

Endbericht

Wasserstoffwirtschaft Österreich



Wien, im Mai 2021

 *international*

 Bundesministerium
Digitalisierung und
Wirtschaftsstandort

Die Beauftragung der Studie erfolgte durch die AUSSENWIRTSCHAFT AUSTRIA im Rahmen der Internationalisierungsoffensive go-international, einer gemeinsamen Initiative des Bundesministeriums für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort und der Wirtschaftskammer Österreich.

Projektteam: FH-Hon. Prof. Dr. Dr. Herwig W. SCHNEIDER
Daran DEMIROL, BA
Nikias DICK, BSc
Peter LUPTÁČIK

Bei der Erstellung dieser Studie wurde zu Gunsten der Darstellbarkeit und Lesbarkeit auf eine durchgehend geschlechtsspezifische Schreibweise verzichtet. Sofern männliche Schreibweisen verwendet werden, beinhalten diese bei Entsprechung auch die weibliche Form.



Industriewissenschaftliches Institut
A-1050 Wien, Mittersteig 10/4
Tel.: +43-1-513 44 11 DW 2070
Fax: +43-1-513 44 11 DW 2099
E-mail: schneider@iwi.ac.at

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung	5
2 Bereiche der Wasserstoffwirtschaft	8
2.1 Produktion von Wasserstoff	9
2.2 Infrastruktur für Wasserstoff	12
2.3 Anwendungen von Wasserstoff	14
2.3.1 Wasserstoff im Bereich Energie und Wärme	15
2.3.2 Wasserstoff im Bereich Mobilität	16
2.3.3 Wasserstoff im Bereich Industrie	18
2.4 Politische Rahmenbedingungen und Initiativen	20
3 Funktionale Gliederung der Wasserstoffwirtschaft Österreichs	23
3.1 Erfassung der relevanten Unternehmenssubstanz	23
3.2 Zuordnung der Unternehmenssubstanz zu den Dimensionen der Wasserstoffwirtschaft	23
3.3 Strukturprofil der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien	25
3.4 Systemische Gliederung in Power Roles	30
3.5 Wasserstoffdurchdringung der Unternehmen	33
3.6 Exkurs: Relevanz von Wasserstofftechnologien im Automotiven Bereich	38
3.7 Systemische Gliederung der Wasserstoffwirtschaft in Power Roles	40
4 Volkswirtschaftliche Bedeutung der heimischen Wasserstoffwirtschaft	41
4.1 Volkswirtschaftliche Effekte der gesamten Unternehmenssubstanz mit Bezug zu Wasserstofftechnologien	42
4.2 Volkswirtschaftliche Effekte der heimischen Wasserstoffwirtschaft	46
4.2.1 Einbindung der Wasserstoffwirtschaft in Wertschöpfungsketten	50
Quellen	52
Anhang	55

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1:	Bereiche der Wasserstoffwirtschaft	8
Abb. 2:	Struktur der FCH 2 JU	21
Abb. 3:	Anzahl der in den Dimensionen tätigen Unternehmen (Mehrfachnennung möglich)	24
Abb. 4:	Verteilung nach Unternehmensgrößenklassen	25
Abb. 5:	Verteilung des von Unternehmen mit Wasserstoffbezug erzielten Umsatzes nach Bundesland	27
Abb. 6:	Heatmap der Unternehmen mit Wasserstoffbezug	28
Abb. 7:	Systemische Power Roles der Wasserstoffwirtschaft	31
Abb. 8:	Durchschnittliche Wasserstoff-Durchdringung der Unternehmen nach Umsatz und Beschäftigtengrößenklassen	34
Abb. 9:	Verteilung der Wasserstofftechnologie-Umsätze nach Bundesländern	35
Abb. 10:	Anwendung von Wasserstofftechnologien – Status quo	38
Abb. 11:	Stimmungsbild zu Wasserstofftechnologien der Automotiven Zuliefererindustrie	39
Abb. 12:	Systemische Power Roles der Wasserstoffwirtschaft	40
Abb. 13:	Das Schichten Modell des IWI: Input-Output-Berechnungen	41
Abb. 14:	Volkswirtschaftliche Effekte der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien 2019	42
Abb. 15:	Profitierende Branchen von Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien	43
Abb. 16:	Fiskal- und Sozialbeitragseffekte der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien	45
Abb. 17:	Volkswirtschaftliche Effekte der heimischen Wasserstoffwirtschaft im Jahr 2019	46
Abb. 18:	Profitierende Branchen der heimischen Wasserstoff-Wirtschaft	47
Abb. 19:	Fiskal- und Sozialbeitragseffekte der heimischen Wasserstoffwirtschaft	49
Abb. 20:	Zulieferer und Abnehmer der heimischen Wasserstoffwirtschaft	50
Tab. 1:	Verfahren zur Wasserstofferzeugung nach Wasserstoff- und Energiequellen	9
Tab. 2:	Arten von Brennstoffzellen	14
Tab. 3:	Umsatz und Beschäftigte nach Größenklassen und Bundesland	26
Tab. 4:	Umsatz und Beschäftigtenanzahl je Dimension der Wasserstoffwirtschaft	29
Tab. 5:	Branchenstruktur der Unternehmen mit Wasserstoffbezug nach Umsatzanteil	30
Tab. 6:	Schätzsystem für das Ausmaß die Wasserstoff Aktivitäten der Zielfirmen	33
Tab. 7:	Umsatz und Beschäftigte der Wasserstoffwirtschaft Österreich	34
Tab. 8:	Umsatz und Beschäftigtenanzahl je Dimension der Wasserstoffwirtschaft	37
Tab. 9:	Branchenstruktur der Unternehmen mit Wasserstoffbezug nach Wasserstoff-Umsatzanteil	37
Tab. 10:	Schlagwortliste	55
Tab. 11:	Volkswirtschaftliche Effekte der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien (gesamte Unternehmenssubstanz)	56
Tab. 12:	Volkswirtschaftliche Effekte der heimischen Wasserstoff-Wirtschaft	57
Tab. 13:	Liste der bei der Datenbankerstellung verwendeten Quellen	58

1 Einleitung

Das Jahr 2020 wurde geprägt von der Bewältigung der weltweiten Covid-19-Pandemie und ihrer Folgen. Dabei zeigte sich neben den vordergründigen gesundheitspolitischen Aspekten auch die enorme Wucht, mit welcher solch tiefgreifende globale Krisen Volkswirtschaften als Ganzes erfassen können; mit langfristigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Folgen weit über die Dauer der temporär akuten Gesundheitsgefahr hinaus. Die Stärkung von Resilienzen, Adaption und Mitigation von Krisen sind daher systementscheidend.

Auf dem Weg in Richtung Klimaneutralität sehen sich Entscheidungsträger weltweit mit der Herausforderung konfrontiert, ein langfristiges, holistisches und international koordiniertes Maßnahmenpektrums aus Anpassung und Vermeidung in Anwendung zu bringen. Wichtiger Einflussfaktor in der Entwicklung der Treibhausgasemissionen ist dabei die Veränderung der eingesetzten Energieträger zur Deckung des Bruttoinlandsenergieverbrauchs (BIV). Diese als energiebedingt eingestuften Emissionen¹ sind in Österreich für etwa drei Viertel aller Treibhausgase verantwortlich.²

Eine entscheidende Rolle zur Erreichung internationaler Anstrengungen wie des Pariser Klimaabkommens spielen daher die rasche Innovation, Entwicklung und Anwendung von klimaneutralen Energieträgern und den dazugehörigen Technologien. Betrachtet man die energiebedingten Emissionen nach dem Anteil ihrer Verursacher auf globaler Ebene, so wird deutlich, dass die Bereiche Energie und Wärme (40%), Mobilität (23%) und Industrie (23%)³ durch Insellösungen allein nicht ausreichend transformiert werden können. Es ist daher darauf zu achten, dass holistische Lösungen entwickelt werden, welche das Potenzial besitzen, einen sektorübergreifenden systemischen Wandel zu ermöglichen.

Wasserstofftechnologien sind hierbei aufgrund ihrer vielseitigen Anwendbarkeit gleich in mehrfacher Weise bedeutende Hoffnungsträger. So eignet sich Wasserstoff in Verbindung mit erneuerbaren Energien als stabiles Speichermedium, um das Energiesystem der Zukunft resilienter und unabhängiger von äußeren Einflüssen wie Fluktuationen bei Wind- und Sonnenenergie zu machen. Dadurch könnten Stromspitzen potentiell besser und für einen späteren Gebrauch nutzbar gemacht werden, wodurch die Versorgungssicherheit des Energiesystems erhöht werden könnte. Ebenso besteht Potenzial zur Nutzung bereits bestehender Infrastruktur zur Distribution und die damit verbundene Ersparnis von hohem Kosten- und Ressourceneinsatz.

Dies ist auch darauf begründet, dass Gasleitungen für den Energietransport deutliche Vorteile in der Kapazität und einen geringeren Investitions- und Genehmigungsaufwand im Vergleich zu Hochspannungsleitungen besitzen. So entspricht die von einer Gasleitung mit einem Durchmesser von 90 Zentimetern transportierte Energie jener von in etwa fünf Hochspannungsleitungen.⁴ Bei der Nutzung bestehender Rohrleitungssysteme gilt es jedoch zu beachten, dass der beigemischte Wasserstoff die Brennstoffeigenschaften verändert und zu Störungen für sensible industrielle Prozesse führen kann, welche auf eine kalkulierbare Gasreinheit angewiesen sind. Eine Einspeisung bzw. Beimischung von Wasserstoff ist demnach technisch möglich, muss aber durch Verteilungsmanagement unterschiedliche Anforderungen der Endverbraucher berücksichtigen.⁵

¹ Zu energiebedingten Emissionen wird jener Ausstoß von Treibhausgasen gezählt, welcher bei der Umwandlung von Energieträgern in elektrische oder thermische Energie entsteht (Umweltbundesamt Deutschland 2020).

² Umweltbundesamt (2020)

³ IEA (2021)

⁴ Zukunft Grünes Gas (o.D.)

⁵ Bünger (2020)

Letzteres ist vor allem auch unter dem Aspekt der notwendigen Wärmewende relevant. Das zurzeit noch stark von fossilen Brennstoffen abhängige Wärmesystem könnte mit vorhandenen Strukturen und entsprechenden Wasserstofftechnologien den Wandel hin zur Klimaneutralität erleben, sofern der eingesetzte Wasserstoff durch erneuerbaren Strom erzeugt wird. Dabei gilt es jedoch anzumerken, dass auch der aus erneuerbaren Energien generierte Wasserstoff zum einen immer mit einem energetischen Verlust durch den Umwandlungsprozess einhergeht, zum anderen die Nachfrage nach erneuerbaren Energien im Stromnetz zusätzlich erhöht, welche es durch entsprechend begleitenden Ausbau der Kapazitäten zu decken gilt.

Auch im Bereich Mobilität beinhalten Wasserstofftechnologien nach wie vor die Möglichkeit zur sauberen, klimaneutralen Zukunft. Während sich im Individualverkehr im Laufe der letzten Jahre zunehmend die Elektromobilität durchgesetzt hat, hat Wasserstoff hier keine entscheidende Bedeutung erfahren. Limitationen rein batterieelektrischer Systeme kommen jedoch in den Bereichen Distributionslogistik (LKW, Schifffahrt und Schiene) und öffentlicher Nahverkehr (Busse, Schiene) besonders zum Tragen, denn hier ist aufgrund des Gewichts und der Größe der Verkehrsmittel eine Batterie nur bedingt einsatzfähig.

Wasserstofftechnologien hingegen bieten durch den indirekten Weg der Stromnutzung zur Wasserstoffgewinnung eine ebenso potentiell klimaneutrale Alternative, während die Eignung für den Lasten-transport der von Verbrennungsmotoren entspricht, auch unter dem Gesichtspunkt der Reichweite und Nachladezeiten.

Auch abseits ihres Energie- und Wärmebedarfs verursachen industrielle Prozesse hohe Emissionen; vor allem in der Stahl-, Zement-, und petrochemischen Industrie ist Kohlendioxid ein häufiges Nebenprodukt. Der Einsatz von Wasserstoff in der Stahlindustrie ist bereits heutzutage verfahrenstechnisch unumgänglich, der enorme Bedarf wird jedoch bisweilen durch fossile Ressourcen gedeckt und verursacht daher eine entscheidende Menge an Emissionen. Gelingt langfristig die vollständige Versorgung durch klimaneutralen Wasserstoff, so ließen sich diese in der Theorie zur Gänze einsparen. In Kombination mit Kohlendioxid ermöglicht klimaneutral erzeugter Wasserstoff die fossilfreie Herstellung wichtiger Basispolymere und könnte somit helfen unvermeidbare Emissionen direkt sinnvoll wiederzuverwenden und zu binden. Ein derartiger Einsatz von Wasserstoff stellt demnach nebst der Anwendung als Energieträger in der Energie- und Wärmeversorgung sowie Mobilität auch die Verwendung als industrieller Rohstoff in Aussicht. Dieses breite Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten und potentiellen Nachfragedeterminanten bedeutet aber auch, dass die jeweiligen Anwendungsbereiche prinzipiell um den verfügbaren Wasserstoff konkurrieren und die tatsächliche Skalierung der Anwendung in den jeweiligen Bereichen zukünftig von den standortspezifischen Verfügbarkeiten bzw. Importen abhängig sein wird.

Aufgrund der Potenziale von Wasserstofftechnologien und ihrer möglichen Schlüsselrolle bei der Bewältigung der Klimakrise geraten diese auch vermehrt in den politischen Diskurs und Interessensbereich internationaler Industrie-Initiativen. Weltweit setzen politische Entscheidungsträger wichtige Impulse zur forcierten Entwicklung dieser Technologien. Unter anderem investieren die USA sowie China intensiv in die Forschung und Entwicklung von Wasserstofftechnologien. So belaufen sich die Forschungsausgaben des US-amerikanischen Departments of Energy für Wasserstofftechnologien auf etwa 150 Millionen USD pro Jahr.⁶

⁶ Germany Trade & Invest (2020)

Auch die kanadische Regierung unterstützt mit zusätzlichen 15 Mrd. CAD die Forschung und Innovation zur Einführung von grünem Wasserstoff und anderen erneuerbaren Energiequellen.⁷ Darüber hinaus sind Chile, Südkorea und Japan ambitioniert, ihre Forschung und Entwicklung im Bereich des Wasserstoffs weiter auszubauen, erst genanntes Land mit dem Ziel, bis zum Jahr 2030 den weltweit günstigsten Wasserstoff zu produzieren.⁸ Auch in der EU ist das Interesse und die Bedeutung als Teil des European Green Deal bedeutend. Die EU setzt dabei an vielen Punkten im Rahmen ihrer 2020 veröffentlichten Wasserstoffstrategie an, um sich in Zukunft erfolgreich am globalen Markt zu positionieren.

In Österreich bestehen sowohl auf politischer als auch wirtschaftlicher Seite bereits bedeutende Akzente und klare Bekenntnisse zu Wasserstoff als Zukunftstechnologie und den damit verbundenen Chancen für den Wirtschaftsstandort. Auf EU-Ebene erfolgt im Rahmen der „Fit for 55“ Initiative die Novellierung und Anpassung bestehender Rechtsakte, welche EU-weit ein einheitliches Rahmenwerk zur Erreichung des European Green Deal verwirklichen soll. Im Hinblick auf die Ausweitung von Wasserstofftechnologien ist dabei die unter anderem die Überarbeitung des dritten Energiepakets für Gas⁹ von Relevanz. Eine immer größer werdende Anzahl an österreichischen Unternehmen integriert Wasserstoff in ihre Geschäftsaktivitäten, wobei internationale Leitbetriebe eine gewichtige Rolle einnehmen und als Vorreiter für den Wirtschaftsstandort Österreich agieren. Sie setzen heute schon volkswirtschaftlich wichtige Impulse und fördern somit Wertschöpfung und Beschäftigung.

Die gegenständliche Studie befasst sich demnach mit den gegenwärtigen und auch zukünftigen Chancen und positiven volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer Forcierung von Wasserstofftechnologien in Österreich. Zur kontextualen Einbettung der Ergebnisse werden die möglichen Dimensionen der Technologie skizziert, die Evaluierung der tatsächlichen Verfügbarkeit und Machbarkeit eines weitläufigen Wasserstoffsystems ist jedoch nicht Teil und Zweck der vorliegenden Studie. Der Fokus wird hingegen auf die heimische Unternehmenssubstanz gelegt; ihren Aktivitäten und Impulsen im Bereich dieser Technologie, ihrer Strukturprofile sowie ihrer volkswirtschaftlichen Effekte in Österreich.

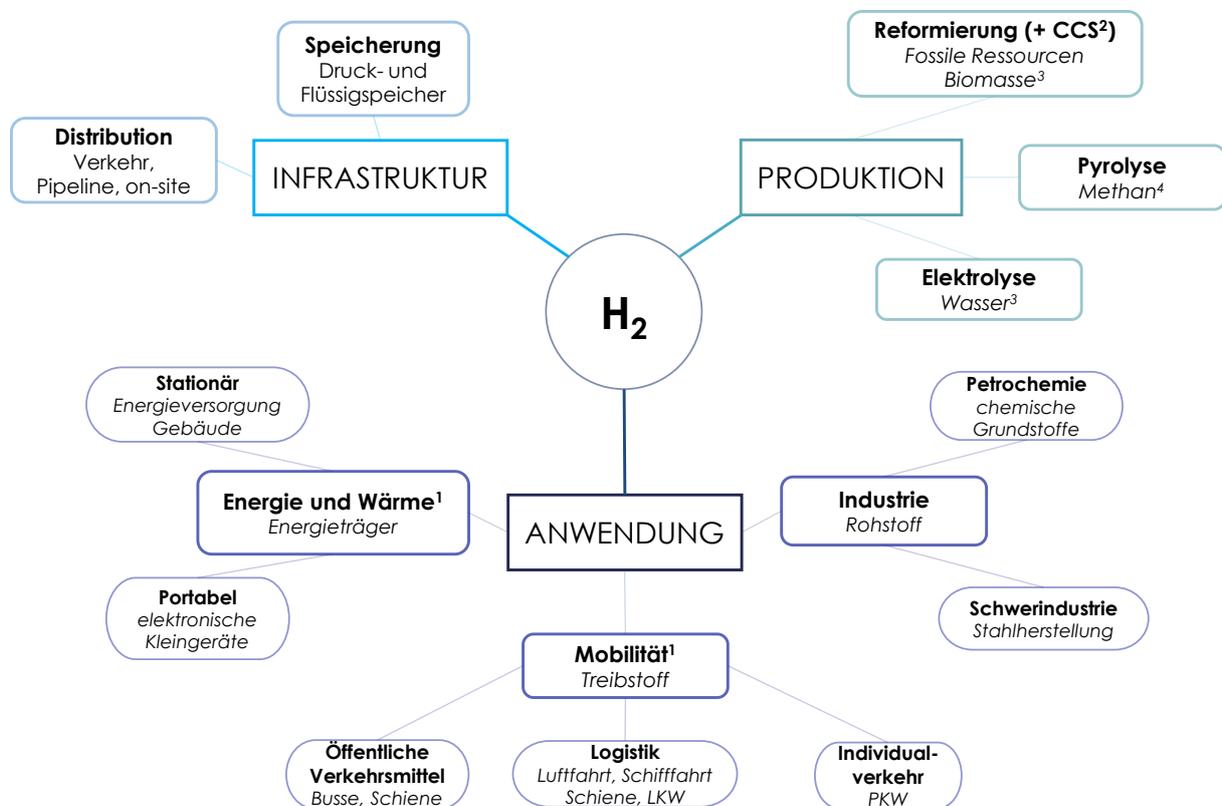
⁷ Science | Business Reporting (2020)
⁸ IHS Markit (2020)
⁹ Directive 2009/73/EU and Regulation 715/2009/EU

2 Bereiche der Wasserstoffwirtschaft

Wasserstoff ist das leichteste Element des Periodensystems, da es nur ein Elektron in der Hülle besitzt. Bei Normaltemperatur ist es ein farb- und geschmacksloses Gas, das nur wenig löslich in Wasser ist. Zudem ist es eines jener Elemente, die am häufigsten auf der Erde vorkommen und durch jeweilige Kernfusionsprozesse ein Ausgangsmaterial für alle anderen Elemente (Rühle und Geitmann 2005).

Wie bereits eingangs erwähnt beinhalten Wasserstofftechnologien das Potenzial der Integration über die gesamte Wertschöpfungskette. Während existierende Kategorisierungen sich häufig auf die Anwendungsbereiche von Wasserstoff beschränken, wie zum Beispiel eine Unterteilung in stationäre, mobile und portable Anwendungen, erscheint es für eine integrierte Betrachtung sinnvoll eine Einteilung in die Dimensionen Wasserstoffproduktion, -infrastruktur und -anwendung vorzunehmen (siehe Abb. 1).

Abb. 1: Bereiche der Wasserstoffwirtschaft



Anm.: ¹ Anwendung unter Einsatz von Brennstoffzellentechnologien; ²CCS= Carbon Capture and Storage, Umwelttechnologien zur sofortigen Bindung von Emissionen durch Dampfreformierung ermöglichen neutrale Klimabilanz -> „blauer“ Wasserstoff; ³ad Biomasse: biologische Bindung von Kohlenstoffdioxid ermöglicht neutrale Klimabilanz, ad Wasser: Emissionen entsprechen Stromerzeugung, bei erneuerbaren Energien Erzeugung emissionsfrei, „grüner“ Wasserstoff; ⁴ Die Pyrolyse von Methan ermöglicht ebenso eine klimaneutrale Produktion von Wasserstoff

Quelle: Eigene Darstellung (IWI 2020)

Industriell gewinnt Wasserstoff an Bedeutung, da er selbst nicht treibhauswirksam ist und unter Anwendung erneuerbarer Energien potentiell klimaneutral erzeugt werden kann. Entscheidend für die Treibhausgasbilanz ist demnach, wie der Wasserstoff in seiner reinen und elementaren Form gewonnen wird, um ihn als Rohstoff verwenden zu können (Rühle und Geitmann 2005).

Daher bietet sich auch im Falle der vielfältigen Anwendung von Wasserstofftechnologien eine erweiterte Kategorisierung in die klimarelevanten Bereiche Energie und Wärme, Mobilität und Industrie an. Wasserstoff eignet sich hierbei unter anderem als Rohstoff, zur Speicherung von Energie und als Kraftstoff für Schwertransporte. Bereits heute bestehen diverse Projekte zu Demonstrations- sowie Pilotanlagen, wobei österreichische Unternehmen entscheidend vertreten sind.

2.1 Produktion von Wasserstoff

Die Erzeugung von Wasserstoff per se ist verfahrenstechnisch schon lange etabliert und wirtschaftlich bedeutend. Entscheidend für die Klimabilanz sind hierbei vorrangig die zur Gewinnung eingesetzten Ressourcen, aber auch die dabei genutzten Energiequellen. Nachfolgend werden die zum heutigen Stand der Technik gängigsten Verfahren auf Basis dieser Parameter überblicksmäßig vorgestellt (Tab. 1). Dabei werden diese vor allem unter dem Gesichtspunkt der Klimabilanz beschrieben und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit sämtlicher potentiell verfügbarer Verfahren, welche sich noch im Entwicklungsstadium befinden.

Tab. 1: Verfahren zur Wasserstofferzeugung nach Wasserstoff- und Energiequellen

		Reaktionsenergie		
		thermisch	elektrisch	biologisch
Wasserstoffquellen	Wasser	Thermische Dissoziation, Metalloxide	Elektrolyse	
	Biomasse	Dampfreformierung, Biomassevergasung		Fermentation, Photosynthese
	fossile Kohlenwasserstoffe	Dampfreformierung; partielle Oxidation, Kohlevergasung, Kväerner-Verfahren, Methanpyrolyse		

Anm.: Die Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit sondern dient der Veranschaulichung der Parameter Wasserstoff- und Energiequellen im Hinblick auf deren Klimarelevanz

Quelle: Eigene Darstellung nach Jordan 2008

Thermische Energiequellen

Der Großteil der gängigen Verfahren gewinnt Wasserstoff aus unterschiedlichen Quellen unter dem Einsatz von thermischer Energie. Den thermischen Verfahren zur Wasserstofferzeugung gemein ist ein hoher Energiebedarf aufgrund der notwendigen Temperaturen und es entstehen häufig Treibhausgasemissionen im Zuge des Verfahrens. Häufig wird der so gewonnene Wasserstoff daher im Vergleich zu grünen Alternativen als „grauer“ Wasserstoff bezeichnet.

Wird das während des Verfahrens entstehende Kohlendioxid durch entsprechende Technologien gebunden, ist eine bilanziell klimaneutrale, jedoch nicht emissionsfreie Produktion möglich. Da dies nicht mit „grünem“ Wasserstoff gleichzusetzen ist, wird so erzeugter Wasserstoff als „blauer“ Wasserstoff bezeichnet.

Der thermisch und generell relevanteste Prozess ist die Dampfreformierung, bei welcher Kohlenwasserstoffe oder Alkohole, zumeist fossilen Ursprungs aber auch aus Biomasse, mit Wasserdampf bei etwa 800 °C reagieren. Der verbliebene Kohlenstoff bildet mit Sauerstoff große Mengen Kohlendioxid und verursacht somit hohe Emissionen (Jordan 2008).

Ebenso als Wasserstoffquelle eignet sich Kohle, welche bei der Kohlevergasung als glühendes Koks mit Wasserdampf bei 1200 °C reagiert. Auch hier werden große Mengen CO₂ frei (Jordan 2008). Auch Wasser selbst lässt sich unter sehr hohen Temperaturen in Wasser- und Sauerstoff spalten. Die dafür notwendigen Temperaturen liegen im Bereich von 1.700 °C (Jordan 2008).

Ein weiteres thermisches Herstellungsverfahren stellt die Pyrolyse von Methan dar, bei deren Reaktion jedoch im Gegensatz zur Reformierung kein Kohlendioxid und damit kein klimaschädliches Gas entsteht. Bei der Methanpyrolyse kommt es zur chemischen Spaltung von Methan (CH₄) in seine Bestandteile Kohlenstoff und Wasserstoff, wobei ersterer am Ende in fester Form als Grafit gebunden vorliegt und somit nicht weiter mit Sauerstoff zur Bildung von Treibhausgasen beiträgt. Somit ist mit diesem Verfahren prinzipiell ein weiterer klimaneutraler Produktionspfad von Wasserstoff gegeben, vorausgesetzt die für den Prozess aufgebrauchte thermische Energie stammt aus erneuerbaren Quellen. Auf dem Weg zur Marktreife im industriellen Maßstab erfolgen zum jetzigen Zeitpunkt Untersuchungen der Technologie in Demonstrations- und Pilotanlagen (Bünger 2020). Aufgrund des theoretischen Potentials zur Diversifizierung von Produktionsquellen für grünen Wasserstoff hat unter anderem die Bundesregierung des Nachbarlandes Deutschland die Erschließung der Methanpyrolyse im industriellen Maßstab als Teil ihrer Wasserstoffstrategie integriert und fördert aktiv deren Forschung und Entwicklung. So wird ein entsprechendes Projekt der BASF in der Höhe von 8,7 Mio. EUR gefördert (FONA 2020).

Exkurs: Beispiele österreichischer Unternehmen in der Produktion von Wasserstoff

Fronius

Fronius bietet Systemlösungen zur Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Rückverstromung von solarem Wasserstoff. Die „Solhub“ Anlagen werden individuell geplant und errichtet (Fronius Solhub o.D.).

RAG Austria AG

Die RAG Austria AG widmet sich in dem 7,73 Millionen Euro (davon 4,92 Millionen Förderung durch Klima- und Energiefonds) Forschungsprojekt Underground Sun.Conversion dem Thema Wasserstoff und dessen Rolle als Energiespeicher zur Steigerung der Flexibilität und Stabilität von erneuerbaren Energiesystemen. Gemeinsam mit den Projektpartnern¹⁰ entwickelt die RAG Austria AG dabei die unterirdische, durch Mikroorganismen durchgeführte Herstellung von Methan aus zuvor erzeugtem Wasserstoff und Kohlendioxid. Dadurch lässt sich die Speicherung und Nutzung der emissionsfrei erzeugten Energie aufgrund erhöhter Energiedichte und der Möglichkeit zur Nutzung vorhandener Infrastruktur weiter deutlich verbessern (Underground Sun Conversion o.D.)

H2Future; Voestalpine, Verbund, Siemens, Austrian Power Grid, K1-Met und TNO

Erzeugt wird „grüner“ Wasserstoff aus erneuerbaren Energien mittels Elektrolyse. Sonne und Wind können als Energiequellen in den Prozess integriert werden. 2019 wurde die zurzeit weltweit größte Pilotanlage zur emissionsfreien Herstellung von Wasserstoff in Betrieb genommen. Mittels des EU-geförderten Projekts „H2Future“ untersuchen Voestalpine, Verbund, Siemens, Austrian Power, Grid, K1-Met und TNO die Produktion von emissionsfreiem Wasserstoff (H2Future 2019).

¹⁰ Montanuniversität Leoben, die Universität für Bodenkultur Wien (Department IFA Tulln), die acib GmbH (Austrian Centre of Industrial Biotechnology), das Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz sowie die Axiom Angewandte Prozesstechnik GmbH

Elektrische Energiequellen

Wird Wasserstoff unter der Nutzung elektrischer Energie gewonnen, wie es bei dem Vorgang der Elektrolyse stattfindet, so wird die Klimabilanz des so gewonnenen Wasserstoffes durch die Klimabilanz des dabei verwendeten Stroms bestimmt. Unter Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energiequellen, wie Sonnen-, Wind- und Wasserkraft, ist die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse vollständig emissionsfrei und kann somit als „grüner“ Wasserstoff bezeichnet werden (Jordan 2008).

Exkurs: Einflussfaktoren einer forcierten Wasserstoffproduktion unter Einsatz erneuerbare Energiequellen

Ungeachtet der Potentiale von „grünem“ Wasserstoff zur Dekarbonisierung einer Vielzahl von Anwendungsbereichen, ist jedwede indirekte Nutzung erneuerbaren Stroms mit dem Problem der **Umwandlungsverluste** konfrontiert. Ein Vergleich verschiedenster Substitutionswege von fossilen Energieträgern zeigt, dass das Substitutionsverhältnis der notwendigen Energie bei der direktelektrischen oder stofflichen Wasserstoffproduktion geringer ausfällt als bei einer vergleichbaren Anwendung von Wärmepumpen oder in der E-Mobilität (Umweltbundesamt Deutschland 2021). Somit leistet die Substitution der direkten Nutzung erneuerbaren Stroms durch indirektere Alternativen wie „grünem“ Wasserstoff nur dann einen effektiven Beitrag zur Dekarbonisierung, wenn sie elektrische Systeme dort ersetzen, wo ihre Anwendung aufgrund der technischen Einschränkungen nicht zielführend ist, wie etwa im Falle von Schwertransporten.

Eine weitere wesentliche Determinante einer wirtschaftlichen Wasserstoffproduktion mittels Elektrolyse ist durch die **Stromkosten** gegeben. Zum jetzigen Zeitpunkt betragen die Aufwendungen für die eingesetzte Elektrizität in etwa 60-70% der variablen Kosten des Produktionsprozesses. Die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit ist daher eng verknüpft mit der Entwicklung der Stromgestehungskosten und der Steigerung von Aufwendungen für CO₂. Als Kippunkt wurde im Laufe einer Studie der PwC ein Preis von unter 20 USD je Megawattstunde definiert. Zusätzlich gehen die Autoren der Studie davon aus, dass Industrienationen wie Deutschland, Frankreich oder Japan in dem entstehenden globalen Markt für Wasserstoff aufgrund der im weltweiten Wettbewerb geringeren Kapazitäten für erneuerbare Energien langfristig als Nettoimporteure agieren werden müssen (PwC 2021). Auch Österreich ist durch seine Standortbedingungen ähnlich begrenzt, weshalb auch hierzulande langfristig von einem Nettoimport auszugehen ist.

Bis zu welchem Grad der entstehende Bedarf durch die Erschließung verfügbarer Potentiale erneuerbaren Stroms autark gedeckt werden kann, wird durch den langfristig etablierten Technologie-Mix maßgeblich beeinflusst. In einer Modellrechnung des Instituts für Industrielle Ökologie konnte gezeigt werden, dass ein Ausstieg aus der Verwendung fossiler Energieträger in der chemischen Industrie, in welcher fossiler Energieträger sowohl als Rohstoff als auch als Brennstoff eingesetzt werden, den Energiebedarf gegenüber dem aktuellen Niveau vervierfachen würde (Windsperger 2018). Die Zusammensetzung eines nationalen Technologie-Mix zur Dekarbonisierung des Energiesystems muss demnach auch anhand damit verbundener, **sich verändernden Energie- und Rohstoffbedarfe** gedacht werden. Daraus ergibt sich eine weitere einzubeziehende Determinante für die strategische Integration von Wasserstofftechnologien in das heimische Wirtschaftsgefüge.

Biologische Energiequellen

Da Biomasse zu großen Teilen aus Kohlenwasserstoffen besteht, eignet sie sich ebenso als Wasserstoffquelle. Dabei ist es möglich Wasserstoff in Bioreaktoren durch Fermentation oder gezielte photosynthetische Aktivität allein durch biologische Prozesse zu gewinnen. Zwar entsteht auch hierbei Kohlendioxid als treibhauswirksames Nebenprodukt, jedoch wird dieses ebenso von der Biomasse im Laufe ihres Lebenszyklus gebunden. Die netto-Emissionen ergeben demnach eine Klimaneutralität (Jordan 2008).

2.2 Infrastruktur für Wasserstoff

Um den erzeugten Wasserstoff bei zentraler Erzeugung an seinen späteren Einsatzort zu transportieren zu können, ist eine Form der Speicherung notwendig, welche das Volumen auf ein effizientes Maß reduziert. Entsprechende Speichermöglichkeiten sind durch Verdichtung, Verflüssigung oder chemisch-physikalische Speicherung gegeben. Anschließend ist der Wasserstoff transportfähig und kann durch Pipelines oder Verkehrsmittel verteilt werden. Es existieren ebenso Systeme zur dezentralen Wasserstoffherzeugung, welche die Erzeugung und Nutzung direkt am Anwendungsort ermöglichen und damit helfen, notwendige Investitionen in vorgelagerte Verteilungsnetzwerke einzusparen.

Komprimierter gasförmiger Wasserstoff (GH₂)

Die Verdichtung beziehungsweise Kompression von Wasserstoff zur Lagerung in Druckbehältern als hochverdichtetes Wasserstoffgas ist die am häufigsten genutzte Form der Speicherung. Diese Form der Lagerung eignet sich in Fällen keiner oder geringer Transportwege, da die Verdichtung zwar die kosten- und energieeffizienteste Vorbehandlung zur Lagerung darstellt, jedoch mit hohen Transportkosten verbunden ist, aufgrund ungünstiger Transportbedingungen hinsichtlich des Gewichts der Hochdruckbehälter und einer geringen Speicherdichte (Geitmann 2004).

Liegt der Wasserstoff gasförmig vor, so ist prinzipiell aus technischer Sicht, z. B. in Bezug auf die Verträglichkeit der Rohrleitungen, eine Einspeisung in bestehende Gasnetze denkbar und bietet Vorteile für die schnellere und kostengünstigere Dekarbonisierung des Energiewesens (Bünger 2020). Daher stellt die Beimischung in bestehende Infrastruktur einen wichtigen potentiellen Schritt für den Übergang zu langfristig vollständigen klimaneutralen Gasnetzen dar. Studien des Deutschen Verein des Gas- und Wasserfachs (DVGW) zu Folge ist eine Wasserstoffverträglichkeit auch bei einer Einspeisungskonzentration von 20 Prozent in naher Zukunft gegeben (DVGW 2020). Dennoch bestehen abseits der technischen Umsetzbarkeit systemische Barrieren, welche ein solches Vorhaben erschweren bzw. Investitionen in die Umstellung entlang der gesamten Wertschöpfungskette erfordern. So besteht unter anderem eine dieser systemischen Hürden in der Heterogenität der Ansprüche der unterschiedlichen Endverbraucher. Daher muss für die Nutzung bestehender Transportleitungen mit Wasserstoffeinspeisung eine Umrüstung und Koordinierung der Endgeräte erfolgen, deren Betrieb durch eine stabil gehaltene Einspeisungskonzentration gewährleistet ist. Um bei eben jener Konzentration Fluktuationen zu minimieren sind Zwischenspeicher notwendig, um Produktionsschwankungen abzufedern. Hinsichtlich des Betriebes von Erdgastankstellen ist deren Versorgung mit durchmischtem Gas zwar möglich, aber mit einem zusätzlichen Kostenaufwand für die nachgelagerte Abscheidung verbunden. Demgegenüber ist auch der Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen nur durch Gasreinheit wirtschaftlich sinnvoll. Auf internationaler Ebene ist die Einspeisung in das grenzüberschreitende Gasnetz nicht einheitlich reguliert, wodurch die Konzentration und Versorgungssicherheit nicht gegeben ist (Bünger 2020).

Flüssigwasserstoff (LH₂)

Eine weitere Möglichkeit und eine volumetrisch günstigere Variante hinsichtlich der Speicherdichte stellt die Verflüssigung dar. Dabei wird das Wasserstoffgas durch drastische Abkühlung in seinen flüssigen Aggregatzustand überführt. Durch die Verflüssigung und die damit verbundene Volumensreduktion werden die Lagerung und der Transport ähnlich wie bei anderen Gasen, wie etwa Stickstoff, vereinfacht. Andererseits bedingt die Notwendigkeit der konstanten Temperaturregulierung die Lagerung in entsprechend konzipierten Kältebehältern und die Verflüssigung ist energieintensiver im Vergleich zur Kompression. Durch die erhöhte Transporteffizienz amortisiert sich dieser Mehraufwand jedoch in den meisten Fällen (Geitmann 2004).

Exkurs: Beispiele österreichischer Unternehmen im Bereich Wasserstoff-Infrastruktur

Linde Gas

Linde Gas ist sowohl im Bereich der Distribution von Wasserstoff sowohl im Feld der Verdichtungsverfahren wie Kompression und Verflüssigung tätig, als auch der Wasserstofftankstellen sowie Behältertechnologien für den Transport. Dabei hat das Unternehmen zwei selbst entwickelte und patentierte Technologien im Einsatz: den ionischen Verdichter und die Kryopumpe von Linde (Linde Gas o.D.) In Kooperation mit OMV betreibt Linde Gas die seit 2012 die ersten öffentlichen Wasserstofftankstellen in Österreich. (OMV o.D.)

Worthington Industries

Der amerikanische Stahlflaschenkonzern Worthington Industries kündigte 2019 an, seine Niederlassung im niederösterreichischen Kienberg mit Investitionen in Höhe von 7,25 Millionen Euro auszubauen. Im selben Jahr begann der Bau eines neuen Wasserstoffwerks, womit die Produktion von Wasserstoff-Kraftstofftanks für Pkw, Transitfahrzeug- oder Flottenfahrzeuganwendungen weiter wachsen konnte. Neben Hochdruckstahlbehälter werden auch Hochdruck-Composite-Behälter produziert, die v.a. als Tanks für Wasserstoff und Erdgas verwendet werden (NÖN 2019).

OSOD H2 Generator; Rouge H2 Engineering, TU Graz¹¹

Mit dem Projekt OnSite OnDemand (OSOD) setzt sich das Start-up in Kooperation mit der TU Graz die marktreife Anwendung eines Systems zur dezentralen Wasserstofferzeugung und Speicherung zum Ziel. Dabei fußt die Funktionsweise der errichteten Prototypenanlage auf dem Prinzip des chemical looping Verfahrens, in welchem der erzeugte Wasserstoff zur späteren Verwendung und risikominimierten Lagerung in Metallhydriden gespeichert wird.

Festkörperspeicherung

Eine weitere günstige Variante hinsichtlich der erreichten Speicherdichte ist durch die physikalische oder chemische Bindung an Speichermedien gegeben. Zusätzlich von Vorteil ist hierbei eine Lagerung ohne sicherheitstechnisch risikoreiche Parameter wie extreme Temperaturen oder Drücke. Metalle bieten sich aufgrund ihrer Gitterstruktur besonders an, um Wasserstoff im Zuge einer unter Druck stattfindenden chemischen Festkörperreaktion zu speichern, bei welcher Wärme freigesetzt wird.

¹¹ FFG (2021)

Die so erzeugten Metallhydride können durch Drucksenkung oder Wärmezufuhr den gespeicherten Wasserstoff wieder freigeben; ein Vorgang der ohne relevante Verluste wiederholt werden kann, jedoch hohe Anforderungen an die Regulierungstechnik zum Management des thermischen Zustandes stellt (Geitmann 2004).

2.3 Anwendungen von Wasserstoff

Die Verwendung von Wasserstoff ist vielseitig, da er viele Anforderungen der Technik, Wissenschaft und Industrie erfüllt. Am bekanntesten ist der Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff und Rohstoff der Schwerindustrie, er gewinnt jedoch auch an Bedeutung in der Energiegewinnung. In einer Bandbreite von Brennstoffzellen unterschiedlichen Typus und Einsatzgebiet wird Wasserstoff als Brennstoff verwendet (Geitmann 2004).

Wasserstoff als Brennstoff in Brennstoffzellen

Brennstoffzellen sind elektrochemische Zellen, die die Reaktionsenergie unter Beigabe eines Brennstoffes und einem Oxidationsmittel in eine verwendbare elektrische Energie umwandeln. Es findet also eine Umwandlung von chemischer in elektrische Energie statt. Als Brennstoff können hier Wasserstoffe oder Kohlenwasserstoffe dienen, als Oxidationsmittel Sauerstoff. Da Wasserstoff von sich aus mit Sauerstoff reagiert, braucht es keine externe Energiezufuhr, sondern es kommt sogar zu einer Energieabgabe (Geitmann, 2004). Eine Brennstoffzelle besteht aus zwei Elektroden, der Kathode, der Anode und einem Elektrolyten, welche die beiden Elektroden trennt. Die Klassifizierung verschiedener Brennstoffzellen erfolgt nach Elektrolytart. In der nachfolgenden Tabelle werden die unterschiedlichen Brennstoffzellen dargestellt (Jordan, 2008):

Tab. 2: Arten von Brennstoffzellen

		Elektrolyt	Arbeitstemperatur	Elektrischer Wirkungsgrad	Anwendungsbereich
Alkalische Brennstoffzelle	AFC	Kalilauge	RT bis 90°C	60-70%	Militär, Raumfahrt
Membranbrennstoffzelle	PEMFC	Protonleitende Membran	RT bis 80°C	40-60%	Automobil, Raumfahrt, portable Energieversorgung
Phosphorsäure Brennstoffzelle	PAFC	Phosphorsäure	160-220°C	55%	Stationäre Energieversorgung (thermisch, elektrisch)
Karbonatschmelzen Brennstoffzelle	MCFC	Alkalicarbonatschmelzen	620-660°C	65%	Stationäre Energieversorgung (thermisch, elektrisch)
Oxidkeramische Brennstoffzelle	SOFC	Yttriumstabilisiertes Zirkonoxid	800-1000°C	60-65%	Stationäre Energieversorgung (thermisch, elektrisch)

Quelle: adaptiert nach Jordan 2008, S.52

2.3.1 Wasserstoff im Bereich Energie und Wärme

Wasserstoff ist ein sekundärer Energieträger, da er erst unter Primärenergieeinsatz erzeugt werden muss. Demnach ist seine Klimabilanz abhängig von der Erzeugungsmethode. Durch „grünen“ Wasserstoff ist der klimaneutrale stationäre Einsatz zur Strom- und Abwärmeerzeugung sowie zur Energieversorgung portabler elektronischer Kleingeräte möglich (Winter und Nitsch, 2013).

Stationäre thermische und elektrische Energieversorgung

Im Bereich der dezentralen Energieversorgung eignet sich der Einsatz von Brennstoffzellen ebenso gut wie fossile Systeme. Diese ermöglichen in Form von stationären Wasserstoffmotoren in Kombination mit Wärmepumpen einen flexiblen Einsatz zur Erzeugung und Nutzung thermischer und elektrischer Energie, zwischen welchen nach Bedarf gewechselt werden kann. Unter Anwendung entsprechender Wärmeabsorptionssysteme steht auch die verwendete Primärenergie zur Wasserstoffherstellung vollständig als Nutzwärme zur Verfügung. Dabei eignet sich Wasserstoff zusätzlich zur Speicherung elektrischer Energie auch zur Speicherung und Freisetzung von Wärmeenergie in Form von Metallhydriden (Winter und Nitsch, 2013).

Zusätzlich zu einer rein zentralen oder dezentralen Stromerzeugung können Brennstoffzellen zur Strom- und Abwärmeerzeugung in zwei wesentliche Anlagentypen hinsichtlich ihrer Größe unterteilt werden: das Blockheizkraftwerk für Großanwendungen zur Wärme-Kraft-Kopplung mit einer elektrischen Leistung von 200kW bis hin zu MW oder als Hausenergiezentrale zur Anwendung in der Einzelstromerzeugung z.B. für Wohnhäusern (elektrische Leistung von 1 bis 5 kW) (Jordan 2008).

Exkurs:

Beispiele österreichischer Unternehmen im Anwendungsbereich Energie und Wärme

„Vitovalor“ Brennstoffzellen-Heizgeräte; Viessmann

Das österreichische Unternehmen stellt Brennstoffzellen Heizgeräte her, welche Wärme- und Stromerzeugung vereinen. Die Produktreihe „Vitovalor“ vereint die Modelle PA2 und PT2. Alle erzeugen neben Strom auch Wärme, welche zum Heizen und für Warmwasser verwendet werden kann. Geeignet sind die Heizgeräte für Ein- und Zweifamilienhäuser (Viessmann, o. D.)

Proton-Motor: Brennstoffzellen-Systeme

Ziel ist die Schaffung und Weiterentwicklung nachhaltiger Energielösungen. Die Firma entwickelt eigene Brennstoffzellen und kombiniert sie mit individuellen Elementen zu Brennstoffzellen und Hybrid-systemen. Anwendung finden die Brennstoffzellensysteme beispielsweise in Notstrom-Anwendungen, oder als Netzersatzanlage (Proton-Motor o.D.).

Vaillant: Brennstoffzellenheizung

In oxidkeramischen Brennstoffzellen wird Erdgas in Kohlendioxid und Wasserstoff gespalten. Der Gesamtwirkungsgrad liegt aktuell bei über 90%. Die Tauglichkeit der Brennstoffanlagen wurde bereits in einigen Privathaushalten mittels des Praxistests Callux überprüft. Der Test läuft bereits seit 2011 und wird von Partnern der Energiewirtschaft unterstützt (Vaillant o.D.).

Die Umrüstung bestehender Endgeräte zur Strom- und Wärmeerzeugung auf Wasserstoff betriebene Systeme ist auch im Zuge einer sukzessiven Umstellung der Gasnetze eine vergleichsweise kostengünstige und langfristig schnell umsetzbare Maßnahme zur Dekarbonisierung des Gebäudebestandes, sofern die Hürden einer konstanten Versorgung über bestehende Rohrleitungen genommen werden können (DVGW 2020).

Portable Anwendungen in elektronischen Kleingeräten

Brennstoffzellen können auch bei Kleingeräten wie Kameras, Telefonen und Laptops verwendet werden. Die Vorteile gegenüber konventionellen Akkus und Batterien sind eine höhere Betriebszeit und gute Wirkungsgrade, trotz hoher Kosten der Brennstoffzellen (Eichseder & Klell 2010). Batterien entladen irgendwann, während Brennstoffzellen so lange funktionieren, wie ihnen Brennstoff zugeführt wird (Jordan 2008). Im Jahr 2002 präsentierte das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE in Kooperation mit dem koreanischen Betrieb LG den ersten, von einem Brennstoffzellensystem, betriebenen Laptop (Jordan 2008). Panasonic entwickelte 2006 ein Notebook mit einem Brennstoffzellensystem (Eichseder & Klell 2010).

2.3.2 Wasserstoff im Bereich Mobilität

Der Anwendungsbereich Mobilität ist von großer Bedeutung und steht oft im Fokus, wenn es zu der Anwendung von Brennstoffzellen als Antriebssystem für Motoren kommt. Die Anwendungen von Brennstoffzellen in Wasserstoffmotoren umfassen unter anderem Personenkraftwagen, Busse, Lastkraftwagen, Schifffahrt sowie Luft- und Raumfahrt (Jordan 2008).

Exkurs: Wasserstoffmotor

Ein Wasserstoffmotor basiert auf den gleichen Prinzipien wie ein konventioneller Verbrennungsmotor, jedoch muss das Brennverfahren und Gemischbildungssystem angepasst werden (Eichseder & Klell, 2010). Bei einem konventionellen Motor wird das Gemisch aus Luft und Kraftstoff solange verdichtet, bis es zu einer Selbstentzündung bei etwa 250°C kommt. Wasserstoff zündet jedoch erst bei 560°C, weshalb dieses Verfahren ungeeignet ist. Um den Wasserstoff für die Verwendung aufzubereiten, gibt es zwei Möglichkeiten (Geitmann 2004):

Äußere Gemischbildung: Gasförmiger Wasserstoff wird bei geringem Überdruck in ein Ansaugrohr geblasen. Bevor es den Verbrennungsraum erreicht, wird es mit Luft vermischt und nach dem Verschließen der Ventile mittels einer Zündkerze entzündet. Die Verbrennungstemperatur wird sehr niedrig gehalten, was das Rückzündrisiko verringert, jedoch auch zu einer geringeren Motorleistung, im Vergleich zu Benzin- und Dieselmotoren, führt (Geitmann 2004).

Innere Gemischbildung: Bei einem Druck zwischen 80 und 120bar wird Wasserstoff direkt in den Brennraum geblasen, in welchem es sich mit Sauerstoff vermischt und mittels einer Zündkerze entzündet wird. Die Motorleistung ist bei diesem Verfahren gleichzusetzen mit einem Dieselmotor, jedoch ist der technische Aufwand hoch (Geitmann 2004).

1) Personenkraftwagen

Bei der Brennstoffzellenverwendung in Kraftfahrzeugen wird zwischen zwei Varianten unterschieden. Das Fahrzeug kann durch einen direkten elektrischen Antrieb des Elektromotors, oder durch einen Hybridantrieb bewegt werden. Bei ersterem wird Strom verwendet, welchen die Brennstoffzelle produziert. Das Hybridfahrzeug besitzt zusätzlich Batterien, welche als Energiespeicher genutzt werden.

Die Batterien werden bei Niedriglast-Phasen aufgeladen und können diese Energie bei Bedarf wieder abgeben (Geitmann 2004). Im Bereich des Individualverkehrs hat sich aufgrund der Vorteile batterieelektrischer Systeme in der Größenordnung von Personenkraftwagen bisher nicht durchgesetzt.

2) Busse und Lastkraftwagen

Unter Verwendung von Brennstoffzellen wird die Schadstoffbelastung stark eingedämmt. Weiter verursachen Busse mit Brennstoffzelleneinsatz weniger Lärm. Seit dem Sommer 2011 gab es in Deutschland Brennstoffzellenbusse („SauberBus“). Die ersten Brennstoffzellen Gelenkbusse in Deutschland wurden 2019 in Betrieb genommen (infoportal.mobil.nrw 2020). Brennstoffzellensysteme in Bussen eignen sich ebenso für Lastkraftwagen. Da diese aufgrund ihres Gewichts aber auch der häufig hohen Reichweiten im Transitverkehr nicht batterieelektrisch betrieben werden können, eignet sich hier die Anwendung von Brennstoffzellen (Geitmann 2004).

Exkurs: Beispiele österreichischer Unternehmen im Anwendungsbereich Mobilität

Elringklinger: Brennstoffzellen für PKWs

Die Firma Elringklinger bietet als eine der wenigen technologische Komponenten für alle Antriebsarten, darunter auch Elektromotoren und deren Brennstoffzellensysteme (Elringklinger o.D.).

Rosenbauer u.a.: Projekt „HyTruck“

Ziel des Projekts ist eine emissionsfreie, brennstoffzellenbasierte Lösung für den Nutzfahrzeugmarkt. Der Zeitrahmen des Projekts ist zwischen 2019 und 2020 angesiedelt (HyTruck o.D.).

ÖBB: Wasserstoff Hybridvershublok

Die Österreichische Bundesbahn hat gemeinsam mit den Firmen TecSol und HET an zwei Prototypen einer E-Hybridvershublok gearbeitet. Mittels dieser könnten nicht nur Lärm und Emissionen deutlich reduziert werden, sondern ebenfalls die Kosten für die verbrauchte Energie und Wartung der Züge. Zum Vergleich, der Energieverbrauch von Dieselloks ist etwa dreimal höher und die Wartung viermal so teuer, als bei Elektrolokomotiven. 2015 wurde mit der Entwicklung des Prototyps begonnen, 2017 wurde die Produktion in Auftrag gegeben (ÖBB o.D.).

Wiener Stadtwerke: Wasserstoffbus

Ab 4. Juni beginnt die Testfahrt des Wasserstoff-Busses in Wien auf der Linie 39A. Ab 2023 sollen insgesamt zehn Wasserstoff-Busse zur Verfügung gestellt werden (wien.gv.at 2020).

Rotax: Emissionsfreies Schneefahrzeug

Die Firma Rotax präsentierte 2020 das erste emissionsfreie Schneefahrzeug, den „Lynx HySnow“. Dieser besitzt einen Elektroantrieb, welcher mit Wasserstoff-Brennstoffzellen angetrieben wird. Dadurch ist das Fahrzeug nachhaltiger, geräuschlos und erreicht höhere Reichweiten sowie eine schnellere Beschleunigung, als herkömmliche Schneefahrzeuge (Rotax 2020).

3) Schifffahrt

Das erste brennstoffzellenbetriebene Unterseeboot stach im April 2003 ins Meer. Die Versorgung mit Wasserstoff erfolgte über Metallhydridspeicher. Die österreichischen Unternehmen Bitter, Frauscher und Fronius stellten 2009 ein Elektroboot mit Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb vor (Eichlseder und Klell 2010). Jedoch ist die Leistung für den Antrieb der Schiffe zu gering und im Vergleich zum herkömmlichen Schweröl zu teuer. Dass die umweltfreundliche Variante möglich wäre, zeigten allerdings neueste Forschungsergebnisse einer Studie durch Papenburger Meyer Werft und ThyssenKrupp Marine Systems. Diese konnten zeigen, dass die Brennstoffzellen Vorteile erweisen, wenn auch bisher nur beim Betrieb elektrischer Systeme an Bord. Durch die Verwendung der Brennstoffzellen muss kein Diesel mehr verwendet werden, um die Klimaanlage und Licht zu benutzen, wodurch weniger Schadstoffe entstehen (Schmid 2016).

4) Schienenverkehr

Wasserstofftechnologien im Schienenverkehr bieten die Möglichkeit einer sauberen Alternative zu immer noch vorherrschenden Diesel-basierten Systemen. Ebenso im Vergleich zu Oberleitungen oder batteriebetriebenen Systemen ist die Brennstoffzellentechnologie konkurrenzfähig, vor allem bei einer Strecke von mehr als 100km, ab welcher die Vorteile gegenüber batterieelektrischen Lösungen, wie schnellere Ladezeiten und höhere Reichweite, zu Tage treten (Ruf et al. 2019).

5) Luftfahrt

Flüssiger Wasserstoff könnte als Treibstoff für Flugzeuge verwendet werden, welche dadurch wesentlich weniger Emissionen produzieren. Der Kerosin-Verbrauch eines Groß-Flugzeuges beträgt aktuell etwa 4-20 Tonnen in einer Flugstunde. Die Verwendung von Wasserstoff würde die Emissionen reduzieren, jedoch auch zu einer Erhöhung der Nutzlast des Flugzeuges führen, da der gewichtsspezifische Energiegehalt von Wasserstoff 2,8mal höher ist, als jener von Kerosin (Geitmann 2004).

Den Herausforderungen wie höherem Platz und Gewichtsbedarf stehen hohe Potentiale zur Einsparung von Treibhausgasen gegenüber, welche durch einen Technologiewandel von der stark klimawirksamen Kerosinverbrennung zu Wasserstoffverbrennung oder Brennstoffzellentechnologie realisierbar wären. So ist laut aktuellen Schätzungen eine Emissionsreduktion zwischen 50% und 70% bei Wasserstoffverbrennung möglich, beim Einsatz von Brennstoffzellen sogar zwischen 75% und 90%. Systeme nach heutigem Stand der Technik eignen sich hierbei jedoch vor allem für Kurzstrecken und regionalen Flugverkehr, denn hier ist sogar ein kostengünstigerer Betrieb im Vergleich zum Status-Quo möglich. Längere Flugstrecken gehen jedoch mit höherem Lageraufwand und damit verbundenen höheren Energiekosten einher, welche durch entsprechende Änderungen im Flugzeugdesign gemindert werden müssten (Clean Sky 2 JU und FCH2 JU 2020).

2.3.3 Wasserstoff im Bereich Industrie

In einigen Industriebereichen fungiert Wasserstoff als wichtiger Rohstoff. Die wichtigsten hierbei sind die Stahl- und Petrochemische Industrie. Hier bieten grüne Wasserstofftechnologien nicht nur die Möglichkeit einer klimaneutralen Energie- und Wärmeversorgung, sondern ermöglichen zusätzlich hohe Emissionsreduktionen durch das Ersetzen des Wasserstoffes aus fossiler Herkunft (Dampferormierung Erdgas, Erdöl etc.).

Wasserstoff in der petrochemischen Industrie

In der chemischen Industrie und Raffinerietechnik spielt Wasserstoff als Rohstoff eine bedeutende Rolle, wobei die Herstellung von Ammoniak sowie Methanol für den Großteil der Nachfrage verantwortlich ist. Aufgrund dieser globalen Bedeutung wird die Nachfrage nach Wasserstoff bis 2030 um ca. 31 % steigen (IEA 2019).

Der hohe Ammoniak Bedarf ist eine Folge der hohen Nachfrage nach Düngemitteln, für welche Ammoniak, welcher durch Synthese von Stickstoff und Wasserstoff im Haber-Bosch-Verfahren gewonnen wird, die wichtigste Komponente darstellt. Ein Einsatz von grünem statt grauem Wasserstoff kann auch hier helfen die Emissionen entscheidend zu reduzieren, wobei zu beachten ist, dass das in der Reformierung entstehende Kohlendioxid zur weiteren Produktion von Harnstoff notwendig ist. Eine effiziente Koppelung der Prozesse ist daher ebenso zu beachten (Hebling et al. 2019).

Methanol ist als chemischer Grundstoff von hoher Bedeutung für die chemische Industrie und ist aufgrund seines häufigsten Syntheseweges unter Einsatz von Wasserstoff und Kohlendioxid ein weiterer wichtiger Verbraucher und Nachfragetreiber von Wasserstoff. Unter anderem im Bereich der E-Fuels-Erzeugung stellt Methanol ein wichtiges Bindeglied bei der Realisierung eines geschlossenen Kohlenstoffkreislaufes dar (Hebling et al. 2019).

Wasserstoff in der Stahlindustrie/Metallurgie

In der Stahlindustrie spielt Wasserstoff eine essentielle Rolle als Alternative zu Erdgas bei der Direktreduktion. Auf Erdgasbasis entstehen hier aufgrund des weitreichenden und stetig steigenden Bedarfs an Stahl eine entscheidende Menge an Emissionen. Unter anderem deshalb ist die Stahlindustrie global für 10% der CO₂ Emissionen verantwortlich. Durch einen ganzheitlichen Wechsel auf grünen Wasserstoff bei der Direktreduktion ließen sich diese in der Theorie zu großen Teilen einsparen (Hebling et al. 2019).

Exkurs: Beispiele österreichischer Unternehmen im Anwendungsbereich Industrie

Voestalpine Linz

Gemeinsam mit Siemens und anderen Unternehmen startete die weltweit größte Wasserstoffpilotanlage innerhalb des Projekts „H2Future“, welches die industrielle Produktion von emissionsfreiem Wasserstoff untersucht (Leithinger 2020).

Lafarge, OMV, VERBUND und Borealis

Planen eine Anlage zur CO₂-Abscheidung von Emissionen aus der Zementproduktion, welches durch Etablierung einer sektorübergreifenden Wertschöpfungskette als Rohstoff für die Kraft- und Kunststoffproduktion genutzt werden kann (Borealis 2020).

2.4 Politische Rahmenbedingungen und Initiativen

International wie national erfährt die Wasserstoffwirtschaft steigende Aufmerksamkeit und Beachtung und wird dabei als Hoffnungsträger zur Eindämmung der Klimakrise gesehen. Für den Standort Österreich sind dabei die jüngsten Aktivitäten auf EU-Ebene relevant. Die EU hat im Zuge des European Green Deal im Juli 2020 ihre Wasserstoffstrategie präsentiert.

Flankiert wird diese mit dem im Arbeitsprogramm 2021 der EU-Kommission vorgesehenen Legislativpaket „Fit for 55“, welches die Novellierung einer breiten Reihe von Rechtsakten vorsieht. Damit soll das Rahmenwerk geschaffen werden, mit dessen Hilfe das Ziel einer Emissionsenkung im Jahr 2030 um 55% gegenüber dem Referenzjahr 1990 verwirklicht wird. So erfolgen unter anderem eine Anpassung des Emissionshandels und die Etablierung eines CO₂ Ausgleichsmechanismus.¹² Im vierten Quartal 2021 erfolgt außerdem eine Überarbeitung des Dritten Energiepakets für Gas, mit der auch ein EU-weit einheitliches rechtliches Rahmenwerk für die in der Wasserstoffstrategie der EU anvisierte Etablierung eines Marktes für grünen Wasserstoff geschaffen werden soll.¹³

Auch national wird an den politischen Rahmenbedingungen zur Etablierung und Förderung von Wasserstofftechnologien gearbeitet. So war Österreich während der Ratspräsidentschaft 2018 federführend an der Umsetzung einer „Hydrogen Initiative“¹⁴ beteiligt, in welcher sich 27 Staaten und 100 Unternehmen und Organisationen der EU-Mitglieds- sowie EWR-Staaten zur Intensivierung der Forschung und Entwicklung von Wasserstofftechnologien verpflichten.

Wasserstoffstrategie der EU¹⁵

Im Zuge des European Green Deal der Europäischen Union nimmt die Förderung und Etablierung von Wasserstofftechnologien eine Schlüsselrolle ein, denn diese bieten zum einen großes ökologisches Potenzial durch Emissionsreduktion, zum anderen ist dabei aber auch die Möglichkeit verbunden die Führungsrolle der EU zu konsolidieren und damit Wirtschaftswachstum und sozialen Wohlstand zu fördern. Eine Strategie zur Förderung von Wasserstofftechnologien birgt somit die Möglichkeit eine holistische, alle Dimensionen der Nachhaltigkeit (Wirtschaft, Umwelt und Soziales) umfassende, Zukunftsperspektive zu gestalten. Die Strategie folgt dabei einem 3-Phasenplan, welcher die Richtung in diese Zukunft schrittweise konkretisieren.

Als grundlegender Schritt wird die Installation von Elektrolyseuren mit einer Mindestleistung von insgesamt 6 GW erachtet, in einem Zeithorizont von heute bis 2024. Dadurch soll die Produktion von bis zu einer Million Tonnen grüner Wasserstoff ermöglicht werden, welche als Fundament für die weitere Entwicklung dienen.

In der zweiten Phase von 2025 bis 2030 sollen diese Kapazitäten entscheidend ausgeweitet werden, um mengenmäßig eine Integration in das Energiesystem bewerkstelligen zu können. Eine Installation von Elektrolyseuren mit einer gesamten Mindestleistung von 40GW soll die Produktionsmenge auf 10 Millionen Tonnen grüner Wasserstoff erhöhen. Aufbauend auf diesem Kapazitätsausbau bis 2030 soll ab diesem Zeitpunkt der großflächige Einsatz von Wasserstofftechnologien in emissionsintensiven Sektoren möglich sein und fossile Brennstoffe ablösen.

¹² COM (2020a)

¹³ COM (2021)

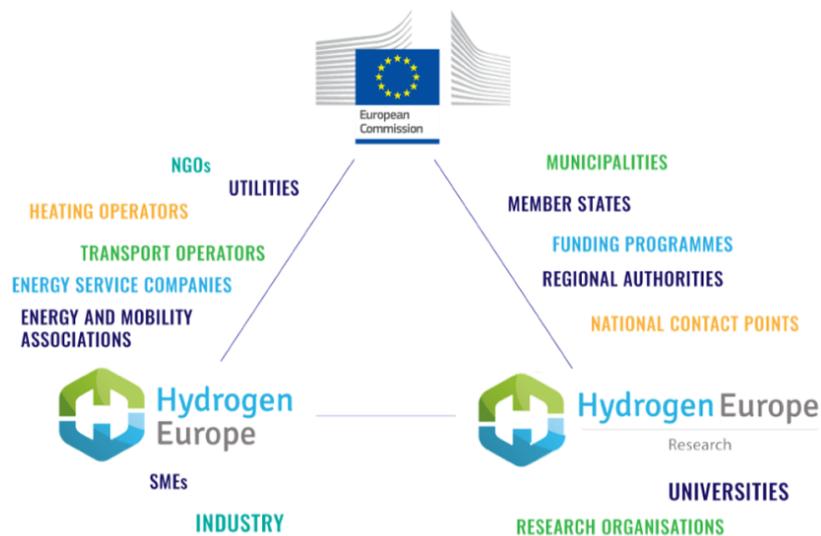
¹⁴ Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2021)

¹⁵ COM (2020b)

Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking

Neben politischen Entscheidungsträgern besteht mit der Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking¹⁶ (FCH2 JU) eine treibende öffentlich-private Partnerschaft mit dem Ziel die Markteinführung von Wasserstofftechnologien und deren Weiterentwicklung zu fördern. Gebildet wird die FCH2 JU dabei von der Europäischen Kommission, Wasserstoff und Brennstoffzellen-Unternehmen unter dem Dach der Hydrogen Europe¹⁷ und Partner aus Forschung und Wissenschaft unter dem Dach der Hydrogen Europe Research.

Abb. 2: Struktur der FCH 2 JU



Quelle: FCH JU (2021)

Aus einer beratenden Gruppe relevanter Stakeholder im Bereich Wasserstoff entwickelte sich die FCH 2 JU zu einer koordinierenden Instanz, um durch gebündelte Kompetenzen und Austausch zwischen den Interessensparteien die gezielte Förderung von Wasserstofftechnologien zu ermöglichen¹⁸. Der Fokus¹⁹ liegt hierbei unter anderem auf der Erhöhung der Effizienz in der Wasserstoffproduktion bei gleichzeitiger Kostenreduktion, der Realisierung wichtiger Pilot- und Demonstrationsprojekte in der Wasserstoffspeicherung, aber auch in der Reduktion des Einsatzes kritischer Ressourcen.

IPCEI – Hydrogen

Mitgliedstaaten der Europäischen Union haben unter dem s.g. Important Project of Common European Interest (IPCEI) die Möglichkeit, mit Hilfe staatlicher Förderungen ein gemeinsames Projekt, welches einen positiven Beitrag zur europäischen Wirtschaft und zu europäischen Zielen (z.B. Green Deal) leistet, kooperativ durchzuführen. So sollen Innovationsprojekte im Bereich der grünen Wasserstoffproduktion und –verwendung, die einen Beitrag zum globalen Wettbewerb und grüner Industrie leisten können, im Rahmen eines IPCEI gefördert werden.

¹⁶ FCH JU (2021)
¹⁷ Hydrogen Europe (2021)
¹⁸ FCH JU (2021)
¹⁹ FCH JU (2021)

22 EU-Mitgliedsstaaten und Norwegen haben hierzu Ende 2020 bereits eine Absichtserklärung unterzeichnet, mit welcher sie sich bereiterklären, den Ausbau grünen Wasserstoffs in den kommenden Jahren mit Investitionen in Milliardenhöhe zu unterstützen.²⁰ Das entsprechende IPCEI Hydrogen ist derzeit noch in Vorbereitung. Die Republik Österreich strebt die Teilnahme an IPCEI Hydrogen an und hat im letzten Jahr dazu aufgerufen, potenzielle Projekte vorzustellen, der Start entsprechender Projekte soll bereits 2021 erfolgen.²¹

²⁰ Electrive.net (2020)

²¹ Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (2020)

3 Funktionale Gliederung der Wasserstoffwirtschaft Österreichs

Um einen qualitativen sowie quantitativen Ist-Stand der österreichischen Wasserstoffwirtschaft zu erheben, wurde auf Basis von Desk-Research eine Datenbank heimischer Unternehmen, welche in der Wasserstoffwirtschaft tätig sind, erstellt. Die Ergebnisse wurden im Anschluss in ein mehrschichtiges Klassifikationsmodell überführt, in welchem Unternehmen sowohl in Form von zugewiesenen systemischen „Power Roles“, also hinsichtlich ihrer Rolle innerhalb der heimischen Wasserstoffwirtschaft, charakterisiert wurden, als auch den Dimensionen der Wasserstoffwirtschaft Produktion, Infrastruktur und Anwendung zugeordnet wurden.

3.1 Erfassung der relevanten Unternehmenssubstanz

Für die Erhebung der für die Datenbank relevanten heimischen Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft wurden bereits bestehende, umfangreiche Datenbanken des IWI zu themenverwandten Gebieten (u.a. Umwelttechnologie, Automotive) konsultiert und entsprechende Unternehmen identifiziert.

Eine Überprüfung und Erweiterung der Unternehmen erfolgte mit Hilfe von Top-down- in Kombination mit Bottom-up-Rechercheansätzen. Die durch die angewandte Beschlagwortung (Schlagworteliste siehe Anhang) generierten Quellen (Quellenliste siehe Anhang) reichen dabei von internationalen Initiativen, über nationale Wirtschaftsverbände, Industriecluster u.ä. sowie Projektdatenbanken bedeutender Forschungsgesellschaften.

Unternehmen, deren Aktivitäten in der Wasserstoffwirtschaft publiziert worden sind (Website, Projektberichte, Presseberichte, Fachmagazine u.ä.), wurden voll erfasst und als solche gekennzeichnet. Berücksichtigt wurden hierbei ebenso Firmen, deren Aktivitäten in der Vergangenheit liegen (vor 2017). Zusätzlich in die Datenbank integriert wurden Support Organisationen wie Hochschulen, Vereinigungen zur Förderung der Technologie, etc.

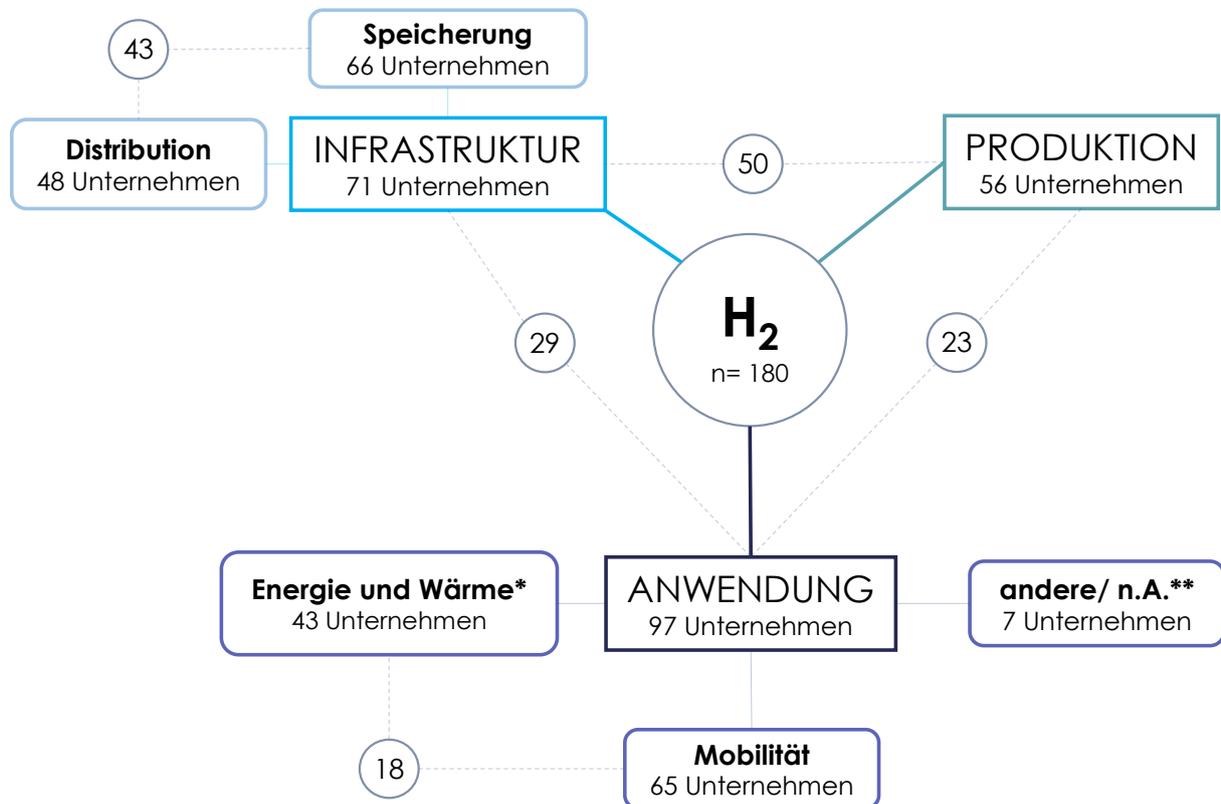
In Kombination mit der Recherche wurden 287 Firmen und Organisationen mit Hinweisen auf Wasserstofftechnologie identifiziert. Nach Bereinigung (um liquidierte Firmen, doppelte, in externen Datenquellen fälschlicherweise H₂-Technologie zugeordnete, etc.) verbleiben 207 Firmen und Organisationen, welche für die anschließende Strukturdatenanalyse und Klassifikation herangezogen wurden.

3.2 Zuordnung der Unternehmenssubstanz zu den Dimensionen der Wasserstoffwirtschaft

Wie bereits einleitend in „Kapitel 2 Dimensionen der Wasserstoffwirtschaft“ erläutert, erscheinen gängige Unterteilungen, wie etwa in stationäre, mobile und portable Einsatzgebiete, als zu kurz gegriffen, um die Wasserstoffwirtschaft ausreichend zu charakterisieren. Die Dimension der Anwendung wurde demnach um die beiden Dimensionen Wasserstoffproduktion und Wasserstoffinfrastruktur ergänzt. Diese Betrachtungsweise orientiert sich dabei an bestehenden Initiativen und politischen Rahmenbedingungen, wie etwa der Wasserstoffstrategie der Europäischen Kommission.

Unter Anwendung der bei der Erfassung der Unternehmenssubstanz generierten Informationen wurden die Unternehmen diesen drei Dimensionen zugeordnet, wobei die Zuordnung, mit Ausnahme der Dimension der Produktion, auch auf Sub-Ebene stattgefunden hat. So erfolgte bei der Infrastruktur-Dimension auch eine Zuordnung in Distribution und Speicherung; bei der Anwendungs-Dimension wurde zusätzlich nach Mobilität und Energie und Wärme klassifiziert.

Abb. 3: Anzahl der in den Dimensionen tätigen Unternehmen (Mehrfachnennung möglich)



Anm.: Die Summe der Unternehmen je Dimension liegt aufgrund von Mehrfachnennungen höher als die Höhe des Unternehmenssamples (n= 180). Die Kreise zwischen den Dimensionen (bzw. Sub-Ebenen) weisen jeweils die Anzahl jener Unternehmen aus, welche sowohl in der einen, als auch in der anderen Dimension aktiv sind. *Alle Unternehmen sind ausschließlich im Bereich stationäre (=nicht portabel) Energieversorgung tätig. **Unternehmen kann keiner dieser Tätigkeiten unmittelbar zugeordnet werden (Engineering unspezifisch, Beratung, Ausbildung, etc.

Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Wie Abbildung 3 zeigt, sind viele der Unternehmen in mehr als einer Dimension tätig; eine absolute Verteilung auf die jeweiligen Dimensionen ist daher bedingt aussagekräftig. Hingegen gut zu erkennen ist, wie die Dimensionen und Sub-Ebenen zueinander in Beziehung stehen.

So sind beinahe alle Unternehmen, welche in der Produktion von Wasserstoff tätig sind, auch in der Speicherung und/oder Distribution von Wasserstoff aktiv (50 von 56). Die Infrastruktur-Dimension für sich betrachtet zeigt, dass beinahe zwei Drittel (60,6%) der hier tätigen Unternehmen sowohl die Speicherung, als auch die Distribution von Wasserstoff betreiben.

In der Anwendungs-Dimension verteilen sich die hier aktiven Unternehmen zu etwa zwei Drittel auf die Sub-Ebene Mobilität und etwa 44,3% auf die Sub-Ebene (stationäre) Energie und Wärme. Ungefähr jedes fünfte Unternehmen (18,5%) ist in beiden Sub-Ebenen aktiv.

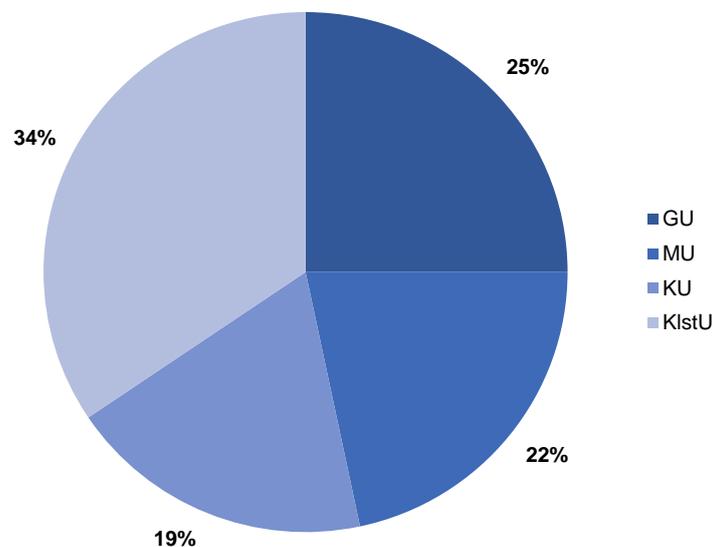
3.3 Strukturprofil der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien

Der folgende Abschnitt widmet sich der **Strukturanalyse** des Unternehmenssamples auf Mikroebene. Dabei ist wichtig anzumerken, dass sämtliche Auswertungen und Daten noch **nicht** jene Anteile wiedergeben, welche durch die Aktivitäten der Unternehmen in der jeweiligen Dimension erwirtschaftet werden (**H₂-Durchdringung**). Diese folgen im Unterkapitel 3.5. Die Daten der Strukturanalyse in diesem Abschnitt geben Auskunft über die gesamte betriebswirtschaftliche Leistung (inkl. sämtlicher Geschäftsfelder ohne Wasserstoff-Bezug) jener Unternehmen, welche in einer oder mehreren Dimensionen tätig sind, unabhängig davon, wie hoch der tatsächliche Anteil mit Wasserstoff-Bezug darin ist. Zusätzlich wurden 27 der 207 Unternehmen in der Auswertung nicht berücksichtigt, da es sich bei diesen um Universitäten, Hochschulen und Interessensvertretungen handelt, welche aufgrund ihrer Größe das Bild verzerren würden.

Unternehmensstruktur

Im Hinblick auf die Verteilung der Unternehmensgrößenklassen (Abb. 4) innerhalb des Unternehmenssamples zeigt sich eine etwa gleichmäßige Verteilung, bei der die relativen Anteile nah beieinander liegen. Am häufigsten vertreten sind Kleinstunternehmen, welche mit 62 Unternehmen etwas mehr als ein Drittel (34%) stellen.

Abb. 4: Verteilung nach Unternehmensgrößenklassen



Anm.: n= 180

Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Darauffolgend befinden sich die Großunternehmen mit exakt einem Viertel (25%) an zweiter Stelle. Klein- und Mittelunternehmen sind jeweils zu beinahe einem Fünftel vertreten (KU: 19%; MU: 22%).

Der hohe Anteil an Kleinstunternehmen deutet u.a. auch auf eine hohe Anzahl an Neugründungen hin, und signalisiert damit eine junge und wachsende Marktumgebung. Insgesamt konnten im Zuge der Recherche 16 Start-Ups identifiziert werden.

Die Unternehmen des Unternehmenssamples erwirtschaften mit all ihren Geschäftsfeldern²² einen Umsatz von 41,41 Mrd. EUR. Betrachtet man die Größenklassenverteilung hinsichtlich des erwirtschafteten Umsatzes (Tabelle 3), so wird sichtbar, dass Großunternehmen 94% (39,02 Mrd. EUR) des gesamten durch die vertretenen Unternehmen erwirtschafteten Umsatzes ausmachen.

Tab. 3: Umsatz und Beschäftigte nach Größenklassen und Bundesland

		n=	Umsatz in Mio. EUR	MitarbeiterInnen
	Summe	180	41.412	112.210
Größenklasse	Großunternehmen	45	39.016	106.685
	Mittlere Unternehmen	39	2.060	4.581
	Kleintunternehmen	34	276	764
	Kleinstunternehmen	62	60	180
Bundesland	Burgenland	5	75	73
	Kärnten	5	3.143	4.628
	Niederösterreich	24	2.119	4.365
	Oberösterreich	28	11.891	36.556
	Salzburg	9	995	5.397
	Steiermark	43	6.416	15.096
	Tirol	19	2.999	10.050
	Vorarlberg	2	146	303
	Wien	45	13.628	35.742

Anm.: siehe Fußnote 9

Quelle: IWI (2021); Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

An zweiter Stelle befinden sich mit 2,06 Mrd. EUR (5%) Umsatz die Mittelunternehmen. Der Umsatz der in der Wasserstoffwirtschaft tätigen Kleinunternehmen liegt mit 0,28 Mrd. EUR bei knapp 1% des Unternehmenssamples. An letzter Stelle folgt die Gruppe der Kleinstunternehmen mit 0,06 Mrd. EUR.

Auch bei der Verteilung der Beschäftigtenanzahl zeichnet sich ein ähnliches Bild. Die 45 Großunternehmen, welche (unter anderem) in der Wasserstoffwirtschaft tätig sind, stellen 106.685 (95%) der insgesamt 112.210 Beschäftigten. Bei Klein- und Mittelunternehmen mit Wasserstoffbezug arbeiten 764 (KU: 1%) bzw. 4.581 (MU: 4%) Beschäftigte. Lediglich 180 und damit weniger als 1% der gesamten Beschäftigtenanzahl entfallen auf Kleinstunternehmen.

²² Eine gezielte Ausweisung des ausschließlich durch Aktivitäten in der Wasserstoffwirtschaft (Durchdringung) erwirtschafteten Anteils ist aufgrund fehlender Daten auf Unternehmensebene derzeit noch nicht möglich.

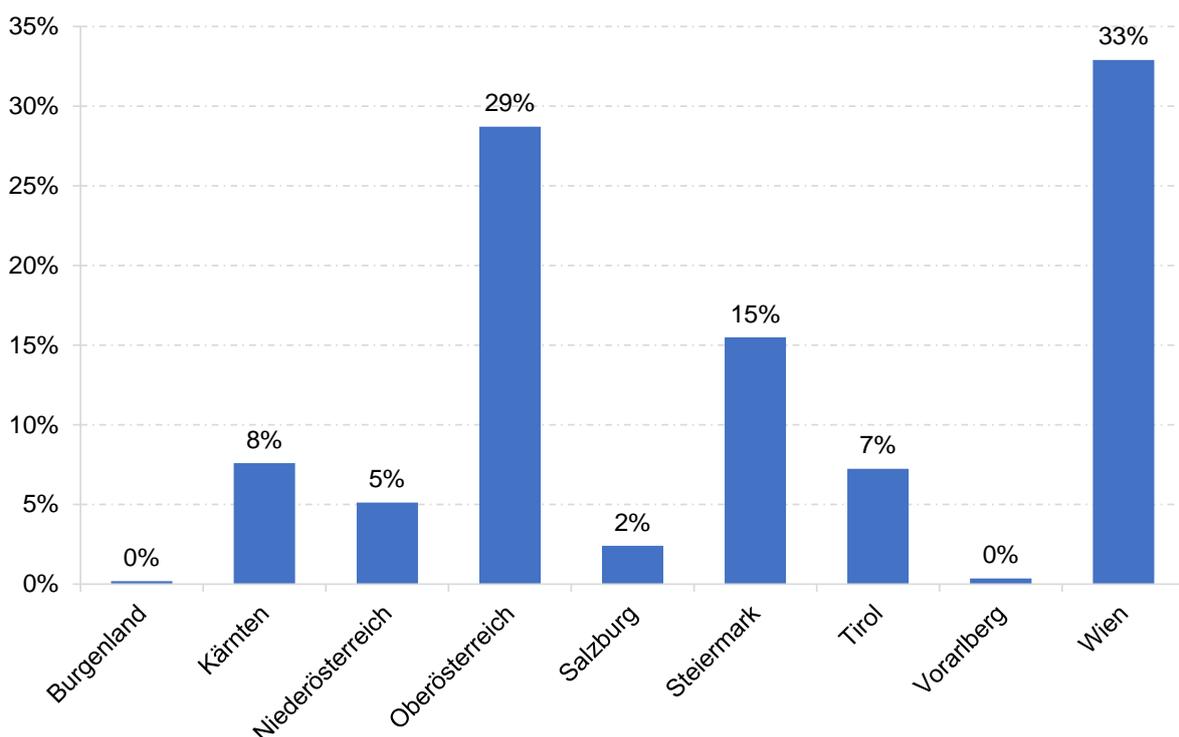
Die relative Dominanz der Großunternehmen zeigt, dass das Geschäftsfeld der Wasserstofftechnologie ein interessantes Tätigkeitsfeld mit Zukunftspotential ist. Die Leistungszahlen geben jedoch ihr gesamtes Leistungsspektrum wieder und sind dementsprechend hoch. Bei jenen Unternehmen handelt es sich um etablierte Player des heimischen Wirtschaftsgefüges, welche als internationale Leitbetriebe einzuordnen sind und heterogene Geschäftsfelder aufweisen bzw. nach neuen Geschäftsfeldern und Technologien streben.

Die Daten zeigen zudem, dass die heimische Wasserstoffwirtschaft mit den Leitbetrieben über eine hohe potentielle Innovations- bzw. Investitionskraft verfügt. Die Betriebe setzen diese ebenso häufig und gerne ein, um kostenintensive Pilot- und Demonstrationsprojekte zu initiieren und Innovation im Land voranzutreiben. So ist im Zuge des Projektes „H2Future“ 2019 die weltweit größte Pilotanlage zur Herstellung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse in Betrieb genommen worden, als Ergebnis einer Zusammenarbeit von *Voestalpine, Verbund, Siemens, Austrian Power, Grid, K1-Met und TNO* (H2Future, 2019).

Regionale Struktur

Ein Blick auf die Verteilung der Umsätze nach Bundesländern (Abbildung 5) macht ersichtlich, dass etwa ein Drittel (33%) – des von den (unter anderem) in der Wasserstoffwirtschaft tätigen Unternehmen erwirtschafteten Umsatzes – in Wien generiert wird.

Abb. 5: Verteilung des von Unternehmen mit Wasserstoffbezug erzielten Umsatzes nach Bundesland



Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Der zweitgrößte Anteil (29%) wird von Unternehmen mit Sitz in Oberösterreich erzielt, gefolgt von weiteren 15% von Unternehmen mit Sitz in der Steiermark.

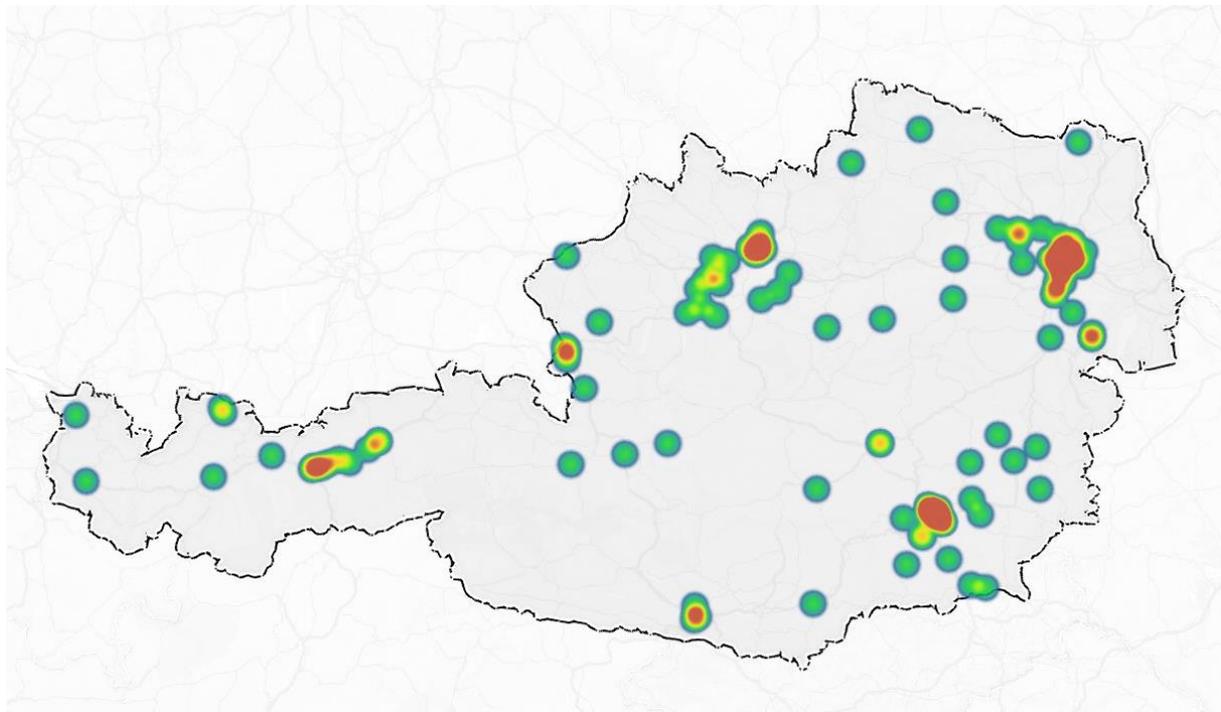
Unternehmen in diesen drei der neun Bundesländer lukrieren gemeinsam demnach drei Viertel (77%) der Umsätze des gesamten Unternehmenssamples. Während sich die Unternehmensanzahl in Wien (45) und der Steiermark (43) gleicht (siehe Tabelle 3), liegt sie in Oberösterreich bei nur 28. Hier sind daher im Durchschnitt die umsatzstärksten Unternehmen dieser drei Bundesländer zu finden.

Dieser Trend spiegelt sich auch in der Verteilung der Beschäftigtenanzahl wieder und zeigt damit die treibende Kraft bestehender Wirtschaftsinitiativen und Cluster, wie etwa des CleanTech Clusters Oberösterreich, oder des GreenTech Cluster in der Steiermark. Die Präsenz Wiens lässt sich zum Teil mit dessen Funktion als Bundeshauptstadt in Verbindung bringen, aufgrund derer sich hier die Sitze relevanter öffentlicher Unternehmen der österreichischen Energie- und Mobilitätsinfrastruktur befinden.

Regionale Verteilung der Unternehmensstandorte (Heatmap)

Geht man bei der geografischen Verteilung noch mehr in die Tiefe und betrachtet die Verteilung nach Regionen, so wird der Wirkungsbereich der jeweiligen Cluster nochmals deutlicher (Abb. 6). So ist die Konzentration neben Wien, ebenso in den jeweiligen Landeshauptstädten Linz und Graz am höchsten, welche gleichzeitig Standort von Clusterzentralen sind. Während um den Raum Wien und Linz eine eher zentrierte Verteilung zu erkennen ist, so ist die Steiermark mehr durch Satellitencharakter geprägt, mit mehreren kleineren Hotspots um die Kernregion. Weitere, jedoch kleinere Hotspots lassen sich auch in den anderen Bundesländern erkennen, wie etwa im Raum Villach, Innsbruck und Salzburg. In Niederösterreich konzentrieren sich die Unternehmen um die Bundeshauptstadt; exklusive Wien gibt es eine heterogene Verteilung der Standorte. Vorarlberg und das Burgenland haben im Vergleich, mit Ausnahme von Eisenstadt, kaum Unternehmen mit Wasserstoffbezug.

Abb. 6: Heatmap der Unternehmen mit Wasserstoffbezug



Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Umsatz und Beschäftigtenanzahl: Dimensionen der Wasserstoffwirtschaft

Angesichts der hohen Wirtschaftskraft der Großunternehmen und deren Bedeutung als Treiber des Wachstums der heimischen Wasserstoffwirtschaft zeigt die Verteilung dieser Wirtschaftskraft auf die drei Dimensionen der Wasserstoffwirtschaft (H₂-Produktion,-Infrastruktur, -Anwendung) einen Fokus auf jene der Anwendung.

Unternehmen, die in dieser Dimension tätig werden, sind mit 27,16 Mrd. EUR für etwa zwei Drittel des gesamten durch das Unternehmenssample erwirtschafteten Umsatzes verantwortlich. Hier gilt es jedoch anzumerken, dass Unternehmen dabei sowohl in einer, als auch in mehreren Dimensionen aktiv sein können, weshalb diese Zahlen nicht als absolut, sondern im Wissen um diese Überschneidungen betrachtet werden müssen. Eine Interpretation erscheint daher solange zulässig, als diese nur die Verhältnisse zueinander und keine exakte Allokation behandelt.

Im Zuge dessen lässt sich interpretieren, dass in der Anwendungs-Dimension nicht nur die meisten Unternehmen vertreten sind, sondern diese auch gewichtet nach Umsatzdurchschnitt pro Unternehmenseinheit den ersten Rang einnimmt. Ein Bild, das sich ebenso für die Beschäftigtenanzahl zeichnen lässt.

Tab. 4: Umsatz und Beschäftigtenanzahl je Dimension der Wasserstoffwirtschaft

	n=	Umsatz in Mio. EUR	MitarbeiterInnen
Summe	180	41.412	112.210
Wasserstoff- Dimension	Produktion	14.865	47.285
	Infrastruktur	17.484	50.701
	Anwendung	27.164	67.608

Anm.: Die Unternehmensanzahl der Infrastruktur-Dimension wurde hier um Doppelnennungen bereinigt, die durch Aktivitäten in beiden Sub-Ebenen Verteilung sowie Speicherung entstehen.

Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Branchenstruktur

Hinsichtlich der Branchen verteilt sich mit beinahe einem Fünftel (18%) der meiste Umsatz auf die Energieversorgung, gefolgt von 16% der gesamten Umsatzgenerierung in der Branche Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen. Auf Rang 3 ist die Branche der Metallerzeugung und Bearbeitung zu finden, auf welche 14% Umsatzanteil entfallen. Diese Branchen sind zudem jene, welche thematisch hauptsächlich in die Dimension der Anwendung fallen, da sie sich mit den Sub-Ebenen Energie und Wärme, Mobilität sowie Industrie decken. Damit wird das Bild verstärkt, dass in der Anwendungsdimension jene Unternehmen aktiv sind, welche am meisten Umsatz erzielen, entfällt auf diese drei Branchen doch in Summe die Hälfte des Umsatzes.

In etwa ein weiteres Viertel der Umsätze wird zusammen von den drei Branchen Maschinenbau (13%); Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (9%); sowie Herstellung von Metallerzeugnissen (6%) generiert, welche man auch als die Anwendung unterstützende Branchen interpretieren kann.

Tab. 5: Branchenstruktur der Unternehmen mit Wasserstoffbezug nach Umsatzanteil

NACE Code	Bezeichnung	Anteil am Wasserstoffumsatz
35	Energieversorgung	18,3%
29	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	15,5%
24	Metallerzeugung und Bearbeitung	14,0%
28	Maschinenbau	13,3%
26	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	9,2%
25	Herstellung von Metallerzeugnissen	6,4%
42	Tiefbau	4,3%
52	Lagererei	2,9%
80	Erbringung von wirtschaftlichen Dienstleistungen für Unternehmen	2,4%
27	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	2,0%
49	Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen	2,0%
46	Großhandel	1,6%
30	Sonstiger Fahrzeugbau	1,6%
45	Handel mit Kraftfahrzeugen; Instandhaltung und Reparatur von Kraftfahrzeugen	1,3%
	Sonstige NACE-Abteilungen	5,2%

Quelle: IWI (2020): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

3.4 Systemische Gliederung in Power Roles

Zusätzlich zur Klassifizierung nach dem Tätigkeitsbereich des Unternehmens wurden die Unternehmen des Unternehmenssamples auch danach charakterisiert, welche „Power Role“ sie im Wirtschaftsgeflecht der heimischen Wasserstoffwirtschaft einnehmen. Dadurch ist eine qualitativ tiefergehende Beurteilung der Wasserstoffwirtschaft als Ganzes möglich, da nicht nur der Geschäftsbereich, sondern auch die Art und der Wirkungsbereich der Tätigkeiten im Netzwerk beurteilt werden. Dies ist zusätzlich vor dem Hintergrund einer fehlenden Durchdringungsrate eine alternative Möglichkeit, die Unternehmen nach ihrer Bedeutung für die Wasserstoffwirtschaft zu analysieren. Dieses vom IWI entwickelte und angewandte Konzept unterscheidet hierbei zwischen folgenden Rollen:

Core Player: Hierbei handelt es sich um Leitbetriebe. Sie spielen im Zentrum der avisierten technologischen Entwicklungen und können global aktiv sein. Diese Akteure sind mitunter bereits mit identifizierbaren Produkten und Leistungen etabliert.

Supplier: Darunter werden Unternehmen als Lieferanten für die anderen Schlüsselrollen bzw. Infrastrukturdienstleister verstanden.

Front Runner: Diese Unternehmen agieren auf Märkten nicht so umfassend wie Core Player bzw. sind in speziellen Marktsegmenten aufgestellt. Innerhalb von Nischen zeigen und entwickeln sie Vorläufercharakter. Diese Gruppe ist gekennzeichnet von einer hohen F&E Aktivität und erschließt neue Anwendungsfelder, u.a. unter Nutzung der heimischen Förderlandschaft, welche mitunter strukturbildend sind.

Casual bis Systematic User: Bei diesen Unternehmen steht im Leistungsbogen die breit aufgesetzte Anwendung (Systematic User) oder die Nutzung außerhalb des Kerngeschäfts im Vordergrund (Casual User). Sie sind keine Hersteller und auch nicht an der Entwicklung von Technologiesträngen beteiligt.

Current Tech Adaptors: Darunter versteht man Akteure, welche sich schwerpunktmäßig mit der Suche nach Lösungen und Adaptierungen beschäftigen. Oftmals gibt es unternehmensintern erste Impulse durch laufende F&E Projekte zur möglichen Umsetzung. Es gibt mitunter Schnittmengen und Übergänge zu anderen Profilen wie jenem der Front Runner oder User.

EDU & Associations: Hierunter sind Interessenvertretungen und Forschungsgesellschaften zu verstehen, welche durch einzelne Projekte oder Strategie einen Wasserstoffbezug besitzen.

Other: Diese Gruppe umfasst etwaige sonstige, nicht eindeutig zuordenbare Aktivitäten.

Wie in Abb. 7 zu erkennen ist, sind 16 von 180 (9%) der Unternehmen mit Wasserstoffbezug als Core-Player einzustufen, welche den höchsten Umsatz und die höchste Mitarbeiteranzahl besitzen. Dies unterstreicht deren Rolle als Leitbetriebe für die heimische Wasserstoffwirtschaft und zeigt, dass viele der heimischen umsatzstarken Unternehmen den Wasserstofftechnologien erhöhte Bedeutung als Zukunftstechnologie beimessen, denn 11 der 16 Core Player sind Großunternehmen.

Abb. 7: Systemische Power Roles der Wasserstoffwirtschaft

Core Player	• 16 Unternehmen 19,5 Mrd. Umsatz 50.800 Mitarbeiter
Supplier	• 37 Unternehmen 1,2 Mrd. Umsatz 4.700 Mitarbeiter
Front Runner	• 22 Unternehmen 4,3 Mrd. Umsatz 6.600 Mitarbeiter
Casual/Systematic User	• 4 Unternehmen 0,6 Mrd. Umsatz 1.000 Mitarbeiter
Current Tech Adaptor	• 46 Unternehmen 13,8 Mrd. Umsatz 41.500 Mitarbeiter
EDU & Associations	• 6 Unternehmen 0,03 Mrd. Umsatz 600 Mitarbeiter
Other	• 49 Unternehmen 2,0 Mrd. Umsatz 6.900 Mitarbeiter

Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Die Current Tech Adaptors spielen nach Umsatz und Beschäftigtenzahl die zweitwichtigste Rolle; ein Viertel der Unternehmen ist als solche zu definieren (25%). Im Unterschied zu den Core Playern ist mit 20 Unternehmen etwas weniger als die Hälfte (43%) ein Großunternehmen, die andere Hälfte entfällt fast gänzlich auf Kleinst- und Kleinunternehmen (46%). Mittelunternehmen bilden die restlichen 11%. Diese Verteilung zeigt zum einen, dass Großunternehmen nicht nur bereits mit Leistungen und Produkten am Markt etabliert sind, sondern auch wesentlich zur Innovation von Wasserstofftechnologien beitragen. Zum anderen wird die Innovation aber auch von vielen kleinen Unternehmen getragen, welche Wasserstofftechnologien nutzen um sich am Markt zu etablieren.

Dieser Beitrag von Kleinstunternehmen, welche häufig mit Start-ups gleichzusetzen sind, findet sich auch bei der Rolle der Front Runner wieder. In dieser Gruppe von Unternehmen, welche oft als Spezialisten mit Nischenlösungen agieren, sind 10 von 22 Kleinstunternehmen, weitere 7 sind Klein- bzw. Mittelunternehmen. Im Falle der Klassifikation nach Umsatzhöhe befinden sich Front Runner auf Rang 3.

Die Supplier, welche durch überwiegend kleine Unternehmensgrößen gekennzeichnet sind, bilden gemäß der Anzahl an Unternehmen die drittgrößte Gruppe (21%), spielen jedoch gemessen am Umsatz (1,2 Mrd. EUR) eine untergeordnete Rolle.

Eine hohe Anzahl an Unternehmen (27%) findet sich in der Sammelkategorie Other. Hier sind vor allem Kleinstunternehmen zu finden, deren Wasserstoffbezug häufig nicht über Projektteilnahmen hinaus geht, klare Hinweise auf eigene Geschäfts- oder Forschungsaktivitäten sind jedoch zumeist nicht zu finden. Dies kann als wachsendes Interesse an Wasserstofftechnologien interpretiert werden, bei zeitgleicher Unklarheit über Möglichkeiten zur eigenen Positionierung in diesem jungen Wachstumsmarkt.

Diese möglicherweise noch fehlende Perspektive über mögliche Geschäftsmodelle mit Wasserstofftechnologien schlägt sich auch in der geringen Anzahl (2%) an Systematic/Casual Usern nieder, welche sich auf die reine Nutzung von Wasserstofftechnologien Dritter konzentrieren. Dies zeigt aber auch, dass die meisten bereits etablierten Nutzer auch selbst aktiv an der Entwicklung beteiligt sind und sich deshalb in den anderen Power Roles wiederfinden.

Da EDU & Associations im Zuge der Bereinigung zwecks Eliminierung von Doppelnennungen entfallen sind, spielen diese in dieser Betrachtung eine untergeordnete Rolle. Die verbleibenden sind daher jene, welche keine relevanten Überschneidungen, wie etwa Mitgliedschaft von Industrieunternehmen in Interessenverbänden, aufweisen.

3.5 Wasserstoffdurchdringung der Unternehmen

Der folgende Abschnitt widmet sich der Analyse der **Unternehmensstruktur** im Hinblick auf die ihre **Geschäftstätigkeiten mit Bezug zu Wasserstofftechnologien**. Dafür werden sämtliche Kennzahlen der Unternehmen durch entsprechende Gewichtung auf durch Wasserstofftechnologien erwirtschaftete Kennzahlen berechnet. Dafür hat das IWI die Unternehmen hinsichtlich ihrer Anteile an der Gesamtleistung, welche durch die Aktivitäten der Unternehmen in der jeweiligen Dimension erwirtschaftet werden (**H₂-Durchdringung**), untersucht und auf Basis von Desk-Research einer von fünf Kategorien (siehe Tab. 6) zugeordnet.

Tab. 6: Schätzsystem für das Ausmaß die Wasserstoff Aktivitäten der Zielfirmen

Bezeichnung	Beschreibung	Umsatzanteil Wasserstoff
marginal	Firma hat nur Berührungspunkte mit Wasserstoff-Technologien (unregelmäßig Projekte) oder der Bezug ist nur schwer in der Wertschöpfungskette (als Vorleistung) nachvollziehbar, Bezug zu Wasserstoffwirtschaft wird in der Lieferkette verwässert bzw. Integration nicht mehr nachvollziehbar. Wasserstoff Vorleistung aber Wasserstoff Bezug der Produkte zu ist schwach.	<1%
gering	Leistungsanteil mit Wasserstoff sehr gering, wird im niedrigen 1-stelligen Prozentbereich geschätzt, im Detail kaum abschätzbar, jedoch nicht substanziell im Leistungsspektrum verankert. Regelmäßige Leistungserbringung in Wasserstoffwirtschaft wird angenommen.	1% bis unter 5%
teil	Leistungsanteil Wasserstoff geschätzt über niedrigem einstelligen Prozentbereich, jedoch unter 50%.	5% bis 50%
überwiegend	Es wird angenommen, dass über 50% der Firma für den Wasserstoff Sektor erbracht werden, jedoch noch weitere nicht Wasserstoff bezogene Leistungen anbietet, die signifikanten / messbaren Anteil an der Wertschöpfung der Firma haben.	>50% <100%
vollständig	Rund 100% der Leistungserbringung können der Wasserstoffwirtschaft zugerechnet werden	100%

Quelle: IWI (2021): eigene Gliederung

Die fünf Kategorien geben das Ausmaß der wasserstoffbezogenen Aktivitäten bzw. der Wasserstoff-Umsatzdurchdringung an. Innerhalb einer Kategorie bewegt sich der geschätzte Anteil zwischen definierten Bandbreiten, welche durch eine Obergrenze, höchste mögliche Durchdringung, und niedrigstmögliche Durchdringung definiert werden. Dementsprechend bewegen sich die Kennzahlen Umsatz und Beschäftigtenanzahl ebenfalls zwischen Ober- und Untergrenze. **In weiterer Folge beziehen sich sämtliche Zahlen auf die Anwendung der Obergrenze.**

Unternehmensstruktur der Wasserstoffwirtschaft

Insgesamt zählt die Wasserstoff Unternehmensdatenbank des IWI 180 österreichische Unternehmen. Diese erwirtschaften mit all ihren Geschäftsfeldern gesamt einen Umsatz von 41,41 Mrd. EUR und beschäftigen gesamt 112.210 Mitarbeiter. Auf den Wasserstoff-Bereich entfallen an der Obergrenze bis zu 737,2 Mio. EUR an Wasserstoffumsatz. Insgesamt sind in den heimischen Unternehmen bis zu 2.073 Beschäftigte im Bereich Wasserstoff tätig.

Betrachtet man den Wasserstoffumsatz nach seiner Verteilung auf die Unternehmensgrößenklassen (Abbildung 8), so lässt sich erkennen, dass 633,5 Mio. EUR (86%) durch Großunternehmen erwirtschaftet werden. Auch bei der Beschäftigtenanzahl stellen Großunternehmen mit 1.718 Mitarbeitern (83%) den größten Anteil. Anteilsmäßig folgen Mittelunternehmen mit einem Wasserstoffumsatz von 82,3 Mio. EUR (11%) bei 197 Beschäftigten (9%).

Tab. 7: Umsatz und Beschäftigte der Wasserstoffwirtschaft Österreich

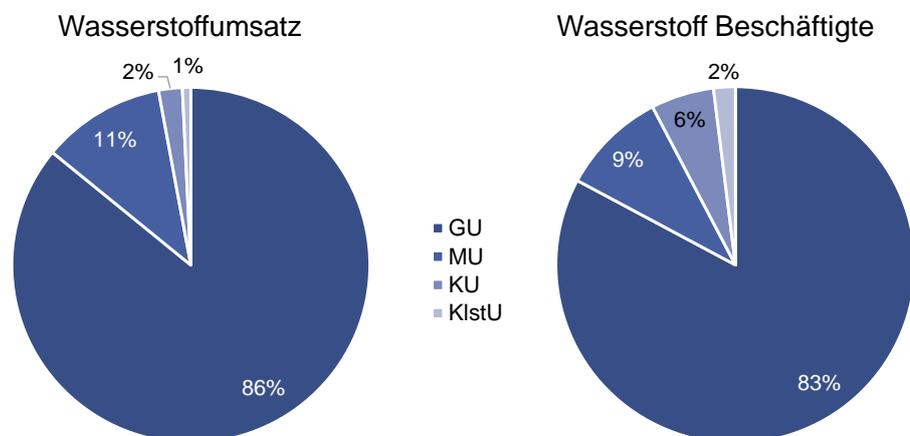
Größenklasse	n=	Wasserstoffumsatz in 1.000	Wasserstoff Beschäftigte
Summe	180	737.231	2.073
Großunternehmen	45	633.535	1.718
Mittlere Unternehmen	39	82.355	197
Kleinunternehmen	34	15.779	118
Kleinstunternehmen	62	5.588	41

Anm.: siehe Fußnote 9

Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Während Kleinunternehmen in etwa 2% (15,8 Mio. EUR) der Wirtschaftsleistung stellen, beschäftigen diese 6% (118) des gesamten Sektors. Kleinstunternehmen sind für den Umsatz von 5,6 Mio. EUR (1%) und der Beschäftigung von 41 MitarbeiterInnen (2%) verantwortlich.

Abb. 8: Durchschnittliche Wasserstoff-Durchdringung der Unternehmen nach Umsatz und Beschäftigtengrößenklassen



Anm.: n=180,

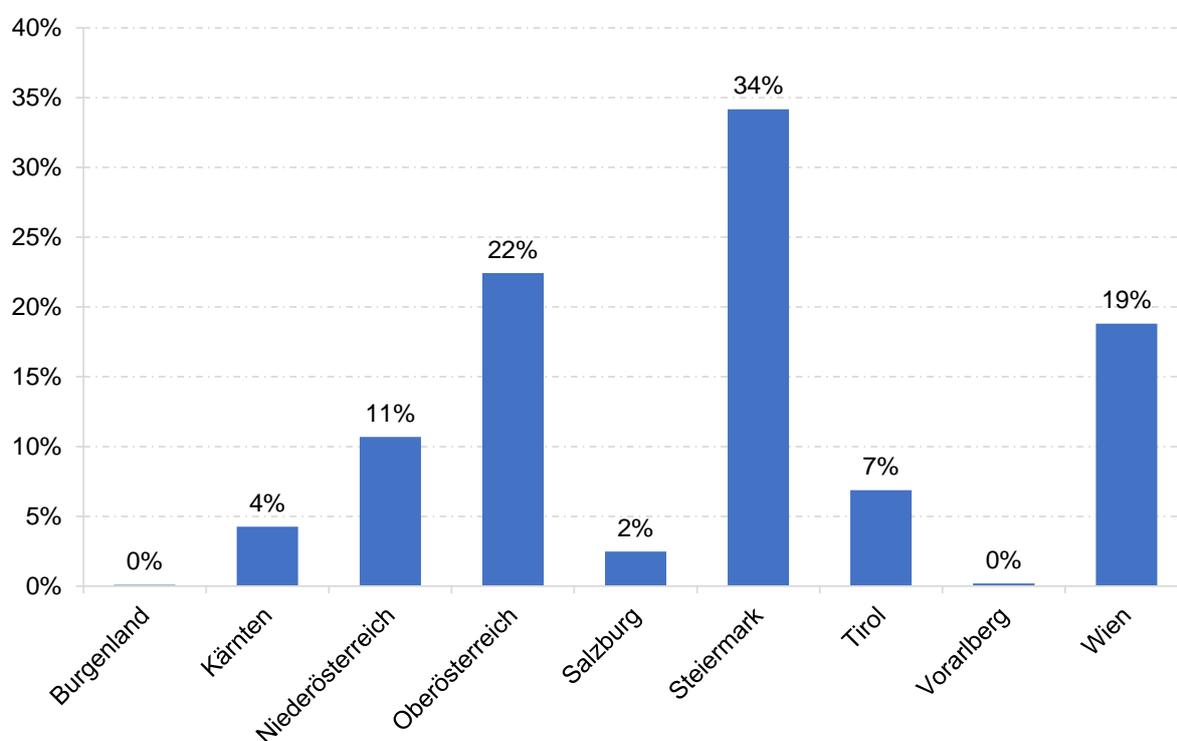
Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Die durchschnittliche Durchdringung des Unternehmensumsatzes der Unternehmen in der IWI-Datenbank liegt bei bis zu 15%. Hier ist vor allem erkennbar, dass Groß- und Mittelunternehmen ihren Umsatz über eine Vielzahl von verschiedenen Bereichen erwirtschaften. Die Wasserstoff-Durchdringung von Großunternehmen beträgt durchschnittlich bis zu 2%, während Mittelunternehmen bis zu 3% durch Wasserstoff bezogene Leistungen erwirtschaften. In den Klein- und Kleinstunternehmen ist die durchschnittliche Durchdringung höher. Diese liegt in Kleinunternehmen bei bis zu 17% und in Kleinstunternehmen bei bis zu 31%. Viele dieser Unternehmen beschäftigen sich ausschließlich mit dem Bereich Wasserstoff und weisen deswegen eine hohe Durchdringungsrate auf (insbesondere Startups).

Regionale Struktur der Wasserstoffwirtschaft

Ein Blick auf die Verteilung der Wasserstofftechnologie-Umsätze nach Bundesländern (Abbildung 9) macht ersichtlich, dass etwas mehr als ein Drittel (34%) des Wasserstoffumsatzes in der Steiermark generiert wird.

Abb. 9: Verteilung der Wasserstofftechnologie-Umsätze nach Bundesländern



Anm.: n=180, Beschriftung bezieht sich auf Obergrenze. Dunkel hinterlegter Bereich zeigt die Diskrepanz zwischen Ober- und Untergrenze auf.
 Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Der zweitgrößte Anteil (22%) wird von Unternehmen mit Sitz in Oberösterreich erzielt, gefolgt von weiteren 19% von Unternehmen mit Sitz in Wien. Unternehmen in diesen drei der neun Bundesländer lukrieren gemeinsam demnach in etwa drei Viertel (75%) des Wasserstoffumsatzes des gesamten Unternehmenssamples.

Besonders hoch ist die Wasserstoff-Durchdringung in Tirol, Salzburg und Kärnten. Hier erwirtschaften die Unternehmen je rd. 20% des Gesamtumsatzes durch Aktivitäten im Bereich Wasserstoff. In der Steiermark liegt die durchschnittliche Wasserstoff-Durchdringung bei bis zu 15%, in Wien (bis zu 17%) und Oberösterreich (bis zu 16%) ist diese etwas höher.

Abgesehen von Wien, welches aufgrund seiner Funktion als Bundeshauptstadt häufig als Standort des Firmensitzes ausgewählt wird, spiegelt die Verteilung der Wasserstofftechnologie-Umsätze die im Bereich erneuerbare Energien etablierte heimische Clusterlandschaft wieder, durch welche bereits diverse Projekte mit Wasserstoffbezug realisiert werden. So ist die Region um die oberösterreichische Landeshauptstadt Linz Standort verschiedener Cluster der Business Upper Austria – OÖ Wirtschaftsagentur GmbH und beheimatet mehrere COMET-Kompetenzzentren. Exemplarisch kann hier das Kompetenzzentrum K1-MET genannt werden, welches die Klimaneutralität in der metallurgischen Industrie anstrebt. Ebenso ist dort die Vorzeigeregion „Wasserstoffinitiative Vorzeigeregion Austria Power & Gas“ (kurz: WIVA P&G) zu finden, welche wichtige Beiträge zum Fortschritt der Wasserstofftechnologien liefert und etwa im Projekt HyTruck an brennstoffzellenbasierten Lösungen forscht. Der Großraum Graz stellt unter anderem aufgrund der Green Tech Cluster GmbH eine weitere wichtige Region dar. Im Rahmen des Green Tech Valley wird auch hier intensiv Forschung im Bereich des Wasserstoffs betrieben (z.B. im COMET-Projekt HyTechonomy).

Der Beitrag solcher Synergie-bringenden Netzwerke zur erfolgreichen Integration von neuen und innovationsgetriebenen Technologiefeldern in bestehende Wertschöpfungsketten kann damit als wesentlich angesehen werden. Gleichzeitig zeigt sich in Bezug auf Wasserstofftechnologien, dass diese gemäß Durchdringung nicht den Hauptfokus der in den bestehenden Clustern ansässigen Unternehmen darstellen. Indessen ist die durchschnittliche Durchdringung in der Region um Innsbruck vergleichsweise etwas höher, hat aber einen geringeren Anteil an den österreichweit durch Wasserstoff erwirtschafteten Umsätzen. Eine Etablierung eines reinen Wasserstoffclusters in Tirol als Drehscheibe heimischer Wasserstoffnetzwerke und Akteurinnen, wie von der Tiroler Landesregierung und Bundesregierung angestrebt (APA 2021), kann demnach helfen, die dort konzentrierten Kompetenzen am Beispiel bestehender Cluster-Initiativen zu bündeln.

Wasserstoffumsatz und Beschäftigtenanzahl: Dimensionen der Wasserstoffwirtschaft

Wie auch in der gesamtstrukturellen Betrachtung, spiegelt sich in der Strukturierung mit Wasserstoffbezug der Umsatz- und Beschäftigtenzahlen die hohe Wirtschaftskraft der Großunternehmen wider. Der Fokus liegt auch hier auf der Dimension der Anwendung. In dieser erwirtschaften 1.310 Beschäftigte einen Wasserstoffumsatz von 496.1 Mio. EUR. Dies entspricht in etwa zwei Drittel des gesamten Wasserstoffumsatzes. Hier gilt es jedoch anzumerken, dass Unternehmen dabei sowohl in einer, als auch in mehreren Dimensionen aktiv sein können, weshalb diese Zahlen nicht als absolut, sondern im Wissen um diese Überschneidungen betrachtet werden müssen. Eine Interpretation erscheint daher solange als zulässig, solange diese nur die Verhältnisse zueinander und keine exakte Allokation behandelt.

Im Zuge dessen lässt sich interpretieren, dass in der Anwendungs-Dimension nicht nur die meisten Unternehmen vertreten sind, sondern diese auch gewichtet nach durchschnittlichem Wasserstoffumsatz pro Unternehmenseinheit den ersten Rang einnimmt. Ein Bild, das sich ebenso für die Beschäftigtenanzahl zeichnen lässt. Da die Dimension der Anwendung durch Großunternehmen geprägt ist, liegt die durchschnittliche Durchdringung etwas unter jener der anderen Bereiche. Während die Wasserstoff-Durchdringung in der Anwendung bei bis zu 17% liegt, ist diese in der Produktion (bis zu 18%) und der Infrastruktur (bis zu 19%) etwas höher.

Tab. 8: Umsatz und Beschäftigtenanzahl je Dimension der Wasserstoffwirtschaft

	n=	Wasserstoffumsatz in 1.000	Wasserstoff Beschäftigte
Summe	180	737.257	2.073
Wasserstoff- Dimension	Produktion	240.897	814
	Infrastruktur	214.758	738
	Anwendung	496.128	1.310

Anm.: Die Unternehmensanzahl der Infrastruktur-Dimension wurde hier um Doppelnennungen bereinigt, die durch Aktivitäten in beiden Sub-Ebenen Verteilung sowie Speicherung entstehen.

Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Branchenstruktur nach Wasserstoffumsatz

Hinsichtlich der Branchen zeigt sich, dass eines der stärksten Anwendungsfelder auf den Bereich der Mobilität entfällt. Wie die Verteilung zeigt, ist mehr als ein Drittel (34%) und somit der anteilmäßig höchste Wasserstoffumsatz auf die Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen zurückzuführen, gefolgt von 13% des gesamt generierten Wasserstoffumsatzes in der Branche Maschinenbau. Auf dem 3. Rang befindet sich die Branche der Metallerzeugung und Bearbeitung.

Tab. 9: Branchenstruktur der Unternehmen mit Wasserstoffbezug nach Wasserstoff-Umsatzanteil

NACE Code	Bezeichnung	Anteil am Wasserstoffumsatz
29	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	34,4%
28	Maschinenbau	12,9%
24	Metallerzeugung und Bearbeitung	10,7%
35	Energieversorgung	10,3%
26	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	5,5%
27	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	5,3%
25	Herstellung von Metallerzeugnissen	4,5%
46	Großhandel	3,5%
42	Tiefbau	2,4%
52	Lagererei	1,6%
80	Erbringung von wirtschaftlichen Dienstleistungen für Unternehmen	1,6%
49	Landverkehr und Transport in Rohrfernleitungen	1,1%
30	Sonstiger Fahrzeugbau	1,1%
20	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	0,8%
	Sonstige NACE-Abteilungen	4,3%

Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

Sie ist für rd. 11% des Wasserstoffumsatzes verantwortlich. Diese Branchen erzielen gemeinsam mehr als die Hälfte des gesamten durch Wasserstoff generierten Umsatzes. In etwa ein weiteres Fünftel des Wasserstoffumsatzes wird zusammen von den Branchen Energieversorgung (10%); Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen (6%); sowie Herstellung von elektrischen Ausrüstungen (5%) generiert.

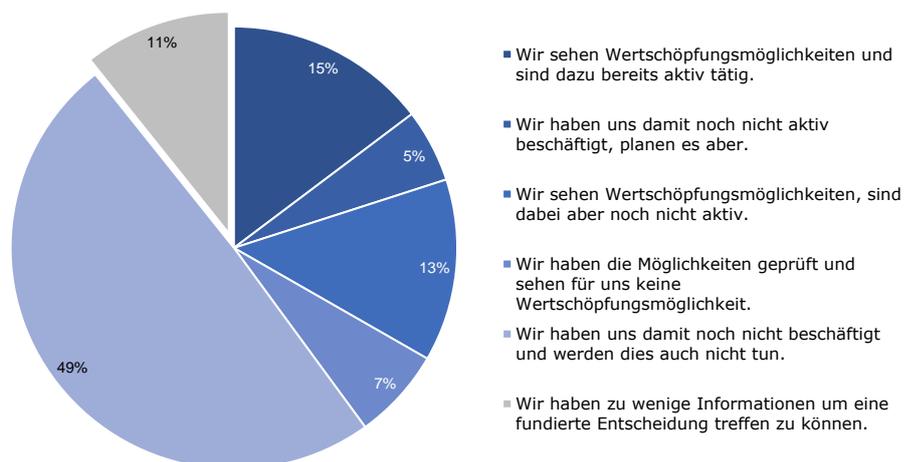
3.6 Exkurs: Relevanz von Wasserstofftechnologien im Automotiven Bereich

Wie durch die Analyse der Branchenstruktur der untersuchten Unternehmen erkennbar wird, ist der Automotive Bereich ein gewichtiger Nachfragetreiber und Vorreiter bei der Anwendung von Wasserstofftechnologien innerhalb des heimischen Wirtschaftsgeflechts. Wie sich durch die IWI-Studie „Automotive Zulieferindustrie als Exporterfolg – Strategien für Post-COVID“ (IWI 2021) zeigen lässt, ist die Haltung gegenüber dem Einsatz von Wasserstofftechnologien innerhalb der eigenen Wertschöpfungskette unter den Automotiven Zuliefererbetrieben divergierend, wobei die nach eigenen Angaben bereits erschlossenen oder geplanten Wertschöpfungsmöglichkeiten vom jeweiligen Strukturprofil der befragten Unternehmen abhängig zu sein scheinen und sich nicht pauschalisieren lassen.

So gibt in etwa die Hälfte (49%) der dazu befragten Unternehmen an, dass Aktivitäten im Bereich der Wasserstofftechnologien weder jetzt noch in Zukunft geplant sind. Unter jenen Unternehmen finden sich überdurchschnittlich häufig Mittelunternehmen, innerhalb dieser Größenklasse vertreten etwa zwei Drittel diese Meinung.

Indes ist bei etwa der Hälfte der Groß- und Kleinunternehmen bereits eine Integration von Wasserstofftechnologien umgesetzt oder zumindest in Planung. Eben diese Unternehmen sind es auch, welche am häufigsten in den Bereichen Antrieb, E-Antrieb & Komponenten sowie Fahrwerk tätig sind.

Abb. 10: Anwendung von Wasserstofftechnologien – Status quo



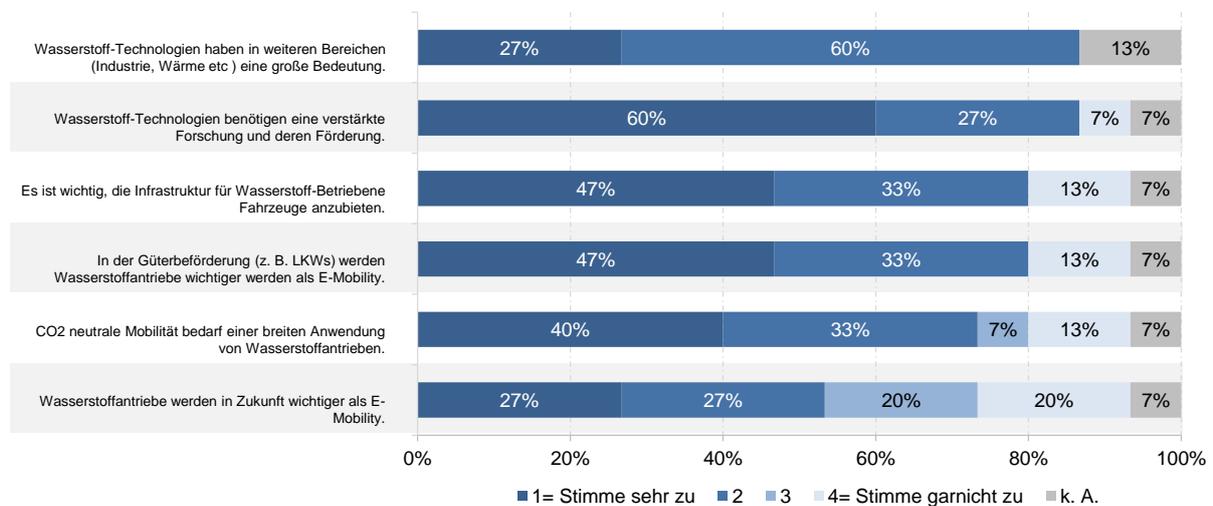
Anm.: n=75.Frage 6.

Quelle: IWI (2021): Automotive Zulieferindustrie als Exporterfolg – Strategien für Post-COVID

Mehr als die Hälfte (56%) jener Unternehmen mit geplanter oder bereits existierender Nutzung von Wertschöpfungsmöglichkeiten durch Wasserstofftechnologien sehen diese im Tätigkeitsfeld der Herstellung von Systemen und Komponenten angesiedelt; 44% identifizieren für sich Potentiale im Angebot von entsprechenden Dienstleistungen.

Gut einem weiteren Zehntel fehlen die notwendigen Informationen, um strategische Entscheidungen in diese Richtung treffen zu können, wobei die meisten dieser Unternehmen entweder als Groß- oder als Mittelunternehmen einzustufen sind. Häufig sind dies Unternehmen, welche in Automotiven Bereichen tätig sind, die nicht direkt den Antriebsstrang betreffen. Eine Ausnahme bildet der Bereich des konventionellen Antriebs. Hier ist zum einen bereits eine Dynamik hin zur Integration von Wasserstofftechnologien sichtbar – 17% haben diese bereits etabliert, weitere 28% sehen Potentiale – zum anderen wirkt der zu geringe Informationsgrad bei 3 von 10 als Hürde bei der Entscheidungsfindung.

Abb. 11: Stimmungsbild zu Wasserstofftechnologien der Automotiven Zuliefererindustrie



Anm.: n=25 (Filterfrage); Frage 6c.

Quelle: IWI (2021): Automotive Zuliefererindustrie als Exporterfolg – Strategien für Post-COVID

Von jenen Unternehmen, bei denen eine Integration von Wasserstofftechnologien in die eigene Wertschöpfungskette geplant oder bereits umgesetzt ist, stimmen beinahe 9 von 10 zu, dass verstärkte Forschung und deren Förderung in diesem Technologiebereich notwendig sind. Dabei sehen die Befragten den breiten Einsatz der Technologie als Notwendigkeit an, um das Ziel einer klimaneutralen Mobilität zu erreichen. Ebenso sind die Unternehmen der Meinung, dass dieses Ziel jedoch mit einem Technologie-Mix aus Elektrifizierung und Wasserstoff je nach Anwendung zu bewerkstelligen sein wird, anstatt durch eine Technologie allein. Potentiale für wasserstoffbasierte Antriebsstränge liegen gemäß Einschätzung vorrangig im Bereich der Güterbeförderung; entsprechend wichtig ist daher auch die Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur.

3.7 Systemische Gliederung der Wasserstoffwirtschaft in Power Roles

Wie in der gesamtwirtschaftlichen Betrachtung wurden die Unternehmen im Wasserstoffsegment anhand ihrer eingenommenen „Power Role“ charakterisiert; jener Rolle, die sie im Wirtschaftsgeflecht der heimischen Wasserstoffwirtschaft einnehmen. Dadurch ist eine qualitativ tiefergehende Beurteilung der Wasserstoffwirtschaft als Ganzes möglich, da nicht nur der Geschäftsbereich, sondern auch die Art und der Wirkungsbereich der Tätigkeiten im Netzwerk beurteilt werden.

Während sich die Anzahl und die Unternehmensstruktur in den einzelnen Bereichen zwischen gesamtwirtschaftlicher und wasserstoffspezifischer Betrachtung nicht unterscheiden, variiert der durch Wasserstoff erzielte Umsatz, sowie die Beschäftigten in dem Unternehmenssegment. Mit 406 Mio. EUR erwirtschaften die Core Player den größten Wasserstoffumsatz, gefolgt von den Current Tech Adaptors mit 138 Mio. EUR.

Abb. 12: Systemische Power Roles der Wasserstoffwirtschaft

Core Player	• 16 Unternehmen 406,0 Mio. Umsatz 1.061 Mitarbeiter
Supplier	• 37 Unternehmen 76,0 Mio. Umsatz 236 Mitarbeiter
Front Runner	• 22 Unternehmen 56,1 Mio. Umsatz 130 Mitarbeiter
Casual/Systematic User	• 4 Unternehmen 6,4 Mio. Umsatz 10 Mitarbeiter
Current Tech Adaptor	• 46 Unternehmen 138,0 Mio. Umsatz 422 Mitarbeiter
EDU & Associations	• 6 Unternehmen 1,7 Mio. Umsatz 22 Mitarbeiter
Other	• 49 Unternehmen 53,1 Mio. Umsatz 192 Mitarbeiter

Quelle: IWI (2021): Datenbank – Unternehmen der österreichischen Wasserstoffwirtschaft

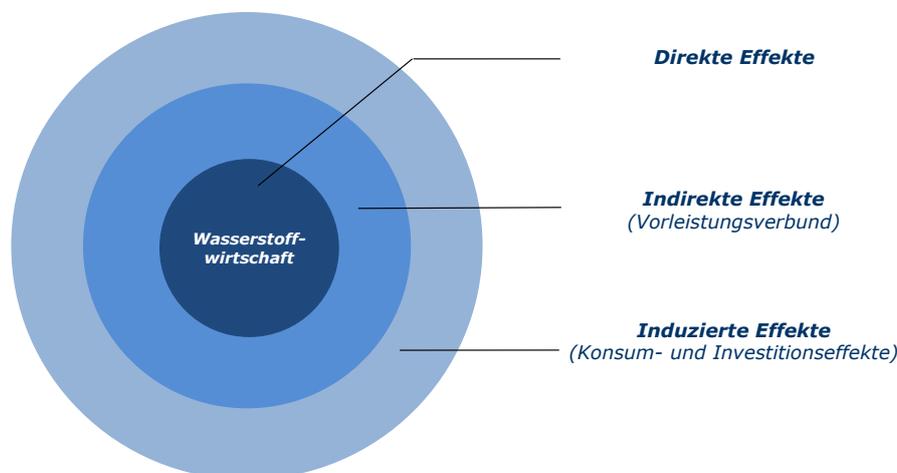
Die mit Abstand stärkste Wasserstoffdurchdringung weisen die Unternehmen im Bereich Front Runner auf. Diese erzielen bis zu 45% des gesamten Umsatzes durch Aktivitäten mit Wasserstoff-Bezug. Die hohe Wasserstoffdurchdringung in diesem Segment ist vor allem aufgrund des hohen Anteils an Kleinunternehmen so stark ausgeprägt, welche generell höhere Wasserstoff-Durchdringungsraten aufweisen. Die Supplier haben eine durchschnittliche Wasserstoff-Durchdringungsrate von 21%, gefolgt von EDU & Associations (16%) und Current Tech Adaptors (10%). Die von Großunternehmen geprägten Core Player weisen im Durchschnitt eine Durchdringung von bis zu 8% auf. Nur Other (6%) und Casual/Systematic User (1%) erzielen weniger ihres Umsatzes durch Wasserstoff.

4 Volkswirtschaftliche Bedeutung der heimischen Wasserstoffwirtschaft

Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft sind ein vernetzter Faktor im gesamtwirtschaftlichen Gefüge. Sie lösen nicht nur in den eigenen Unternehmen Umsätze, Wertschöpfung und Beschäftigung aus, sondern sind über intensive Verflechtungen mit zahlreichen anderen heimischen Branchen verbunden, sowohl auf der Seite ihrer Zulieferer als auch auf der Seite der Kunden. Über ihre Vernetzung mit anderen Wirtschaftsbereichen geben die Unternehmen Impulse an die gesamte österreichische Volkswirtschaft weiter.

Die Kooperation mit anderen Unternehmenseinheiten sowie der Bezug von Vorleistungen bewirkt neben direkten zusätzlich indirekte und induzierte Effekte. Bei den direkten Effekten handelt es sich um Effekte, die unmittelbar durch die Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien in der österreichischen Volkswirtschaft zu beobachten bzw. zu messen sind. Indirekte Effekte des Unternehmens werden auf Seite der Nachfrage entlang der gesamten Wertschöpfungskette des Vorleistungsverbundes induziert (Backward-Linkages), indessen ergeben sich induzierte Effekte über den Konsum, der durch die (direkt und indirekt) generierte Beschäftigung bzw. durch die generierten Investitionen der Unternehmen in der österreichischen Volkswirtschaft ermöglicht wird.

Abb. 13: Das Schichten Modell des IWI: Input-Output-Berechnungen



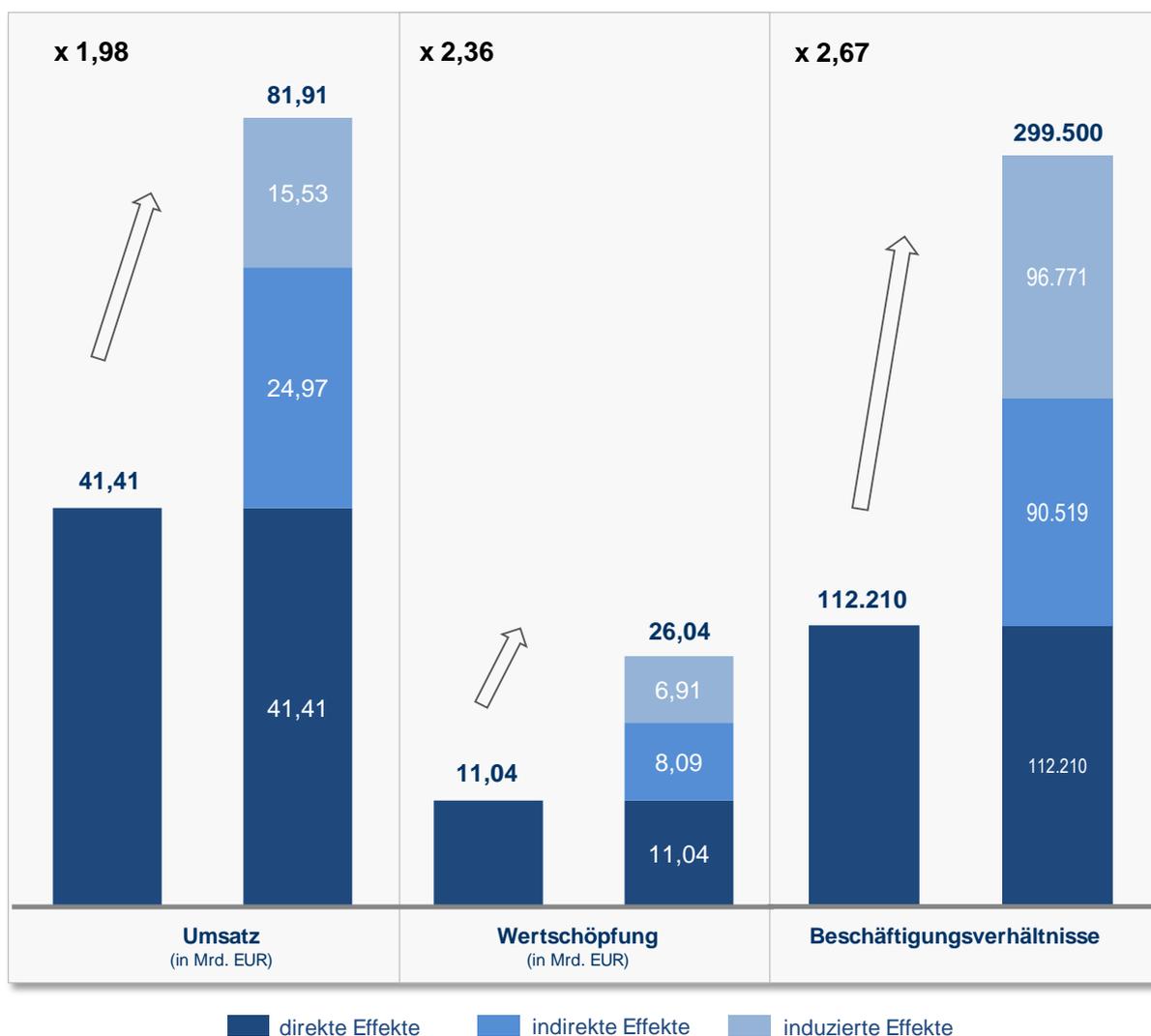
Quelle: IWI (2021)

In diesem Kapitel werden zum einen die volkswirtschaftlichen Effekte der 180 Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft hinsichtlich ihrer gesamten Unternehmenssubstanz (unter Berücksichtigung sämtlicher Geschäftsfelder) untersucht, zum anderen die volkswirtschaftlichen Effekte rein auf Tätigkeiten im Bereich Wasserstoff bzw. -technologien bezogen (H_2 -Durchdringung). Bei letzterer Variante werden somit nur Wasserstoff-Umsatz bzw. Wasserstoff-Mitarbeiter für die Berechnungen herangezogen.

4.1 Volkswirtschaftliche Effekte der gesamten Unternehmenssubstanz mit Bezug zu Wasserstofftechnologien

Eine vonseiten des IWI realisierte gesamtwirtschaftliche Modellrechnung für das Referenzjahr 2019 ergibt, dass mittels der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien ein gesamtwirtschaftlicher Umsatz in Höhe von 81,91 Mrd. EUR in Österreichs Wirtschaft ausgelöst wird (Produktionswert: 68,50 Mrd. EUR; entspricht 9,3% an gesamtwirtschaftlichem Anteil). Die 180 Unternehmen des Samples generieren direkt 41,41 Mrd. EUR an Umsatzerlösen in Folge ihrer gesamten Tätigkeiten. Folglich bewirkt der von den Unternehmen des Samples erwirtschaftete Umsatz indirekte Umsätze von 24,97 Mrd. EUR sowie induzierte Umsätze von 15,53 Mrd. EUR in der österreichischen Volkswirtschaft.

Abb. 14: Volkswirtschaftliche Effekte der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien 2019



Anm.: Rundungsdifferenzen möglich. Auswertung nach ÖNACE 2008. Input-Output-Tabelle 2016. Output-zu-Output-Modell des IWI. Beschäftigungsverhältnisse (BV) werden mit den Angaben zu Mitarbeiterzahlen aus der Datenbank des IWI harmonisiert und modell-exogen ausgewiesen. Infolgedessen beruhen ebenso etwa die Arbeitnehmerentgelte mittelbar auf den Ergebnissen der IO-Analyse.

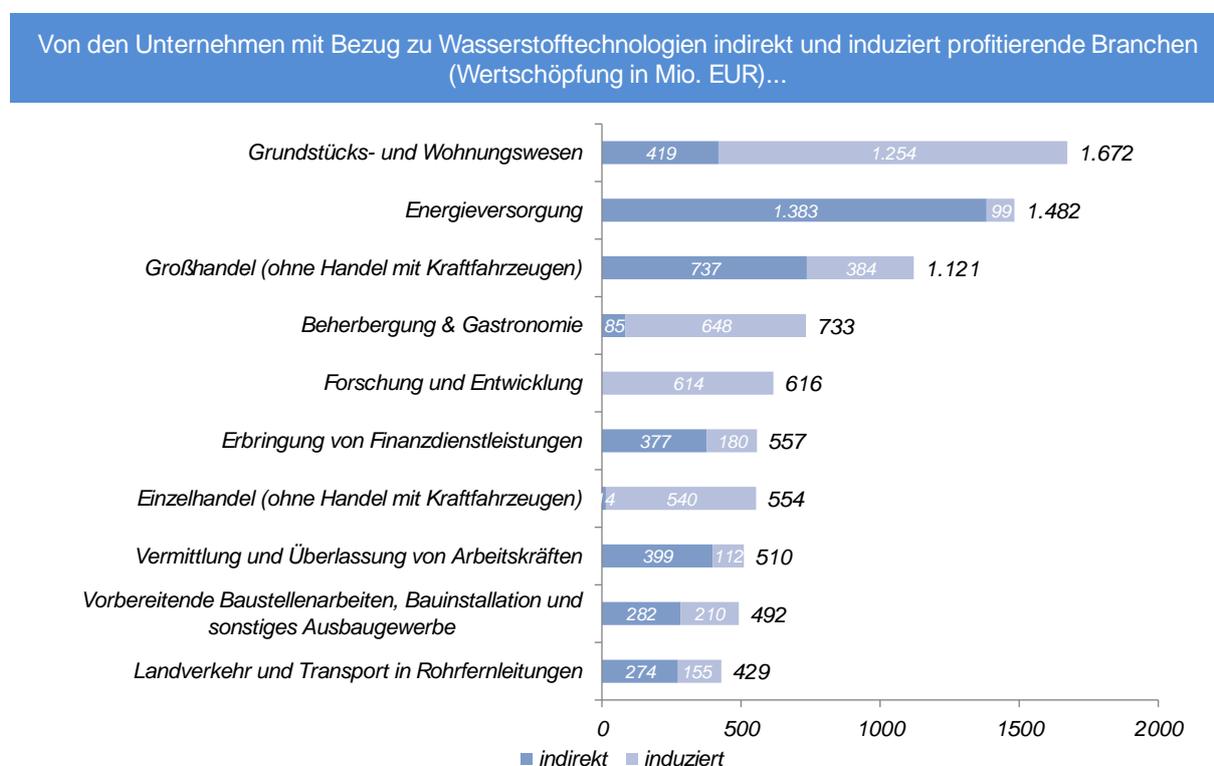
Quelle: IWI (2020) auf Basis der Statistik Austria (div. Jahre), Input-Output-Tabellen, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung 2019

Wertschöpfungseffekte

In weiterer Folge initiieren die Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien eine gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung in Höhe von 26,04 Mrd. EUR, wovon 11,04 Mrd. EUR direkt auf Unternehmen abzuleiten sind, sowie sich 8,09 Mrd. EUR an indirekten und 6,91 Mrd. EUR an induzierten Wertschöpfungseffekten ergeben.

Werden die profitierenden Branchen betrachtet, so geht hervor, dass jene, die indirekt sowie induziert am meisten von den Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien Nutzen ziehen, (hinsichtlich der Wertschöpfung) u.a. das *Grundstücks- und Wohnungswesen* mit rd. 1,67 Mrd. EUR die *Energieversorgung* mit 1,48 Mrd. EUR, sowie mit rd. 1,12 Mrd. EUR der *Großhandel* sind. Die *Beherbergung & Gastronomie* profitiert mit 0,73 Mrd. EUR. Es folgen u.a. die Branchen der *Forschung und Entwicklung*, der *Einzelhandel*, und der *Vermittlung und Überlassung von Arbeitskräften*.

Abb. 15: Profitierende Branchen von Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien



Quelle: IWI auf Basis der Statistik Austria (2020), Statistik Austria (div. Jahre), Input-Output-Tabellen

Beschäftigungseffekte

Summa summarum können bis zu rd. 299.500 abgesicherte Arbeitsplätze in der heimischen Volkswirtschaft auf Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien zugerechnet werden. Direkt den Unternehmen sind rd. 112.200 Beschäftigte zuzuordnen, über indirekte Effekte bzw. Vorleistungsverflechtungen ergeben sich rd. 90.500 Beschäftigte in Österreichs Wirtschaft sowie weitere rd. 96.800 Beschäftigte über induzierte Effekte. In Vollzeitäquivalente (VZÄ) dargestellt, ergeben sich durch die Aktivitäten des Unternehmenssamples rd. 258.300 VZÄ; direkt 102.600 VZÄ sowie weitere 78.600 indirekte und 77.100 induzierte VZÄ.

Insgesamt belaufen sich die kumulierten Arbeitnehmerentgelte der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien auf eine Summe von 13,3 Mrd. EUR, davon 5,8 Mrd. EUR direkt sowie 4,2 Mrd. EUR indirekt und 3,3 Mrd. EUR induziert.

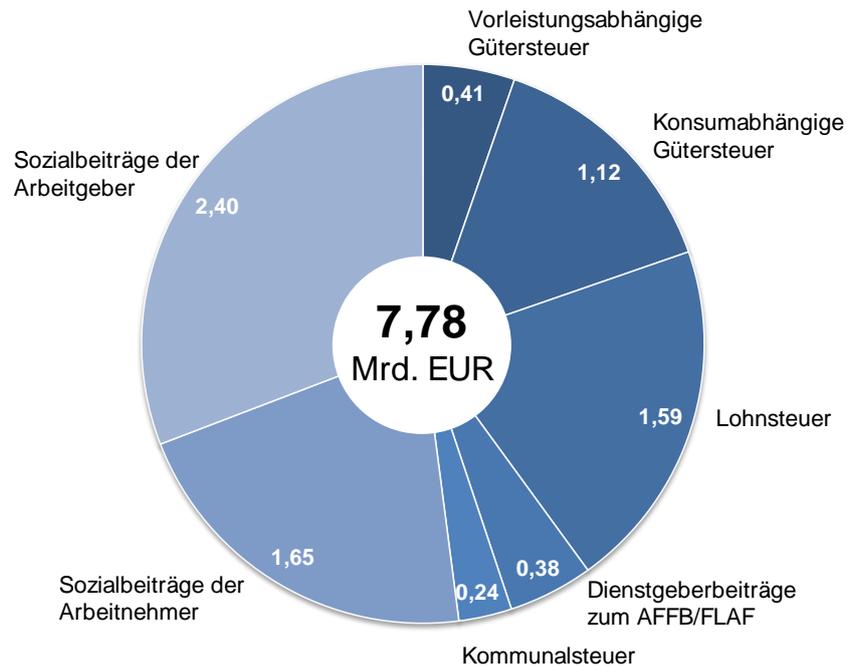
Fiskal- und Sozialbeitragseffekte

Mit Hilfe der Input-Output-Analyse ist es möglich, neben direkten Fiskalbeiträgen der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien weitere auf indirekte sowie induzierte Effekte abzuleitende Fiskalbeiträge zu eruieren. Summa summarum können Fiskaleffekte im Ausmaß von rd. 3,74 Mrd. EUR auf Grundlage sämtlicher Tätigkeiten der Unternehmen zugerechnet werden, wobei sich diese Größe aus gesamt fünf Posten bildet: Die erzeugte *Lohnsteuer* in Österreich ergibt insgesamt 1,59 Mrd. EUR, *Dienstgeberbeiträge* zum AFFB/FLAF belaufen sich auf 0,38 Mrd. EUR, die *Kommunalsteuer* auf 0,24 Mrd. EUR. Die *Gütersteuern* kommen auf insgesamt 1,53 Mrd. EUR, hiervon 0,41 Mrd. EUR *vorleistungsunabhängig* sowie 1,12 Mrd. EUR *konsumabhängig*.²³

Zusätzlich zu den errechneten Fiskaleffekten können außerdem die mittels des Unternehmenssamples erwirkten gesamtwirtschaftlichen Effekte der Sozialbeiträge für Arbeitnehmer bzw. Arbeitgeber ermittelt werden (rd. 4,06 Mrd. EUR). Die bewirkten Sozialbeiträge der Arbeitnehmer machen 1,65 Mrd. EUR aus (0,73 Mrd. EUR direkt), jene der Arbeitgeber belaufen sich auf 2,40 Mrd. EUR (1,04 Mrd. EUR direkt).

²³ Unter Gütersteuern fallen v.a. die MwSt, Verbrauchsabgaben (mit Ausnahme der in den Importabgaben enthaltenen St.), die MineralölSt., die TabakSt., St. auf Versicherungsprämien, die VersicherungsSt. sowie St. auf finanzielle Transaktionen und Vermögenstransaktionen. Diese sind sowohl konsum- als auch vorleistungsabhängig. GüterSt. fallen im angewandten Rechenmodell im Zuge der Vorleistungsverflechtungen an (d.h. auf der indirekten und induzierten Ebene), auf der direkten Ebene sind keine GüterSt. evident (Ausgangsbasis für Berechnungen: Produktion gemessen zu Herstellungspreisen). Zu den konsumabhängigen GüterSt können tendenziell die MineralölSt., die TabakSt., St. auf Versicherungsprämien, die Versicherungssteuern sowie St. auf finanzielle Transaktionen und Vermögenstransaktionen gezählt werden. Das Ausmaß der Gewinnbesteuerung (Körper- und Einkommensteuer) lässt sich bis dato nicht abschätzen. Rundungsdifferenzen möglich.

Abb. 16: Fiskal- und Sozialbeitragseffekte der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien



Anm.: Werte in Mrd. EUR.
 Quelle: IWI auf Basis der Statistik Austria (2020), Statistik Austria (div. Jahre), Input-Output-Tabellen

Insgesamt belaufen sich die gesamtwirtschaftlich durch die Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien erwirtschaftetem Fiskal- und Sozialbeitragseffekte auf 7,54 Mrd. EUR, wobei die arbeitnehmerinduzierten Abgaben (Lohnsteuer, Dienstgeberbeiträge zum AFFB/FLAF, Kommunalsteuer, Sozialbeiträge) bereits ein Ausmaß von 6,26 Mrd. EUR erlangen.

Die Aktivitäten der Unternehmen des Samples bewirken aufgrund der Vernetzung mit Lieferanten und Kunden sowie verbundenen Unternehmen sogenannte Spill-Over-Effekte. Setzt man jeweils die gesamten und die direkten Effekte der einzelnen Indikatoren zueinander in Beziehung, erhält man die Output-zu-Output-Multiplikatoren (in Bezug auf Backward-Linkages).

Demzufolge

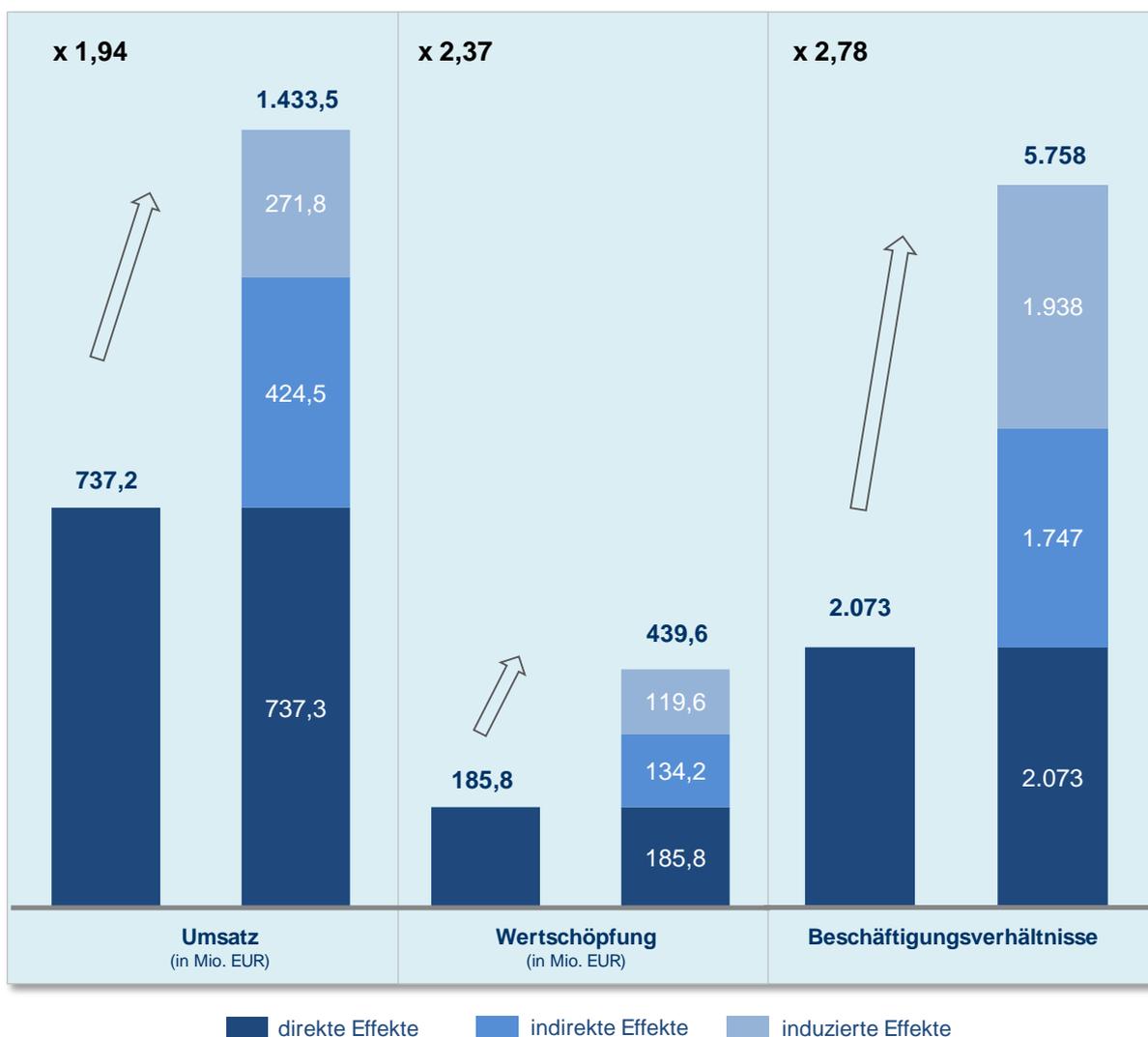
- bewirkt ein EUR an Umsatz bzw. Produktion eines Unternehmens mit Bezug zu Wasserstofftechnologien insgesamt 1,98 EUR an Umsatz bzw. Produktionswert in der Wirtschaft Österreichs, ein EUR an Wertschöpfung 2,36 EUR an gesamtwirtschaftlicher Wertschöpfung sowie
- sichert ein Beschäftigungsverhältnis in Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien österreichweit in Summe 2,67 Beschäftigungsverhältnisse bzw. 2,52 VZÄ.

4.2 Volkswirtschaftliche Effekte der heimischen Wasserstoffwirtschaft

Nachfolgend werden die volkswirtschaftlichen Effekte der heimischen Wasserstoffwirtschaft für das Referenzjahr 2019 dargelegt. In dieser Modellkonfiguration werden jene Effekte ermittelt, die unmittelbar auf Tätigkeiten im Bereich Wasserstoff bzw. Wasserstofftechnologien basieren (**Berücksichtigung der H₂-Durchdringung**).

Eine volkswirtschaftliche Modellrechnung ergibt, dass mittels der heimischen Wasserstoffwirtschaft ein gesamtwirtschaftlicher Umsatz in Höhe von **1,43 Mrd. EUR** in Österreichs Wirtschaft ausgelöst wird (Produktionswert: 1,18 Mrd. EUR; entspricht 0,2% an gesamtwirtschaftlichem Anteil). Die 180 Unternehmen des Samples generieren direkt 737,1 Mio. EUR an Wasserstoff-Umsatzerlösen in Folge ihrer wasserstoffbezogenen Tätigkeiten. Folglich stimuliert der von der Wasserstoffwirtschaft generierte Umsatz indirekte Umsätze von 424,5 Mio. EUR sowie induzierte Umsätze von 271,8 Mio. EUR in der heimischen Volkswirtschaft.

Abb. 17: Volkswirtschaftliche Effekte der heimischen Wasserstoffwirtschaft im Jahr 2019



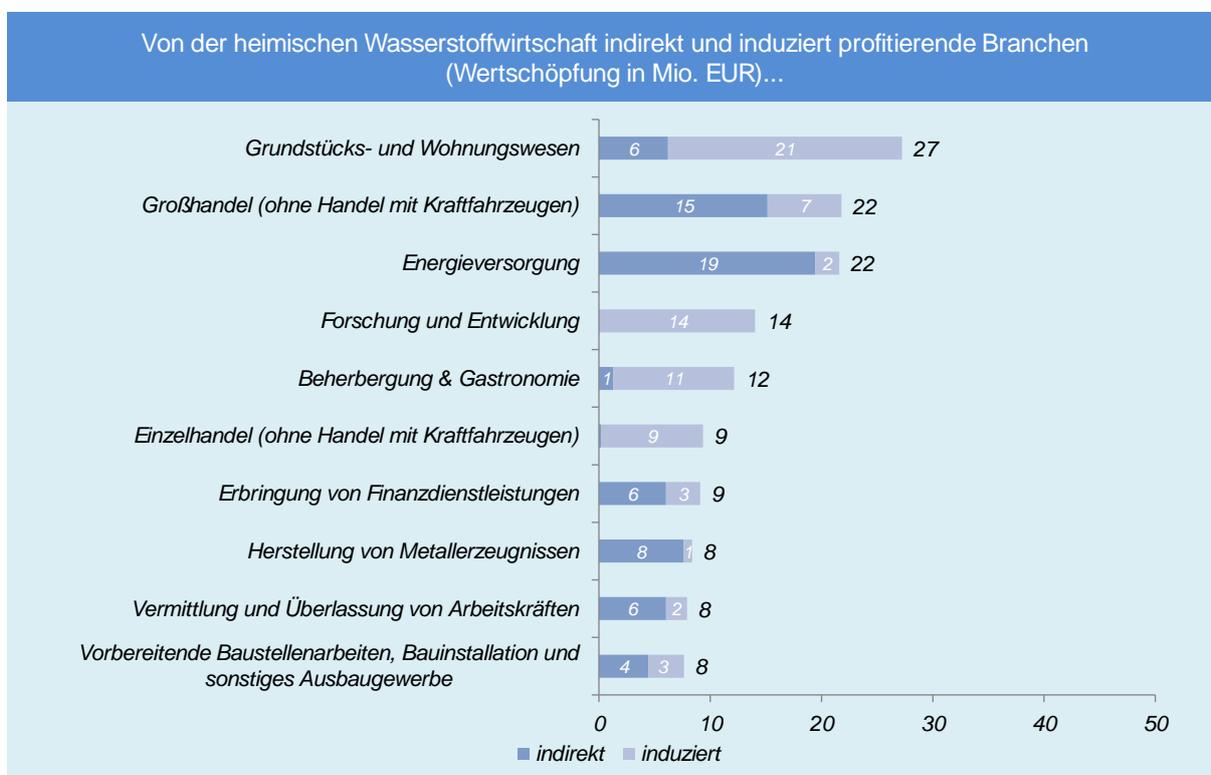
Anm.: Rundungsdifferenzen möglich. Auswertung nach ÖNACE 2008. Input-Output-Tabelle 2016. Output-zu-Output-Modell des IWI. Beschäftigungsverhältnisse (BV) werden mit den Angaben zu Mitarbeiterzahlen aus der Datenbank des IWI harmonisiert und modell-exogen ausgewiesen.
 Quelle: IWI (2021) auf Basis der Statistik Austria, Input-Output-Tabellen, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung 2019

Wertschöpfungseffekte

Darüber hinaus bewirken die Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft mittels ihrer Wasserstoff-Tätigkeiten eine gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung in Höhe von 439,6 Mio. EUR, wovon 185,8 Mio. EUR direkt auf die Wasserstoff-Wirtschaft zurückzuführen sind sowie 134,2 Mio. EUR an indirekten und 119,6 Mio. EUR an induzierten Wertschöpfungseffekten ausgelöst werden.

Jene Branchen, die indirekt sowie induziert am meisten von den Tätigkeiten der Wasserstoffwirtschaft profitieren, sind (hinsichtlich der Wertschöpfung) u.a. das *Grundstücks- und Wohnungswesen* mit rd. 27,2 Mio. EUR, der *Großhandel* mit 21,8 Mio. EUR sowie die *Energieversorgung* mit 21,6 Mio. EUR. Rein auf die Wasserstoff-Tätigkeiten bezogen, profitiert die *Forschung und Entwicklung* hochgradig von den Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft mit 14,0 Mio. EUR. Die erzielten Effekte werden dabei fast ausschließlich investitionsinduziert ausgelöst, was die Wasserwirtschaft als Treiber für die heimische Forschungslandschaft unterstreicht.

Abb. 18: Profitierende Branchen der heimischen Wasserstoff-Wirtschaft



Quelle: IWI auf Basis der Statistik Austria (2021), Statistik Austria (div. Jahre), Input-Output-Tabellen

Beschäftigungseffekte

In Summe werden bis zu rd. 5.800 Arbeitsplätze in der heimischen Volkswirtschaft durch wasserstoffspezifische Tätigkeiten der Wasserstoffwirtschaft abgesichert. Direkt in den Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft können 2.073 Beschäftigte unmittelbar zu Tätigkeiten im Bereich Wasserstoff zugeordnet werden, über indirekte Effekte bzw. Vorleistungsverflechtungen ergeben sich 1.747 Beschäftigte in Österreichs Wirtschaft sowie weitere 1.938 Beschäftigte über induzierte Effekte. In Vollzeitäquivalente (VZÄ) umgelegt, ergeben sich durch die Wasserstoff-Aktivitäten der Wasserstoffwirtschaft 4.998 VZÄ; davon 1.926 direkte VZÄ sowie 1.530 indirekte und 1.542 induzierte VZÄ.

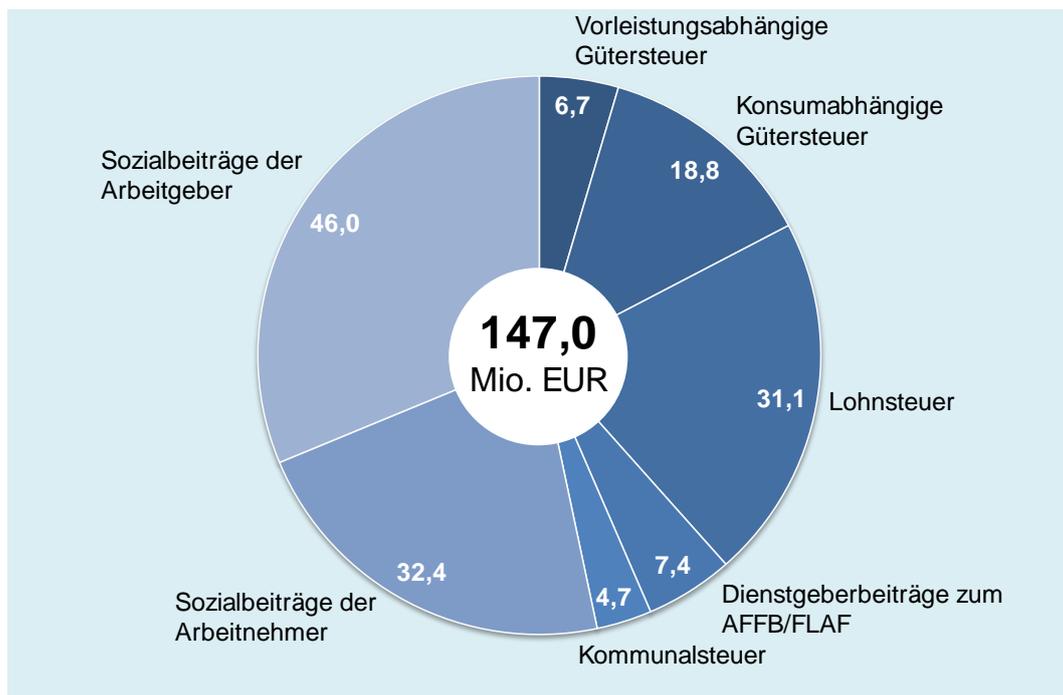
Insgesamt belaufen sich die kumulierten Arbeitnehmerentgelte der Wasserstoffwirtschaft auf 259,4 Mio. EUR, davon 111,5 Mio. EUR direkt sowie 80,7 Mio. EUR indirekt und 67,1 Mio. EUR induziert.

Fiskal- und Sozialbeitragseffekte

In Summe können Fiskaleffekte im Ausmaß von 68,6 Mio. EUR auf Grundlage der wasserstoffbezogenen Tätigkeiten der Wasserstoffwirtschaft zugerechnet werden, wobei sich diese Größe aus gesamt fünf Positionen bildet: Die erzeugte *Lohnsteuer* in Österreich ergibt insgesamt 31,1 Mio. EUR, *Dienstgeberbeiträge* zum AFFB/FLAF belaufen sich auf 7,4 Mio. EUR, die *Kommunalsteuer* auf 4,7 Mio. EUR. Die *Gütersteuern* kommen auf insgesamt 25,4 Mio. EUR, hiervon 6,7 Mio. EUR *vorleistungsunabhängig* sowie 18,8 Mio. EUR *konsumabhängig*.

Neben den Fiskaleffekten können zudem die durch die Wasserstoffwirtschaft initiierten gesamtwirtschaftlichen Effekte der Sozialbeiträge für Arbeitnehmer bzw. Arbeitgeber ermittelt werden (78,3 Mio. EUR). Die bewirkten Sozialbeiträge der Arbeitnehmer machen 32,4 Mio. EUR aus (14,0 Mio. EUR direkt), jene der Arbeitgeber belaufen sich auf 46,0 Mio. EUR (19,1 Mio. EUR direkt).

Abb. 19: Fiskal- und Sozialbeitrageffekte der heimischen Wasserstoffwirtschaft



Anm.: Werte in Mio. EUR.
Quelle: IWI auf Basis der Statistik Austria (2021), Statistik Austria, Input-Output-Tabellen

Insgesamt belaufen sich die gesamtwirtschaftlich durch die Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft erwirtschafteten Fiskal- und Sozialbeitrageffekte auf 147,0 Mio. EUR, wobei die arbeitnehmerinduzierten Abgaben (Lohnsteuer, Dienstgeberbeiträge zum AFFB/FLAF, Kommunalsteuer, Sozialbeiträge) bereits ein Ausmaß von 121,5 Mio. EUR erlangen.

Die Output-zu-Output-Multiplikatoren (in Bezug auf Backward-Linkages) der wasserstoffspezifischen Aktivitäten des Untersuchungssamples sind wie folgt dimensioniert:

- ein EUR an Umsatz bzw. Produktionswert der Wasserstoffwirtschaft generiert insgesamt 1,94 EUR an Umsatz bzw. Produktionswert in der Wirtschaft Österreichs, ein EUR an Wertschöpfung 2,37 EUR an gesamtwirtschaftlicher Wertschöpfung, sowie
- sichert ein Beschäftigungsverhältnis der Wasserstoffwirtschaft österreichweit in Summe 2,78 Beschäftigungsverhältnisse bzw. 2,59 VZÄ.

Der höhere Beschäftigungsmultiplikator im Vergleich zur Gesamtbetrachtung liegt u.a. im Branchenmix der Wasserstoffwirtschaft bzw. der wasserstoffspezifischen Tätigkeiten. So sind die Branchen Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen, Maschinenbau sowie Metallerzeugung und Bearbeitung durch eine hohe Beschäftigungswirksamkeit gekennzeichnet.

4.2.1 Einbindung der Wasserstoffwirtschaft in Wertschöpfungsketten

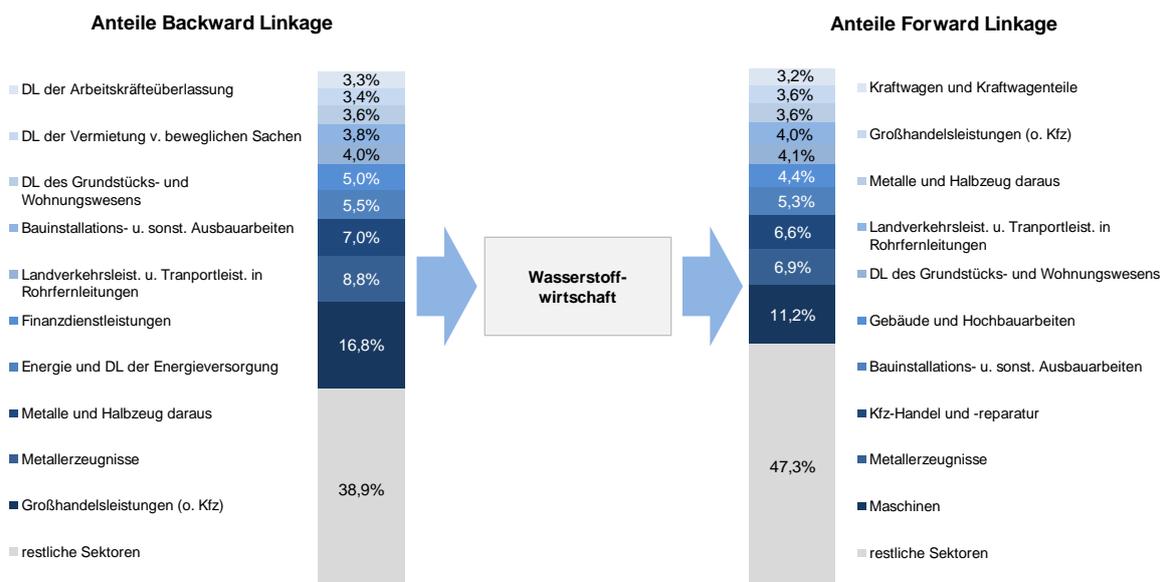
Mittels einer Analyse der Wertschöpfungskette wird die Verflechtung der heimischen Wasserstoffwirtschaft in der österreichischen Volkswirtschaft dargestellt, wobei ebenso die Forward-Linkages berücksichtigt werden (wohin fließen Güter der Wasserstoffwirtschaft). Somit können vor- und nachgelagerte Bereiche der Wasserstoffwirtschaft ausgewiesen werden (vgl. Abb. 20). Über die Wertschöpfungskette entsteht ein komplexes Verflechtungsmuster zwischen Unternehmen jeglicher Branchen bzw. Größe.

Auf vorgelagerter Ebene profitieren insb. Zulieferer aus dem Großhandel, von hier stammen 16,8% der Vorleistungen für die Wasserstoffwirtschaft. Eine Vielzahl von Vorprodukten stammt zudem aus der Metallerzeugung und -bearbeitung (8,8%), eine Branche, welche viele Großunternehmen und Leitbetriebe hervorbringt. Ein essentieller Zulieferer ist ebenso die Energieversorgung, von hier kommen 5,5% der Vorprodukte für die Wasserstoffwirtschaft, Transportdienstleistungen werden zu 4% aller Vorleistungen in Anspruch genommen.

Die Produkte der Wasserstoffwirtschaft werden von Unternehmen eines heterogenen Branchensettings in deren Produktionsprozessen eingesetzt. Auf nachgelagerter Ebene ist v.a. der Maschinenbau unmittelbarer Abnehmer von Produkten der Wasserstoffwirtschaft. In Summe fließen 11,2% der Güter zur weiteren Verwendung in Unternehmen dieser Branche. Ebenso zu essentiellen Abnehmern zählt etwa die Metallerzeugung und -bearbeitung (6,9%), aber auch die Bauwirtschaft (in Summe 9,7%). In den Branchen werden u.a. Infrastrukturanwendungen der Wasserstoffwirtschaft nachgefragt. 4% der Güter fließen zudem in den Bereich der Transportdienstleistungen.

Beinahe die Hälfte der Produkte fließt in Güter außerhalb der Top-10 Abnehmer, das unterstreicht einerseits den hohen Vernetzungsgrad der Unternehmen der Wasserstoffwirtschaft in der österreichischen Volkswirtschaft, andererseits die ausgeprägte Diversität der Geschäftsfelder der Unternehmen. Sie sind nicht auf eine Technologie bzw. einen Tätigkeitsbereich fokussiert, sondern teilen ihre Kompetenzen und Geschäftsfelder auf mehrere Standbeine.

Abb. 20: Zulieferer und Abnehmer der heimischen Wasserstoffwirtschaft



Quelle: IWI (2021) auf Basis der Statistik Austria, Statistik Austria, Input-Output-Tabellen

Exportquoten ausgewählter Branchen der Wasserstoffwirtschaft

Die Branchen der Wasserstoffwirtschaft sind nicht nur national, sondern ebenso international hochgradig vernetzt, womit grenzüberschreitende Abhängigkeiten einhergehen. Dies wird unter anderem an der hohen Export- aber auch Importintensität der Top-Branchen der Wasserstoffwirtschaft deutlich.

Die höchste Exportintensität innerhalb der Wasserstoffwirtschaft zeigt sich in der Branche der Metallherzeugung und -bearbeitung, hier fließen rd. 91%²⁴ der Endnachfrage in den Export. Ebenso sind die Branchen Herstellung von Metallerzeugnissen (82%), Herstellung von elektrischen Ausrüstungen (73%), Maschinenbau (71%) sowie Herstellung von Kraftwagen und -teilen exportintensiv orientiert.

Importabhängigkeiten der Wasserstoffwirtschaft

Eine hohe Importintensität, die bei einigen Teilen der Wasserstoffwirtschaft der Fall ist, kann bei fehlendem Angebot zu Importabhängigkeiten führen, wodurch etwaige Unterbrechungen der Lieferkette negative Folgen haben können. Identifizieren lassen sich diese durch die Betrachtung der vorgelagert ausgelösten Produktion (Backward-Linkages) und der entsprechenden Bereiche. Dabei begründet sich die Abhängigkeit von Gütern zum einen auf der Abundanz innerhalb der Stufen des Vorleistungsverbundes, sprich ob Güter innerhalb nur einer oder mehrerer Stufen besonders relevant sind, sowie dem Importgehalt.

Importseitig zeigen sich unter den vorgelagerten Zuliefererbranchen der Wasserstoffwirtschaft, insbesondere bei den Metallen und Halbzeug, daraus Importanteile von über 60%.²⁵ Im Bereich der Metallherzeugnisse liegt der Anteil der importierten Produktion bei rd. 43%. Das birgt eine gewisse Abhängigkeit von Importen in sich, da eine mögliche Unterbrechung der Lieferkette die Unternehmen vor zunehmende Herausforderungen stellen könnte.

Ähnlich verhält es sich bei der Energieversorgung (bzw. Energieträgern wie Kohle, Erdöl, Erdgas), hier ist die heimische Wirtschaft gerade bei den Energieträgern nur wenig autark, worunter die Resilienz der Lieferketten leiden kann. Die Abhängigkeit von Importen im Bereich der Energieversorgung wird innerhalb der Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft in weiter vorgelagerten Bereichen ausschlaggebend.

Generell nimmt der Anteil an Importen mit jeder weiteren vorgelagerten Stufe der Wertschöpfungskette zu, was wiederum zeigt, wie schnell auch Effekte über die nationalen Grenzen hinaus erzielt werden. Dies zeigt die ausgeprägte internationale Vernetzung der Wertschöpfungskette der Wasserstoffwirtschaft.

²⁴ Exportanteile auf Basis der Input-Output-Tabellen 2016 der Statistik Austria.
²⁵ Importanteile auf Basis der Input-Output-Tabellen 2016 der Statistik Austria.

Quellen

- APA (2021): Tirol soll Knotenpunkt für Wasserstoff-Technologie werden. Online verfügbar auf: <https://science.apa.at/power-search/8870927340412168890>
- Borealis (2020): Lafarge, OMV, VERBUND und Borealis starten eine sektorübergreifende Zusammenarbeit für die Abscheidung und Nutzung von CO₂ im großindustriellen Maßstab. Media Release. <https://www.borealisgroup.com/news/lafarge-omv-verbund-und-borealis-starten-eine-sektor%C3%BCbergreifende-zusammenarbeit-f%C3%BCr-die-abscheidung-und-nutzung-von-co2-im-gro%C3%9Findustriellen-ma%C3%9Fstab>
- Bünger, U. (2020): Strategische Einsichten aus aktuellen Studien zur Zukunft der Gasinfrastruktur mit Wasserstoff. Fachberichte Wasserstoff. gwf Gas+Energie, 03/2020.
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2021): Hydrogen Initiative. Online verfügbar auf: https://www.bmk.gv.at/themen/energie/energieversorgung/wasserstoff/hydrogen_initiative.html
- Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (2020): Öffentliche Hand und Private – Gemeinsam für eine grüne und digitale Zukunft. Online verfügbar auf: <https://www.bmdw.gv.at/Presse/AktuellePressemeldungen/IPCEI.html>
- Clean Sky 2 Joint Undertaking, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (2020): Hydrogen powered aviation. A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- COM (2020a): Arbeitsprogramm der Kommission für 2021. Eine vitale Union in einer fragilen Welt. COM 2020, 690. Online verfügbar auf: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:91ce5c0f-12b6-11eb-9a54-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF
- COM (2020b): A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiIneGKkNXtAhXP-aQKHU1IAMsQFjACegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Fcommission%2Fpresscorner%2Fapi%2Ffiles%2Fattachment%2F865942%2FEU_Hydrogen_Strategy.pdf&usq=AOvVaw0C2qrWCJBh6z9arLPPwMjw
- COM (2021): Hydrogen and decarbonised gas market package. Online verfügbar auf: https://ec.europa.eu/energy/topics/markets-and-consumers/market-legislation/hydrogen-and-decarbonised-gas-market-package_en
- DVGW - Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e. V. (2020): H₂ vor Ort: Wasserstoff über die Gasverteilnetze für alle nutzbar machen. DVGW, Bonn.
- Eichlseder, H. & Klell, M. (2010²). Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Vieweg und Teubner Verlag. Hessen, Wiesbaden.
- Electrive.net (2020): 23 europäische Länder launchen IPCEI Wasserstoff. Online verfügbar auf: <https://www.electrive.net/2020/12/18/23-europaeische-laender-launchen-ipcei-wasserstoff/>
- Elringklinger (o.D.): Brennstoffzellen. Hocheffizient, umweltgerecht, zukunftsfähig. <https://www.elringklinger.de/de/produkte-technologien/elektromobilitaet/brennstoffzellen>
- FFG (2021): Dezentrale, nachhaltige H₂ Erzeugung mit dem OnSite OnDemand - OSOD Systems. FFG Projektdatenbank. Online verfügbar auf: <https://projekte.ffg.at/projekt/3041570>
- FONA (2020): Methanpyrolyse: Klimafreundlicher Wasserstoff aus Erdgas. Online verfügbar auf: <https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/wasserstoff-aus-methanpyrolyse.php>

Fronius (o.D.): FRONIUS SOLHUB - GRÜNER WASSERSTOFF MIT SONNENENERGIE.
<https://www.fronius.com/de/solarenergie/kunden-partner/gewerbebesitzer/gruener-wasserstoff-mit-sonnenenergie-solhub>

Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (2021): Who we are. Online verfügbar auf:
<https://www.fch.europa.eu/page/who-we-are>

Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (2021): Mission & Objectives. Online verfügbar auf:
<https://www.fch.europa.eu/page/mission-objectives>

Geitmann, S. (2004). Wasserstoff und Brennstoffzellen. (1. Aufl.). Brandenburg, Kremmen: Hydrogeit Verlag.

Germany Trade & Invest (2020): Die USA läuten das Wasserstoff-Zeitalter ein. Online verfügbar auf:
<https://www.gtai.de/gtai-de/trade/specials/die-usa-laeuten-das-wasserstoff-zeitalter-ein-534862.pdf>

H2FUTURE (2019): Weltweit größte „grüne“ Wasserstoffpilotanlage erfolgreich in Betrieb gegangen. Voestalpine.
<https://www.voestalpine.com/group/de/media/presseaussendungen/2019-11-11-h2future-weltweit-groesste-gruene-wasserstoffpilotanlage-erfolgreich-in-betrieb-gegangen/>

Hebling, C.; Ragwitz, M.; Fleiter, T. et al. (2019): Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg.

Hydrogen Europe (2021): Hydrogen:enabling a zero-emission society. Online verfügbar auf:
<https://www.hydrogeneurope.eu/>

HyTruck (o.D.): <https://projekte.ffg.at/projekt/3093335>

IEA (2019): The Future of Hydrogen, Seizing today's opportunities. Final Report. International Energy Agency.
 Web-Link: <https://webstore.iea.org/the-future-of-hydrogen>

IEA (2021): Global energy-related CO2 emissions by sector. Online verfügbar auf: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector>

IHS Markit (2020): Big ambitions: How Chile aims to be among the largest exporters of green hydrogen in the world. Online verfügbar auf: <https://ihsmarkit.com/research-analysis/big-ambitions-how-chile-aims-to-be-among-the-largest-exporters.html>

IWI – Industriewissenschaftliches Institut (2021): Automotive Zulieferindustrie als Exporterfolg – Strategien für Post-COVID. Wien.

infoportal.mobil.nrw (2020, 4. März): Brennstoffzellen-Linienbus <https://infoportal.mobil.nrw/technik/busse-mit-elektrischem-antrieb/brennstoffzellen-linienbus.html/>

Jordan, T. (2008): Skript zur Vorlesung Wasserstofftechnologie. Institut für Kern- und Energietechnik, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH.

Leithinger, M. (2020, 8. Januar). Wasserstoff – Energieträger der Zukunft?. Voestalpine.
<https://www.voestalpine.com/blog/de/energie/wasserstoff-energietraeger-der-zukunft/>

Linde Gas (o.D): Linde Gas: Die treibende Kraft. Mit Linde Wasserstoffprojekte realisieren.https://www.linde-gas.at/de/images/00299_LG_Wasserstoff_Broschuere_218x305_DE_72_2MB_tcm550-233488.pdf

NÖN (2019): Worthington baut Standort Kienberg weiter aus. Online verfügbar auf:
<https://www.noen.at/erlaufthal/industrie-worthington-baut-standort-kienberg-weiter-aus-gaming-worthington-worthington-kienberg-timo-snoeren-146238408#>

ÖBB (o.D.): Die E-Hybridlok rollt an. <https://konzern.oebb.at/de/nachhaltigkeit/klima/die-e-hybridlok-rollt-an>

OMV (o.D.): Wasserstoff in der Mobilität. <https://www.omv.at/de-at/tankstellen/kraftstoffe/wasserstoff>

Proton-Motor (o.D.): <https://www.proton-motor.de/zero-emission-loesungen/brennstoffzelle/>

- PwC (2021): Strategy&-Studie: Grüner Wasserstoff wird 2030 wettbewerbsfähig. Online verfügbar auf: <https://www.strategyand.pwc.com/de/de/presse/2021/green-hydrogen-will-be-competitive-in-2030.html>
- Rotax (2020): Wasserstoff-Revolution. <https://www.rotax.com/de/news/aktuelles/detail/wasserstoff-revolution-rotax-praesentiert-erstes-emissionsfreies-schneefahrzeug.html>
- Ruf, Y.; Zorn, T.; De Neve, P. A. et al. (2019): Study on the use of fuel cells and hydrogen in the railway environment. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Rühle, A. & Geitmann, S. (2005). Wasserstoff & Wirtschaft. (1. Aufl.). Brandenburg, Kremmen: Hydrogeit Verlag.
- Schmid, A. (2016): Brennstoffzellen für grüneren Antrieb. Wiwo. <https://www.wiwo.de/technologie/green/schifffahrt-brennstoffzellen-fuer-grueneren-antrieb/14539532.html/>
- Science | Business Reporting (2020): Canada pledges extra €9.7B for climate investment, innovation. Online verfügbar auf: <https://sciencebusiness.net/news/canada-pledges-extra-eu97b-climate-investment-innovation>
- Umweltbundesamt (2020): Klimaschutzbericht 2020.
- Umweltbundesamt Deutschland (2020): Energiebedingte Emissionen. Online verfügbar auf: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#energiebedingte-treibhausgas-emissionen>
- Umweltbundesamt Deutschland (2021): Wasserstoff – Schlüssel im künftigen Energiesystem. Online verfügbar auf: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/wasserstoff-schluessel-im-kuenftigen-energiesystem#Rolle>
- Underground Sun Conversion (o.D): Projektbeschreibung: Einmaliges Forschungsprojekt Unterirdische Umwandlung und Speicherung von Wind- und Sonnenenergie. Online verfügbar auf: <https://www.underground-sun-conversion.at/das-projekt/projektbeschreibung.html>
- Vaillant (o.D.): Der nächste Schritt: Innovative Brennstoffzellenheizung. <https://www.vaillant.de/fachpartnernet/architekten-planer/magazine/the-next-step-innovative-fuel-cell-heating/>
- Viessmann (o.D.): Vitovalor - Brennstoffzellenheizungen von Viessmann. <https://www.viessmann.at/de/wohngebaeude/kraft-waerme-kopplung/mikro-kwk-brennstoffzelle/vitovvalor.html/>
- Wien.gv.at (2020): Sima: Premiere für Wasserstoff-Bus-Test bei den Wiener Linien. <https://www.wien.gv.at/presse/2020/06/03/sima-premiere-fuer-wasserstoff-bus-test-bei-den-wiener-linien>
- Windsperger, A. (2018): Perspektiven der Decarbonisierung für die chemische Industrie in Österreich. Institut für Industrielle Ökologie. Online verfügbar auf:
- Winter, C.; Nitsch J. (2013²): Wasserstoff als Energieträger: Technik, Systeme, Wirtschaft. Springer-Verlag.
- Zukunft Grünes Gas (o.D.): Unsichtbare Energie. Online verfügbar auf: <https://www.gruenes-gas.at/themen/gruenes-gas-nutzt-bestehende-netze-und-anlagen/unsichtbare-energie/>

Anhang

Tab. 10: Schlagwortliste

	Schlagwort
1	Wasserstoff
2	Brennstoffzelle
3	Wasserstoffproduktion
4	Elektrolysemodul
5	Elektrolyse
7	BZ-Stack
8	Wasserstoffkühlung
9	Power-to-Gas
10	Wasserstoffplasma
11	Wasserstoffausnutzung
12	Steam Methane Reforming (SMR) / Dampfreformierung
13	Wasserstoff-Plasma-Schmelzreduktions-Prozesses (HPSR)
14	Brennstoffzellen-Range-Extender
15	Wasserstoff-Hybrid
16	Brennstoffzellentechnologie
17	Brennstoffzellenantrieb
18	Wasserstoff-Infrastruktur
19	Wasserstoffaufbereitung
20	Wind-Wasserstoff
21	Hochtemperatur-Elektrolyseanlage
22	Polymerelektrolytbrennstoffzelle
23	Fuel Cell Electric Vehicle
24	Wasserstoffautobahn
25	Fuel Cell
26	Brennstoffzellen-Heizgeräte
27	Hydrogen
28	Windgas
29	FCEV
30	Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle
31	Feststoffpolymer-Brennstoffzelle

Quelle: IWI (2020)

Tab. 11: Volkswirtschaftliche Effekte der Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien (gesamte Unternehmenssubstanz)

Volkswirtschaftliche Effekte von heimischen Unternehmen mit Bezug zu Wasserstofftechnologien im Jahr 2019	Direkte Effekte	Indirekte Effekte	Induzierte Effekte	Gesamteffekte	ges. wirtschaftl. Anteil	Multiplikator
Umsatz (in Mio. EUR)	41.414	24.971	15.527	81.912	(-)	1,98
Produktionswert (in Mio. EUR)	34.631	20.881	12.983	68.495	9,31%	1,98
Wertschöpfung (in Mio. EUR)	11.041	8.088	6.907	26.036	7,33%	2,36
Beschäftigungsverhältnisse	112.210	90.519	96.771	299.500	6,22%	2,67
Vollzeitäquivalente	102.586	78.646	77.050	258.282	6,52%	2,52
Arbeitnehmerentgelte (in Mio. EUR)	5.834	4.145	3.303	13.283	6,89%	2,28
Fiskal- (exkl. KÖSt) und Sozialbeitragseffekte (in Mio. EUR)	2.733	2.208	2.843	7.791 (3.735+4.056)	(-)	(-)
... davon vorleistungsabhängige Gütersteuer	(-)	261	150	411	(-)	(-)
... davon konsumabhängige Gütersteuer	(-)	(-)	1.120	1.120	(-)	(-)
... davon Lohnsteuer	699	488	398	1.585	6,84%	2,27
... davon Dienstgeberbeiträge zum AFFB/FLAF	167	117	95	380	6,84%	2,27
... davon Kommunalsteuer	105	73	60	238	6,84%	2,27
... davon Sozialbeiträge der Arbeitnehmer	728	508	414	1.650	6,84%	2,27
... davon Sozialbeiträge der Arbeitgeber	1.034	761	606	2.401	7,10%	2,32
arbeitnehmerinduzierte Abgaben in Summe	2.733	1.947	1.573	6.254	6,94%	2,29
Investitionen (in Mio. EUR)	3.481	2.275	1.944	7.700	7,85%	2,21

Anm.: Auswertung nach ÖNACE 2008, IO-Tabelle 2016, Output-zu-Output-Modell des IWI; Die Effekte werden in Beziehung zu den entsprechenden Kennzahlen für Österreich gemäß Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnung gesetzt (Referenzjahr 2019). Beschäftigungsverhältnisse (BV) werden mit den Angaben zu Mitarbeiterzahlen aus der Datenbank des IWI harmonisiert und modell-exogen ausgewiesen. Infolgedessen beruhen ebenso etwa die Arbeitnehmerentgelte mittelbar auf den Ergebnissen der IO-Analyse. Die Umlegung der Entgeltparameter sowie der Vollzeitäquivalente (VZÄ) erfolgt anhand des Verhältnisses der berechneten Effekte; Fiskaleffekte umfassen Lohnsteuer, Dienstgeberbeiträge zum AFFB/FLAF, Kommunalsteuer sowie vorleistungs- und konsumabhängige Gütersteuern (z.B. Mineralöl-, Mehrwertsteuer); Sozialbeiträge umschließen Sozialbeiträge für Arbeitnehmer und Arbeitgeber.

Quelle: IWI (2021) auf Basis der Statistik Austria, Input-Output-Tabellen 2016, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung 2019

Tab. 12: Volkswirtschaftliche Effekte der heimischen Wasserstoff-Wirtschaft

Volkswirtschaftliche Effekte der heimischen Wasserstoffwirtschaft im Jahr 2019	Direkte Effekte	Indirekte Effekte	Induzierte Effekte	Gesamteffekte	ges. wirtsch. Anteil	Multiplikator
Umsatz (in Mio. EUR)	737,3	424,5	271,8	1.433,5	(-)	1,94
Produktionswert (in Mio. EUR)	606,9	349,4	223,7	1.180,0	0,16%	1,94
Wertschöpfung (in Mio. EUR)	185,8	134,2	119,6	439,6	0,12%	2,37
Beschäftigungsverhältnisse	2.073	1.747	1.938	5.758	0,12%	2,78
Vollzeitäquivalente	1.926	1.530	1.542	4.998	0,13%	2,59
Arbeitnehmerentgelte (in Mio. EUR)	111,5	80,7	67,1	259,4	0,13%	2,33
Fiskal- (exkl. KÖSt) und Sozialbeitragseffekte (in Mio. EUR)	51,8	42,0	53,2	147,0 (68,6+78,3)	(-)	(-)
... davon vorleistungsabhängige Gütersteuer	(-)	4,1	2,6	6,7	(-)	(-)
... davon konsumabhängige Gütersteuer	(-)	(-)	18,8	18,8	(-)	(-)
... davon Lohnsteuer	13,5	9,5	8,1	31,1	0,13%	2,31
... davon Dienstgeberbeiträge zum AFFB/FLAF	3,2	2,3	1,9	7,4	0,13%	2,31
... davon Kommunalsteuer	2,0	1,4	1,2	4,7	0,13%	2,31
... davon Sozialbeiträge der Arbeitnehmer	14,0	9,9	8,4	32,4	0,13%	2,31
... davon Sozialbeiträge der Arbeitgeber	19,1	14,7	12,2	46,0	0,14%	2,41
arbeitnehmerinduzierte Abgaben in Summe	51,8	37,9	31,8	121,5	0,13%	2,35
Investitionen (in Mio. EUR)	60,7	38,0	33,9	132,7	0,14%	2,18

Anm.: Auswertung nach ÖNACE 2008, IO-Tabelle 2016, Output-zu-Output-Modell des IWI; Die Effekte werden in Beziehung zu den entsprechenden Kennzahlen für Österreich gemäß Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnung gesetzt (Referenzjahr 2019). Beschäftigungsverhältnisse (BV) werden mit den Angaben zu Mitarbeiterzahlen aus der Datenbank des IWI harmonisiert und modell-exogen ausgewiesen. Infolgedessen beruhen ebenso etwa die Arbeitnehmerentgelte mittelbar auf den Ergebnissen der IO-Analyse. Die Umlegung der Entgeltparameter sowie der Vollzeitäquivalente (VZÄ) erfolgt anhand des Verhältnisses der berechneten Effekte; Fiskaleffekte umfassen Lohnsteuer, Dienstgeberbeiträge zum AFFB/FLAF, Kommunalsteuer sowie vorleistungs- und konsumabhängige Gütersteuern (z.B. Mineralöl-, Mehrwertsteuer); Sozialbeiträge umschließen Sozialbeiträge für Arbeitnehmer und Arbeitgeber.

Quelle: IWI (2021) auf Basis der Statistik Austria, Input-Output-Tabellen 2016, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung 2019

Tab. 13: Liste der bei der Datenbankerstellung verwendeten Quellen

Q Nr	Quelle	Link genau
1	Bau.Energie.Umwelt	https://www.ecoplus.at/media/10980/beuc-partnerverzeichnis18_low.pdf
2	BMDW	https://www.bmdw.gv.at/Themen/Wirtschaftsstandort-Oesterreich/ClusterplattformOesterreich/ClusterNetzwerkeOesterreich/Cluster--und-NetzwerkInitiativen.html
3	Cleantech Cluster OÖ	https://www.cleantech-cluster.at/partnerunternehmen-im-ctc/unsere-partnerdatenbank-ihre-erfolgspartner-umwelt/
4	Ecotechnology	https://www.ecotechnology.at/de/fuehrende-betriebe-im-portrait
5	Energie-Klima	https://www.energieklima.at/produkte-fir-men/cHash/808fdfe3460e54cf27b42baba1d189e6/?tx_companydb_companylist%5Baction%5D=list&tx_companydb_companylist%5Bcontroller%5D=Companies
6	GreenTech Cluster	https://www.greentech.at/partner/
7	Kunststoff Cluster Oberösterreich	https://www.kunststoff-cluster.at/partnerunternehmen/unsere-partnerdatenbank-ihre-erfolgspartner/
8	Masterplan UT	https://www.bmlrt.gv.at/umwelt/nachhaltigkeit/green-jobs/umwelttechnologien/aktualisierter-masterplan-umwelttechnologie-veroeffentlicht.html
9	FFG	https://projekte.ffg.at/
10	Innovative Energietechnologien in Österreich - Marktbericht 2018	https://www.enfos.at/download/marktstatistik/marktstatistik-2018-bericht.pdf
11	Start Ups nach Definition AustrianStartUps 2018	https://www.derbrutkasten.com/newcomer-startups-2018/
12	Wasser Cluster Bgld	http://www.austrianwater.at/startseite/
13	Clusterfirmen in Tirol	https://www.standort-tirol.at/page.cfm?vpath=cluster/kompetenzatlas
14	Österreichische Teilnehmer an der e-world Essen 2020	https://www.e-world-essen.com/de/
15	Klima-Energie-Fonds	https://www.klimafonds.gv.at/
16	emove360°	https://www.emove360.com/de/
17	Hydrogen Europe	https://www.hydrogeneurope.eu/
18	HZwei	https://www.hzwei.info/firmen
19	Crowdfunding Plattformen	https://www.wko.at/service/unternehmensfuehrung-finanzierung-foerderungen/Crowdfunding_fuer_oesterreichische_Unternehmen.html
20	Karriere.at	www.karriere.at
21	Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)	https://www.fch.europa.eu
22	WORLD OF ENERGY SOLUTIONS	link funktioniert nicht mehr
23	Mobilitätscluster ACStyria	https://www.acstyria.com
24	EU Projekt HyLaw	https://hydrogeneurope.eu/
25	Herold Online Schlagwortsuche	https://marketingdaten.herold.at/login?dswid=4109
26	Firmenabc.at (Creditreform) Schlagwortsuche	https://www.firmenabc.at/
27	Austrian Platform for Research and Technology Evaluation fteval	https://repository.fteval.at/
28	Christian Doppler Gesellschaft	https://www.cdq.ac.at/
29	Herwig Studie Helmenstein	na
30	energie innovation austria	https://www.energy-innovation-austria.at/?s=wasserstoff&lang=de
31	Staatspreis für Umwelt- und Energietechnologie	https://www.bmk.gv.at/ministerium/staatspreise/umwelt/umweltenergie2018.html
32	Google Schlagwortsuche	https://www.google.com/
33	Technologiekompetenz Verkehr in Österreich, Im Fokus: Wasserstoff- und Brennstoffzellen, 2007	https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:eac28d4a-42ad-488f-b258-dba420503c2/ausgewaehlte_projekte.pdf
34	IWI Dossier und Liste	na
35	Aktuelle Projektpartner von HyCentA GmbH	http://www.hycenta.at/organisation/
36	Green Energy Center	http://www.green-energy-center.com/reports-2/
37	IWI - Aurelia, DB UT, DB Aut	na
38	Wirtschaftszeit	https://wirtschaftszeit.at/
39	Europäisches Patentamt	https://worldwide.espacenet.com/

Quelle: IWI (2020)