

OECD-Ausblick Wissenschaft, Technologie und Innovation 2023

Zusammenfassung

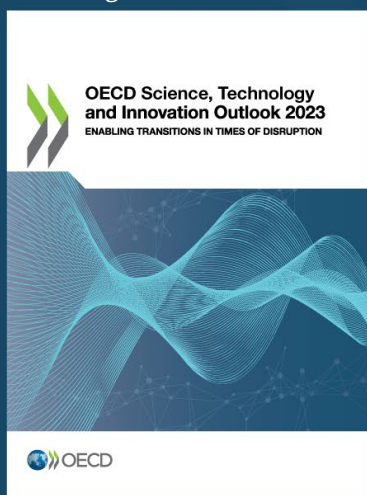
Über die OECD

Die OECD ist ein in ihrer Art einzigartiges Forum, in dem Regierungen gemeinsam an der Bewältigung der wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Herausforderungen der Globalisierung arbeiten. Darüber hinaus unterstützt die OECD die Regierungen maßgeblich dabei, Antworten auf neue Entwicklungen und Fragestellungen – z. B. Corporate Governance, Informationsökonomie und die Herausforderungen der Bevölkerungsalterung – zu finden. Die OECD bietet den Regierungen einen Rahmen, um Erfahrungen aus verschiedenen Politikbereichen auszutauschen, Lösungen für gemeinsame Probleme zu erarbeiten, gute Praktiken aufzuzeigen sowie nationale und internationale Maßnahmen zu koordinieren

Über den OECD-Ausschuss für Wissenschafts- und Technologiepolitik (CSTP)

Der CSTP fördert die Kooperation unter den Mitglieds- und Partnerländern der OECD auf dem Gebiet der Wissenschafts-, Technologie- und Innovationspolitik. Dadurch sollen wirtschaftliche, soziale und wissenschaftliche Errungenschaften unterstützt werden, wie z. B. Wachstum, Beschäftigungsschaffung, nachhaltige Entwicklung, Steigerung des gesellschaftlichen Wohlergehens und Verschiebung der Wissensgrenzen. Ein wichtiges Anliegen des CSTP ist die Integration der WTI-Politik mit anderen Ressorts.

Die komplette englische Publikation findet sich unter <https://doi.org/10.1787/0b55736e-en>



Dieses Dokument sowie die darin enthaltenen Karten berühren weder den völkerrechtlichen Status von Territorien noch die Souveränität über Territorien, den Verlauf internationaler Grenzen und Grenzlinien sowie den Namen von Territorien, Städten oder Gebieten.

Die statistischen Daten für Israel wurden von den zuständigen israelischen Stellen bereitgestellt, die für sie verantwortlich zeichnen. Die Verwendung dieser Daten durch die OECD erfolgt unbeschadet des völkerrechtlichen Status der Golanhöhen, von Ost-Jerusalem und der israelischen Siedlungen im Westjordanland.

Die Verwendung dieser Arbeiten, sei es in digitaler oder gedruckter Form, unterliegt den Nutzungsbedingungen unter: <https://www.oecd.org/termsandconditions>.

Übersetzung durch den Deutschen Übersetzungsdienst der OECD.

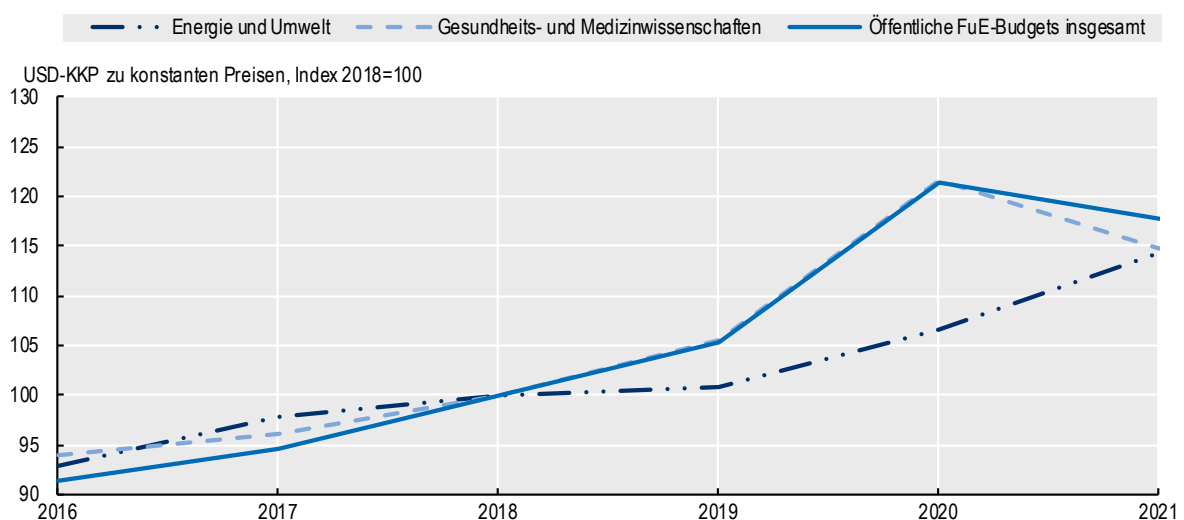




Wissenschaft, Technologie und Innovation sind für ökologische Transformationen von entscheidender Bedeutung

CO₂-arme Innovationen müssen deutlich beschleunigt werden. Ansonsten ist das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050 nicht zu erreichen. Ökologische Transformationen in Bereichen wie den Energie-, Nahrungsmittel- und Verkehrssystemen sind von der Entwicklung und Verbreitung von Schlüsseltechnologien abhängig. Entlang der gesamten Innovationskette sind beträchtliche Investitionen erforderlich, um den Übergang zur Treibhausgasneutralität im notwendigen Umfang und Tempo voranzutreiben. Dies betrifft auch die Forschung und Entwicklung (FuE), da Treibhausgasneutralität nur mithilfe von Technologien erreicht werden kann, die noch weit von der Marktreife entfernt sind. In den letzten Jahren haben sich die öffentlichen FuE-Investitionen in den Bereichen Energie und Umwelt erhöht (Abb. 1). Damit die technologischen Entwicklungen mit den Emissionszielen Schritt halten können, müssen diese Investitionen jedoch noch schneller steigen.

Abbildung 1. Entwicklung der öffentlichen FuE-Budgets, 2016–2021



Quelle: OECD R&D Statistics, September 2022. Neuester Stand der OECD-Indikatoren vgl. *OECD Main Science and Technology Indicators* (Datenbank), <http://oe.cd/msti>.

<https://stat.link/psvk9t>

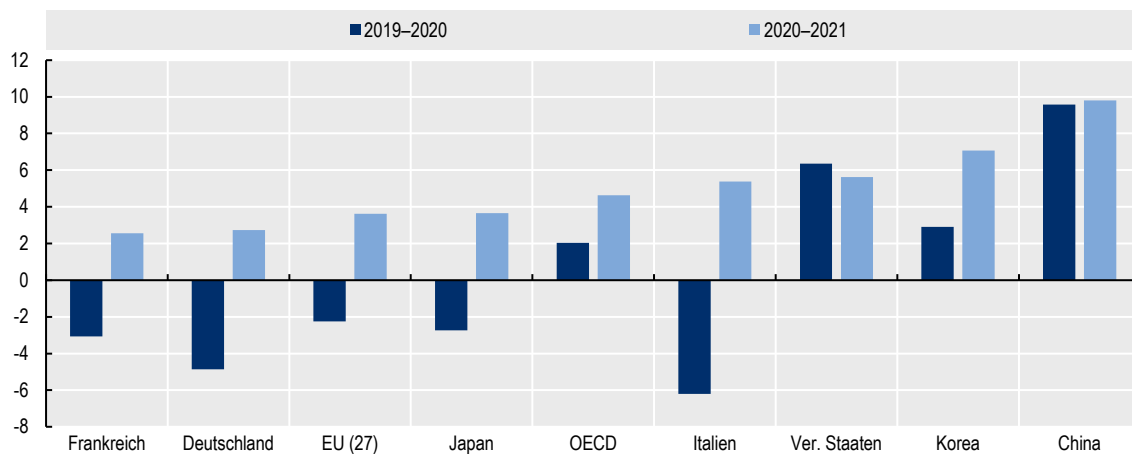
Die FuE-Ausgaben haben sich während des pandemiebedingten Wirtschaftsabschwungs als widerstandsfähig erwiesen

In den letzten Jahren sorgten vor allem zwei Ereignisse für Turbulenzen: die Covid-19-Pandemie und Russlands Angriffskrieg gegen die Ukraine. Beide hatten weitreichende, kaskadenartige Auswirkungen – auch auf WTI. Die FuE-Ausgaben wuchsen zwar während der Pandemie langsamer, sie stiegen aber im OECD-Raum dennoch weiter an. Demnach hat eine weltweite Rezession erstmalig keinen Rückgang der FuE-Ausgaben bewirkt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass FuE-Investitionen ein wesentlicher Bestandteil der Pandemiebekämpfung waren. Den Daten für 2021 zufolge sind die Wachstumsraten für FuE im OECD-Raum wieder auf Vorkrisenniveau gestiegen, da sich die FuE-Ausgaben vieler Länder, die im Vorjahr einen Rückgang verzeichnet hatten, wieder erholten (Abb. 2).

Der erwartete Rückgang des Wirtschaftswachstums und die höchsten Inflationsraten seit den 1980er Jahren könnten sich negativ auf die WTI-Ausgaben auswirken. Anders als während der Pandemie, als WTI-Investitionen eine zentrale Rolle bei der Lösungsfindung spielten, könnten sich die FuE-Ausgaben prozyklisch entwickeln und im Zuge des aktuellen Konjunkturabschwungs zurückgehen. Andererseits könnte der Abwärtsdruck des Wirtschaftsabschwungs auf die FuE-Ausgaben durch die in jüngster Zeit angekündigte ambitionierte Industriepolitik verschiedener Länder ausgeglichen werden, die in vielen Fällen FuE-Investitionen umfasst. Außerdem wird erwartet, dass Russlands Angriffskrieg gegen die Ukraine in den nächsten Jahren in vielen OECD-Ländern zu einem Anstieg der FuE-Ausgaben für Verteidigung führt.

Abbildung 2. Wachstum der Bruttoinlandsausgaben für FuE, 2019–2020 und 2020–2021

Prozentuale Wachstumsrate in konstanten Preisen



Quelle: OECD R&D Statistics, Februar 2023. Neuester Stand der Indikatoren vgl. *OECD Main Science and Technology Indicators* (Datenbank), <http://oe.cd/msti>.

<https://stat.link/fksr1m>

Transformationen erfordern stärkere Direktionalität bei Forschungs- und Innovations-tätigkeiten

Staaten müssen nicht nur mehr investieren, sondern auch eine stärkere Direktionalität bei Forschungs- und Innovationstätigkeiten fördern, um zur Verkürzung des Innovationszyklus für CO₂-arme Technologien beizutragen. Ein Großteil der Innovationsförderung dürfte über Sektoren wie Energie und Verkehr erfolgen und die WTI-Politik muss mit anderen Ressorts abgestimmt werden, um verschiedene „Täler des Todes“ entlang der Innovationsketten zu überbrücken. Diese Neuausrichtung steht auch mit der zunehmenden Tendenz zu ressort-

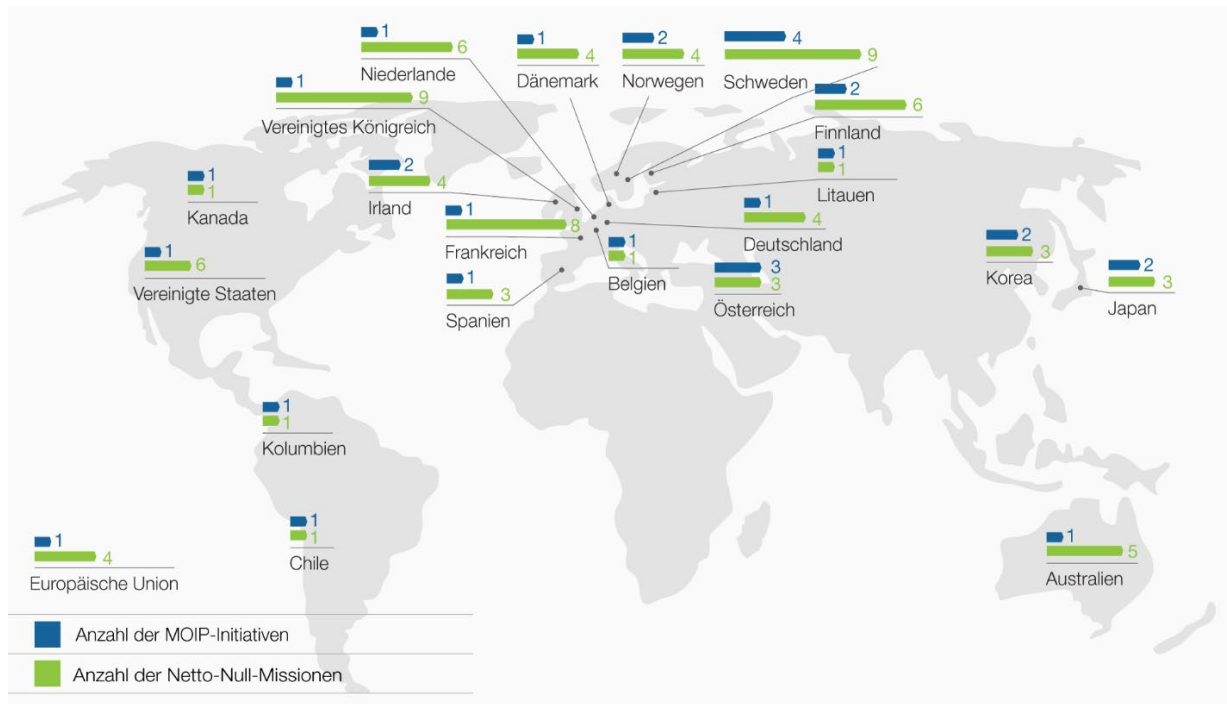
übergreifenden industriepolitischen Maßnahmen, wie z. B. Initiativen der missionsorientierten Innovationspolitik (MOIP), in Einklang (Abb. 3). Diese erfordern, dass die Staaten gemeinsam mit anderen Akteuren (insbesondere Unternehmen) explizite innovationspolitische Entscheidungen darüber treffen, worauf sie ihre begrenzten Ressourcen konzentrieren.

Die OECD definiert eine MOIP-Initiative als ein koordiniertes Paket aus politischen und regulatorischen Maßnahmen, die gezielt darauf zugeschnitten sind, durch die Mobilisierung von WTI klar definierte Ziele in Bezug auf eine gesellschaftliche Herausforderung innerhalb eines festgelegten Zeitrahmens umzusetzen. Diese Maßnahmen können sich über verschiedene Stadien der Innovationskette erstrecken, von der Forschung über die Demonstration bis zur Markteinführung. Sie können angebots- und nachfrageorientierte Instrumente kombinieren und verschiedene Politikfelder, Sektoren und Disziplinen umfassen.

Missionen stellen eine Verbesserung gegenüber unkoordinierten WTI-Maßnahmen dar, bewirken aber noch keine transformativen Veränderungen. Erste Anzeichen weisen darauf hin, dass sie nicht den nötigen Umfang und Einfluss auf WTI-fremde Politikbereiche haben, um die gewünschten weitreichenden Auswirkungen zu erzielen. Die Herausforderung besteht darin, diese Initiativen von effektiven Koordinierungsplattformen zu integrierten Politikrahmen weiterzuentwickeln, die viele verschiedene Akteure mobilisieren und aufeinander abstimmen. Dazu bedarf es erheblicher politischer Unterstützung. Darüber hinaus müssen die Anreizstrukturen und die Verfahren in den öffentlichen Verwaltungen deutlich angepasst werden.

Abbildung 3. Karte der MOIP-Initiativen und der entsprechenden Missionen zum Erreichen von Treibhausgasneutralität

Immer mehr Staaten ergreifen systemische Politikmaßnahmen zur Verringerung der Treibhausgasemissionen



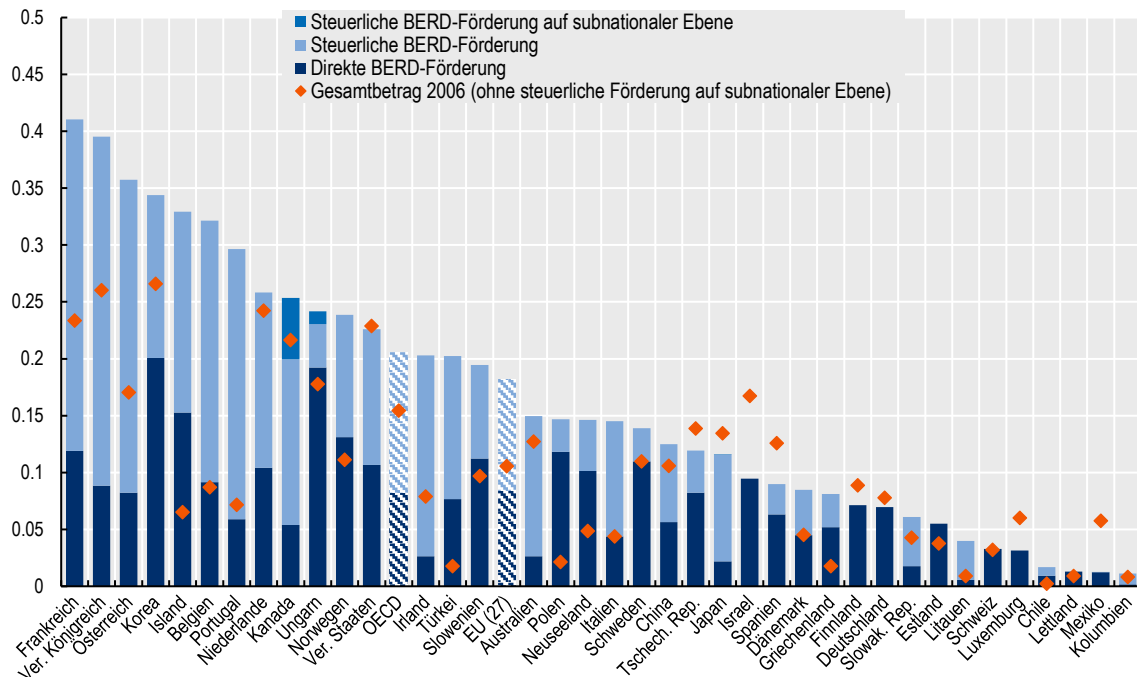
Anmerkung: Irland beispielsweise führt derzeit zwei MOIP-Initiativen mit insgesamt vier Missionen durch. Eine Liste der MOIP-Initiativen, einschließlich der entsprechenden Missionen zum Erreichen von Treibhausgasneutralität, ist unter <https://www.oecd.org/sti/inno/Online%20list%20of%20NZ%20missions.pdf> verfügbar.

Wenngleich MOIP-Initiativen in den letzten Jahren große politische Aufmerksamkeit erregt haben, machen sie nur einen kleinen Teil der staatlichen Ausgaben für Forschung und Innovation aus. Ein großer Teil der staatlichen Förderung ist nach wie vor nicht direktional. So

werden beispielsweise in großem Umfang Instrumente wie Steueranreize eingesetzt, um die FuE-Tätigkeit der Unternehmen anzukurbeln. Das Portfolio der genutzten Politikinstrumente ist von Land zu Land unterschiedlich und nicht alle machen im selben Umfang von FuE-Steueranreizen Gebrauch (Abb. 4).

Abbildung 4. Direkte staatliche Finanzierung und steuerliche Förderung von unternehmensbasierter FuE

In Prozent des BIP, 2006 und 2020



Anmerkung: Für China, Spanien und die Vereinigten Staaten sind keine Daten zur steuerlichen Förderung auf subnationaler Ebene verfügbar. Wegen allgemeiner und länderspezifischer Informationen zur Schätzung der Steuererleichterungen für FuE-Ausgaben vgl. <http://www.oecd.org/sti/rd-tax-stats-gtard-ts-notes.pdf>.

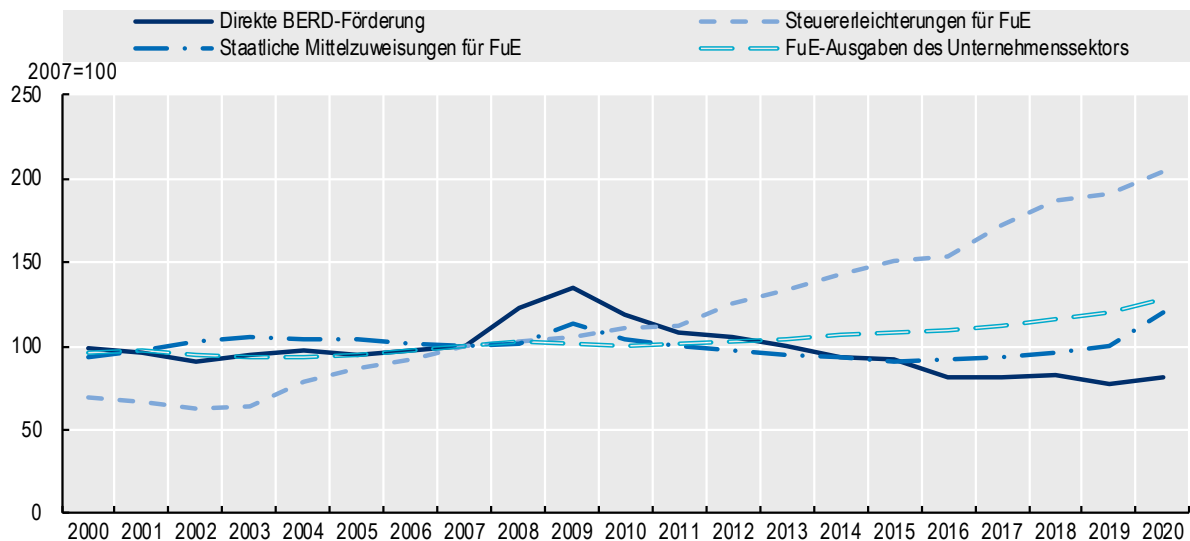
Quelle: OECD R&D Tax Incentives (Datenbank), <http://oe.cd/rdtax>, Januar 2023.

<https://stat.link/sp9j0o>

Es besteht breiter Konsens darüber, dass Steueranreize eher für die Förderung von FuE-Aktivitäten geeignet sind, die das Potenzial für eine baldige Markteinführung aufweisen. Dagegen eignen sich Politikinstrumente wie direkte Zuschüsse eher für die Förderung längerfristiger, risikoreicherer FuE sowie für die gezielte Unterstützung bestimmter Bereiche, die entweder öffentliche Güter schaffen oder ein besonders hohes Spillover-Potenzial aufweisen. Unternehmensbasierte FuE kann mit beiden Arten von Maßnahmen wirksam gefördert werden. Der zunehmende Handlungsdruck bei wesentlichen gesellschaftlichen Herausforderungen wie dem Klimawandel legt jedoch nahe, dass mehr Direktionalität notwendig ist. Dennoch fand in den letzten zwanzig Jahren eine erhebliche Verlagerung von direkten Förderinstrumenten auf FuE-Steueranreize statt. 2019 entfielen in den OECD-Ländern rd. 60 % der gesamten staatlichen Förderung für unternehmensbasierte FuE auf Steueranreize, im Vergleich zu 36 % im Jahr 2006 (Abb. 5). Die Staaten sollten ihren Politikmix zur Förderung der unternehmensbasierten FuE daraufhin überprüfen, ob er mit ihrem Ziel der Treibhausgasneutralität vereinbar ist.

Abbildung 5. Anhaltende Verlagerung des staatlichen Politikmix zur Förderung unternehmensbasierter FuE

Staatliche Förderung von unternehmensbasierter FuE im OECD-Raum, 2000–2020, auf das BIP normiert, 2007=100



Anmerkung: Wegen allgemeiner und länderspezifischer Informationen zur Schätzung der Steuererleichterungen für FuE-Ausgaben (GTARD) vgl. <http://www.oecd.org/sti/rd-tax-stats-gtard-ts-notes.pdf>.

Quelle: OECD R&D Tax Incentives (Datenbank), <http://oe.cd/rdtax>, Januar 2023 sowie OECD R&D Statistics, September 2022. Neuester Stand der OECD-Indikatoren vgl. OECD Main Science and Technology Indicators (Datenbank), <http://oe.cd/msti>.

<https://stat.link/bf2a7e>

Transformationen erfordern neben einer stärkeren Direktionalität auch umfassendere Reformen der WTI-Politik

Die Forschungs- und Innovationstätigkeit braucht mehr Investitionen und Direktionalität. Dies sollte allerdings mit einer Neubewertung der WTI-Systeme und der entsprechenden WTI-Politik einhergehen, um sicherzustellen, dass sie dazu geeignet sind, ökologische Transformationen zu fördern. Möglicherweise benötigen die Staaten ganz andere WTI-Politikrahmen und -Verfahren als gegenwärtig üblich, um zur Steuerung und Beschleunigung des Innovationszyklus für CO₂-arme Technologien beizutragen. Sie sollten einen Politikmix entwickeln, der transformative Innovationen und die Entstehung neuer Märkte ermöglicht, bestehende fossile Systeme infrage stellt, zugleich aber gerechte Transformationen fördert, und CO₂-armen Technologien Chancen auf einen Durchbruch verschafft. Diese Reformen betreffen alle Aspekte der WTI-Politik und -Governance, darunter die Finanzierung von Forschung und Innovation, verschiedene Koordinationsmechanismen und die Verfahren zur Messung von WTI-Inputs und -Outputs. Sie sollten angebots- und nachfrageseitige Interventionen umfassen, die sowohl bei der Produktion als auch beim Verbrauch ansetzen. Der WTI-Ausblick enthält eine Übersicht über die Teilbereiche der WTI-Politik, für die eine solche Neubewertung erforderlich ist (Abb. 6).

Abbildung 6. Zentrale Herausforderungen der WTI-Politik bei der Förderung ökologischer Transformationen



Quelle: Website des OECD-Projekts S&T Policy 2025 <https://www.oecd.org/sti/inno/stpolicy2025/>, Abruf: 15. November 2022.

Aus der WTI-Reaktion auf die Coronakrise lassen sich Lehren für ökologische Transformationen ableiten

Die weltweite WTI-Reaktion auf Covid-19 liefert wichtige Erkenntnisse für ökologische Transformationen. So waren beispielsweise neue Kooperationen zwischen verschiedenen Akteuren während der Pandemie entscheidend für die erfolgreiche WTI-Reaktion. Diese längerfristig zu festigen, erfordert jedoch möglicherweise eine erhebliche Veränderung der wissenschaftlichen Kultur, Strukturen, Anreize und Vergütung. Viele der notwendigen Veränderungen – z. B. bei der Leistungsbewertung in der Forschung, der Einbeziehung der Öffentlichkeit sowie der transdisziplinären Forschung – sind bereits im Gange. Aufgrund der Unbeweglichkeit der Wissenschaftssysteme wurden sie allerdings noch nicht im erforderlichen Umfang und Tempo umgesetzt. Es bedarf drastischerer Veränderungen, um die Wissenschaft dazu zu bewegen, zusammen mit anderen gesellschaftlichen Akteuren ein breiteres Spektrum an Outputs und Lösungen zu entwickeln, die für die Bewältigung komplexer globaler Herausforderungen und Krisen dringend benötigt werden.

Des Weiteren erforderte der globale Charakter der Pandemie aktiven Multilateralismus und internationale Solidarität, wobei die Reaktion sowohl Licht- als auch Schattenseiten erkennen ließ: Sie zeigte nicht nur, was sich durch internationale Zusammenarbeit in kürzester Zeit erreichen lässt, sondern auch die Grenzen dieser Zusammenarbeit, insbesondere bei der weltweit ungleichen Verteilung von Impfstoffen und Medikamenten. Der Impfnationalismus und die Impfdiplomatie während der Pandemie waren womöglich ein Sinnbild für das Spannungsfeld zwischen internationaler Kooperation und Konkurrenz, das wahrscheinlich auch die Reaktion auf andere Krisen, insbesondere den Klimawandel, kennzeichnen wird. Dieser Konflikt wird auch in Zukunft maßgeblich dafür sein, wie Forschung und Innovation zu globalen Krisenreaktionen beitragen können.



Geopolitische Spannungen bewirken eine zunehmende „Versicherheitlichung“ der WTI-Politik

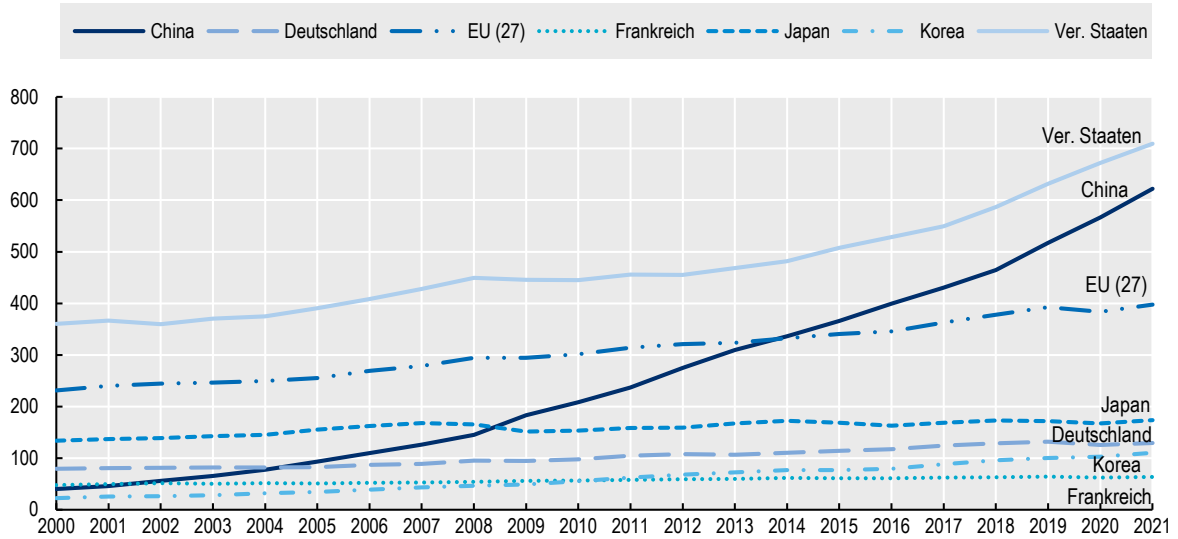
Der wirtschaftliche Wohlstand und die Sicherheit der OECD-Länder beruhen lange Zeit auf ihrer technologischen Führungsposition. Dafür war es zwangsläufig erforderlich, ihre Technologien in gewissem Umfang vor strategischen Wettbewerbern zu schützen. Solche Anstrengungen werden heutzutage allerdings durch den interdependenten und multinationalen Charakter der neueren technologischen Innovationen erschwert. Viele Technologien stammen aus verschiedenen Quellen und sind stark von anderen Technologien abhängig, deren Eigentümer, Nutzer und Stakeholder in verschiedenen Ländern ansässig sind. Viele besitzen zudem Dual-Use-Potenzial, d. h., sie können sowohl für zivile als auch für militärische Zwecke eingesetzt werden.

China hat wesentliche Fähigkeiten für Innovationen an der Technologiegrenze aufgebaut

Als aufstrebende Macht muss China Technologien erwerben und entwickeln, um in der globalen Wertschöpfungskette aufzusteigen und der Mitteleinkommensfalle zu entkommen. In den letzten Jahrzehnten hat das Land herausragende technologische Fähigkeiten aufgebaut. In einigen Bereichen wie 5G ist es bereits Marktführer, in anderen Bereichen besetzt es ebenfalls Spitzenpositionen. China hat außerdem die Innovation in Technologiebereichen beschleunigt, die für ökologische Transformationen eine entscheidende Rolle spielen, wie etwa Photovoltaik- und Windkraftanlagen sowie Batterien für Elektrofahrzeuge. Diese Erfolge beruhen auf einer erheblichen Steigerung der FuE-Ausgaben (Abb. 7) und der Anzahl der Forschenden (Abb. 8), durch die China die kritische Masse für Innovationen an der Technologiegrenze erlangt hat.

Abbildung 7. Bruttoinlandsausgaben für FuE (GERD), ausgewählte Volkswirtschaften, 2000–2021

In Mrd. USD in KKP zu konstanten Preisen

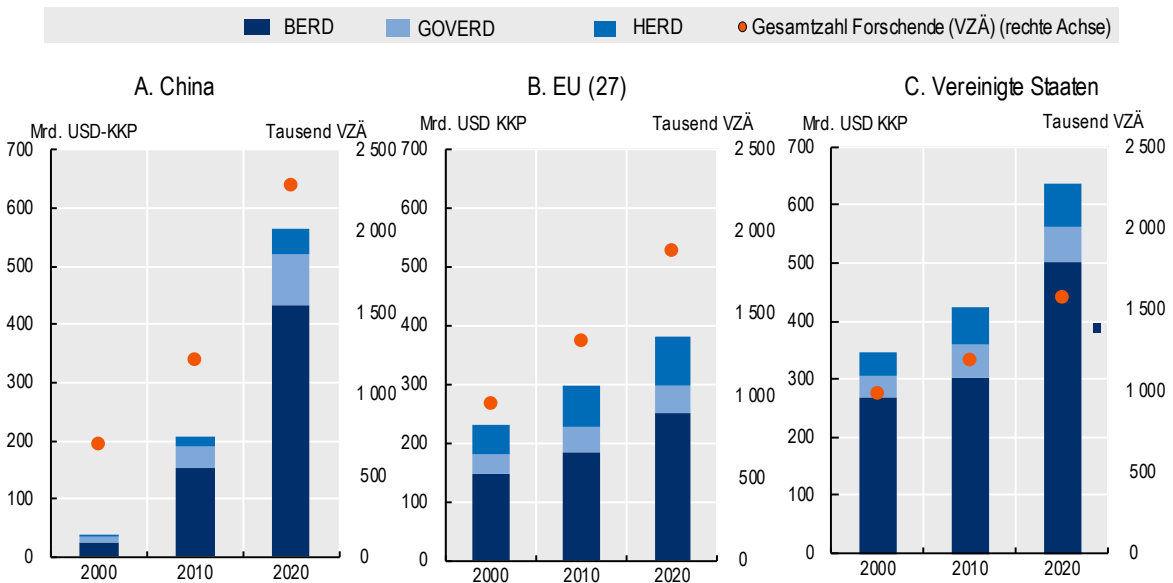


Quelle: OECD R&D Statistics, Februar 2023. Neuester Stand der Indikatoren vgl. *OECD Main Science and Technology Indicators* (Datenbank), <http://oe.cd/msti>.

<https://stat.link/r09mdp>

Abbildung 8. FuE-Ausgaben nach Sektoren und Gesamtzahl der Forschenden in Vollzeit-äquivalenten (VZÄ)

In Mrd. USD in KKP zu Preisen von 2015 und in 1 000 VZÄ



Anmerkung: Die Daten zu den FuE-Ausgaben im Jahr 2020 für die Vereinigten Staaten sind vorläufig, für China und die EU27 geschätzt. Die Daten zur Anzahl der Forschenden im Jahr 2020 in den Vereinigten Staaten beziehen sich auf 2019.

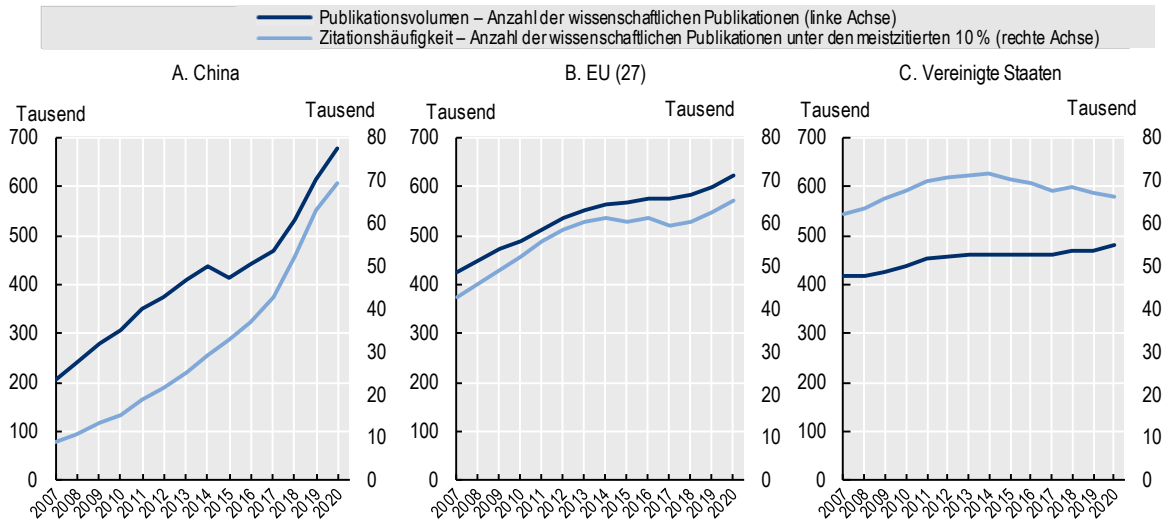
Quelle: *OECD Main Science and Technology Indicators* (Datenbank), September 2022.

<https://stat.link/2mxj6f>

Das Wachstum der FuE-Ausgaben und des FuE-Personals in China hat sowohl die Anzahl als auch die Zitationshäufigkeit der wissenschaftlichen Publikationen gesteigert. Abb. 9 zeigt, dass China im Jahr 2020 mehr wissenschaftliche Publikationen hervorgebracht hat als die Europäische Union oder die Vereinigten Staaten. Auch bei den meistzitierten Publikationen lag China 2020 an der Spitze. Des Weiteren entfielen im Zeitraum von 2017 bis 2019 13 % der IP5-

Patentfamilien auf China, verglichen mit nur 1 % im Zeitraum von 1998 bis 2000. Dies zeigt, dass das Land in den letzten zwanzig Jahren zunehmend hochentwickelte technologische Kapazitäten aufgebaut hat (Abb. 10).

Abbildung 9. Entwicklung der Anzahl und Zitationshäufigkeit wissenschaftlicher Publikationen, ausgewählte Volkswirtschaften



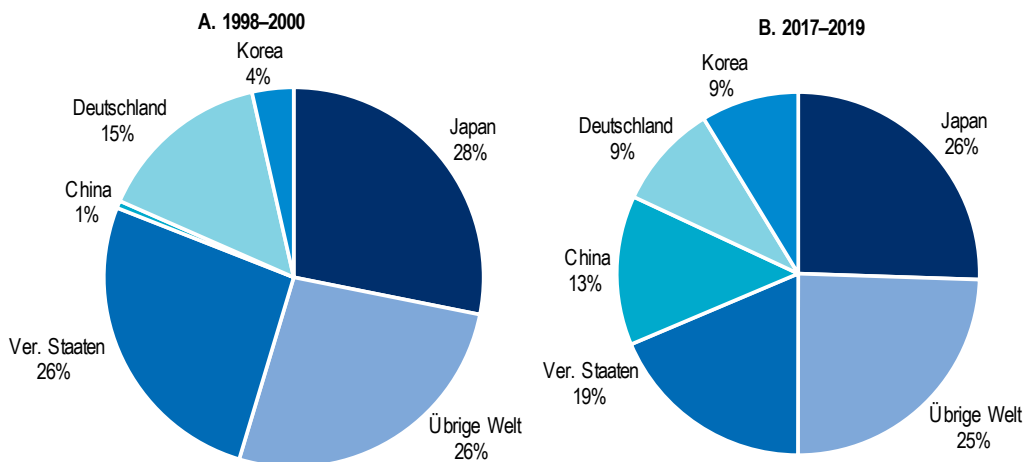
Anmerkung: Begutachtete wissenschaftliche Publikationen verbreiten Forschungsergebnisse von Wissenschaftler*innen auf der ganzen Welt. Zitationen durch Autor*innen nachfolgender Publikationen liefern indirekte, aber objektive Informationen über die Qualität der Forschungsergebnisse, da sie deren Nutzung durch die wissenschaftliche Community selbst widerspiegeln. Zitationsanalysen erfassen nicht, wie die wissenschaftlichen Informationen von Erfinder*innen und Praktiker*innen genutzt werden, die eher selten Publikationen in Zeitschriften mit Peer-Review-Verfahren veröffentlichen. Trotz dieser und anderer Einschränkungen stellen Zitationen eine Möglichkeit zur Qualitätsbereinigung des quantitativen Publikationsvolumens dar. Ihre Relevanz ist im Hochschulbereich als höher einzuschätzen. Der Indikator für wissenschaftliche Exzellenz gibt den Anteil (in %) der wissenschaftlichen Publikationen einer Einheit an, die zu den meistzitierten 10 % der Arbeiten im entsprechenden Wissenschaftsfeld zählen (vgl. <https://www.oecd.org/sti/ino/Bibliometrics-Compendium.pdf>).

Quelle: OECD-Berechnungen auf der Grundlage von Scopus Custom Data, Elsevier, Version 6.2022, September 2022.

<https://stat.link/0akyvp>

Abbildung 10. Verteilung der IP5-Patentfamilien auf ausgewählte Länder und den Rest der Welt

Prozentualer Anteil verschiedener Länder und Regionen an der Gesamtzahl der IP5-Patentfamilien



Anmerkung: Die Daten beziehen sich auf Patentfamilien, die bei den fünf größten Ämtern für geistiges Eigentum (IP5) angemeldet sind, nach Datum der ersten Anmeldung und Standort der Antragsteller.

Quelle: OECD, STI Micro-data Lab: Intellectual Property (Datenbank), <http://oe.cd/ipstats> (Abruf: 9. Februar 2023).

<https://stat.link/oucrwx>

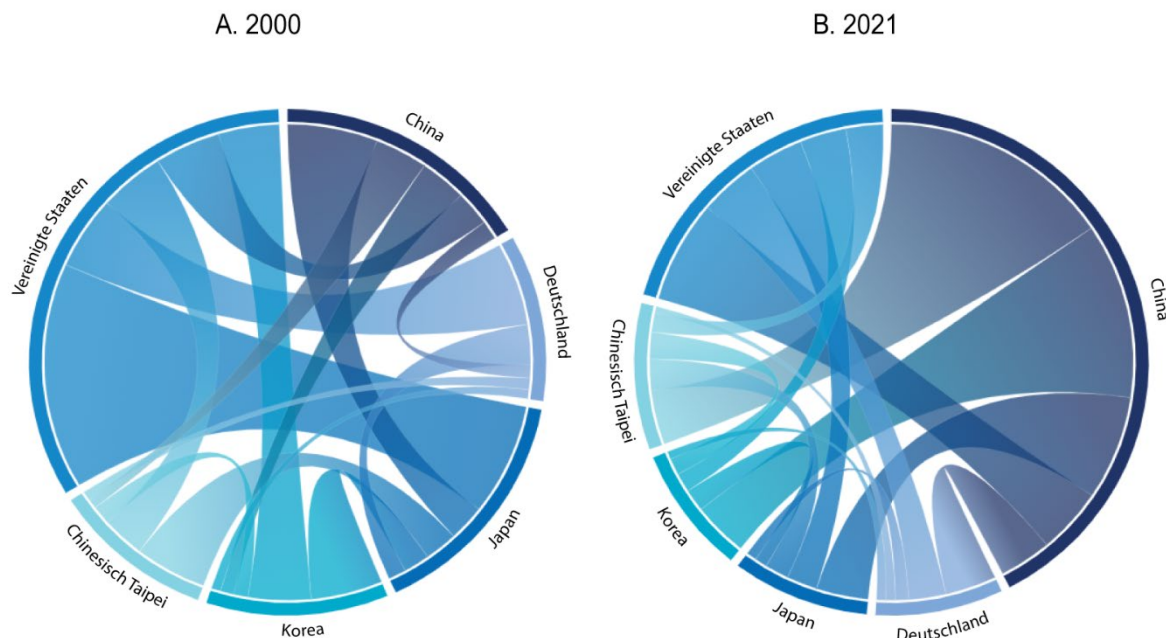
Chinas Aufstieg im WTI-Bereich wurde durch enge Beziehungen zu OECD-Volkswirtschaften begünstigt

Die Veränderungen der letzten zwanzig Jahre bei den führenden Importeuren von Vorleistungen in Wirtschaftszweigen mit mittelhoher bzw. hoher FuE-Intensität zeigen, wie die Verflechtungen verschiedener Volkswirtschaften in globalen Wertschöpfungsketten zugenommen haben. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts waren die Vereinigten Staaten der größte Importeur von Vorleistungen in Wirtschaftszweigen mit mittelhoher bzw. hoher FuE-Intensität. Ihr wichtigster Lieferant war Japan. Zwanzig Jahre später hat sich China zum größten Importeur (und Exporteur) dieser Vorleistungen entwickelt. Das Land ist auch der Hauptlieferant für seine Nachbarvolkswirtschaften (Japan, Korea und Chinesisch Taipei) und nach Mexiko der zweitgrößte Lieferant für die Vereinigten Staaten (Abb. 11).

Das beeindruckende Wachstum Chinas wissenschaftlicher Kapazitäten in den letzten Jahren wurde auch durch enge Forschungsbeziehungen mit OECD-Ländern begünstigt. Wissenschaftlicher Fortschritt beruht auf der globalen Wissensallmende und rund ein Fünftel aller wissenschaftlichen Publikationen stammt von internationalen Autorentteams. Daten zur Zusammenarbeit auf Grundlage wissenschaftlicher Publikationen – berechnet anhand Vollzählungen von Dokumenten internationaler Autorentteams – zeigen, dass die internationale Kooperation zwischen China und den Vereinigten Staaten in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen hat. Zwischen 2017 und 2019 verzeichneten die Vereinigten Staaten sogar mehr Ko-Publikationen mit China als mit dem Vereinigten Königreich.

Abbildung 11. Handel mit Vorleistungen in Wirtschaftszweigen mit mittelhoher bzw. hoher FuE-Intensität, ausgewählte Volkswirtschaften

Importströme, in USD zu jeweiligen Preisen



Anmerkung: Eine Definition von Vorleistungen in Wirtschaftszweigen mit mittelhoher bzw. hoher FuE-Intensität findet sich unter https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-taxonomy-of-economic-activities-based-on-r-d-intensity_5jlv73sqgp8r-en.

Teil B: Die Daten zu Korea für 2021 beziehen sich auf 2020. Die hier dargestellten Importströme stellen 20 % der weltweiten Importe von Vorleistungen in Wirtschaftszweigen mit mittelhoher bzw. hoher FuE-Intensität im Jahr 2021 dar.

Quelle: OECD (2023), "STAN Bilateral trade database by industry and end-use category, ISIC Rev. 4", *STAN: OECD Structural Analysis Statistics* (Datenbank), <https://doi.org/10.1787/data-00691-en> (Abruf: 6. Februar 2023).

<https://stat.link/21wj98>

WTI-Beziehungen könnten durch das Streben der Länder nach größerer strategischer Autonomie geschwächt werden

Für liberale Marktwirtschaften birgt der Aufstieg Chinas drei Hauptsorgen: 1. zunehmender Wettbewerb bei kritischen Technologien, die für die zukünftige wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und nationale Sicherheit entscheidend sein dürften; 2. Werte- und Interessensdifferenzen zwischen China und den liberalen Marktwirtschaften, die die bestehende regelbasierte Weltordnung infrage stellen; sowie 3. stärker wahrgenommene Risikoanfälligkeit durch Interdependenzen in der Technologielieferkette. Diese Sorgen haben Technologieführer dazu veranlasst, größere technologische Souveränität und strategische Autonomie anzustreben, um die Risikoanfälligkeit ihrer Technologielieferketten zu verringern und Chinas Führungsambitionen bei kritischen Technologien wie künstlicher Intelligenz entgegenzuwirken.

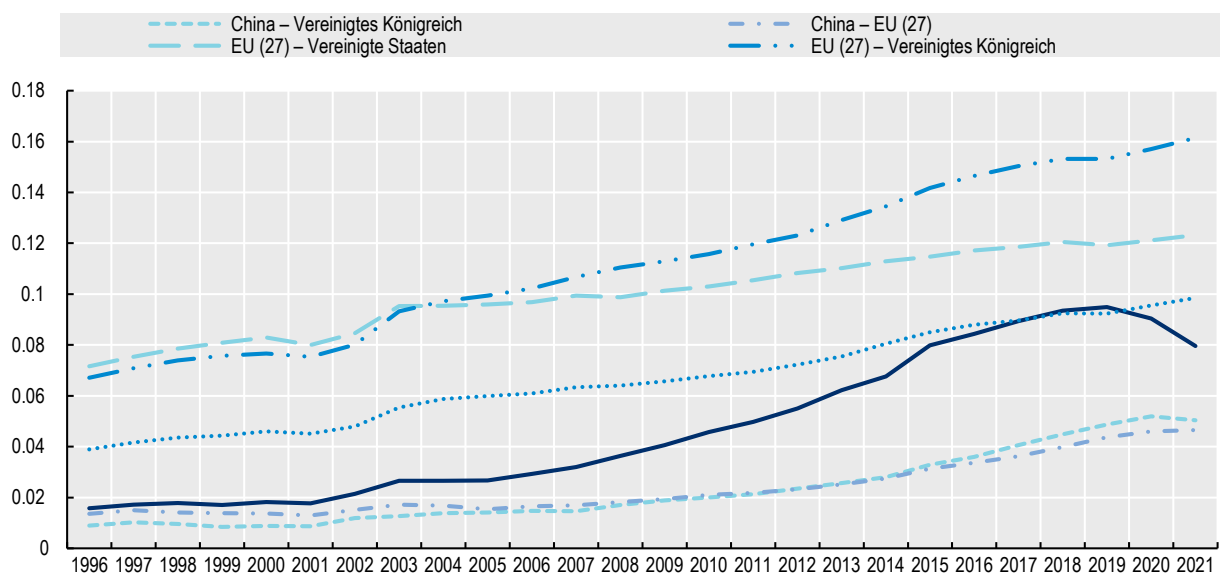
Um ihre wechselseitigen Abhängigkeiten im Technologiebereich zu verringern, haben sowohl China als auch die Europäische Union und die Vereinigten Staaten vor Kurzem Initiativen zur Stärkung ihrer inländischen WTI-Kapazitäten aufgelegt. Technologiegetriebene Industriepolitik erfreut sich zunehmender Beliebtheit. Sie stützt sich z. T. auf Investitionen zur Überwindung der Pandemiefolgen und vereint Sicherheitsanliegen mit wirtschaftlicher Erneuerung und ökologischen Transformationszielen. Dies zeigt sich besonders bei Halbleitern, erstreckt sich aber auch auf andere Technologiebereiche. Darüber hinaus gehen gleichgesinnte Länder Technologieallianzen ein, um die Kooperation bei der Entwicklung, Governance und Verbreitung von Technologien zu stärken. Bei diesen Initiativen handelt es sich um dreierlei Arten von Politikinterventionen zur Stärkung der technologischen Souveränität und strategischen Autonomie: Schutz-, Förder- und Ausbaumaßnahmen (Abb. 12). Viele dieser Politikmaßnahmen entspringen Bereichen wie der Handels-, Außen-, Verteidigungs- und Wirtschaftspolitik. Ministerien und Finanzierungseinrichtungen für Forschung und Entwicklung spielen dagegen eine weniger zentrale Rolle.

Abbildung 12. Drei Arten von Politikinterventionen zur Stärkung der strategischen Autonomie im Technologiebereich



Diese politischen Anstrengungen zur Verringerung von Abhängigkeiten im Technologiebereich könnten die integrierten globalen Wertschöpfungsketten sowie die engen und weitreichenden internationalen Wissenschaftsbeziehungen beeinträchtigen, die in den letzten 30 Jahren aufgebaut wurden. Es gibt bereits erste Anzeichen, dass diese Verflechtungen abnehmen. So ist z. B. die Anzahl der Ko-Publikationen von Wissenschaftler*innen in China und den Vereinigten Staaten in den letzten Jahren gesunken. Als Erklärung dafür werden pandemiebedingte Reisebeschränkungen und die Ablehnung von Visumanträgen angeführt, die Auslandsreisen chinesischer Studierender und Forschender eingeschränkt hätten (Abb. 13). Der Rückgang – der 2020 begann und sich 2021 beschleunigte – betrifft überwiegend Ingenieur- und Naturwissenschaften, auf die der Großteil der bilateralen Forschungszusammenarbeit zwischen China und den Vereinigten Staaten entfällt (Abb. 14). Unterdessen ist die Zusammenarbeit in anderen Forschungsbereichen wie den Lebens- und Gesundheitswissenschaften sowie den Sozial- und Geisteswissenschaften im gleichen Zeitraum weiter gewachsen. Diese Muster könnten erste Anzeichen einer Abkehr Chinas und der Vereinigten Staaten von der bilateralen Kooperation in Forschungsbereichen sein, die für den strategischen Wettbewerb von entscheidender Bedeutung sind. Sie könnten ebenfalls darauf hindeuten, dass die bilaterale Kooperation in anderen Bereichen wie Medizin und Umweltwissenschaften, in denen der strategische Wettbewerb weniger ausgeprägt ist, weiter zunehmen könnte.

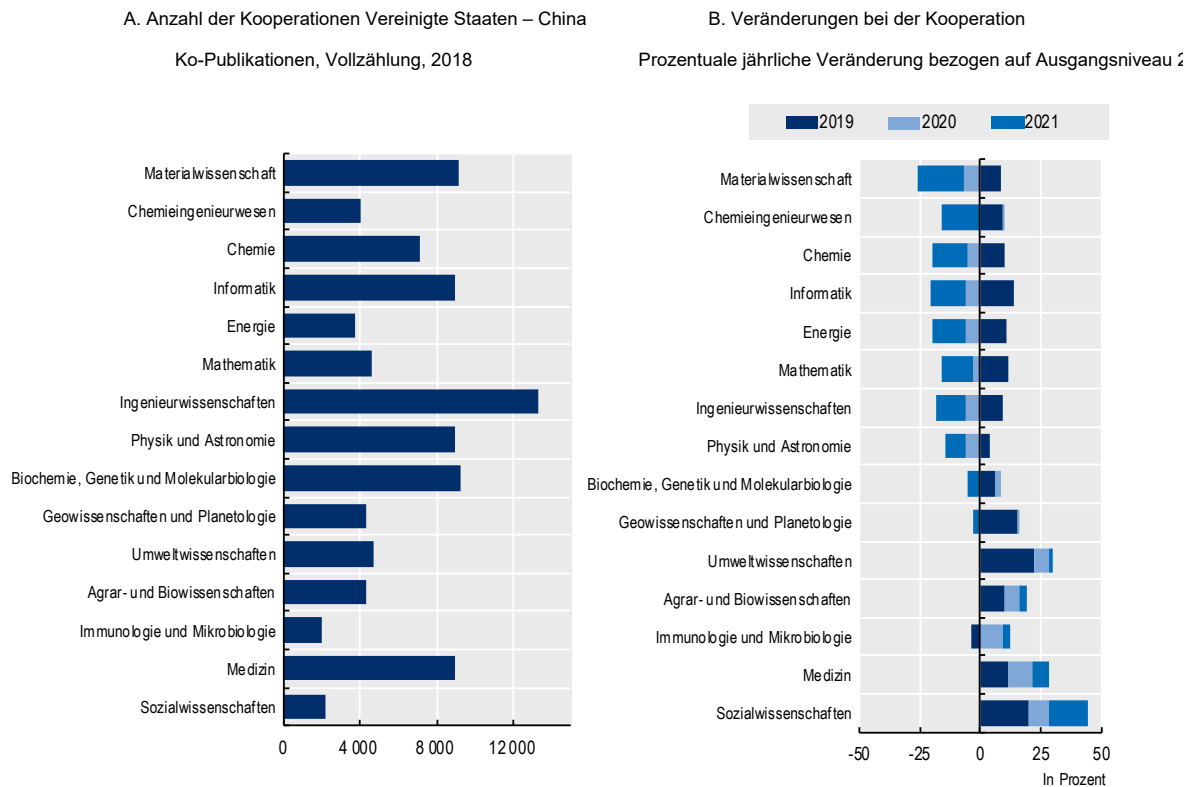
Abbildung 13. Entwicklung der Intensität bilateraler Kooperation bei wissenschaftlichen Publikationen, 1996–2021



Anmerkung: Der Indikator für die Intensität bilateraler Kooperation zwischen zwei Volkswirtschaften wird berechnet, indem die Anzahl wissenschaftlicher Publikationen von Autor*innen mit Affiliationen in beiden Volkswirtschaften (Vollzählung) durch die Quadratwurzel des Produkts der Anzahl der Publikationen jeder der beiden Volkswirtschaften (Vollzählung) geteilt wird. Dieser Indikator ist demnach mit dem Publikationsoutput normalisiert. Publikationen umfassen alle zitierfähigen Publikationen, d. h. Artikel, Reviews und Tagungsberichte.
Quelle: OECD-Berechnungen auf der Grundlage von Scopus Custom Data, Elsevier, Version 6.2022, Februar 2023.

<https://stat.link/sqxp5w>

Abbildung 14. Die 15 wichtigsten Kooperationsbereiche zwischen den Vereinigten Staaten und China



Anmerkung: Die Kooperation zwischen China und den Vereinigten Staaten wird als die Anzahl der Ko-Publikationen zwischen beiden Ländern (Vollzählung) definiert. Teil A gibt die absolute Anzahl der Ko-Publikationen 2018 an. Teil B gibt an, wie sich die Anzahl der Ko-Publikationen in den folgenden Jahren im Vergleich zum Vorjahr gemessen als Prozentsatz der Ko-Publikationen von 2018 verändert hat.
Quelle: OECD-Berechnungen auf der Grundlage von Scopus Custom Data, Elsevier, Version 6.2022, Februar 2023.

<https://stat.link/apywqi>

OECD-Länder sollten in ihrem strategischen Wettbewerb auf maßvolle Reaktionen setzen

Geopolitische Spannungen sorgen für Unsicherheit. Eine allzu risikoscheue Politik könnte jedoch zu einer abrupten und weitreichenden intellektuellen Abschottung führen, die erhebliche Beeinträchtigungen und hohe Kosten verursachen würde. Für die OECD-Länder besteht die politische Herausforderung beispielsweise bei der internationalen Forschungszusammenarbeit darin, ihren Forschenden weiterhin ein robustes und prinzipiengeleitetes wissenschaftliches Engagement zu ermöglichen, dabei aber auch ihre Interessen zu schützen und in einem komplexen geopolitischen Umfeld für ihre Werte einzustehen. Bei den Technologielieferketten sollten die OECD-Länder die Vulnerabilitätsrisiken auf Einzelfallbasis bewerten. Die einzelnen kritischen Technologien besitzen ein unterschiedliches Dual-Use-Potenzial. Zudem sind die Kapazitäten zur Nutzung dieser Technologien von Land zu Land unterschiedlich. Dies deutet darauf hin, dass ein zielgenauer Politikansatz erforderlich ist. Dieser sollte auf Risikobewertungen anhand der besten verfügbaren Daten beruhen. Falls traditionelle risikobasierte Analysen aufgrund von Unsicherheiten nicht möglich sind, sollten auch zukunftsorientierte Analysen miteinbezogen werden. Dies verdeutlicht angesichts der verschiedenen beteiligten Politikbereiche auch, wie wichtig ein ressortübergreifender Ansatz ist.



Gute Technologie-Governance kann aus Technologie das Beste herausholen

Zukunftstechnologien können für dringend benötigte Transformationen und Krisenreaktionen von entscheidender Bedeutung sein. Ein rasanter technologischer Wandel kann jedoch negative Auswirkungen und Risiken für die Menschen, die Gesellschaft und die Umwelt mit sich bringen, wie z. B. soziale Verwerfungen, Ungleichheit und Gefährdungen der Sicherheit und der Menschenrechte. Die demokratische Gemeinschaft vertritt zunehmend die Überzeugung, dass gemeinsame Werte wie Demokratie, Menschenrechte, Nachhaltigkeit, Offenheit, Verantwortung, Sicherheit und Resilienz in Technologien verankert sein sollten. Es ist jedoch unklar, wie dies zu erreichen ist.

Eine Standardlösung gibt es dafür nicht. Ein allgemeiner und antizipativer Governance-Rahmen für Zukunftstechnologien auf nationaler oder internationaler Ebene könnte sich aber als hilfreich erweisen. Es gibt verschiedene antizipative Governance-Mechanismen, die zu einer Lösung beitragen können. Diese Mechanismen setzen zu einem früheren Zeitpunkt im Innovationsprozess an. Dadurch verlagern sie den Governance-Fokus weg vom reinen Management von Technologierisiken. Stattdessen rücken die Einbeziehung von Stakeholdern – Mittelgebern, Forschenden, Innovationsträgern und der Zivilgesellschaft – in den Innovationsprozess sowie die Ko-Entwicklung adaptiver Governance-Lösungen stärker in den Vordergrund.

Durch frühzeitig im Innovationsprozess eingebrachte Gestaltungsgrundsätze und -instrumente kann die notwendige Entwicklung und Skalierung von Technologien besser mit dem Wunsch nach gerechten Transformationen und wertebasierter Technologie in Einklang gebracht werden. Im WTI-Ausblick wird ein dreistufiger Rahmen zur Entwicklung der Governance von Zukunftstechnologien vorgeschlagen. Dieser umfasst 1. Werte, 2. Gestaltungskriterien und 3. Politikinstrumente, mit denen Werte zielgerichteter in den Entwicklungsprozess von Technologien integriert werden können (Abb. 15).

Die Gestaltungskriterien und die entsprechenden Politikinstrumente sind:

- **Antizipation.** Es ist bekanntermaßen schwierig oder gar unmöglich, einen bestimmten technologischen Entwicklungspfad vorherzusagen. Die Erforschung potenzieller technologischer Entwicklungen ist dennoch notwendig und kann Politikoptionen schaffen. Zukunftsgerichtete Technologiefolgenabschätzung erfordert und bestärkt die Formulierung zentraler Werte, auf denen die Analyse möglicher Vorteile und Schäden beruht, sowie die Entwicklungspfade von Zukunftstechnologien.
- **Teilhabe und Bedarfsorientierung.** Eine größere Diversität der am Innovationsprozess Beteiligten wird mit einer höheren sozialen Relevanz von Wissenschaft und Technologie in Verbindung gebracht. Die frühzeitige Beteiligung der Gesellschaft kann die Governance von Zukunftstechnologien demokratischer gestalten, indem sie eine Debatte über die Werte ermöglicht, die die Technologieentwicklung unterstützen und leiten sollten.
- **Anpassungsfähigkeit.** Zukunftstechnologien können unvorhergesehene Auswirkungen haben und es können unerwünschte Ereignisse oder Resultate eintreten. Das Governance-System muss daher anpassungsfähig sein, um die Resilienz zu stärken und relevant zu bleiben. Gemeinsam entwickelte Soft-Law-Mechanismen wie Grundsätze, Standards, Richtlinien und Verhaltenskodizes können eine normative Haltung gegenüber Technologie festlegen und das Governance-System anpassungsfähig und agil machen.

Abbildung 15. Elemente eines Governance-Rahmens für Zukunftstechnologien



Aufbau des WTI-Ausblicks 2023

Der WTI-Ausblick 2023 besteht aus sechs Kapiteln. Die ersten drei Kapitel geben anhand von zahlreichen Indikatoren einen Überblick über die wichtigsten Entwicklungen, die die WTI-Politik beeinflussen, darunter globale Krisen, strategischer Wettbewerb und der Übergang zur Treibhausgasneutralität. Die übrigen drei Kapitel beruhen auf Analysen, die vom OECD-Ausschuss für Wissenschafts- und Technologiepolitik (CSTP) und dessen Arbeitsgruppen durchgeführt wurden. Sie behandeln die Reaktion der Wissenschaft auf die Covid-19-Pandemie, missionsorientierte Innovationspolitik zum Erreichen von Treibhausgasneutralität sowie die antizipative Governance von Zukunftstechnologien.



Weitere Informationen auf der Website zum WTI-Ausblick 2023 der OECD:
(<http://oe.cd/stioutlook>)