

# Deutschland als Leitanbieter für Wasserstofftechnologien

## Kurzfassung

Der im Herbst 2021 beschlossene Koalitionsvertrag beinhaltet das Ziel, Deutschland zu einem Leitmarkt für Wasserstofftechnologien zu machen. Inwiefern die heutige nationale Wettbewerbsposition Deutschlands im Elektrolyseurmarkt aussichtsreich ist und bei welchen Faktoren noch weitere Anstrengungen unternommen werden müssen, um dieses Unterfangen nicht zu gefährden, wird anhand einer einfachen, quantitativen Indikatorenanalyse auf Basis des Lead Market Ansatzes untersucht. Hieraus wird trotz der hohen Unsicherheiten in diesem jungen Markt deutlich, dass sich Deutschland – zusammen mit Japan, China und den USA – in der Tat in einer guten Ausgangslage befindet und insbesondere in den Indikatoren Ausbauziele, öffentliche Forschungs- und Entwicklungsausgaben sowie Patentanmeldungen noch einen gewissen Aufholbedarf hat.

## Einleitung

Wasserstoff als Energieträger der Zukunft ist in den letzten Jahren wiederholt in den Fokus der Forschung und Politik geraten [Schmidt und Vogt, 2021], da er eine Schlüsselposition bei der vollständigen Klimaneutralität des globalen wie auch des deutschen Energiebedarfs innehaben wird [Ueckerdt et al. 2021]. Eine entscheidende Rolle spielt der Wasserstoff dabei als Speichertechnologie und klimaneutrales Vorprodukt bzw. Energieträger für die Industrie sowie den Schiffs- und Flugverkehr – insbesondere in Szenarien, in denen CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologien (Carbon Capture and Storage, CCS) eine geringere Rolle einnehmen und ehrgeizige (sowie frühzeitige) CO<sub>2</sub>-Minderungsziele erreicht werden sollen [vgl. DLR, 2020 und Ueckerdt et al. 2021].

Für Politiker\*innen und Ökonom\*innen stellt sich bei diesen neuen, internationalen Marktchancen die Frage, wie stark die heimische Nachfrage nach Elektrolyseuren unterstützt werden soll, um auf dem internationalen Markt die Chancen auf eine relevante Wettbewerbsposition zu erhöhen.

In diesem Kontext bietet es sich an, sich mit dem Konzept der Leitmärkte auseinanderzusetzen und

dieses auf die aktuellen Gegebenheiten des Elektrolyseurmarktes anzuwenden. Hierzu wird zunächst in den Begriff der Leitmärkte (Lead Markets) eingeführt, um anschließend anhand geeigneter Kriterien zu identifizieren, ob Deutschland im derzeitigen globalen Wasserstofftechnologiemarkt (d.h. nicht in der Wasserstoffherstellung, sondern im Markt der Wasserstoffproduktionstechnologien und damit verbundener Anlagenkomponenten) eine gute Ausgangsposition innehat und inwiefern sich diese Position ggf. auch in die Zukunft projizieren lässt.

## Leitanbieterschaft und Indikatoren

Der Begriff der Leitanbieterschaft stammt aus der betriebswirtschaftlichen Forschung der letzten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts [Jochem und Schleich, 2012]. Jedoch werden – zumindest implizit – einige Erkenntnisse aus der volkswirtschaftlichen Außenhandelslehre übernommen. Nachdem im beginnenden 20. Jahrhundert die statischen Außenhandelsmodelle, die größtenteils noch auf der merkantilistischen Sichtweise der reinen Kostenvorteile und den von Ricardo 1817 eingeführten komparativen Vorteilen basierten, wurden in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts eine Vielzahl an weiteren Faktoren in die Analysen mit einbezogen – so beispielsweise die Faktorausstattungen [vgl. Rybczynski, 1955].

In den 1970er Jahren kamen ökonomische Methoden und betriebswirtschaftliche Sichtweisen hinzu. Insbesondere Krugman (1979 und 1981) erweiterte die Modelle um monopolistische Betrachtungsweisen und den intra-industriellen Handel – die Grundlage des Leitanbieterschaftskonzepts.

Ein Leitmarkt, bzw. ein Leitanbieter-Land, ist ein Land oder eine Region, das/die führend in einem Produktmarkt ist – d.h. in welchem/welcher ein neues Produkt zuerst den Markt erfolgreich durchdringt. Infolgedessen kann es sein, dass das Land/die Region diesen Produktmarkt für eine gewisse Zeit monopolistisch dominiert. Um diese Position zu erhalten, muss der Leitanbieter sein Produkt i.d.R. ständig weiterentwickeln. Insofern ist es für ein Land attraktiv eine solche Position in neuen Märkten zu erringen.



**DLR**

Dr. Patrick Jochem  
patrick.jochem@dlr.de

Marlene O'Sullivan  
marlene.osullivan@dlr.de

Jonas Eschmann  
jonas.eschmann@dlr.de

**IZES**  
Eva Hauser  
hauser@izes.de

**Wuppertal Institut**  
Prof. Dr. Stefan Lechtenböhrer  
stefan.lechtenboehmer@wupperinst.org

Frank Merten  
frank.merten@wupperinst.org

**ZSW**  
Andreas Püttner  
andreas.puettner@zsw-bw.de

Patrick Wolf  
patrick.wolf@zsw-bw.de

Jedoch ist es schwer, bei der Einführung innovativer Produkte die weitere Marktentwicklung auf Basis geringer Daten und unklarer Marktgröße vorherzusagen. Insofern sind Investitionen zur Erreichung eines Leitmarktes mit großen Risiken verbunden: Einerseits muss man mehr investieren als andere Länder und andererseits sind die Marktunsicherheiten sehr hoch – es kann schnell zu verlorenen Vermögenswerten (Stranded Assets) kommen.

### Kriterien für Leitmärkte

Beise und Cleff entwickelten 2004 ein überzeugendes quantitatives Leitanbieterschaftskonzept und wandten es exemplarisch für neue Produkte im Lkw-Markt an. Sie entwickelten folgende fünf Leitmarktfaktoren für das Strukturgleichungsmodell:

1. **Preis- und Kostenvorteile:** Hat ein Land einen Preisvorteil bei der Produktion eines Produktes, kann es sich im internationalen Handel eher durchsetzen. Dies kann auch politisch unterstützt werden.
2. **Exportvorteile:** Weist das Land ähnliche Marktstrukturen wie andere entwickelte Länder auf, ist auch dies ein möglicher Erfolgsfaktor.
3. **Marktstrukturvorteile:** Ist die Marktstruktur im Land kompetitiv, dann haben seine Unternehmen auch im Ausland eine höhere Erfolgsaussicht.
4. **Nachfragevorteile:** Eine hohe Nachfrage, beispielsweise aufgrund eines hohen Pro-Kopf-Einkommens, vereinfacht die Markteinführung neuer Produkte. Auch anspruchsvolle Kund\*innen können die internationale Erfolgchance dieser neuen Produkte erhöhen.
5. **Transfervorteile:** Viele Länder werden für gewisse Marktbereiche als globale Trendsetter im globalen Kontext angesehen. Führt man ein Produkt in diesen Märkten ein, erhöht sich dessen internationale Erfolgchance.

### Leitmarktkriterien für den globalen Wasserstofftechnologiemarkt

Um diese Faktoren auf den Anwendungsfall der Elektrolyseure und Anlagenkomponenten zu beziehen, wurden zunächst mögliche konkurrierende Länder identifiziert und anschließend versucht, für alle Länder auch entsprechende Indikatoren auszuwerten. Neben Deutschland wurden die USA, China, Italien, Großbritannien, Frankreich, Japan und Korea als relevante Länder identifiziert. Anschließend wurde versucht, für diese Länder und für jeden der Leitmarktfaktoren mindestens einen einheitlichen und vergleichbaren Indikator (inklusive einheitlicher Datenquelle) zu identifizieren:

1. Für den Faktor Preis- und Kostenvorteile gestaltete es sich schwierig, international vergleichbare Kostenparameter für diesen neuen Markt der Elektrolyseure zu bekommen. Letztendlich wurden die angekündigten Ziele in den (politischen) Wasserstoffstrategien für 2030 herangezogen, da hierdurch bei diesen immer noch kleinskaligen Produktionsvolumina ein erheblicher heimischer Kostendegressionsprozess erwartet werden kann und zum anderen der Fokus der Studie auf den zukünftigen Vorteilen liegt.

2. Zur Messung des Exportvorteils wird zunächst aus der Außenhandelsdatenbank der Vereinten Nationen (United Nations, 2021) der globale Marktanteil an Elektrolyseuren in den Jahren 2015-2019 berechnet.

Für die Bestimmung eines weiteren Außenhandelsindikators, der insbesondere eine Abschätzung für die zukünftige Entwicklung von Marktanteilen geben soll, wird auf die Methode der Product Spaces [vgl. Hidalgo 2021] zurückgegriffen. Die Methode basiert auf der Annahme von Spillover-Effekten, welche unterstellen, dass die Erfahrung mit der Herstellung von Produkt X auf die Entwicklung und Herstellung von Produkt Y innerhalb einer Volkswirtschaft übertragen werden kann. Im Falle der Product Spaces äußert sich diese spezifische Herstellungserfahrung in einem offenbarten komparativen Kostenvorteil (engl. revealed comparative advantage, RCA, vgl. Balassa und Noland, 1989). Der Product Space wird konstruiert, in dem die statistische Häufigkeit für den Fall, dass ein Land einen RCA in Produktgruppe X und in Produktgruppe Y simultan aufweist, als Verwandtheitsgrad (relatedness) und in der Darstellung als Distanz zwischen den jeweiligen Produktgruppen definiert wird. Anschließend wird analysiert, welche Länder schon heute eine hohe Dichte an RCA in der näheren Product Space-Umgebung von Elektrolyseuren aufweisen. Hidalgo et al. (2007) konnten zeigen, dass sich Volkswirtschaften in Zukunft mit einer signifikant höheren Wahrscheinlichkeit in Produktgruppen spezialisieren können, bei denen zuvor eine hohe RCA-Dichte in der näheren Product Space-Umgebung dieser Produktgruppe nachgewiesen wurde.

3. Der Marktstrukturvorteil wird mittels des Logistics Performance Index (LPI) der Weltbank (World Bank, 2021a) und den Patentanmeldungen pro Patentamt basierend auf der PATSTAT-Datenbank abgebildet [vgl. ZSW, 2021]. Über den LPI werden die Struktur und die Qualität der Handels- und Logistikinfrastrukturen bewertet.

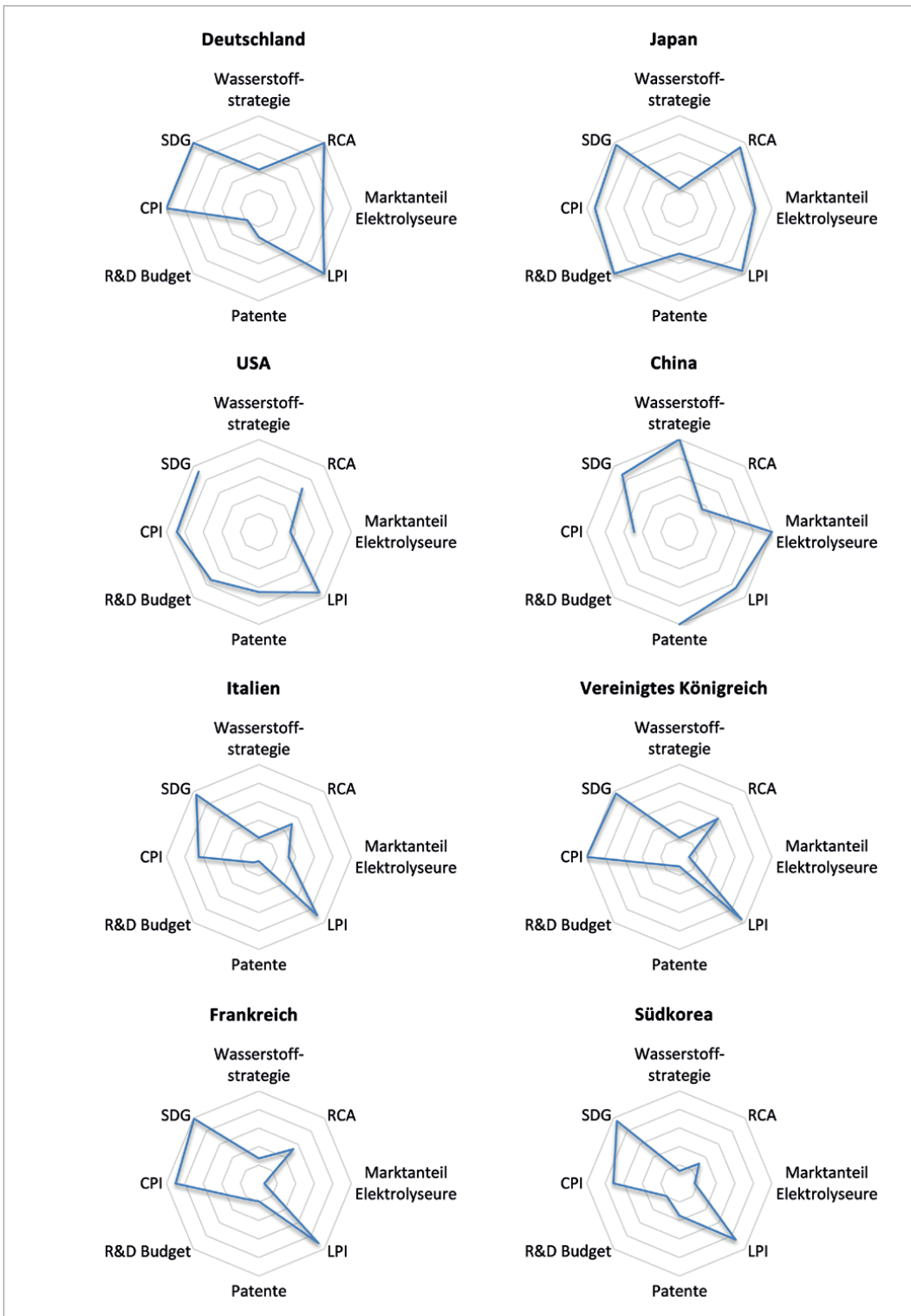


Abbildung 1  
**Spinnennetzdiagramm für die Leitmarktposition im Ländervergleich:**  
 im Vergleich zueinander. SDG – Nachhaltigkeit  
 CPI – Korruption  
 LPI – Logistikperformance  
 RCA – Revealed Comparative Advantage  
 (Quelle: DLR)

Dies ermöglicht, Vorteile einzelner Länder bei der Organisation des Handels und damit vorteilhafte Marktstrukturen aufzudecken. Mit der internationalen Patentanalyse zur Elektrolysetechnologie lassen sich Vorteile und Schwerpunkte in den Forschungsaktivitäten und -erfolgen der einzelnen Länder aufzeigen, wodurch potenzielle First-Mover-Vorteile identifiziert werden können.

4. Die Nachfragevorteile konnten durch den Corruption Perception Index (World Bank, 2021b) und die nationalen öffentlichen Forschungs- und Entwicklungsausgaben (IEA, 2021) berücksichtigt werden.

5. Schwierig war es, einen Indikator für Transfervorteile zu identifizieren. Letztendlich wurde der Sustainability Development Goals (SDG)-Index zur Abbildung der Nachhaltigen Entwicklung (SDSN, 2021) ausgewählt. Die zugrundeliegende Hypothese ist, dass bei den Industrieproduktmärkten die nachfragenden Unternehmen zukünftig eher in Regionen einkaufen, welche die SDG ehrgeizig verfolgen und bereits einen weitreichenden Stand aufzeigen.

Nach Identifizierung der Indikatoren und dem Sammeln der Daten konnten wir direkt in die Ergebnisanalyse übergehen. Dabei möchten wir aber nochmal darauf hinweisen, dass die theoretische Perspektive auch weiterhin zu kurz greift, um Handelsströme vollständig zu erklären.

### Potenzialanalyse relevanter Länder

Um die Länder einfach vergleichbar zu machen, wurden Spinnennetzdiagramme für jedes betrachtete Land erzeugt (► *Abbildung 1*). Für jeden Indikator wurde dem besten Wert eines Landes die äußerste Spur zugeordnet und dem schlechtesten Wert der Nullpunkt. Somit kann jedes Land schnell im Vergleich zu den betrachteten Ländern bewertet werden.

Bei näherer Betrachtung der Spinnennetzdiagramme wird offensichtlich, dass Deutschland bei vielen Indikatoren im Vergleich zu den anderen Staaten eine gute Position zu haben scheint – insbesondere auch gegenüber den USA.

Deutschland kann insbesondere bei den Indikatoren RCA, LPI, CRI und SDG überzeugen. Bei den Indikatoren Wasserstoffstrategie, Marktanteile, Patente und öffentliche Forschungs- und Entwicklungsausgaben zeigen sich jedoch durchaus noch Aufholbedarf – insbesondere im Vergleich zu Japan und China. Während sich die drei Länder beim derzeitigen Marktanteil noch recht ähnlich sind, zeigen sich die beiden Konkurrenten bei den Patentanmeldungen zahlenmäßig überlegen. Darüber hinaus ist China insbesondere bei den Ausbauzielen für 2030 mit 23 GW (IEA, 2021b) oder gar 100 GW (wie in einem industriellen Positionspapier gefordert (Recharge, 2021)) deutlich dem deutschen Ziel aus dem Koalitionsvertrag von 10 GW überlegen. Schlussendlich hatte Japan in den letzten Jahren ein deutlich höheres Niveau an öffentlichen Budgets für Forschung und Entwicklung – wobei hier auf deutscher Seite bereits nachjustiert wurde, was aufgrund der erheblichen Steigerungen der deutschen F&E-Budgets in 2020 und ihrer prognostizierten Entwicklung für die nächsten Jahre vermutet werden kann.

### Fazit und Ausblick

Zusammenfassend scheint Deutschland in diesem jungen Weltmarkt der Elektrolyseure in einer guten Ausgangsposition für einen Leitmarkt zu sein. Die Indikatoren zeigen jedoch auf, dass auch China, Japan und die USA sich in einer ähnlich guten Ausgangsposition befinden und der Ausgang dieses Wettbewerbes um die Leitanbieterschaft noch nicht entschieden ist. Es bedarf dementsprechend auch weiterhin intelligenter und entschlossener Anstrengungen, um diese Wettbewerbsposition in den kommenden Jahren zu halten und damit positive Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte in Deutschland realisieren zu können und nicht am Ende mit verlorenen Vermögenswerten dazustehen. Die Datenverfügbarkeit des jungen Elektrolyseurmarkts (und damit auch die Vergleichbarkeit zwischen den Ländern) ist bislang noch eingeschränkt, insofern kann diese Analyse bislang nur erste Indizien liefern. Weitere, tiefergehende Analysen, insbesondere im Bereich der Product Spaces, werden derzeit durchgeführt.

## Literatur

- Balassa, B. Noland, M. (1989). Revealed Comparative Advantage in Japan and the United States. *Journal of International Economic Integration*, 8–22.
- Beise, M. Cleff, T. (2004). Assessing the Lead Market Potential of Countries for Innovation Projects. *Journal of International Management* 10(4), 453–477.
- DLR (2020). Wasserstoff als ein Fundament der Energiewende. Teil 2: Sektorkopplung und Wasserstoff: Zwei Seiten der gleichen Medaille, Oldenburg, [https://www.dlr.de/content/de/downloads/publikationen/broschueren/2020/wasserstoffstudie-teil-2.pdf;jsessionid=2B62007D8B940C3D26F447317AAB39E0.delivery-replication?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.dlr.de/content/de/downloads/publikationen/broschueren/2020/wasserstoffstudie-teil-2.pdf;jsessionid=2B62007D8B940C3D26F447317AAB39E0.delivery-replication?__blob=publicationFile&v=4).
- Hidalgo, C. A. Klinger, B. Barabási, A.-L. Hausmann, R. (2007). The product space conditions the development of nations. *Science* 317, 482–487.
- Hidalgo, C. A. (2021). Economic complexity theory and applications. *Nature Reviews Physics*, 3(2), 92–113.
- IEA (2021a). Energy Technology RD&D Budget, Paris, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-technology-rd-and-d-budget-database-2#data-sets>.
- IEA (2021b). Global Hydrogen Review 2021, Paris, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>.
- Jochem, P. Schleich, J. (2012). Exploring the drivers behind automotive exports in OECD countries: An empirical analysis, Fhg-ISI Discussionpaper Series, 2012-3, Karlsruhe.
- Krugman, P. R. (1981). International Trade in the Presence of Product Differentiation, Economies of Scale, and Monopolistic Competition. *Journal of International Economics* 11, 305–340.
- Krugman, P. R. (1979). A Model of Innovation, Technology Transfer, and the World Distribution of Income. *Journal of Political Economy* 87(2), 253–266.
- Recharge (2021). China should install 100GW of green hydrogen by 2030, says Beijing-supervised body, <https://www.rechargenews.com/energy-transition/china-should-install-100gw-of-green-hydrogen-by-2030-says-beijing-supervised-body/2-1-1071599>.
- Ricardo, D. (1817). *On the Principles of Political Economy and Taxation*, John Murray, London.
- Rybczynski, T. M. (1955). Factor Endowment and Relative Commodity Prices. *Economica* 22 (88), 336-341.
- Schmidt, M. Vogt, T. (2021). Politische und ökonomische Rahmenbedingungen für eine neue Wasserstoff-Ära, Vortrag bei der FVEE Jahrestagung, Berlin., Mit Wasserstoff zur Klimaneutralität – von der Forschung in die Anwendung, S. 9–13
- SDSN (2021). Sustainable Development Report 2021, [dashboards.sdgindex.org](https://dashboards.sdgindex.org).
- Ueckerdt, F. Pfluger, B. Odenweller, A. Günther, C. Knodt, M., Kammerzell, J., Rehfeld, M. Bauer, C. Verpoort, P. Gils, H.C. Luderer, G. (2021). Durchstarten trotz Unsicherheiten: Eckpunkte einer anpassungsfähigen Wasserstoffstrategie, Ariadne-Kurz Dossier, Potsdam, [https://www.kopernikus-projekte.de/lw\\_resource/datapool/systemfiles/cbox/1835/live/lw\\_datei/ariadne\\_kurz Dossier\\_wasserstoff\\_november2021.pdf](https://www.kopernikus-projekte.de/lw_resource/datapool/systemfiles/cbox/1835/live/lw_datei/ariadne_kurz Dossier_wasserstoff_november2021.pdf).
- United Nations (2021). UN Comtrade, Washington D.C., <https://comtrade.un.org>.
- World Bank (2021a). TCdata360, Logistics Performance Index, [https://tcdata360.worldbank.org/indicators/h2c3ce45a?country=BRA&indicator=40212&viz=bar\\_chart&years=2018](https://tcdata360.worldbank.org/indicators/h2c3ce45a?country=BRA&indicator=40212&viz=bar_chart&years=2018).
- World Bank (2021b). TCdata360, Corruption Perception Index, [https://tcdata360.worldbank.org/indicators/hd16870b1?country=BRA&indicator=41349&viz=line\\_chart&years=2017,2019](https://tcdata360.worldbank.org/indicators/hd16870b1?country=BRA&indicator=41349&viz=line_chart&years=2017,2019).
- ZSW (2021). Auswertung der Patentdatenbank PATSTAT, Stuttgart.