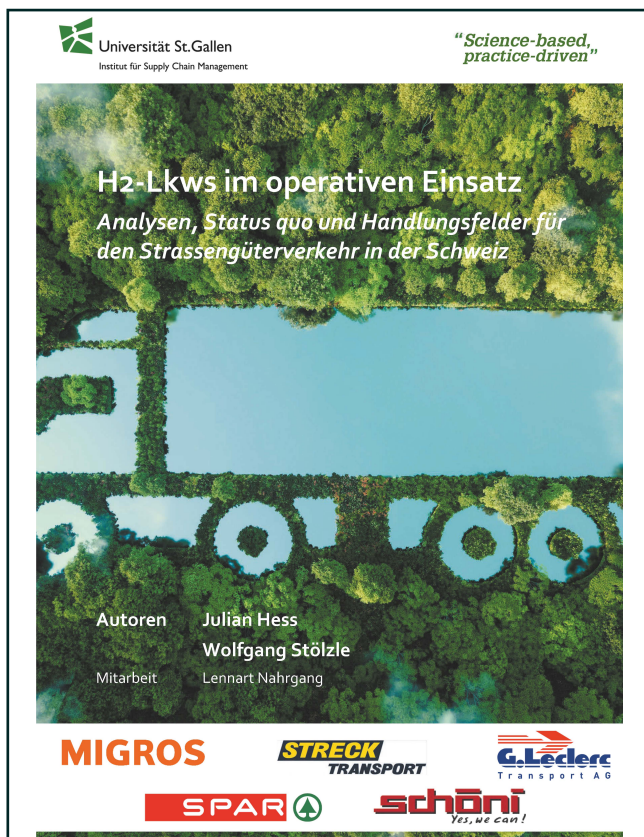


Julian Hess (Autor)

Wolfgang Stölzle (Autor)

H2-Lkws im operativen Einsatz

Analysen, Status quo und Handlungsfelder für den
Strassengüterverkehr in der Schweiz



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8709>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Einleitung

Relevanz und Handlungsbedarf in der Praxis

Der Verkehrssektor ist ein potenter Emittent von klimawirksamen Treibhausgasen und weiteren Schadstoffen (BAFU, 2021c; IEA, 2021). Die Reduzierung dieser Treibhausgas-Emissionen und die gleichzeitige Erreichung globaler sowie daraus abgeleiteter nationaler Klimaziele ist erforderlich, um Veränderungen durch den Klimawandel aktiv entgegenzuwirken und zu begrenzen. Dabei geraten zunehmend die Flottenbetreiber unter Zugzwang.

In der Schweiz existieren auf den Strassengüterverkehr zugeschnittene, konkrete Emissionsziele, die insbesondere Flottenbetreiber vor beachtliche Herausforderungen stellen (BAFU, 2021a & 2021b). Darüber hinaus fordern Stakeholder-Gruppen wie Verladern und Endkunden zunehmend nachhaltige Transport-Lösungen (Kersten et al., 2020). Demgegenüber steht die nationale Zusammensetzung der Schweizer Gesamtflotte, welche aktuell zu ca. 99 Prozent aus herkömmlichen Diesel-Fahrzeugen besteht (BFS, 2022). Die Substituierung emissionsintensiver Fahrzeuge durch emissionsarme bzw. -freie alternative Antriebsarten wird von Flottenbetreibern und Verladern als zentraler Bestandteil angesehen, um den Strassengüterverkehr ökologisch nachhaltiger zu gestalten. Brennstoffzellenbetriebene Wasserstoff-Lkws (im weiteren Verlauf «H₂-Lkws») gelten als vielversprechende Lösung, um die nachhaltige Dekarbonisierung des Strassengüterverkehrs zu

forcieren. Perspektivisch sollen H₂-Lkws ähnlich wie herkömmliche Diesel-Fahrzeuge im täglichen Einsatz performen und wirtschaftlich konkurrenzfähig sein (Council, 2020). Fahrzeughersteller stellen hohe Reichweiten bei gleicher Nutzlast und einer kurzen Betankungsdauer in Aussicht. Dabei emittieren H₂-Lkws unter der Voraussetzung der Verwendung von grünem Wasserstoff in der Betriebsphase lediglich Wasserdampf und keinerlei Treibhausgase, was sie somit deutlich umweltfreundlicher als Diesel-Lkws macht (vgl. Lee et al., 2018).

In der Schweiz sind erste seriengefertigte H₂-Lkws in einem weltweit einzigartigen Pionierprojekt seit Herbst 2020 im Dauereinsatz (Hyundai, 2021). Erfahrungen mit H₂-Lkws im operativen Einsatz sind bislang streng auf den schweizerischen Anwendungsfall limitiert. Langfristige Auswirkungen auf das Tagesgeschäft der Flottenbetreiber hinsichtlich einer erfolgreichen Adaption einer H₂-Teilflotte sowie wirtschaftliche Einsatzprofile der Fahrzeuge sind noch weitestgehend unbekannt und bislang unzureichend erforscht. Generell weisen H₂-Lkws in der Anwendung aktuell Nachteile gegenüber konventionellen, mit Diesel betriebenen Fahrzeugen, auf. Vor allem die Einsatzmöglichkeiten der Fahrzeuge sind durch die eingeschränkte Nutzlast, das fehlende Fahrzeugangebot hinsichtlich mangelnder Modellvielfalt, fehlender Infrastrukturen, einer beschränkten Reichweite pro Tankladung sowie hohen Kosten für Betrieb und Kraftstoff limitiert (Undertaking et al., 2021; Hydrogen Council,

2020; Tan et al. 2021). Hinzu kommen fehlende Erfahrungs- und Vergleichswerte zum Einsatz der Fahrzeuge, was Unsicherheiten in der Disposition und Einsatzplanung mit sich bringt. Für die Anwender existieren bis dato keine flotten-übergreifenden Referenzgrößen und Einsatzprofile für H₂-Lkws. Auch Informationen für den Aufbau einer diversifizierten Gesamtflotte und eine damit verbundene erfolgreiche Einführung einer H₂-Teilflotte in den bestehenden Fuhrpark von Flottenbetreibern fehlen bislang gänzlich. Diese Erkenntnisse und praktischen Erfahrungswerte zu geeigneten Anwendungsbereichen der Fahrzeuge sind essentiell, um die H₂-Lkws wirtschaftlich und effektiv zu nutzen.

Zielsetzung der Studie

Ziel dieser Studie ist die quantitative Datenanalyse der bisherigen Einsatzprofile der H₂-Lkws sowie eine darauf basierende Ableitung von flotteninternen sowie flottenübergreifenden Potentialen vor dem Hintergrund eines wirtschaftlichen Einsatzes der Fahrzeuge im Schweizer Strassengüterverkehr. Dazu werden Möglichkeiten für einen wirtschaftlichen Einsatz der H₂-Lkws und geeignete Einsatzprofile analysiert.

Die Identifikation eines «optimalen» Einsatzprofils der H₂-Fahrzeuge vor dem Hintergrund einer diversifizierten Gesamt-Fahrzeugflotte gehört ebenfalls zum Handlungsbedarf. Dieser ist insbesondere vor dem Hintergrund essentiell, dass der Umstieg auf emissionsarme bzw. -freie Antriebsarten im Strassengüterverkehr sukzessive stattfindet und die etablierten Diesel-Lkws über Jahrzehnte hinweg substituiert werden. Gesamt-Fahrzeugflotten

werden daher zunehmend aus Fahrzeugen unterschiedlicher Antriebstechnologien bestehen, wobei jede Technologie individuelle Eigenschaften und Einsatzprofile aufweist, welche in der Disposition und Einsatzplanung der Flottenbetreiber berücksichtigt werden müssen (vgl. Mauler, 2022).

Geeignete Einsatzprofile für H₂-Lkws im operativen Tagesgeschäft werden in dieser Studie gesamtheitlich und flottenübergreifend untersucht. Hinzu kommt eine individuelle, flotteninterne Betrachtung für die jeweiligen Konsortialpartner. Praxisorientierte Handlungsempfehlungen werden basierend auf den Analysen allgemein und gezielt für die jeweiligen Konsortialpartner erarbeitet – dabei ist ein Transfer von wissenschaftlicher Theorie und Empirie zu anwendungsorientierter Praxis für den Einsatz der Lkws im operativen Tagesgeschäft zentral.

Zusätzlich dienen die Einsatzprofile als Entscheidungsunterstützung für die grundlegende Flottenplanung und die Integration von H₂-Lkws in die Gesamtflotte von Transportunternehmen, um den partiellen Shift und den damit verbundenen Markteintritt dieser Antriebstechnologie effektiv und zugleich effizient voranzutreiben.

Vor dem Hintergrund der dargelegten Zielsetzung werden konkrete Forschungsfragen formuliert, deren Beantwortung das Erreichen der beschriebenen Zielsetzung sicherstellt. Dabei gibt es eine übergeordnete Forschungsfrage (**F₀**) und zwei untergeordnete Forschungsfragen (**F₁** und **F₂**):

Fo: *Wie kann der operative und wirtschaftliche Einsatz von H₂-Lkw in der Schweiz forciert werden?*

F1: *Welche Einsatzprofile eignen sich speziell für H₂-Lkw?*

F2: *Wie kann die H₂-(Teil-)Flotte (im Kontext einer Antriebs-diversifizierten Fahrzeugflotte) möglichst wirtschaftlich eingesetzt werden?*

Aufbau der Studie

Die praxisorientierte Konsortialstudie wird Arbeit von den Anregungen der Praxispartner, ihren Erfahrungen und Erwartungen rund um den Einsatz von H₂-Lkws geprägt. Dazu wurde die Studie im Vorfeld bereits in unterschiedliche Phasen unterteilt, welche jeweils empirische und wissenschaftliche Forschungsinhalte sowie eine kontinuierliche Kooperation mit dem gesamten Konsortium beinhalten. Dadurch wird ein strukturiertes Vorgehen mit Feedbackschleifen sichergestellt, welches es erlaubt, Resultate und eingesetzte Methoden zu validieren und die praktische Relevanz der Ergebnisse sicherzustellen. Das Vorgehen ist in Abbildung 1 dargestellt und zeigt die Schritte von der Vorbereitung und der Datenerhebung bis zur Interpretation der Ergebnisse und der Ableitung von Handlungsempfehlungen.

Die vier Phasen der Studie stellen sich wie folgt dar. In der ersten Phase der «Vorbereitung und Datenerhebung» wurden Einsatzdaten der H₂-Lkws erhoben, Interviews mit

Vertretern der Konsortialpartner geführt sowie ein erster gemeinsamer Workshop durchgeführt. Der Kick-off diente insbesondere dazu, Themenschwerpunkte sowie konkrete Erwartungen der Konsortialpartner an die Studie abzustimmen und festzulegen. In der zweiten Phase der «Datenbereinigung und Konsolidierung» wurden die unterschiedlichen Datensätze der Unternehmen zum jeweiligen Einsatz der H₂-Lkws aufbereitet und in eine einheitliche Form konsolidiert. Im Anschluss wurden erste Analysen zu wirtschaftlichen Einsatzprofilen durchgeführt, welche als Diskussionsgrundlage für das zweite Konsortialtreffen dienten. Die gemeinsamen Workshops und Diskussionen mit den Konsortialpartnern wurden dabei zur Ergebnis-Validierung und Feinabstimmung des weiteren Vorgehens genutzt. In der dritten Phase der «Datenanalyse und Auswertung» wurden die erhobenen und konsolidierten qualitativen und quantitativen Daten mit der Zielstellung eines flotteninternen und -übergreifenden wirtschaftlichen Einsatzes von H₂-Lkws analysiert und ausgewertet. Zu den qualitativen Daten zählen die Ergebnisse aus den durchgeführten Interviews und Literaturrecherchen. Die qualitativen Daten werden durch die Realeinsatzdaten der H₂-Lkws repräsentiert. Ein weiterer gemeinsamer Workshop diente der Validierung der vertieften Studienergebnisse hinsichtlich der aktuellen Einsatzprofile und der daraus abgeleiteten wirtschaftlichen Einsatzpotentiale. Die vierte und abschliessende Phase der Studie («Fertigstellung und Abschluss der Studie») umfasst einen gemeinsamen Abschlussworkshop hinsichtlich der Präsentation der Studienergebnisse, die

gemeinsame Ableitung von Deliverables, welche auf den vorangegangenen Phasen basieren, sowie die Verschriftlichung der Studie.

Daraus ergibt sich folgende Gliederung: Zunächst werden die Motivation und der Status quo zu H₂-Lkws in der Schweiz dargelegt. Dabei wird massgeblich die Notwendigkeit eines nachhaltigen Wandels im Strassengüterverkehr sowie eine aktuelle Bestandsaufnahme aufgezeigt. Anschliessend folgt das Forschungsdesign mit den im Rahmen der Studie angewendeten Methoden sowie das jeweilige konkrete Vorgehen. Die Ergebnisse der Analysen zu den aktuellen Einsatzprofilen und den daraus

abgeleiteten Wirtschaftlichkeits-Potentialen werden im nachfolgenden Kapitel beleuchtet. Neben den fahrzeugspezifischen, flottenübergreifenden Analysen werden diese auch vor dem Hintergrund einer Antriebs-diversifizierten Fahrzeugflotte betrachtet, in der H₂-Fahrzeugen ein spezifisches Anwendungsgebiet zukommt. Zuletzt finden sich in einer Schlussbetrachtung Handlungsempfehlungen für Forschung und Praxis sowie die Limitationen der Studie. Ein abschliessender Ausblick erweitert den Betrachtungsfokus des schweizerischen Strassengüterverkehrs und beschreibt zukünftige Potentiale und Entwicklungen rund um H₂-Lkws im operativen Einsatz.

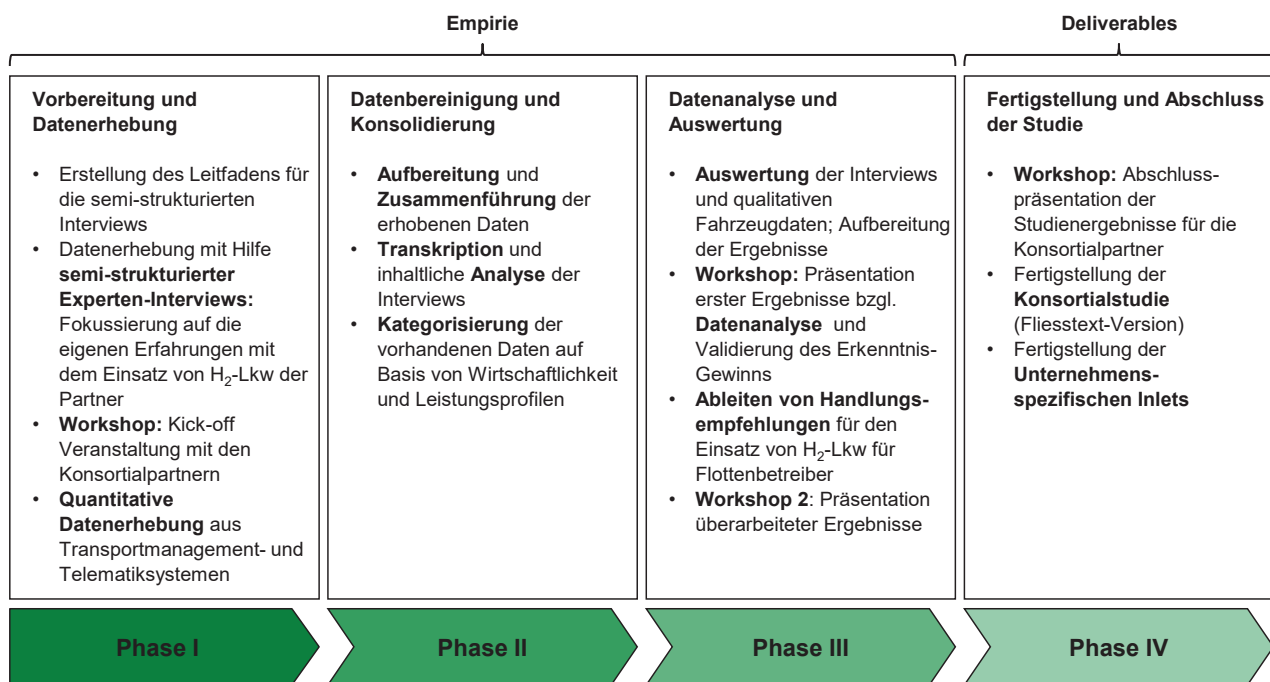


Abbildung 1. Aufbau der Studie in vier Phasen



Globale und lokale Luftschadstoff-Emissionen

Neben CO₂ (Kohlenstoffdioxid) existieren weitere klimawirksame Gase, welche sich über die Zeit global gleichmässig in der Atmosphäre verteilen, der Entstehungsort ist also nicht direkt von Bedeutung für die langfristigen Auswirkungen ist. Dazu zählen Gase wie Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O), welche im Kyotoprotokoll aufgeführt sind und üblicherweise als CO₂-Äquivalente (CO₂e) angegeben werden.

Diese Gase wirken sich relativ gesehen zwar stärker auf die Erderwärmung aus als CO₂, sind in der Atmosphäre aber deutlich geringer konzentriert. Die weniger stabilen Moleküle werden deutlich schneller abgebaut – CO₂-Moleküle können noch nach hunderttausenden Jahren in der Atmosphäre bestehen (UBA, 2021).

Abgesehen von THG existieren weitere umwelt- und nachhaltigkeitsbezogene Problemstellungen, die durch den Einsatz von H₂-Lkws mit grünem Wasserstoff gelöst werden können. Dazu zählt die Reduktion von Lärm, Feinstaub (PM_{2,5} & PM₁₀) und Stickoxiden (NOX), die sich besonders lokal (v.A. in urbanen Räumen) und damit im Gegensatz zu global betrachteten THG-Emissionen, unmittelbar negativ auf die Lebensqualität und die Gesundheit von Mensch und Umwelt in der Umgebung auswirken (Mo & Wang, 2019; Peters et al., 2019; Amann, 2013). Dabei spielen die Die PM und NOX-Emissionen der schweren Lkws eine zentrale Rolle (Breuer et al., 2021).*

**«PM» ist kurz für «Particulate Matter», was sich zu «Feinstaub» übersetzen lässt. PM_{2,5} meint dabei Feinstaub, dessen Partikel einen Durchmesser von 2,5 Mikrometern nicht übersteigen, während PM₁₀ Feinstaub mit einem Partikeldurchmesser von bis zu 10 Mikrometern ist.*

Motivation und Status quo

Bedeutung von Nachhaltigkeit im Verkehrssektor

Der von Menschen geprägte Klimawandel und weitere anthropogene Umweltveränderungen stellen viele Wirtschaftssektoren und die gesamte globale Gesellschaft im 21. Jahrhundert vor beachtliche Herausforderungen. Der Ausstoss von klimawirksamen Treibhausgasen (THG) beeinflusst seit der Industrialisierung die Entwicklung globaler Durchschnittstemperaturen. Daher gilt es, die Emissionen zu reduzieren, um einen noch drastischeren Anstieg der globalen Durchschnittstemperaturen zu vermeiden und soziale, ökologische sowie ökonomische Schäden einzudämmen (UBA, 2020).

Verbindliche internationale Klimaziele wurden erstmals im Rahmen des Kyoto-Protokolls festgelegt und zuletzt 2016 durch das Pariser Klimaabkommen ausgeweitet und verschärft. Ziel des Abkommens der Pariser Klimakonferenz ist es, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf maximal 2 Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu beschränken, wobei ein Anstieg von 1,5 Grad Celsius angestrebt wird, um die entstehenden Schäden möglichst in einem sozial, ökologisch und ökonomisch tragfähigen Rahmen zu halten. Das Klimaabkommen von Paris haben 197 Staaten weltweit ratifiziert – darunter auch die Schweiz (BAFU, 2018). Zur Erreichung der Ziele sind massive THG-Einsparungen in allen Sektoren von Nöten, dabei spielt auch der Verkehrssektor mit rund einem Viertel der globalen und fast einem Drittel der

nationalen Emissionen als grösster Emittent in der Schweiz eine entscheidende Rolle (BAFU, 2021c; Statista, 2022). Die Klimaziele der Schweiz umfassen eine Halbierung der THG-Emissionen bis 2030 und Netto-Null-Emissionen bis 2050 als langfristiges Ziel gegenüber den Emissionswerten von 1990 als Vergleichsbasis (BAFU, 2021b). Allerdings stagnieren die Emissionswerte im Verkehrssektor in der Schweiz seit 1990, während bei anderen Wirtschaftssektoren wie beispielsweise «Gebäuden» und «Industrie» jeweils ein bereits signifikanter Rückgang zu verzeichnen ist (s. Abbildung 2). Im Jahr 2019 waren die THG-Emissionen des Verkehrssektors sogar marginal höher als im Jahr 1990 (s. Abbildung 1) (BAFU, 2021c). Im Strassengüterverkehr haben die THG-Emissionen seit 1990 sogar deutlich zugenommen. Die Probleme, die sich aus dem emissionsintensiven Verkehrssektor ergeben, wurden auch von politischer Seite erkannt und entsprechende Massnahmen sollen die angestrebte Senkung der Emissionen vorantreiben. Dazu zählen Fördermassnahmen für alternative und emissionsarme Antriebsarten ebenso wie Markt-massnahmen in Gestalt einer Besteuerung von fossilen Kraftstoffen für Treibstoffimporteure.

Im Strassengüterverkehr müssen Emissionen von neuen Lkws nach dem revidierten CO₂-Gesetz in der Schweiz bis 2025 um 15 Prozent und bis und bis 2030 um 30 Prozent gegenüber den EU 2019/2020-Richtwerten reduziert werden (Bundesrat, 2021). Diese Richtlinien stellen grosse

Herausforderungen für die Akteure dar, wenn man bedenkt, dass zwischen 1995 und 2019 die spezifischen Emissionen von Lkws in der Schweiz lediglich um circa 30 Prozent abgenommen haben (BAFU, 2021a). Darüber hinaus erhält das revidierte CO₂-Gesetz eine Kompensationspflicht für Treibstoffimporte ab 2025, wodurch steigende Preise für fossile Brennstoffe zu erwarten sind. Alternative Antriebstechnologien werden dadurch perspektivisch begünstigt (BAFU, 2021a). Generell müssen für die weiteren Entwicklungen auch geopolitische Zusammenhänge wie die kriegerischen Auseinandersetzungen in der Ukraine berücksichtigt werden, welche sich signifikant auf die globale Preisentwicklung fossiler Brennstoffe ebenso wie auf die Strompreise auswirken. Derartige Zäsuren und deren spezifische Auswirkungen sind in vielen Fällen nicht bzw. nur schwer vorherzusehen (WEC, 2022).

Eine Vorarbeit befragte Akteure aus den Bereichen Handel, Industrie und Logistik hinsichtlich der aktuellen und zukünftigen Bedeutung von Nachhaltigkeit (Kersten et al., 2020). Die Teilnehmenden gaben im Rahmen der im Jahr 2020 durchgeführten Erhebung an, dass gut ein Viertel der Kunden bereits zum Zeitpunkt der Befragung «häufig» oder «sehr häufig» die nachhaltige

Organisation von Transporten anfragen. Die Einschätzung der Befragten für die Zukunft weist darüber hinaus auf einen deutlichen Trend hin: Mehr als 60 Prozent erwarten, zukünftig «häufig» oder «sehr häufig» derartige Anfragen zu erhalten. Demgegenüber gaben lediglich vier Prozent der Befragten an, in Zukunft «sehr selten» Anfragen zur nachhaltigen Organisation von Transporten zu erhalten (Kersten et al., 2020). Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichen, dass die ökologische Nachhaltigkeit für Logistikdienstleister generell und für Flottenbetreiber speziell ein bedeutender Wettbewerbsfaktor wird.

Zusammenfassend lässt sich ableiten, dass Preissteigerungen fossiler Brennstoffe, Umweltbelastungen mit daraus folgenden Regulierungen von zulässigen Luftschadstoff- bzw. THG-Emissionen für die Akteure und eine steigende Nachfrage von ökologisch nachhaltigen Transporten zu den wichtigsten Faktoren zählen, die für einen Umstieg auf alternative Antriebe im Strassengüterverkehr sprechen. Hinzu kommen politische Maßnahmen, welche im Lichte der beschriebenen Problemstellungen und Potentiale eine Antriebs-Transformation nicht nur begünstigen, sondern erfordern.

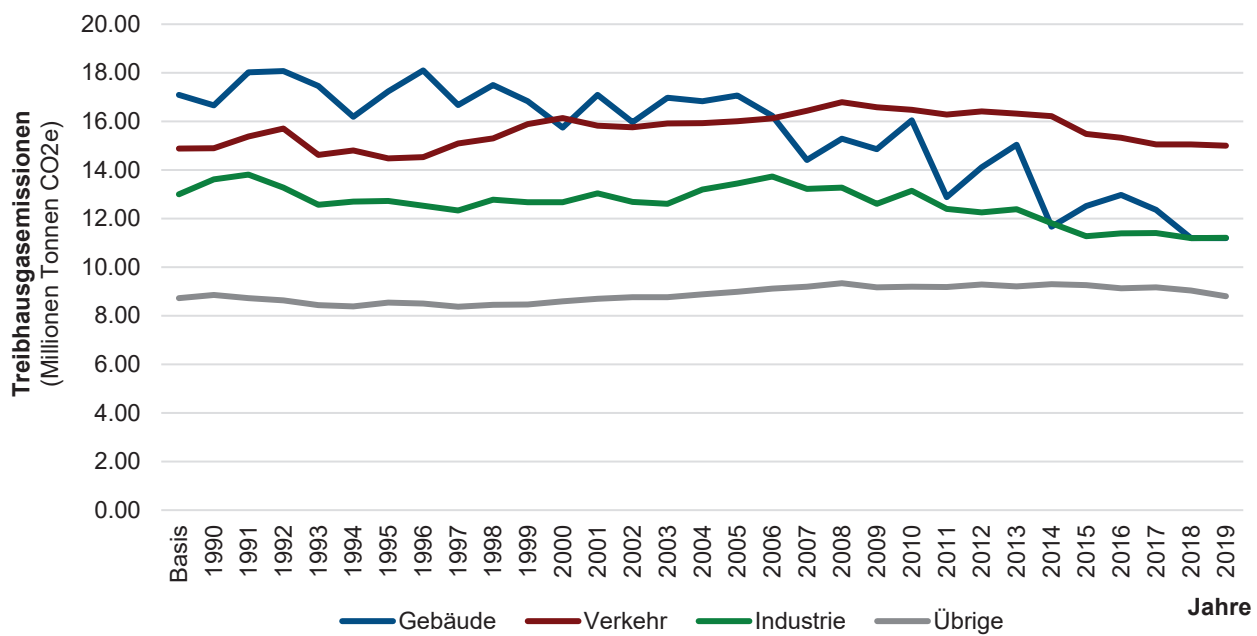


Abbildung 2. Entwicklungen der Treibhausgasemissionen in der Schweiz nach Sektoren von 1990 bis 2019 (BAFU, 2021c)

Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge mit Brennstoffzelle bilden einen wichtigen Baustein für die Senkung von THG-Emissionen im Verkehrssektor. Speziell im Strassengüterverkehr bieten H₂-Lkws eine Möglichkeit, THG-Emissionen zu senken und so einen Beitrag zur Erreichung gesteckter Klimaziele zu leisten (Çabukoglu et al., 2019). Hess und Stoelzle (2020) zeigen in ihrer Meta-Studie, dass brennstoffzellen-betriebene Nutzfahrzeuge neben weiteren alternativen Antriebstechnologien ein hohes Potential zur Dekarbonisierung des Strassengüterverkehrs bergen. Dabei untersuchten sie, welche Technologien und Massnahmen die grössten Einsparpotentiale von THG-Emissionen für Flottenbetreiber und Verlagerer im Strassengüterverkehr aufweisen.

Um ökologische Nachhaltigkeitsziele zu erreichen, spielt die ausschliessliche Verwendung von grünem Wasserstoff im schweren Güterverkehr eine entscheidende Rolle – die

Europäische Kommission beschreibt Wasserstoff aus erneuerbaren Energiequellen als einen zentralen Faktor für eine wohlhabende, moderne, wettbewerbsfähige und klimaneutrale Wirtschaft (Europäische Kommission, 2018). In der langfristigen Klimastrategie der Schweiz ist festgehalten, dass grüner Wasserstoff im Schwerverkehr langfristig eine bedeutende Rolle spielt (BFE, 2020). Unter der Voraussetzung des Einsatzes von grünem Wasserstoff sind die Treibstoffherstellung sowie der operative Einsatz der H₂-Lkws frei von THG-Emissionen, im Betrieb entsteht lediglich Wasser aus der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff. Die H₂-Lkws der Konsortialpartner werden, wie alle H₂-Fahrzeuge in der Schweiz, bislang ausschliesslich mit grünem Wasserstoff betrieben.

H₂-Lkws im operativen Einsatz – Status quo und Entwicklungen

H₂-Lkws in der Schweiz

Die «Schweizer Wasserstoff-Initiative» mit dem Einsatz erster seriengefertigter H₂-Lkws im Tagesgeschäft der teilnehmenden Flottenbetreiber zeigt in eindrucksvoller Weise, dass die Einführung dieser alternativen Antriebsart die Koordination eines umfassenden Wasserstoff-Netzwerks unter Beteiligung vieler Akteure bedingt. Als erster Baustein wurde dazu im Mai 2018 der Förderverein «H₂ Mobilität Schweiz» von 17 Gründungsunternehmen aus den Bereichen Wasserstofftechnologie, Mobilität und Tankstellenbetreibern gegründet. Zielsetzung des privatwirtschaftlichen Vereins ist es dabei, einen durch grünen Wasserstoff angetriebenen, emissionsfreien Strassenverkehr zu realisieren und dafür eine flächendeckende Wasserstofftankstelleninfrastruktur in der Schweiz zu schaffen. Auf- und Ausbau der Wasserstoffmobilität in der Schweiz sollen durch den Förderverein in einer Initialphase bis 2023 unterstützt und beschleunigt werden. Der Verein fungiert dabei als Plattform, um Stakeholder aus allen Bereichen der Wasserstoffwirtschaft zusammenbringen (Förderverein H₂ Mobilität Schweiz, 2022).

Zur erfolgreichen Etablierung eines solchen Wasserstoff-Netzwerks und bedingt durch die privatwirtschaftliche Ausrichtung der gesamten Initiative, müssen alle Komponenten im Wasserstoffkreislauf über Produktion, Verteilung und Verbrauch wirtschaftlich aufgestellt sein. Ein Grundsatz der

Initiative bildet die Elektromobilität im geschlossenen Wasserkreislauf. Konkret geht es dabei darum, dass Strom aus erneuerbaren Energien (bspw. Wasserkraft) genutzt wird, um über Elektrolyseverfahren grünen Wasserstoff herzustellen. Dank lokaler Produktion gelangt der Wasserstoff anschliessend über geringe Transportdistanzen zu den Tankstellen, wo er den Brennstoffzellenfahrzeugen (H₂-Lkws und H₂-Pkws) zugeführt wird. In der Brennstoffzelle des jeweiligen Fahrzeugs wird elektrischer Strom aus Wasserstoff und Sauerstoff gewonnen – dabei entsteht als «Emission» lediglich Wasserdampf (Förderverein H₂ Mobilität Schweiz, 2022).

Für die Anwendung von H₂-Lkws im Schweizerischen Strassengüterverkehr wurde mit Hyundai Hydrogen Mobility (HHM) im Juni 2019 ein Joint Venture bestehend aus der Hyundai Motor Company und dem Schweizer Unternehmen H₂ Energy gegründet (HHM, 2022). Bereits 2019 wurden erste Prototypen vorgestellt und im Oktober 2020 als serienmässig gefertigte H₂-Lkws an die ersten Flottenbetreiber in der Schweiz ausgeliefert. Die Fahrzeuge werden dabei nicht an Flottenbetreiber verkauft, sondern über ein Pay-Per-Use Modell zur Verfügung gestellt, wobei gefahrene Kilometer und der jeweilige Verbrauch an Wasserstoff (in kg) monatlich abgerechnet werden. Die Fahrzeuge verbleiben somit im Besitz der HHM. Das Netzwerk der Schweizer Wasserstoff-Initiative wird in Abbildung 3 exemplarisch dargestellt.

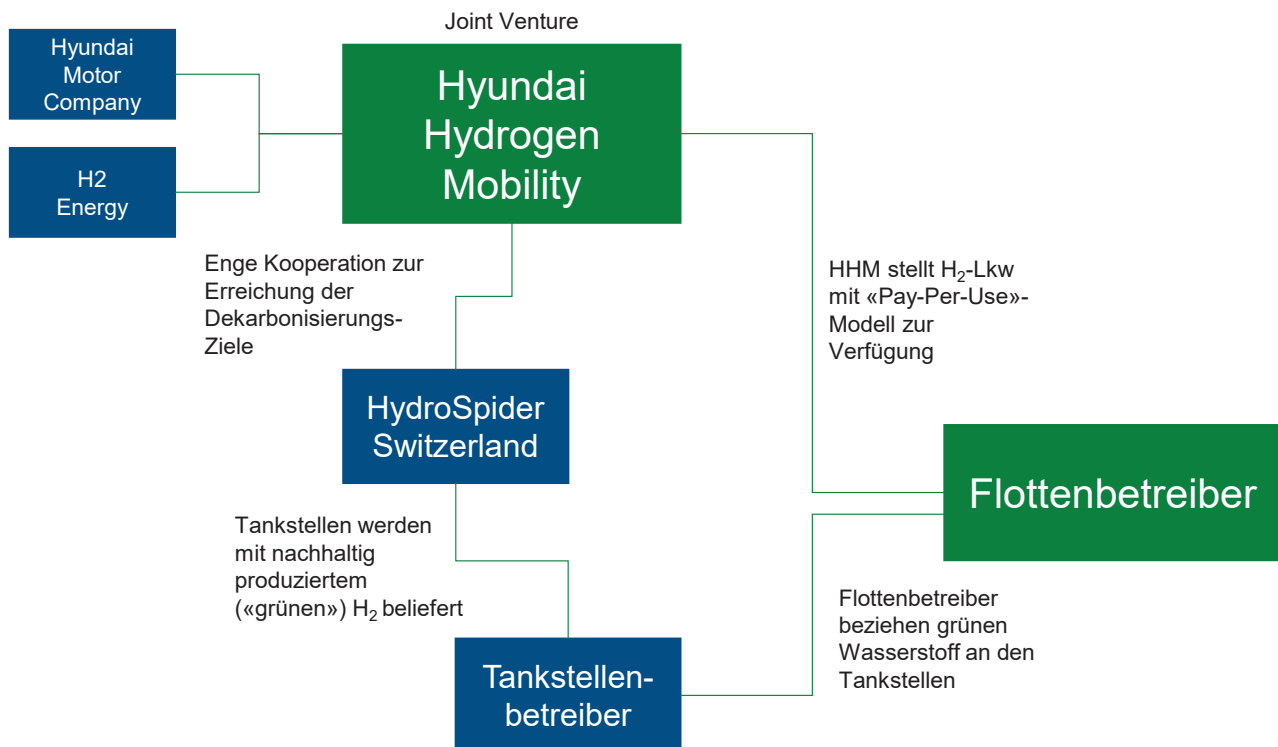


Abbildung 3. Organigramm der Schweizer Wasserstoff-Initiative für H₂-Lkw

Momentan sind in der Schweiz knapp 50 H₂-Lkws im Einsatz.¹ Bis 2026 sollen insgesamt 1'600 H₂-Lkws die Schweizer Strassen befahren. Die bisherige Gesamtfahrleistung der Hyundai Xcient Fuel Cell in der Schweiz beläuft sich auf etwa 2.6 Mio. km.¹ Damit konnten bisher rund 1'600 Tonnen CO₂-Äquivalente gegenüber der Verwendung konventioneller Diesel-Lkws eingespart werden.¹

Neben der Fahrzeugbereitstellung durch HHM entsteht parallel ein Wasserstofftankstellennetz in der Schweiz, welches bis Ende 2023 «flächendeckend» vorhanden sein

soll, um einerseits die ansteigende Nachfrage nach grünem Wasserstoff zu befriedigen und andererseits den operativen Einsatz der H₂-Lkws in der gesamten Schweiz zu ermöglichen. Bislang sind zwölf Tankstellen in Betrieb, von denen neun auch auf die Betankung von H₂-Lkws ausgelegt sind (die anderen lediglich für Pkw)¹. Beim Ausbau der Tankstelleninfrastruktur liegt der Fokus bislang auf der verkehrsintensiven Ost-West-Achse im Norden des Landes (s. Abbildung 4). Im Süden und im Südosten gibt es bislang kaum Tankstellen (Förderverein H₂ Mobilität Schweiz, 2022).

¹ Stand 09/2022