

# Wasserstoffpatente für eine Zukunft mit sauberer Energie

Eine Analyse der globalen Trends bei Innovationen entlang der Wasserstoff-Wertschöpfungsketten

Januar 2023 | Hauptergebnisse



## Zusammenfassung

Ein erfolgreicher Übergang zu einer Zukunft mit sauberer Energie wird durch schnelle Veränderungen in der Weltwirtschaft und in den Energieverbrauchsmustern der Menschen getragen, die alle das Potenzial haben, gesündere Gesellschaften, gerechtere Ergebnisse und einen widerstandsfähigeren Planeten zu fördern.

Bei vielen dieser Veränderungen wird es im Kern um Technologie gehen und das gilt ganz besonders für den Ausbau von Wasserstoff als sauberem Energieträger.

Damit emissionsarmer Wasserstoff konkurrenzfähig wird, bedarf es einer fundierten Strategie, doch es wird nicht ohne Technologieverbesserungen entlang der Wertschöpfungskette möglich sein, die nahezu jeden Teil des Energiesystems berührt. Innovatoren in aller Welt verstärken ihre Anstrengungen in so unterschiedlichen Bereichen wie der Umwandlung fossiler Brennstoffe, der elektrochemischen Wasserspaltung, Graphen-Tanks, Tiefsttemperaturspeicherung, Brennstoffzellenmotoren für Flugzeuge und der Reduktion von Eisenerz. Wenn Wasserstoff eine bedeutende Rolle bei der Senkung von Emissionen aus fossilen Brennstoffen spielen soll, dann hängt seine Zukunft davon ab, ob es gelingt, eine Vielzahl von Entwicklungen bei verschiedenen Typen von Gerätetechnik (Hardware) zu vereinen und neue Märkte dafür zu schaffen. Im Vergleich zu digitalen Technologien wie Software wird für die Entwicklung von Hardware in der Regel mehr Zeit benötigt und die Phasen der Prototypenerstellung und des Markteintritts bergen ein höheres Investitionsrisiko. Durch Patentierung wollen die Erfinder sicherstellen, dass sie diese Investitionskosten wieder hereinwirtschaften können.

Die Koordinierung der Aufstellung der vollständigen Wasserstoffenergie-Wertschöpfungskette ist vielleicht die komplexeste aller technischen Herausforderungen, vor denen Energietechniker stehen, und mitunter ist es schwierig, den Status aller zugrunde liegenden Technologiebereiche zu erkennen. Patente sind aussagekräftige Indikatoren für die Innovationstätigkeit, die sehr genaue Einblicke in den Stand und die Ausrichtung der Wissenschaft vermitteln können.

Diese Studie, die die fachliche Kompetenz der Internationalen Energieagentur und des Europäischen Patentamts vereint, ist die bislang umfangreichste, globalste und aktuellste Untersuchung der wasserstoffbezogenen Patentierung. In einmaliger Weise werden in ihr Technologien für den gesamten Bereich der Wasserstoffversorgung, -speicherung, -verteilung, -umwandlung und Endanwendungen betrachtet und neue Recherchestrategien zum Vergleich der stufenweisen Innovation bei etablierten Verfahren für fossile Brennstoffe mit neu entstehenden, durch die Herausforderung des Klimawandels motivierten Technologien vorgestellt.

## Hauptergebnisse

### 1. Führend in der weltweiten Patentierung bei Wasserstoff sind Europa und Japan, während die USA im Zeitraum 2011–2020 an Einfluss verloren haben und die wasserstoffbezogene Innovation aus der Republik Korea und der VR China im internationalen Maßstab gerade erst zu Tage tritt.

Im Zeitraum 2011–2020 bezog sich etwa die Hälfte der internationalen Patentfamilien (IPF<sup>1</sup>) auf dem Gebiet der Wasserstofftechnologien auf die Wasserstofferzeugung. Die übrigen IPF verteilten sich auf Wasserstoffanwendungen und Technologien für die Speicherung, Verteilung und Umwandlung von Wasserstoff.

Mit 28 % aller IPF im Zeitraum 2011–2020 und einem relativen technologischen Spezialisierungsvorteil (RTA<sup>2</sup>) in allen drei Technologiesegmenten der Wasserstoff-Wertschöpfungskette stehen die EU-Länder gemeinsam weltweit an der Spitze der Patentierung im Zusammenhang mit Wasserstoff (darunter 11 % aus Deutschland und 6 % aus Frankreich). Auch Japan ist bei Wasserstoff ein starker Innovator mit 24 % aller veröffentlichten IPF und einem relativen technologischen Spezialisierungsvorteil in allen drei Technologiekategorien. In Japan ist die wasserstoffbezogene Patentierung im letzten Jahrzehnt sogar noch schneller gewachsen als in Europa, wobei von 2011 bis 2020 durchschnittliche Gesamtuwachsraten von 6,2 % (Japan) bzw. 4,5 % (Europa) erzielt wurden.

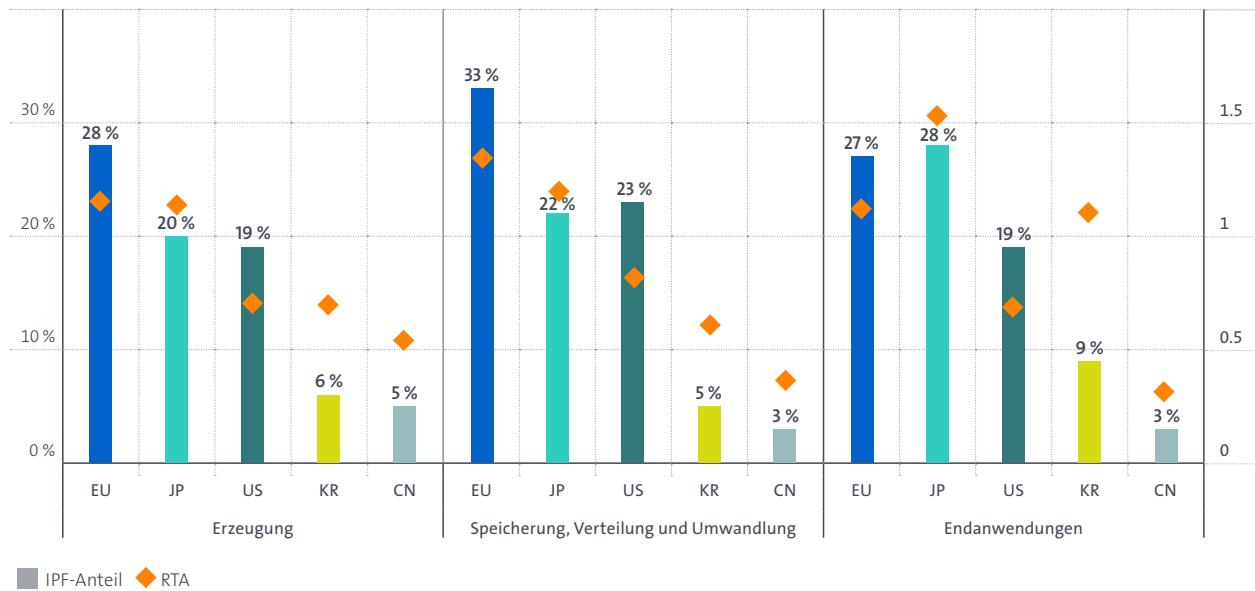
Der Beitrag der USA belief sich in der Zeit von 2011 bis 2020 auf 20 % aller wasserstoffbezogenen IPF-Veröffentlichungen, und sie sind die einzige große Region, in der die Zahl der IPF in den letzten zehn Jahren zurückging. Die Zahl der internationalen Patentanmeldungen aus der Republik Korea und der VR China fällt nach wie vor vergleichsweise bescheiden aus. Im Zeitraum 2011–2020 hat sie jedoch kontinuierlich zugenommen, wobei durchschnittliche jährliche Zuwachsraten von 12,2 % bzw. 15,2 % erzielt wurden und im Fall der Republik Korea eine starke Ausrichtung auf neuartige Wasserstoffanwendungen zu beobachten war.

1 Jede IPF steht für eine einzelne Erfindung und umfasst die bei verschiedenen Patentämtern eingereichten und veröffentlichten Patentanmeldungen. Sie ist ein verlässlicher Indikator für eine gewisse Qualität der Erfindungstätigkeit, weil nur Erfindungen vertreten sind, die der Urheber für so wertvoll erachtet, dass er internationalen Patentschutz anstrebt. Alle in diesem Bericht enthaltenen Daten zu Patentierungstrends beziehen sich auf IPF.

2 Der RTA-Index setzt die Spezialisierung eines Landes in Wasserstoffinnovationen in Relation zu ihrer gesamten Innovationskapazität. RTA ist definiert als der Anteil von IPF eines Landes in einem bestimmten Technologiebereich geteilt durch dessen IPF-Anteil in allen Technologiebereichen. Ein Wert über 1 zeigt eine Spezialisierung in der jeweiligen Technologie an.

Abbildung E1

Anteil der internationalen Patentierung und des relativen technologischen Spezialisierungsvorteils nach wichtigen Regionen der Welt und Wertschöpfungskettensegmenten (IPF, 2011–2020)



Anmerkung: Die Berechnungen basieren auf dem Land der IPF-Anmelder. Bei gemeinsamen Anmeldungen kommt Bruchteilzählung zur Anwendung.

Quelle: Berechnungen der Autoren

**2. Innovation in etablierten Wasserstoff-technologien wird von der europäischen Chemieindustrie bestimmt, doch die neuen Schwerpunkte in der Wasserstoffpatentierung sind Unternehmen des Automobil- und Chemiesektors, die sich schwerpunktmäßig mit Elektrolyse- und Brennstoffzellentechnologien befassen.**

In jedem der drei Haupttechnologiesegmente der Wasserstoff-Wertschöpfungskette kann unterschieden werden zwischen i) stufenweisen Verbesserungen an bekannten Prozessen im Chemie- und Raffineriesektor und ii) neuartigen Technologien, die dazu beitragen können, den Klimawandel abzuschwächen, indem Wasserstoff als Produkt für saubere Energie in einem breiteren Spektrum von Branchen zur Anwendung kommt. Die vorwiegend durch den Klimawandel motivierten Wasserstofftechnologien haben im Zeitraum 2011–2020 doppelt so viele IPF hervorgebracht wie die etablierten Technologien. Bei ihnen geht es vor allem um Endanwendungen und Erzeugungsverfahren, während bei den bestehenden Technologien immer noch die meisten IPF die Wasserstoffspeicherung, -verteilung und -umwandlung betreffen.

In der ersten Reihe der Anmelder im Bereich der etablierten Technologien dominieren Chemieunternehmen mit umfangreichen Erfahrungen in der Erzeugung und im Transport von Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen. Daneben erschließen sie auch neuartige Technologien (z. B. CO<sub>2</sub>-Abscheidung, -Nutzung und -Speicherung – CCUS), um emissionsarmen Wasserstoff bereitstellen zu können. Führende Anmelder im Bereich der klimaschutzmotivierten neuen Technologien sind japanische und koreanische Unternehmen, zumeist aus der Automobilindustrie. Gegenstand ihrer Patentportfolios sind hauptsächlich die Erzeugung durch Elektrolyse und brennstoffzellbasierte Anwendungen, aber auch bestehende Technologien für die Speicherung und Verteilung von flüssigem oder gasförmigem Wasserstoff – ein Schwerpunktgebiet für diese Länder, die in naher Zukunft die Einfuhr von gespeichertem Wasserstoff planen.

In der Zeit von 2011 bis 2020 entfielen 13 % aller wasserstoffbezogenen IPF auf Hochschulen und öffentliche Forschungseinrichtungen und etwa 3 % aller IPF allein auf die zehn führenden Forschungseinrichtungen. Sie stammen mehrheitlich von koreanischen und europäischen Institutionen und betreffen schwerpunktmäßig klimaschutzmotivierte Wasserstofferzeugungsverfahren wie die Elektrolyse.

Abbildung E2

Führende internationale Anmelder bei etablierten Technologien und klimaschutzmotivierten Technologien (IPF, 2011–2020)



Anmerkung: Die IPF-Zuordnung zu den aufgeführten Unternehmen basiert auf der Erfassung dieser Unternehmen als Einzel- oder Mitanmelder der betreffenden Patente. Technologien in Bezug auf CO<sub>2</sub>-Abscheidung, -Nutzung und -Speicherung (CCUS) und CO<sub>2</sub>-Vermeidung bei der Wasserstofferzeugung auf Basis fossiler Brennstoffe sowie Technologien für die Fahrzeugbetankung sind in diesem Diagramm unter der Rubrik „klimaschutzmotiviert“ erfasst. Das Ranking basiert auf der Größe der IPF-Anmelderportfolios bei etablierten Technologien und klimaschutzmotivierten Wasserstofftechnologien. Die Summe der in der Tabelle angegebenen IPF der einzelnen Anmelder kann die tatsächliche Größe ihres Portfolios überschreiten, weil einige IPF zwei oder drei verschiedenen Segmenten der Wertschöpfungskette als relevant zugeordnet werden.

Quelle: Berechnungen der Autoren

**3. Während die Wasserstofferzeugung heute noch fast vollständig auf fossilen Brennstoffen basiert, zeigt sich in der Patentierung bereits eine starke Verlagerung hin zu alternativen, emissionsarmen Verfahren. Diese Verlagerung lässt einen Boom bei Elektrolyseuren erwarten, einem Bereich, in dem Europa einen Vorsprung an neuer Fertigungskapazität hat.**

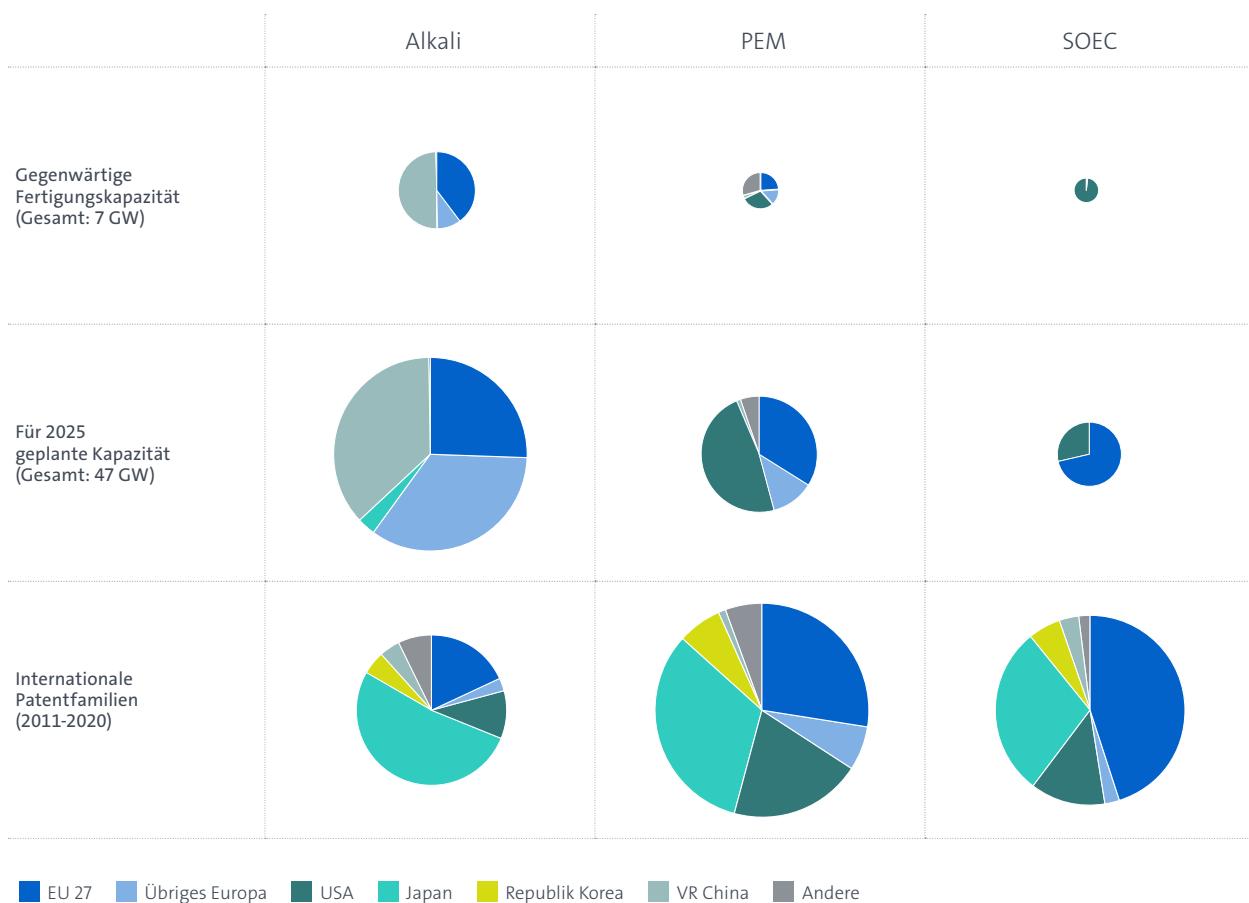
Eine vergleichende Analyse der Patentierungstrends der letzten zwanzig Jahre auf dem Gebiet der Wasserstofferzeugungstechnologien zeigt eine eindeutige Verlagerung der Innovation von traditionellen, kohlenstoffintensiven Verfahren hin zu neuen Technologien mit Potenzial für eine kohlenstoffärmere Wasserstofferzeugung. Im Jahr 2020 betrafen fast 80 % der IPF zum Thema Wasserstofferzeugung klimaschutzmotivierte Technologien. Dieser Zuwachs kam hauptsächlich durch einen rasanten Innovationsschub im Elektrolysebereich zustande.

Mehrere Kategorien von Elektrolyseuren konkurrieren um den großen zu erwartenden Markt, der gemäß Regierungszusagen bis 2030 von 1 GW auf über 65 GW jährlich anwachsen könnte. Von 2011 bis 2020 war Japan führend bei der Patentierung von hochmodernen Alkali-Technologien und weiteren PEM-Spitzentechnologien. Doch bei den Investitionen in die Fertigungskapazität für diese Technologien ist dort noch kein Aufschwung zu verzeichnen. Die EU und andere europäische Länder sind sowohl in der Patentierung als auch in der Fertigung aktiv, besonders in Bezug auf SOEC-Technologien, und leisten auch wichtige Beiträge in Bezug auf PEM- und Alkali-Technologien. Die USA sind sehr aktiv bei der Entwicklung von PEM-Fertigungskapazitäten, aber weniger aktiv in der PEM-Innovation, wie aus der Patentierungsaktivität ersichtlich ist. Die VR China trägt nur in geringem Umfang zur internationalen Patentierung auf dem Gebiet der Elektrolyseurtechnologien bei, investiert jedoch stark in Fertigungskapazitäten, wobei der Schwerpunkt fast ausschließlich auf der kostengünstigeren Alkali-Technologie liegt, die eine wesentlich längere Geschichte hat, aber geringere Aussichten auf zukünftige Verbesserungen.

Die Zahl der veröffentlichten IPF im Bereich der Wasserstofferzeugung aus fossilen Brennstoffen ist seit 2007 rückläufig, und neue Lösungen für eine kohlenstoffärmere Wasserstofferzeugung auf der Basis fossiler Brennstoffe haben bisher nur in begrenztem Maße zur Patentierung geführt. Der Innovation auf dem Gebiet anderer klimaschutzmotivierter Wasserstofferzeugungstechnologien scheint es ebenfalls an Dynamik zu fehlen. Die Patentierungstätigkeit in Bezug auf Wasserstofferzeugung aus Biomasse oder Abfällen (durch Vergasung oder Pyrolyse) war von 2007 bis 2011 stark angestiegen, ist aber seitdem erheblich zurückgegangen. Auch die Zahl der IPF in Bezug auf Wasserspaltung durch nicht elektrolytische Verfahren hat seit 2010 leicht abgenommen. Im Jahr 2020 entfielen darauf 12 % der insgesamt auf dem Gebiet der Elektrolyse veröffentlichten IPF.

Abbildung E3

Ursprung der Erfindungen in Bezug auf Elektrolyseure und Fertigungskapazität, 2011–2020



Anmerkung: Die Berechnungen basieren auf dem Land der Investoren und IPF-Anmelder; bei gemeinsamen Anmeldungen kommt Bruchteilzählung zur Anwendung.

Quelle: Berechnungen der Autoren (basierend auf Ankündigungen von Elektrolyseurherstellern)

**4. Die Patentierungstätigkeit mit dem Ziel der Verbesserung bekannter Technologien für die Wasserstoffspeicherung und die Erzeugung von Ammoniak und Methanol hat von 2001 bis 2020 kontinuierlich zugenommen. Allerdings hat die Innovation bei der Entwicklung von wasserstoffbasierten Brennstoffen in den letzten zehn Jahren an Dynamik eingebüßt.**

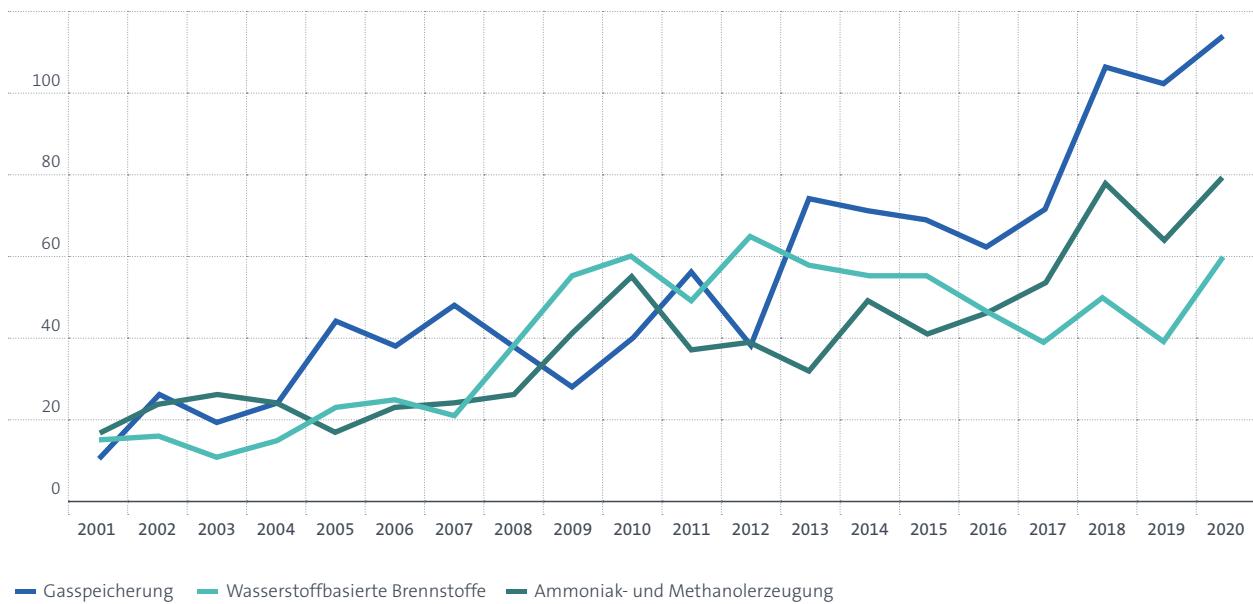
Der Transport von reinem Wasserstoff erfolgt gegenwärtig entweder im gasförmigen Zustand durch Pipelines und Tube-Trailer oder in flüssiger Form in Tieftemperaturtanks. Die Patentierungstrends seit 2001 zeigen, dass die Innovationstätigkeit bei diesen etablierten Technologien in den letzten zwanzig Jahren zugenommen hat, was auf die Möglichkeiten der Industrie für Verbesserungen und ihr Interesse an einer Optimierung des Einsatzes und der Effizienz von Wasserstoffverteilungssystemen bis hin zur Fahrzeugbetankung schließen lässt. Während alteingesessene Akteure der Wasserstoffindustrie in allen Technologiesegmenten der Wasserstoffspeicherung und -verteilung aktiv sind, treten auch Automobilunternehmen inzwischen in einigen dieser Segmente als bedeutende Patentanmelder in Erscheinung, was auf den Stellenwert der fahrzeuginternen Wasserstoffspeicherung für die Vermarktung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen zurückzuführen ist.

Die Zahl der veröffentlichten IPF im Zusammenhang mit der Nutzung von Wasserstoff für die Ammoniak- und Methanol-erzeugung ist von 2001 bis 2020 ebenfalls gestiegen, was sowohl die Bemühungen zur Verminderung der erheblichen Klimaauswirkungen ihrer Erzeugungsprozesse als auch das neuerliche Interesse an diesen Verbindungen als wasserstoff-basierte Brennstoffe für den Energie- und Verkehrssektor widerspiegelt. Ebenso wie bei den Technologien für die Speicherung von reinem Wasserstoff geht die Innovation in diesen Bereichen hauptsächlich von (überwiegend europäischen) Unternehmen aus, die bereits auf die Erzeugung und den Transport von Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen spezialisiert sind.

Fortschritte bei anderen wasserstoffbasierten Brennstoffen, wie z. B. synthetischem Kerosin für die Luftfahrt oder synthetischem Methan, betreffen ebenfalls Effizienz-verbesserungen und Kostensenkungen, wobei die Patentdaten jedoch darauf hindeuten, dass die Innovation im Bereich dieser Technologien im letzten Jahrzehnt an Dynamik verloren hat. Seit 2011 sind die Anstrengungen der USA und Europas zur Entwicklung synthetischer Brennstoffe zum Erliegen gekommen. Die Patentierung für die konkurrierenden Technologien zum Langstreckentransport von Wasserstoffenergie hat von 2011 bis 2020 schnell zugenommen, wobei durchschnittliche Gesamtzuwachsraten von 12,5 % für flüssige organische Kohlenwasserstoffe (LOHC) und 7,8 % für die Ammoniakspaltung zu verzeichnen waren. Das entspricht jedoch nur einer kleinen Zahl von Patentfamilien, von denen die Hälfte immer noch von wissenschaftsorientierten Forschungseinrichtungen stammt.

Abbildung E4

Internationale Patentierungstrends im Bereich der Speicherung von gasförmigem Wasserstoff, Ammoniakerzeugung, Methanolerzeugung und alternativen wasserstoffbasierten Brennstoffen (IPF, 2001–2020)



Quelle: Berechnungen der Autoren

**5. Die Patentierungstätigkeit für die Wasserstoffnutzung im Automobilsektor nimmt weiterhin wesentlich schneller zu als für andere Endanwendungen, auch wenn in letzter Zeit einige Fortschritte auf dem Gebiet der Wasserstoffnutzung für die Stahlproduktion zu verzeichnen waren. Bei anderen Industrieanwendungen, wie etwa dem Fernverkehr unter Nutzung wasserstoffbasierter Brennstoffe, ist jedoch noch keine Innovationstätigkeit in größerem Umfang zu verzeichnen.**

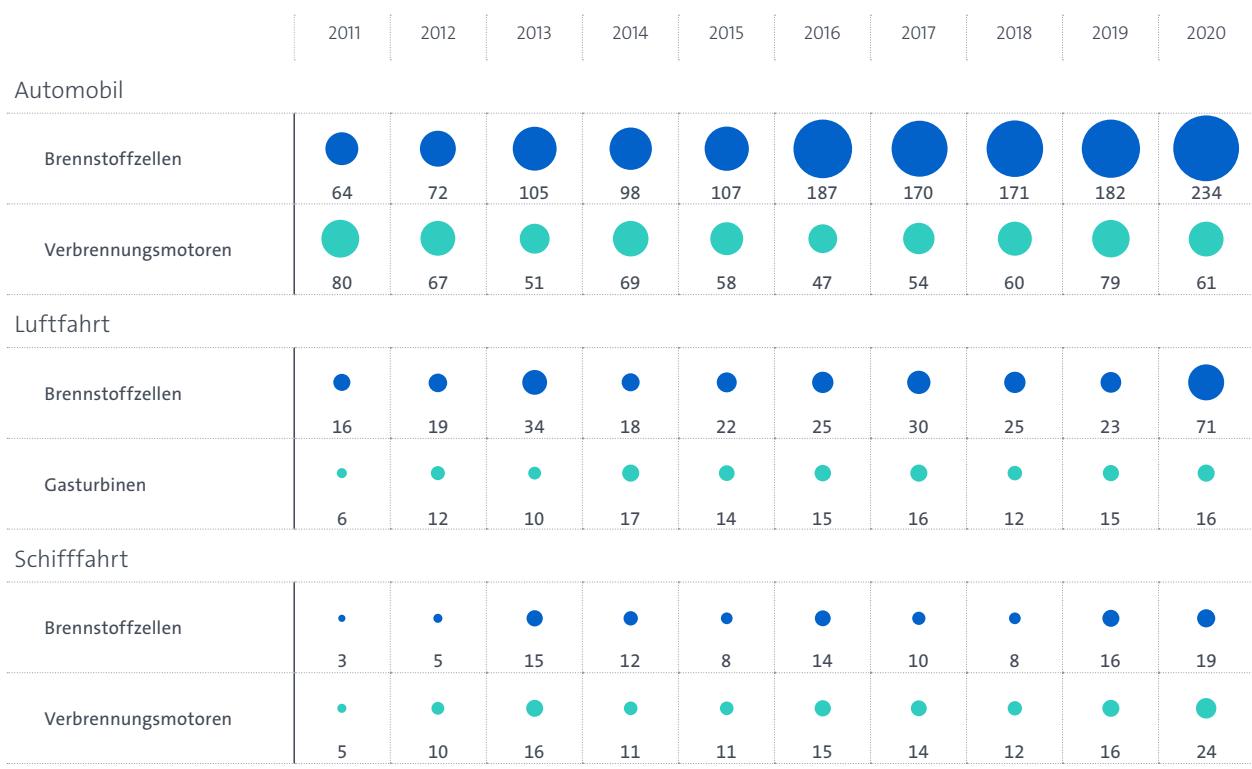
Ursächlich für den starken IPF-Zuwachs im Verkehrsbereich war die Innovation auf dem Gebiet des Brennstoffzellenantriebs im Automobilsektor und, in geringerem Maße, in der Kurzstreckenluftfahrt (insbesondere Drohnen). Die Patentierungstätigkeit in diesen Bereichen wird größtenteils von japanischen und koreanischen Automobilunternehmen dominiert und erzeugt offenbar Synergien mit der Innovation auf dem Gebiet der PEM-Elektrolyse. Im Gegensatz dazu ist die Innovation im Bereich der mit Wasserstoff, Ammoniak oder Methanol als Brennstoff betriebenen Verbrennungsmotoren und Turbinen noch nicht von den jüngsten Politikimpulsen beim Thema Wasserstoff angekurbelt worden, obgleich diese Technologien sicher für den Fernverkehr benötigt werden, besonders für die Schifffahrt und die Mittelstreckenluftfahrt.

Die IPF-Veröffentlichungen in Bezug auf die Nutzung von Wasserstoff für die Eisen- und Stahlproduktion nahmen 2017 wieder zu, nachdem sie seit 2014 mehrere Jahre lang rückläufig waren. Im Zeitraum 2011–2020 entfiel die Patentierungstätigkeit zu fast 40 % auf eine kleine Zahl von Stahlerzeugern und Ausrüstungslieferanten. Letztere werden von europäischen Unternehmen angeführt und befinden sich offenbar in einer weiter fortgeschrittenen Position, sodass sie in der Lage sind, die modernsten Wasserstofftechnologien (wie direkt reduziertes Eisen und Schmelzreduktion) in eine neue Generation von Produktionsanlagen zu integrieren.

Bei anderen Wasserstoffanwendungen in Gebäuden und in der Stromerzeugung hat das Niveau der Patentierung im Laufe der 2010er Jahre nachgelassen, was auf mangelndes Interesse an Gebäudeanwendungen, abgesehen von Japan, und ein zunehmendes Interesse an Batterien als alternative Lösung für die stationäre Stromspeicherung hindeutet.

Abbildung E5

Internationale Patentierungstrends bei wasserstoffbasierten Antriebstechnologien, 2011–2020



Quelle: Berechnungen der Autoren

**6. Patentierung unterstützt die  
Mittelbeschaffung von Start-ups, die ein  
Wasserstoffunternehmen aufbauen, denn  
über 80 % der Spätphaseninvestitionen in  
Wasserstoff-Start-ups gehen an Firmen, die  
bereits eine Patentanmeldung eingereicht  
haben, was die Bedeutung der Patentierung  
für junge Unternehmen in diesem Bereich  
deutlich macht.**

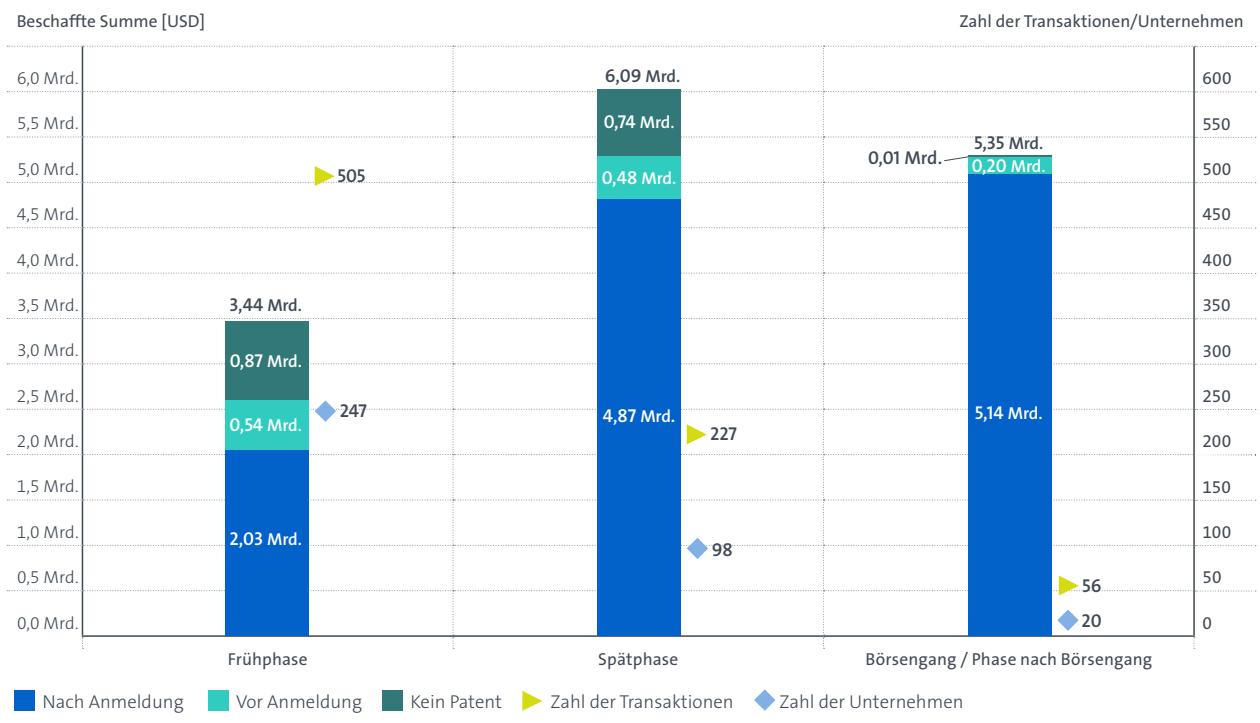
Fast 70 % der 391 Start-ups mit Aktivitäten im Wasserstoffbereich haben mindestens ein Patent angemeldet. Tatsächlich beginnt bei den meisten Firmenreugründungen im Wasserstoffsektor der Weg im Labor, wo sie für die Lösung grundlegender technischer Probleme entweder auf die Neukombinierung bekannter Technologien oder auf den wirksamen Einsatz neuer Technologien setzen. Diese Unternehmen benötigen erhebliche Investitionen in Forschung und Entwicklung und sind in der Regel auf Patente angewiesen, um diese Investitionen abzusichern.

Nur 117 der 391 Start-ups haben im Zeitraum 2011–2020 in den Umfang dieser Studie fallende IPF angemeldet, größtenteils in der EU (34 %) und in den USA (33 %). Gleichzeitig haben diese Unternehmen aber 55 % der Wagniskapitalfinanzierung für die Früh- und Spätphase, den Börsengang und die Phase danach für sich mobilisiert. Eine umfangreichere Analyse der Wagniskapitaltransaktionen mit Wasserstoff-Start-ups mit oder ohne Patentanmeldungen zeigt, dass der Anteil der von Unternehmen mit Patentanmeldungen beschafften Finanzierungsmittel an der Gesamtsumme in den späteren Finanzierungsrounden stetig ansteigt (Abbildung E6). Über 80 % der Spätphaseninvestitionen in Wasserstoff-Start-ups gehen an Unternehmen, die bereits ihre erste Patentanmeldung eingereicht hatten. Dieser Prozentsatz erhöht sich auf 95 %, wenn beim Börsengang bzw. in der Phase danach die Inanspruchnahme von Finanzierung berücksichtigt wird.

Die IPF der Wasserstoff-Start-ups zielen hauptsächlich auf Technologien ab, die in erster Linie durch den Klimaschutz motiviert sind, wie z. B. Elektrolyse und Brennstoffzellen. Doch bei ungefähr einem Drittel von ihnen ist auch Patentierungstätigkeit im Bereich der etablierten Technologien zu verzeichnen, zumeist in Kombination mit IPF in Bezug auf klimaschutzmotivierte Technologien. Dies trifft insbesondere auf die Wasserstofferzeugung zu, worin sich das Bemühen um eine Reduzierung der Kohlenstoffintensität von Wasserstoff aus Gas und anderen fossilen Brennstoffen zeigt.

Abbildung E6

Anteil der Existenzgründern zufließenden Mittel, nach Finanzierungsphase, 2000–2020



Anmerkungen: Finanzierungstransaktionen sind nur für Unternehmen berücksichtigt, die zwischen 2000 und 2020 gegründet wurden. Als Stichtag für die Patentanmeldung gilt das für die dem jeweiligen Unternehmen zugeordneten Patentfamilien berechnete früheste Prioritätsdatum. Als Datenquellen für die Finanzierungsrunden wurden Cleantech Group, Crunchbase und Dealroom herangezogen. Die Frühphasenfinanzierung beinhaltet folgende Investitionsformen: Seed, Series A, Series B. Die Spätphasenfinanzierung beinhaltet folgende Investitionsformen: Series C–F. Börsengang/Phase nach Börsengang: Transaktionen ohne Kapitalbeteiligung sind in dieser Phase nicht berücksichtigt. Die ausgewiesene Finanzierung in der Phase nach dem Börsengang ist auf private Investitionen in öffentliche Beteiligungen beschränkt, sodass zusätzliche öffentliche Emissionen nicht berücksichtigt sind.

Quelle: Berechnungen der Autoren

## 7. Die uneinheitlichen Trends in der wasserstoffbezogenen Patentierung quer durch Technologien und Regionen zeigen Möglichkeiten auf, wie politisches Handeln zur Verwirklichung einer Zukunft mit Netto-Null-Emissionen beitragen kann.

Trotz der insgesamt positiven Signale, die vom Wachstum der Patentierungstätigkeit bei Wasserstofftechnologien ausgehen, gibt es mehrere Problembereiche. Die Abhängigkeit der Wasserstofftechnologien von einer komplexen technischen Wertschöpfungskette bedeutet, dass die weit verbreitete Nutzung von emissionsarmem Wasserstoff nur so schnell vorankommen wird wie das schwächste Glied in der Kette. Die schwerpunktmaßige Befassung der Innovatoren mit der Wasserstofferzeugung ist sehr begrüßenswert und wird im Laufe der Zeit zu Kostensenkungen führen. Kosten- und Leistungsverbesserungen sind aber auch in anderen Bereichen notwendig, wie z. B. bei der Synthese von wasserstoffbasierten Brennstoffen und bei Endanwendungen. In den von Analytikern entwickelten Wirtschaftsmodellen des zukünftigen Energiesystems werden Kosteneinsparungen in diesen Bereichen zwar allgemein erwartet, doch die Patentdaten lassen darauf schließen, dass Erfinder erst noch Anreize erhalten müssen, um sie Wirklichkeit werden zu lassen.

Die Gefahr eines Missverhältnisses zwischen Angebots- und Nachfragetechnologien sollte von den Regierungen ernst genommen werden. Die Vielzahl der in Labors und in jüngster Zeit auch in Fabriken im industriellen Maßstab entwickelten Elektrolyseurlösungen hat zu einer Innovationsdynamik geführt, die durch wirtschaftlichen Wettbewerb zwischen Unternehmen und Regionen gefördert wird. Für Regierungen gibt es einen guten Grund, die Innovation in Richtung neuartiger Fertigungstechniken, verminderter Abhängigkeit von bestimmten kritischen Mineralien oder Nutzung von wünschenswerten Einsatzstoffen wie Sole oder verunreinigtes Wasser zu lenken, und die allgemeine Richtung ist bereits sehr ermutigend. Investitionen in den Einsatz dieser Technologien hängen jedoch davon ab, ob eine

Kaufbereitschaft für emissionsarmen Wasserstoff besteht, die wiederum vom Vorhandensein geeigneter und wettbewerbsfähiger Umwandlungs- und Endverbrauchstechnologien abhängig ist. Solange auf dem Markt keine sogenannten „Drop-in“-Kraftstoffe auf Wasserstoffbasis verfügbar sind oder die Technologien zur Abkehr von Wasserstoff auf Basis fossiler Brennstoffe nicht weltweit für Verbraucher und Unternehmen zugänglich sind, werden die Investitionen begrenzt bleiben.

Bei der Aufstellung der Forschungsaufgabe und der Ergreifung politischer Maßnahmen zur Schaffung von Investitionsanreizen für den Privatsektor im Innovationsbereich kommt Regierungen eine Schlüsselrolle zu. Die Patentdaten zeigen deutlich, dass gut etablierte Akteure Schwergewichte auf dem Gebiet der Wasserstoffpatentierung und in der Lage sind, neue Marktsegmente zu erschließen. Ein anschauliches Beispiel sind Automobilunternehmen und Chemieunternehmen, die im Brennstoffzellen- und Elektrolysebereich aktiv werden. Die Aussendung von Signalen hinsichtlich der Notwendigkeit des Übergangs zu saubereren Brennstoffen an Unternehmen in der Eisen- und Stahlindustrie sowie im Luftfahrt- und Schifffahrtssektor wird bei den alteingesessenen Akteuren Technologiebestrebungen stimulieren und als Katalysatoreffekt für neue Start-ups wirken. Solche Signale könnten auf Regulierung, Marktanreizen oder Finanztransfers, gekoppelt mit der Förderung innovativer Projekte, basieren. In ähnlicher Weise benötigen die Patentierungstrends für die Nutzung von Wasserstoff zur Verbesserung von Biobrennstoffen neue Impulse.

Ein weiterer Bereich, der bei künftigen Untersuchungen zur Wasserstoffpatentierung für eine Zukunft mit sauberer Energie beobachtet werden muss, ist die Erzeugung von Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen. Um eine spürbare Senkung der Emissionen zu erreichen, kann dieser bestehende Wirtschaftssektor nicht weiterhin auf stufenweise Innovationen zur Effizienzsteigerung setzen. Alle auf fossilen Brennstoffen basierenden Technologien sollten an Klimaschutzmotivationen ausgerichtet werden, wenn diese Technologien eine Rolle in einem Netto-Null-Energiesystem anstreben.

Der vollständige Bericht ist verfügbar unter:

[epo.org/trends-hydrogen](http://epo.org/trends-hydrogen)  
[iea.li/hydrogen-innovation](http://iea.li/hydrogen-innovation)

© 2023 EPA und OECD/IEA