



Technologische Souveränität

Empirische Bestimmung und FTI-politische Implikationen

**Kathrin Hofmann, Jürgen Janger,
Fabian Unterlass**

Wissenschaftliche Assistenz: Tim Slickers

Juni 2023

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Technologische Souveränität

Empirische Bestimmung und FTI-politische Implikationen

Kathrin Hofmann, Jürgen Janger, Fabian Unterlass

Juni 2023

**Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung
Im Auftrag des Rates für Forschung und Technologieentwicklung**

Begutachtung: Michael Peneder, Yvonne Wolfmayr
Wissenschaftliche Assistenz: Tim Slickers

Technologische Souveränität zu fördern, bedeutet einseitige ökonomische Abhängigkeiten von politisch sensiblen Drittstaaten in Schlüsseltechnologien zu vermeiden. Anhand eines handels- und patentdatengestützten Schlüsseltechnologiemonitorings zeigt die EU Stärke bei Produktions-, Material- und Biotechnologien, aber Defizite bei digitalen Technologien. Ansätze zur proaktiven Reduktion von Abhängigkeiten können sich an der Distanz der EU zur Frontier in den Schlüsseltechnologien orientieren und einen Policy-Mix aus FTI- und breiteren wirtschaftspolitischen Instrumenten einsetzen. Zentral sind auch signifikant höhere Forschungs- und Entwicklungsausgaben (F&E) und eine bessere Verfügbarkeit von Risikokapital. Die wichtigste Maßnahme für Österreichs technologische Souveränität ist die Mitgliedschaft in der Europäischen Union.

2023/2/S/WIFO-Projektnummer: 22091

© 2023 Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Medieninhaber (Verleger), Herausgeber und Hersteller: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung,
1030 Wien, Arsenal, Objekt 20 • Tel. (+43 1) 798 26 01-0 • <https://www.wifo.ac.at/> • Verlags- und Herstellungsort: Wien

Verkaufspreis: 40 € • Kostenloser Download: <https://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/70753>

Inhalt

Executive Summary	2
1. Definition	5
2. Empirische Erfassung technologischer Souveränität	7
2.1 Patentindikatoren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit in Schlüsseltechnologien	9
2.2 Außenhandelsindikatoren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit in Schlüsseltechnologien	15
2.3 Fazit aus Außenhandels- und Patentindikatoren	23
3. FTI- und wirtschaftspolitische Optionen zur Förderung technologischer Souveränität	25
3.1 Allgemeine wirtschafts- und FTI-politische Prinzipien zur Förderung technologischer Souveränität	25
3.2 Rahmen für eine österreichisch-europäische Politik zur Förderung technologischer Souveränität	26
3.3 Schlüsseltechnologien & einseitige Abhängigkeiten pro-aktiv identifizieren	27
3.4 Fähigkeiten in emergenten Technologien aufbauen	28
3.5 Fähigkeiten aufholen im Fall von Leistungsrückständen	29
3.6 Fähigkeiten bewahren oder ausbauen	33
3.7 Optionen für konkrete Produkte oder Rohstoffe	34
4. Schlussfolgerungen und Ausblick	35
5. Literatur	41
6. Anhang	46
6.1 Methodik Patentindikatoren	46
6.2 Methodik Handelsindikatoren	47
6.3 Zusätzliche Indikatoren	50

Executive Summary

Außenhandel und internationale Wertschöpfungsketten ermöglichen gerade kleinen offenen Volkswirtschaften wie Österreich durch höhere Produktivität und Absatzchancen ein in Autarkie niemals erreichbares wirtschaftliches Leistungsniveau. Internationale Arbeitsteilung ist aber immer auch mit Risiken verbunden, wie COVID-19 und der russische Angriff auf die Ukraine gezeigt haben. Produktionsstopps durch Ausfälle beim einzigen Lieferanten, der sich im Lock-down befindet, sind per se wirtschaftlich immens schädlich. Noch dramatischer wird es, wenn diese einseitigen wirtschaftlichen Abhängigkeiten geopolitisch ausgenützt werden, wie im Fall des russischen Gases oder potenziell befürchtet bei Chips aus Taiwan.

Diese Risiken müssen in Zukunft bewusster gemanagt werden, ohne das Kind mit dem Bad auszuschütten. „Offene strategische Autonomie“ ist das neue europäische Konzept, das sich der Risiken einseitiger Abhängigkeiten bewusst ist, diese aktiv zu reduzieren versucht, aber gleichzeitig nicht die enormen Vorteile durch eine internationale regelbasierte Wirtschaftsordnung untergräbt.

Technologische Souveränität fördert i) **die Vermeidung einseitiger ökonomischer Abhängigkeiten** ii) **in Technologien**, die als kritisch für die weitere Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft erachtet werden und iii) **von Staaten** mit erhöhter Wahrscheinlichkeit, solche Abhängigkeiten politisch zu ihrem Vorteil auszunützen. Die Vermeidung beruht auf zwei Säulen, i) den notwendigen **Fähigkeiten** zur Beherrschung und Anwendung dieser Technologien, und/oder ii) dem **Zugang** zu diversifizierten Lieferanten/Kooperationspartnern. FTI-politische Relevanz technologischer Souveränität in Schlüsseltechnologien ergibt sich insbesondere dadurch, dass Fähigkeiten in solchen Schlüsseltechnologien sich nicht über Nacht aufbauen lassen, sondern Jahre brauchen.

Die vorliegende Studie misst technologische Souveränität empirisch anhand von Patent- und Handelsindikatoren in 4 groben (Produktions- und Materialtechnologien, Bio- und digitale Technologien) und 12 detaillierten Schlüsseltechnologiefeldern: Patente geben Auskunft über technologische Wissenskompetenzen, Handelsströme über Produktionskompetenzen oder -leistungsfähigkeit. Die Indikatoren vergleichen die EU27 insgesamt mit China, den USA, Japan, Südkorea und anderen, da es bei Fragen der technologischen Souveränität auf die gemeinsame Leistungsfähigkeit verlässlicher und sicherer Partnerländer ankommt.

Die EU27 sind ein großer, diversifizierter Wirtschaftsraum mit weltweit bedeutenden Fähigkeiten bei Schlüsseltechnologien, insbesondere bei fortschrittlichen Produktions- und Materialtechnologien, sowie Biotechnologie. Das zeigen hohe Anteile an der weltweiten Patentproduktion und die relativ geringe Bedeutung des größten Lieferlands in den Schlüsseltechnologien. Die EU27 weist Defizite v.a. im Bereich digitale Technologien auf, sowohl bei Soft- (etwa künstliche Intelligenz, Big Data) als auch Hardware (Mikro- und Nanoelektronik).

Selbst wenn relativ zur Größe Länder wie Japan, Südkorea oder die Schweiz noch eine deutlich höhere Patent- und Handelsleistung aufweisen als China, so unterstreicht die teils starke Spezialisierung in Schlüsseltechnologien gepaart mit hoher Wachstumsdynamik das Potenzial Chinas für weitere Fortschritte. Branchenstudien abseits der aggregierten Indikatorik belegen die

hohe Importabhängigkeit der EU bei technologischen Schlüsselprodukten, wie z.B. Chips hoher Leistungsfähigkeit, elektronische Speicher oder Batterien.

Auf europäischer Ebene wurden bereits Schritte gesetzt, um einseitige Abhängigkeiten aktiv durch den Aufbau von Fähigkeiten zu reduzieren, wie z.B. durch den Chips Act oder die IPCEIs (Important Projects of Common European Interest), europäische Technologiekooperationen meist in Schlüsseltechnologiefeldern wie Mikroelektronik oder Batterien. Auf unlautere Wettbewerbspraktiken kann durch unterschiedliche außenwirtschaftliche Instrumente, wie dem Anti-Subventionierungsinstrument, reagiert werden.

Bisher fehlt aber ein **systematischer Ansatz zur Etablierung technologischer Souveränität**. Eine mögliche Orientierung ist es, **Maßnahmen an der Distanz der EU zur Frontier in Schlüsseltechnologien auszurichten**. Ist die EU führend, reichen Standardinstrumente der Forschungs-, Technologie- und Innovationspolitik aus, wie z.B. Forschungsförderung, Hochschulfinanzierung, etc. Der mögliche Verlust kritischer Fähigkeiten durch den Kauf von Start-ups oder anderen Unternehmen durch Unternehmen aus Drittstaaten kann durch das FDI-Screening Instrument der EU geprüft werden.

Hinkt die EU hinterher und droht einseitig Abhängigkeit von politisch sensiblen Drittstaaten in Schlüsseltechnologien, die von dynamischen Lerneffekten in der Produktion gekennzeichnet sind, kann der potenzielle Maßnahmenmix nach einer nüchternen Prüfung von Kosten, Nutzen und Kompatibilität mit WTO-Regeln um **temporäre Infant Industry-Schutzmechanismen** wie z.B. Zölle, Handelsquoten oder Subventionen ergänzt werden. Lerneffekte in der Produktion führen sonst zu einem immer größer werdenden Leistungsrückstand, der nur mehr durch *leapfrogging* (der Einsatz einer völlig neuen, überlegenen Technologie, z.B. „Quantenchips“ statt herkömmlichen Chips) überwunden werden kann.

Technologiespezifische Subventionen sind mittlerweile fast schon Standardpraxis (Chips Act in EU und USA, China subventioniert seit jeher, ...), sodass die Frage weniger „ob“ als vielmehr „wie“ lautet. Es mag erschüttern, dass die EU in manchen Bereichen Instrumente einsetzen könnte, die eigentlich früher von Schwellenländern für die Industrialisierung eingesetzt wurden, aber die geo-ökonomische Situation hat sich so stark verändert, dass wirtschafts- oder FTI-politische Maßnahmen, die Forschung und Produktion in den EU27 temporär einseitig fördern könnten, nicht von vornherein aus dogmatischen Gründen abgelehnt werden sollten, sondern möglichst sachlich mit Blick auf einseitige Förderung in Drittstaaten und die regelbasierte internationale Wirtschaftsordnung geprüft werden sollten.

Drohen aufgrund von Unternehmensschließungen unwiederbringliche Verluste kritischer Fähigkeiten, stellen sich für die Wirtschafts- und FTI-Politik der EU27 besonders heikle Fragen, die kaum durch die Anwendung eines standardisierten Policy-mix zu lösen sind. Hier sollten auf europäischer Ebene Vorgangsweisen für den Fall der Fälle entwickelt werden, unabhängig davon, ob diese jemals zum Einsatz kommen werden oder nicht. Dies wäre auch ein Element der Stärkung der Resilienz der EU, also ihrer Krisenfestigkeit.

Unterstützt können spezifische Maßnahmen zur Steigerung der Souveränität, indem die EU schneller als bisher ihre Defizite bei wirtschafts- und FTI-politischen **Rahmenbedingungen** adressiert, um Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu unterstützen. Zentral sind eine

Vervollständigung der Kapitalmarktunion, um z.B. die Verfügbarkeit von Risikokapital zu erhöhen und eine Erhöhung der Ausgaben für F&E. China hat mit 2,4% des BIP bereits den Durchschnitt der EU27 übertroffen, die mit 2,2% von ihrem im Jahr 2000 gesetzte Ziel von 3% noch immer weit entfernt ist. Von der Verbesserung solcher Rahmenbedingungen allein ist aber keine schnelle Reduktion der bestehenden Abhängigkeiten etwa bei Prozessoren oder Batterien zu erwarten. Eine aktive Industriepolitik ist mittlerweile auch in den USA parteienübergreifender Konsens.

Die wichtigste Maßnahme, die Österreich selbst für seine technologische Souveränität setzen kann, ist seine **Mitgliedschaft in der Europäischen Union**. Österreich allein wäre zu klein, um die Beherrschung von Fähigkeiten für das Verständnis, für die Produktion und Anwendung aller relevanten Schlüsseltechnologien als FTI-politisches Ziel auszurufen. Daneben kann auch Österreich weiter seine Rahmenbedingungen für Forschungsleistung stärken, z.B. durch eine bessere Verfügbarkeit von Risikokapital und eine Stärkung der Universitäten.

Wie bei jeder themenorientierten Politikherausforderung, die Ressortgrenzen überschreitet, könnte Österreich bei der Gestaltung von Maßnahmen zur Förderung der technologischen Souveränität von einem **koordinierten Ansatz** profitieren, der unterschiedliche Akteure auf unterschiedlichen Ebenen (EU, Bund, Bundesländer) vernetzt und z.B. auf Basis einer gemeinsamen Strategie Maßnahmen abgestimmt umsetzt.

1. Definition

Von der US-amerikanischen Regierung unter ex-Präsident Trump ausgelöste Handelskonflikte, die Erschütterung weltweiter Wertschöpfungsketten durch COVID-bedingte Lockdowns und insbesondere der russische Angriffskrieg in der Ukraine haben in den letzten Jahren das Bewusstsein über die Gefahren einseitiger ökonomischer Abhängigkeiten, ob von Rohstoffen (Gas, seltene Erden), Teilen (Chips) oder Fertigprodukten (Schutzmasken), dramatisch geschärft.¹

Der Begriff technologische Souveränität bezieht sich im Wesentlichen auf eine Teilmenge dieses Themenkomplexes, mit drei wesentlichen Aspekten: i) die Vermeidung einseitiger ökonomischer Abhängigkeiten ii) in Technologien, die als kritisch für die weitere Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft erachtet werden und iii) von Staaten/Regionen mit erhöhter Wahrscheinlichkeit, solche Abhängigkeiten politisch zu ihrem Vorteil auszunützen.

Die Vermeidung beruht dabei auf zwei Säulen, i) den notwendigen **Fähigkeiten** zur Beherrschung und Anwendung dieser Technologie, und/oder ii) dem **Zugang** zu diversifizierten Lieferanten/Kooperationspartnern, bzw. der Verfügbarkeit der entsprechenden Produkte. Deutschlands Expertenkommission Forschung und Innovation² (E-FI, ein Beratungsgremium der deutschen Bundesregierung ähnlich dem österreichischen Rat für Forschung und Technologieentwicklung) definiert den Begriff (Edler et al., 2020, folgend) so: „Eine Volkswirtschaft ist in einer Technologie souverän, wenn sie diese Technologie, die wesentlich zu ihrer Wohlfahrt und Wettbewerbsfähigkeit beiträgt oder kritisch im Sinne systemischer Relevanz ist, selbst vorhalten, weiterentwickeln und bei ihrer Standardisierung mitwirken kann oder über die Möglichkeit verfügt, diese Technologie ohne einseitige Abhängigkeit von anderen Wirtschaftsräumen zu beziehen und anzuwenden.“ ...

„Technologische Souveränität ergibt sich zum einen aus dem Grad, mit dem eine Volkswirtschaft die Anwendung und Nutzung einer bestimmten Technologie beherrscht, und zum anderen aus dem Grad, mit dem diese Technologie einer Volkswirtschaft zur weiteren Nutzung zur Verfügung steht. Die Dimension der Beherrschung bemisst sich an dem Wissen und den Fähigkeiten, die hinsichtlich einer bestimmten Technologie innerhalb einer Volkswirtschaft vorhanden sind. Die Dimension der Verfügbarkeit erfasst, inwieweit eine Volkswirtschaft über eine bestimmte Technologie zur weiteren Nutzung verfügen kann, sei es durch eigene Herstellung oder durch den vollständigen oder teilweisen Bezug von außen über den internationalen Handel. (Expertenkommission Forschung und Innovation, 2022, S. 41-42)“

Damit ist die Grenze zur „Innovationssoveränität“ dünn, weil die mögliche Anwendung der Technologie in Produkten (Gütern oder Dienstleistungen) ein wesentlicher Maßstab ist – reines Verständnis der Technologie, etwa der Grundlagen der Funktionsweise einer Technologie, reicht nicht aus, wenn es nicht gelingt, die Technologie auch tatsächlich einsetzen zu können. Damit ist der Begriff mit dem alten wirtschaftspolitischen Konzept der „infant industry protection“ verwandt, in dem ebenfalls die Beherrschung von Technologien im Zentrum steht (mit

¹ Für eine umfassende Analyse aktueller geoökonomischer Trends und allgemeiner wirtschaftspolitischer Implikationen, siehe Felbermayr et al., 2022.

² <https://www.e-fi.de/>

dem Ziel der Förderung einer eigenständigen positiven wirtschaftlichen Entwicklung, unter anfänglicher Einschränkung des internationalen Handels): „*Technological mastery consists in command over technological knowledge as manifested in the ability to use it effectively.*“ (Westphal, 1982, S. 255)

Nun sind nicht alle Technologien gleich relevant, es geht um das bekannte Konzept sog. „Schlüsseltechnologien“ oder Querschnittstechnologien (englisch *General Purpose Technologies*, oder *key enabling technologies*), die in mehreren Branchen zur Anwendung kommen können und dort zentral für die Wettbewerbsfähigkeit von Produkten bzw. die Entwicklungsperspektiven sind (siehe z.B. Helpman, 1998). Die Expertenkommission Forschung und Innovation (2022, S. 41) nennt 3 Kriterien, damit Technologien als Schlüsseltechnologien gelten können:

- i) „Breite Anwendbarkeit in einer Vielzahl von Technologiebereichen oder Branchen
- ii) Starke, nicht substituierbare Komplementarität zu einer Vielzahl anderer Technologien
- iii) Hohes Potenzial für Leistungssteigerung bei einer Schlüsseltechnologie selbst und bei ihren Anwendungsbereichen“

Ein solches Kriterienset ist wichtig, um Technologien transparent empirisch einstuft zu können und nicht von Meinungen von Interessenvertreter:innen abhängig zu sein.³

FTI-politische Relevanz technologischer Souveränität in Schlüsseltechnologien ergibt sich insbesondere dadurch, dass Fähigkeiten in solchen Schlüsseltechnologien sich nicht über Nacht aufbauen lassen, sondern Jahre brauchen, bzw. dass die Diversifizierung von Lieferanten ebenso schwierig ist, weil einzelne Länder Teilbereiche stark dominieren können. Das Konzept der technologischen Souveränität ist verwandt mit jenen wie der Resilienz von Wertschöpfungsketten, die während der COVID-Krise im Brennpunkt stand – auch hier geht es um die Reduktion einseitiger Abhängigkeiten, bzw. um die Diversifikation der Wertschöpfungskette, um Ausfälle kritischer Teile der Kette besser kompensieren zu können (Schwellnus, Haramboure, & Samek, 2023; Schwellnus, Haramboure, Samek, et al., 2023). Im Zentrum der technologischen Souveränität steht jedoch die Beherrschung von Fähigkeiten für das Verständnis, die Produktion und Anwendung von sowie der Zugang zu **Schlüsseltechnologien**.

Bei breiteren Resilienzkonzepten kann es auch um die Abhängigkeit von kritischen Produkten gehen, die technologisch keine besonderen Fähigkeiten erfordern, wo sich die Produktion aber sehr stark in einzelne Länder verlagert hat (z.B. Schutzmasken im Fall von COVID), oder die nur aufgrund exogener Schocks plötzlich kritisch werden (z.B., durch das Auftreten eines neuen Virus).⁴ Ein Grenzfall sind Rohstoffe, die für die Anwendung von Schlüsseltechnologien (derzeit) unbedingt notwendig sind, wie z.B. seltene Erden für Batterietechnologien oder e-Mobilität.

³ Die Studie der EU (Iszak et al., 2021) bleibt hier vage und spricht von Technologien „*that are a priority for European industrial policy and that enable process, product and service innovation throughout the economy and hence foster industrial modernisation. Advanced technologies are defined as recent or future technologies that are expected to substantially alter the business and social environment...*“

⁴ Für eine Analyse kritischer Produkte im Zusammenhang mit der COVID-19 Pandemie zusätzlich zu Schlüsseltechnologien siehe Klien et al., 2021.

Die vorliegende Kurzstudie zeichnet im folgenden Kapitel ein Fähigkeiten- und Verfügbarkeitsbild in Schlüsseltechnologien anhand von Patent- und Handelsindikatoren und zeigt FTI-politische Implikationen auf.

2. Empirische Erfassung technologischer Souveränität

Eine empirische Bestimmung technologischer Souveränität benötigt im Prinzip drei Komponenten. Zunächst eine ständig aktualisierte Identifikation von Schlüsseltechnologien selbst, z.B. aufgrund von technologischen Foresight-Analysen (Edler et al., 2021), qualitativen Recherchen wie produkt- oder technologiespezifischen Fallstudien und breiten statistischen Analysen etwa von Patentierungs- oder Unternehmensdynamiktrends. Die Leistungsfähigkeit, oder einseitig starke Dominanz einzelner Länder bzw. Regionen, in solcherart abgegrenzten Technologiefeldern kann im nächsten Schritt empirisch z.B. anhand von Publikations-, Patent- und Handelsdaten analysiert werden. Solche Positionsbestimmungen sind mit Vorsicht zu genießen, da sie in der Regel auf statistischen Zuordnungen von Publikationen, Patenten und Exportgütern zu (breiten) Klassifikationen beruhen, ohne Detailanalysen vorzunehmen, die zu aufwändig wären. Das heißt, man erfasst z.B. Patente nicht aufgrund ihres tatsächlichen Inhalts, sondern aufgrund der vom Patentamt oder vom Erfinder dem Patent zugeordneten technologischen Klasse⁵. Aggregierte Indikatoranalysen sollten deshalb durch spezifische Analysen, wie z.B. Fallstudien oder qualitativen Branchen- und Unternehmensanalysen, ergänzt werden. Die Erfassung technologischer Souveränität beginnt jedoch mit einem a priori, der Identifikation von Schlüsseltechnologien. Das unterscheidet den Ansatz von reinen Analysen von Produkten mit starker Importabhängigkeit, die rein statistisch Produkte anhand von Handelsdaten auswählen (siehe z.B. (Arjona et al., 2023)). Eine Kombination beider Ansätze war für die vorliegende Studie aus Ressourcengründen nicht möglich.

Die vorliegende Kurzstudie identifiziert nicht selbst Schlüsseltechnologien, sondern stützt sich auf rezente Definitionen und Analysen auf europäischer bzw. deutscher Ebene („Advanced Technologies for Industry“, ein Begriff der die früheren „Key Enabling Technologies“ auf EU-Ebene abgelöst hat, siehe Iszak et al., 2021; Kroll et al., 2022). Die Leistungsfähigkeit der EU27 und weiterer Länder wird in den folgenden 12 einzelnen Technologiefeldern gegliedert in vier übergeordnete Technologiefelder analysiert:

- Produktionstechnologie
 - Fortschrittliche Produktionstechnologien
 - Photonik
 - Robotik
- Materialtechnologien
 - Fortgeschrittene Werkstoffe
 - Nanotechnologie
- Industrielle Biotechnologie

⁵ <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>

- Digitale Technologien
 - Künstliche Intelligenz
 - Big Data
 - IT für Mobilität
 - Internet der Dinge
 - Mikro- und Nanoelektronik
 - Cybersicherheit

Eine detaillierte Beschreibung der Komponenten dieser Technologiefelder findet sich bei Kroll et al., 2022, oder bei Iszak et al., 2021. Die vorliegende Studie stellt die EU27 als Summe der Mitgliedsländer (und nicht ihrem Durchschnitt) in den Mittelpunkt, um sie mit technologieintensiven Regionen außerhalb der EU wie den USA, Japan, Südkorea und China zu vergleichen. Die Analyse unterscheidet sich damit etwa vom Europäischen Souveränitätsindex⁶, der zwar weit über technologische Souveränität hinausgeht, dabei aber die EU nicht mit anderen Regionen vergleicht. Die EU selbst stellt auch ein Datendashboard zu Schlüsseltechnologien bereit⁷, das konzeptionell detailliert Daten zu Erfindungen, Diffusion, Innovation, Infrastruktur und anderen anbieten würde. Allerdings wird das Dashboard nicht laufend aktualisiert und bei vielen Indikatoren bestehen Lücken.

Darüber hinaus werden die Positionen Österreichs und der Innovation Leader Belgien, Dänemark, Finnland, Niederlande und Schweden dargestellt. Nicht immer ist jedoch eine Analyse auf Einzellandebene sinnvoll, da es bei Fragen der technologischen Souveränität weniger auf die Einzellandleistung, als auf die gemeinsame Leistung verlässlicher und sicherer Partnerländer ankommt. Für Österreich sind dies die EU-Mitgliedsländer. Zudem werden nicht nur Indikatoren für die Quantität, sondern auch für die Qualität der Leistung gezeigt.

Analysen wissenschaftlicher Publikationen (Journalartikel) werden aus Ressourcengründen in der vorliegenden Kurzstudie nicht unternommen. (Schlüssel-)Technologien, bzw. einschlägige Patente zitieren in der Regel unterschiedliche wissenschaftliche Disziplinen, sodass aus der Leistungsfähigkeit bei einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen nicht immer direkt auf die Leistungsfähigkeit bei Technologien geschlossen werden kann, wie auch die Analyse bei Kroll et al., 2022, zeigt.

Rein indikatorbasierte Analysen können zudem nicht zusätzliche Detailanalysen ersetzen, etwa Branchenfallstudien oder z.B. ein Monitoring der Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe, das aufgrund bestehender Datenbanken nicht möglich ist, sondern spezifische Recherchen erfordert. Auch diese Recherchen waren aufgrund der begrenzten zur Verfügung stehenden Ressourcen

⁶ <https://ecfr.eu/special/sovereignty-index/#overview>

⁷ <https://ati.ec.europa.eu/>

nicht durchführbar. Die von der Kommission vorgeschlagene Verordnung zur Gewährleistung der Versorgung mit kritischen Rohstoffen enthält explizit ein Monitoring-Dashboard.⁸

2.1 Patentindikatoren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit in Schlüsseltechnologien

Patente sind geistige Eigentumsrechte an Erfindungen, die nicht notwendigerweise zur tatsächlichen Produktion gelangen. Patente können deshalb wichtige Informationen für technologische Fähigkeiten liefern, sollten aber durch Handelsdaten konkreter Produkte ergänzt werden, um im Konzept der technologischen Souveränität auch den Aspekt der Fähigkeit zur tatsächlichen Anwendung von Schlüsseltechnologien in der Produktion abzudecken.⁹

Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit anhand von Patenten wählen wir Anmeldungen nach Sitz des Erfinders, nicht des Anmelders, da uns der geographische Sitz der Wissensproduktion interessiert – besonders bei multinationalen Unternehmen können dadurch signifikante Unterschiede entstehen. Für Quantitätsaspekte ziehen wir den Durchschnitt aus EPO- (*European Patent Office*) und PCT- (*patent cooperation treaty*)-Anmeldungen heran, da in der Regel EU-Länder eher beim EPA anmelden, nicht-EU-Länder hingegen häufiger das PCT-Format verwenden. Der Durchschnitt beider kompensiert daher teils den jeweiligen Bias, könnte aber auch Doppelzählungen beinhalten.¹⁰ Um Qualitätsaspekte der Erfindungen abzudecken, werden Indikatoren auf Basis sog. „triadischer Patente“ berechnet. Triadische Patente sind Schutzrechte auf Erfindungen, die bei allen drei großen Patentämtern der EU, der USA und Japans angemeldet wurden und aufgrund der damit verbundenen Kosten und des weitreichenden Schutzes auf eine hohe kommerzielle Bedeutung der Erfindung schließen lassen.

Folgende drei Indikatoren werden zur Bestimmung der technologischen Souveränität gezeigt:

- Anteil eines Landes oder einer Region an allen Patenten eines Schlüsseltechnologiefelds (EPO/PCT-, triadische Patente), für die Abschätzung der weltweiten Bedeutung der Patentproduktion der EU27, bzw. ihrer Größe im internationalen Vergleich
- Als einfachen Leistungsindikator, Patentanmeldungen pro Kopf (EPO/PCT-, triadische Patente), d.h. größenskaliert
- Als Spezialisierungsindikator, ein Indikator zum offenbarten technologischen Vorteil (*RTA revealed technological advantage*, ähnlich zum RCA bei Handelsdaten), der die Schwerpunkte von Ländern/Regionen in den jeweiligen Schlüsseltechnologien aufzeigen kann

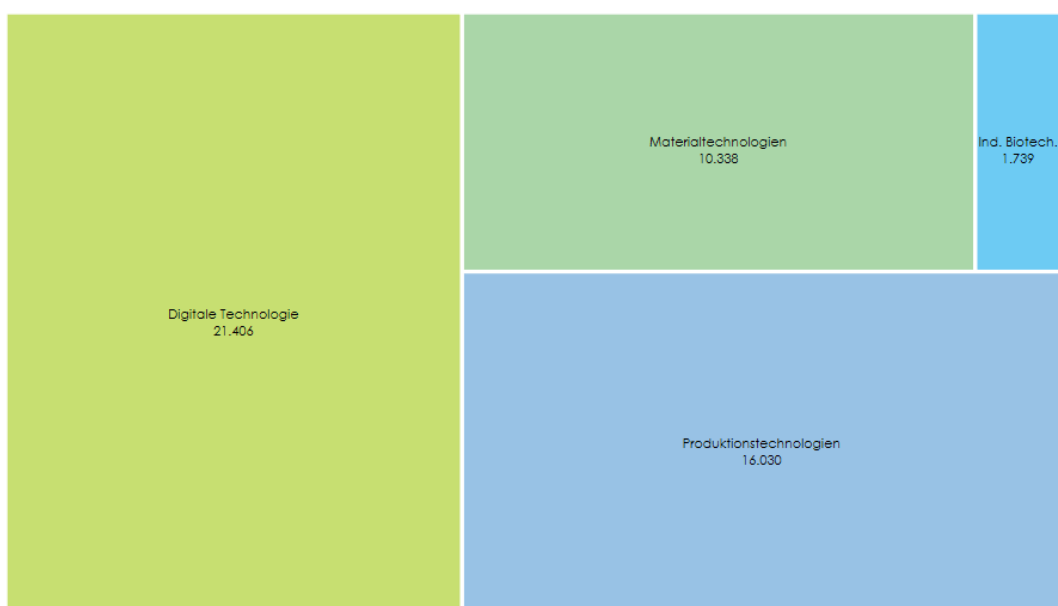
⁸ Art. 4: " Die Kommission macht auf einer frei zugänglichen Website ein Monitoring-Dashboard [kritischer Rohstoffe] öffentlich zugänglich und aktualisiert es regelmäßig." <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52023PC0160>

⁹ Für allgemeine methodologische Grundlagen zu Patentindikatoren siehe Unterlass et al., 2013.

¹⁰ Der Ansatz von Kroll et al., 2022 mit „transnationalen Patenten“ - Patentfamilien mit mindestens einer Anmeldung am Europäischen Patentamt (EPA) oder über das "Patent Cooperation Treaty" (PCT) Verfahren bei der World Intellectual Property Organization (WIPO) – war aus Ressourcengründen nicht durchführbar, die Ergebnisse sind aber ähnlich.

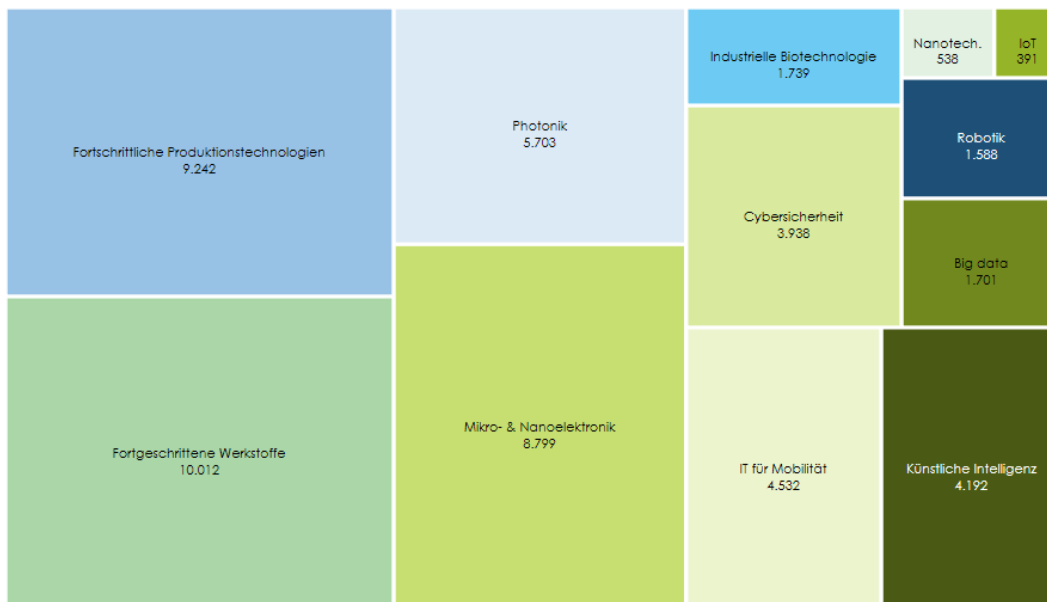
Wir zeigen zunächst die Größe der unterschiedlichen Technologiefelder, in Abbildung 1 die Anzahl der Patente je Haupttechnologiefeld, in Abbildung 2 die Anzahl der Patente in den 12 Schlüsseltechnologien auf Detailebene. Am meisten Erfindungen werden in den digitalen Technologien gefolgt von den Produktions- und Materialtechnologien angemeldet, die industrielle Biotechnologie ist demgegenüber ein kleines Feld. Auf Detailebene dominieren fortschrittliche Produktionstechnologien und Werkstoffe, Mikro- und Nanoelektronik sowie mit etwas Abstand Photonik, IT für Mobilität, künstliche Intelligenz und Cybersicherheit.

Abbildung 1: Technologiefeldgröße nach Anzahl aller EPO/PCT-Anmeldungen, 2016-2020



Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, WIFO—Berechnungen.

Abbildung 2: Technologiefeldgröße auf Detailebene nach Anzahl aller EPO/PCT-Anmeldungen, 2016-2020



Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, WIFO—Berechnungen.

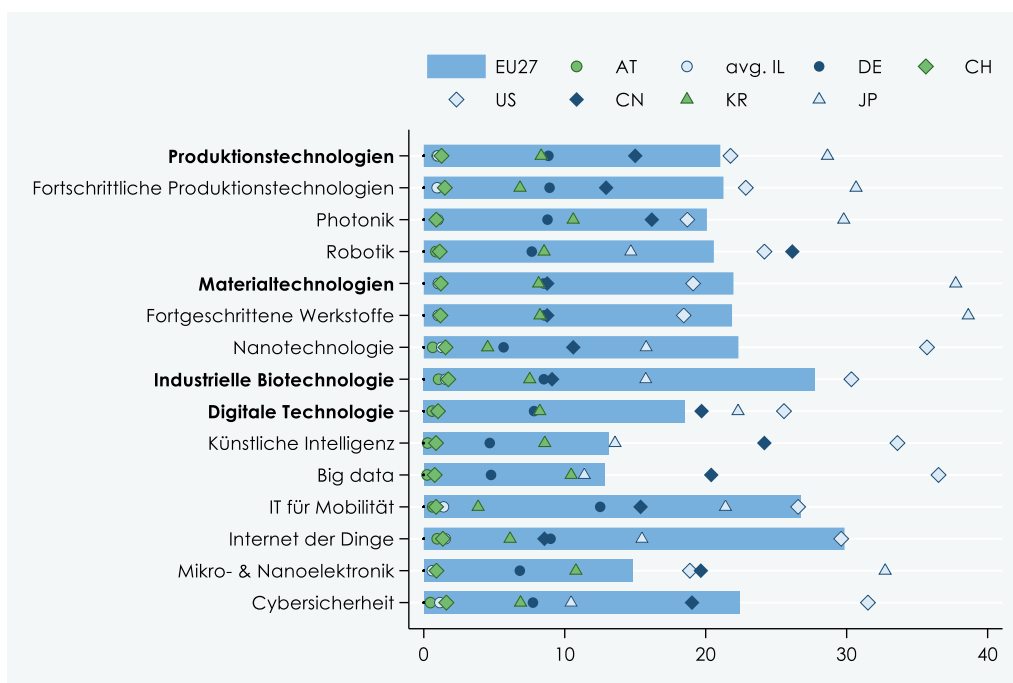
Zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit in diesen Technologiefeldern beginnen wir mit dem Anteil eines Landes an der Patentzahl aller Vergleichsländer in einem Technologiefeld. Dies liefert einen ersten Hinweis auf die Bedeutung von schlüsseltechnologiespezifischen Fähigkeiten im internationalen Kontext. Abbildung 3 veranschaulicht die Größenverhältnisse zwischen den weltweit bedeutendsten Technologieproduzenten China (CN), EU27, Japan (JP) und USA; Deutschland (DE), Österreich (AT), der Durchschnitt der führenden Innovationsländer (IL), Südkorea (KR) und die Schweiz (CH) werden zu Vergleichszwecken angeführt.

Auf der Ebene der vier großen Technologiebereiche führt Japan in den Produktionstechnologien mit knapp 30% Anteil vor den USA und den EU27 sowie China; in den Materialtechnologien ist ebenso Japan führend, allerdings befinden sich hier die EU27 vor den USA. In der Biotechnologie und der digitalen Technologie sind hingegen die USA führend, in der Biotechnologie gefolgt von den EU27, in der digitalen Technologie von Japan und China und dann erst den EU27. Über die Zeit zeigt China überall den deutlichsten Aufwärtstrend, am stärksten bei digitalen Technologien (Abbildung 16 bis Abbildung 19 im Anhang).

Auf Einzeltechnologiefeldebene schwankt der Anteil Chinas stark, in der Robotik ist China etwa knapp vor den USA führend, bei künstlicher Intelligenz, Big Data sowie Mikro- & Nanoelektronik liegt China an zweiter Stelle hinter den USA bzw. Japan. Die EU27 zeigen ihre größten Stärken bei Photonik (2.), fortgeschrittenen Werkstoffen (2.), Nanotechnologie (2.), Biotechnologie (2.), IT für Mobilität (1.), Internet der Dinge (1.), Cybersicherheit (2.). Die geringsten Anteile – deutlich unter 20% - erzielen die EU27 bei künstlicher Intelligenz, Big Data sowie Mikro- und Nanoelektronik.

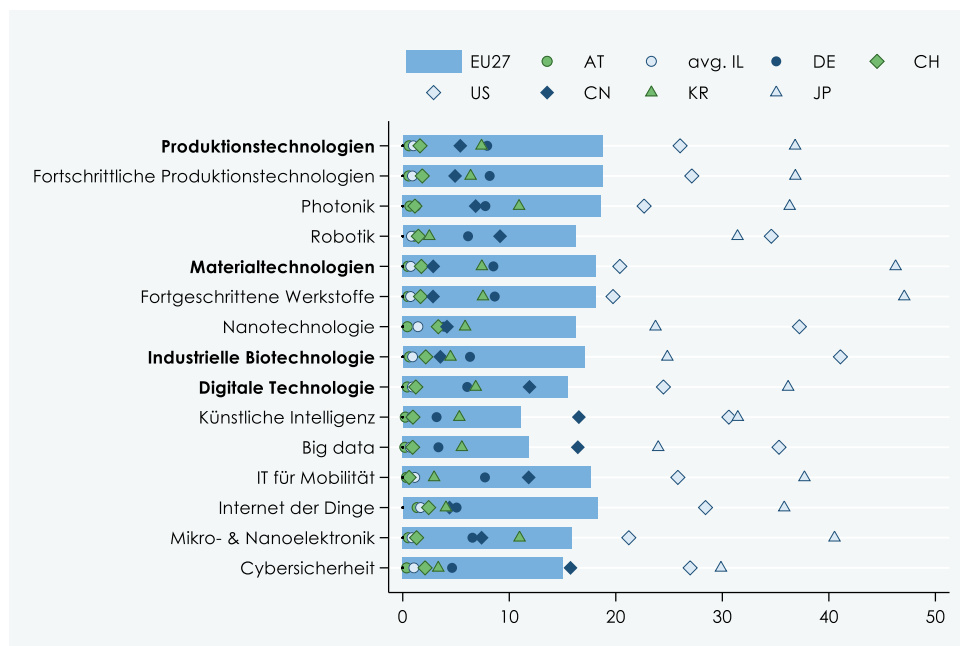
Der gleiche Indikator gerechnet mit triadischen Patenten (Abbildung 4) führt zu einer Dominanz Japans und der USA, die in jedem Feld mit Abstand 1. oder 2. sind. China verschlechtert sich meist noch stärker als die EU27 und wird z.B. bei künstlicher Intelligenz und Big Data von Japan überholt. In der Cybersicherheit fallen die EU27 jedoch hinter China zurück. Die Analyse nach potenziell kommerziell besonders bedeutsamen Erfindungen zeigt insgesamt eine starke Dominanz der USA und Japans, die jedoch auch mit der unterschiedlichen Unternehmensstruktur zusammenhängen kann (Dominanz multinationaler Unternehmen in diesen Ländern).

Abbildung 3: Anteile an Patentanmeldungen (EPO/PCT) nach Erfinder je Schlüsseltechnologie, 2016-2020



Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, WIFO-Berechnungen.

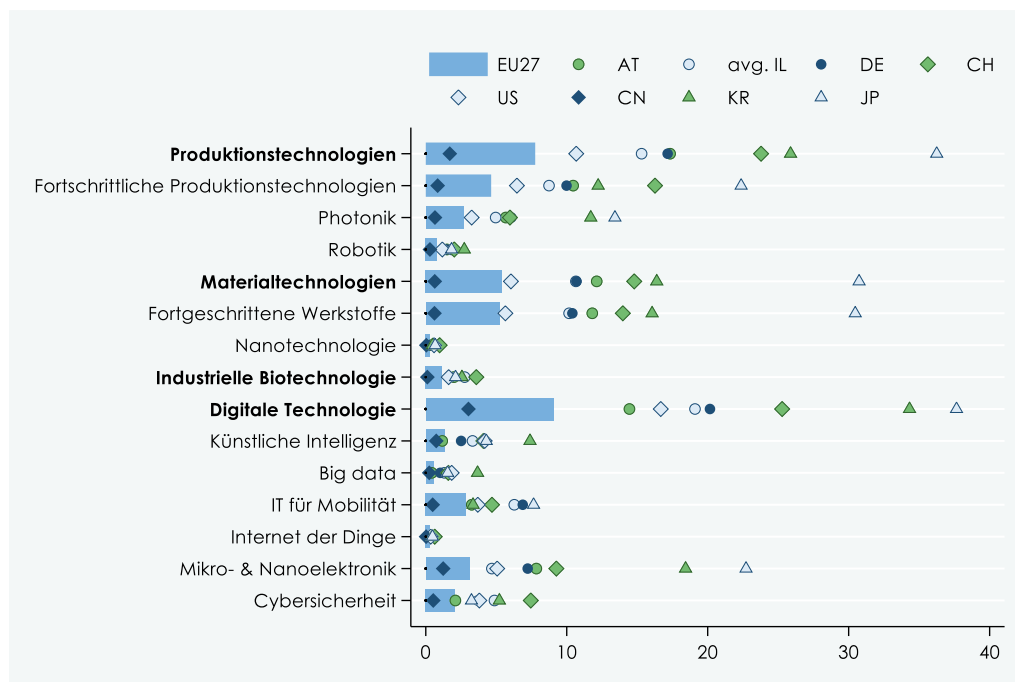
Abbildung 4: Anteile an triadischen Patentanmeldungen nach Erfinder je Schlüsseltechnologie, 2016-2020



Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, WIFO—Berechnungen.

Wird der gleiche Indikator mithilfe der Bevölkerungszahl größenskaliert, ergibt sich naturgemäß ein anderes Bild, in dem auch kleine Länder wie Österreich vergleichbare Werte erzielen. Patentanmeldungen pro Kopf (nach EPO/PCT) sind ein klassischer FTI-Leistungsindikator, wie er in vielen Innovationsrankings verwendet wird. Abbildung 5 zeigt, dass die EU27 insgesamt und die USA hier weit zurückfallen, China noch viel deutlicher. Dies gibt Hinweise, welches Potenzial China, aber auch die EU27, noch haben, ihre Anteile an der Weltproduktion zu steigern, wenn sie auf ähnliche Intensitätsniveaus kommen würden wie etwa Japan, Südkorea oder die Schweiz. Die Trends über die Zeit (Abbildung 20 bis Abbildung 23 im Anhang) zeigen jedoch, dass in den großen Technologiefeldern mit Ausnahme der Biotechnologie die EU27 eher gegenüber den Vergleichsregionen verlieren. Nach triadischen Patenten wird die Position Japans, der Schweiz und Südkoreas noch stärker; die führenden Innovationsländer sowie Deutschland aber auch Österreich und die USA befinden sich in der Regel vor den EU27 (Abbildung 24 im Anhang).

Abbildung 5: Patentanmeldungen (EPO/PCT) nach Erfinder je Schlüsseltechnologie, pro Mio. der Bevölkerung, 2016-2020

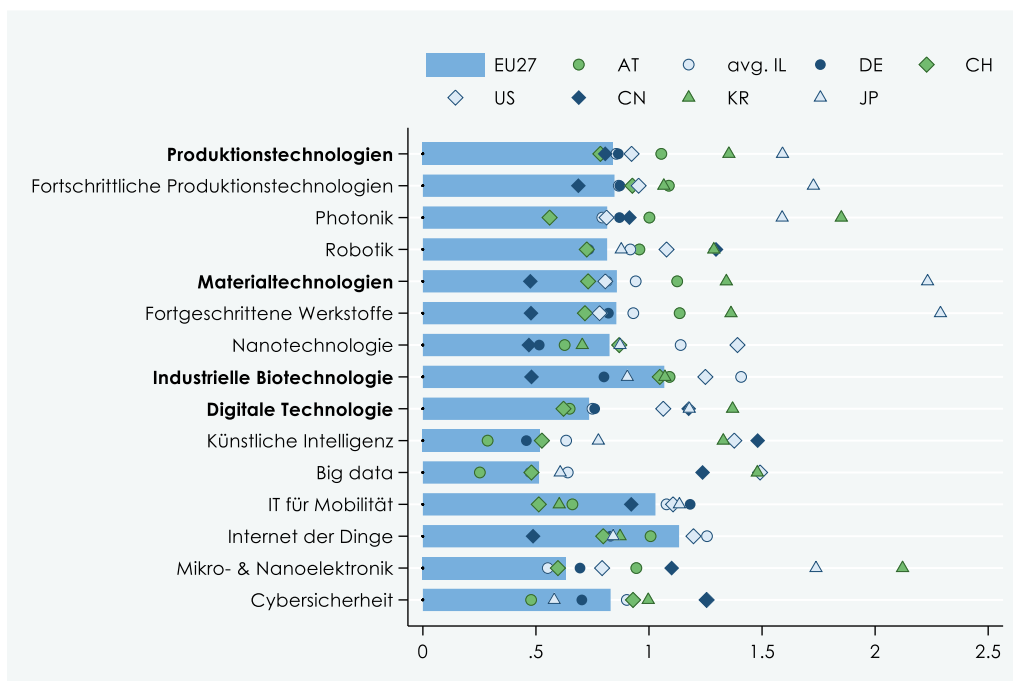


Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, Weltbank, WIFO-Berechnungen

Abschließend weist Abbildung 6 einen Spezialisierungsindikator (offenbarter technologischer Vorteil, oder *revealed technological advantage*) aus. Werte über 1 bedeuten, dass die betreffende Region in der jeweiligen Schlüsseltechnologie einen höheren Anteil an allen ihren Patenten aufweist, als die Welt bzw. alle betrachteten Vergleichsregionen im Vergleich. Regionen sind daher in solchen „Schlüsseltechnologien“ spezialisiert, ihre Patentaktivität ist relativ zu anderen Technologiefeldern in ihrer Region dort besonders hoch. Die Analyse zeigt, dass die EU27 insgesamt nur in drei Schlüsseltechnologien spezialisiert sind, der Biotechnologie und innerhalb der digitalen Technologien der IT für Mobilität und dem Internet der Dinge. Besonders geringe Werte finden sich bei der künstlichen Intelligenz, Big Data sowie Mikro- & Nanoelektronik, einer besonders wichtigen Untergruppe des Bereichs Digitale Technologien, der für die EU27 unter den 4 Oberbereichen den niedrigsten Wert aufweist und damit den Befund augenscheinlicher Defizite der EU27 in der Beherrschung digitaler Schlüsseltechnologien stärkt.

Dieser Befund steht im Kontrast zur Spezialisierung Chinas, das in der Robotik, der künstlichen Intelligenz und der Cybersicherheit sogar an erster Stelle unter den dargestellten Vergleichsregionen liegt. Ansonsten dominieren Japan, Südkorea und die USA.

Abbildung 6: RTA: Spezialisierung der Patentanmeldungen (EPO/PCT) nach Erfinder, 2016-2020



Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, WIFO—Berechnungen.

2.2 Außenhandelsindikatoren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit in Schlüsseltechnologien

Außenhandelsindikatoren zeigen wirtschaftlich realisierte länderüberschreitende Flüsse von handelbaren Waren und Dienstleistungen. Sie können daher ergänzend zur durch Patente abgedeckten „Technologie- oder Wissensdimension“ der technologischen Souveränität die Produktionsdimension näher beleuchten, d.h. ob diese Technologien wirklich in der Produktion in den EU27 zur Anwendung kommen. Auch hier erfolgt keine Analyse der Produkte im Detail, die zu aufwändig wäre, sondern es werden breitere statistische Industrieklassifikationen herangezogen, die einzelne Waren und Dienstleistungen bestimmten Technologiefeldern zuordnen – die Daten sollten dementsprechend mit Vorsicht genossen werden.

Folgende Außenhandelsindikatoren, auf der Basis von Außenhandelsdaten der Datenbank BACI (Gaulier und Zignago, 2010), werden zur Bestimmung der technologischen Souveränität berechnet:

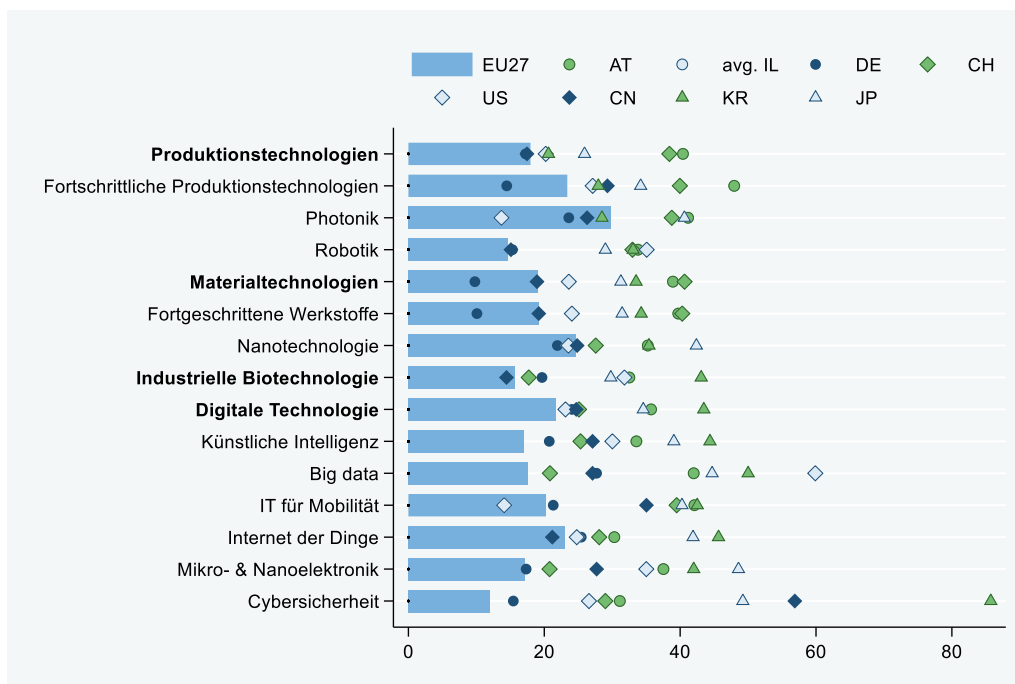
- Für den Aspekt der potenziellen einseitigen Importabhängigkeit von einzelnen Lieferanten, der Anteil des größten Lieferlands an den EU27-Importen, sowohl inkl. des intra-EU-Handels als auch nur beschränkt auf nicht-EU-Länder
- Zusätzlich werden die drei größten EU- und nicht-EU Lieferländer je Technologiefeld dargestellt
- Das Verhältnis von Im- zu Exporten in den einzelnen Technologiefeldern als einfachen Indikator der Balance zwischen Ex- und Importen, wobei diese durch

Produktion in globalen Wertschöpfungsketten verzerrt sein kann (z.B., werden Komponenten für das *iphone* nach China geliefert und das fertige Smartphone scheint dann als Export Chinas auf)

- Den Anteil des höchsten Qualitätssegments gemessen an Stückpreisen innerhalb eines Technologiefelds an den Exporten, als Maß für die Qualität
- Als Spezialisierungsindikator, ein Indikator zum offenbaren komparativen Vorteil (*RCA revealed comparative advantage*), der die Schwerpunkte von Ländern/Regionen in den jeweiligen Schlüsseltechnologien aufzeigen kann

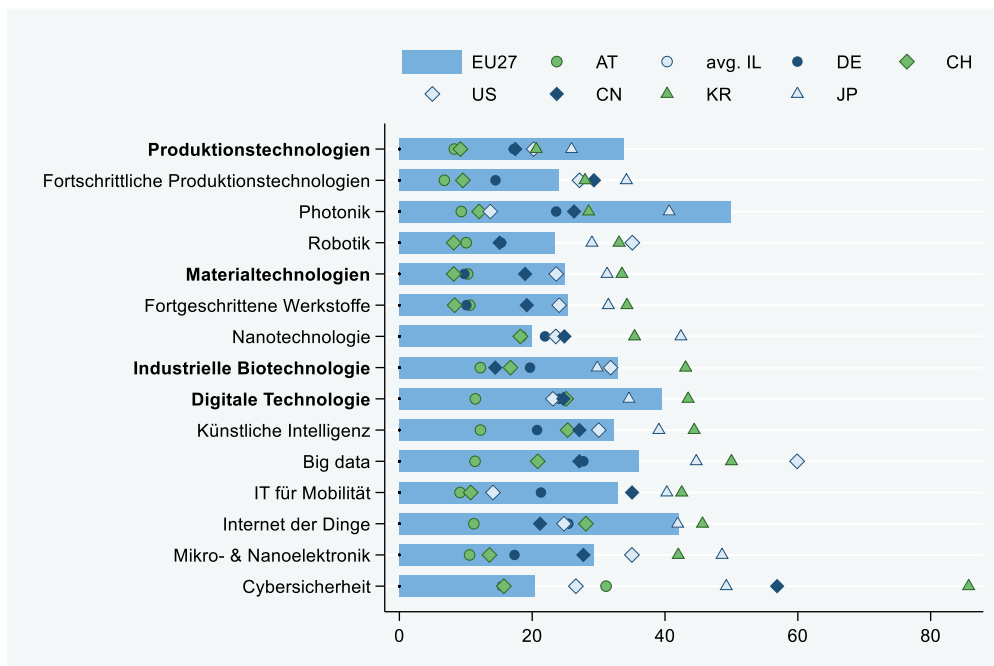
Abbildung 7 zeigt die Anteile des größten Lieferlands je Schlüsseltechnologie, für die EU27 einschließlich der Lieferungen aus EU-Ländern selbst. Abbildung 8 grenzt auf Lieferungen in die EU27 aus Nicht- EU-Ländern ein. Der blaue Balken zeigt den Importanteil des größten Lieferlands für die EU27 je Technologie an, in den Produktionstechnologien stammen z.B. knapp 20% der Importe aus einem Land. Je höher die entsprechenden Werte, desto eher würden Lieferprobleme oder absichtliche Liefereinschränkungen zu Einschränkungen technologischer Souveränität führen, da der Zugang zu den Produkten dann nicht mehr vollauf gewährleistet wäre. Für die EU27 als großen wirtschaftlich diversifizierten Raum sind die Werte in vielen Feldern am unteren Rand der gezeigten Länder und Regionen. Kleinere Länder wie Österreich, Südkorea oder die Schweiz weisen in der Regel höhere Anteile des größten Lieferlands auf. Der Anteil des größten Lieferlands für Österreich und die Schweiz beträgt bei Produktionstechnologien z.B. über 40%, mehr als doppelt so viel wie für die EU27 insgesamt. Abbildung 8 zeigt die EU27 ohne Lieferungen aus EU-Ländern, was in der Regel zu höheren Werten führt, dh. die Lieferungen aus Nicht-EU-Ländern sind konzentrierter.

Abbildung 7: Anteil des größten Lieferlandes an den Importen ausgewählter Länder und Ländergruppen in einer Schlüsseltechnologie, 2020, EU27 enthält EU-Lieferländer



Q: BACI, WIFO—Berechnungen.

Abbildung 8: Anteil des größten Lieferlandes an den Importen ausgewählter Länder und Ländergruppen in einer Schlüsseltechnologie, 2020, EU27 enthält keine EU-Lieferländer



Q: BACI, WIFO—Berechnungen.

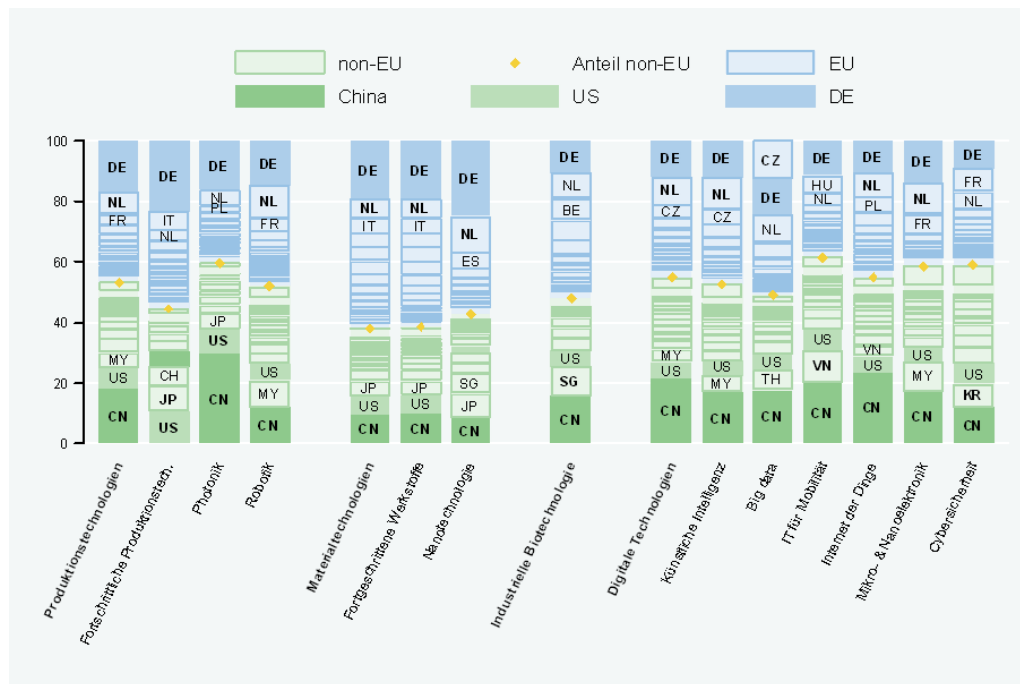
Die statistische Information zum Lieferanteil muss jedoch für eine Einschätzung des geoökonomischen Risikos auch mit qualitativen Informationen über die größten Lieferländer selbst verknüpft werden. Abbildung 9 weist deshalb die größten drei EU-Lieferländer (Blau) und die 3 größten nicht-EU-Lieferländer (Grün) aus. Der Anteil der nicht-EU-Länder an den Importen in die EU27 schwankt je nach Technologie zwischen 40 (Materialtechnologien) und 60% (IT für Mobilität), meist im Einklang mit den identifizierten Stärke- und Schwachfeldern der EU (Ausnahme IT für Mobilität). In 8 von 12 Schlüsseltechnologien (auf Detailebene) ist China der größte Lieferant der EU27, interessanterweise auch im Bereich der Biotechnologie, in der China keine Spezialisierung in den Fähigkeiten anhand der Patentindikatoren zeigte. Hier dürfte Produktionskosten, -kompetenzen und -kapazitäten eine größere Rolle spielen als fortgeschrittene technologische Fähigkeiten. Die Anteile Chinas erreichen unter Berücksichtigung der EU-Lieferungen in einigen Feldern 15-20%, in der Photonik noch mehr.

Zudem ist China in 2 weiteren Feldern zweitgrößter Lieferant, in einem weiteren Feld drittgrößter Lieferant. Diese Darstellung weist darauf hin, dass China in vielen Bereichen sehr starke Produktionskapazitäten und -kompetenzen aufgebaut hat, in denen es nun auch stark auf eigene Forschung und Innovation setzt, wie die Patentindikatoren gezeigt haben. Der zweite sehr bedeutsame Lieferant von Schlüsseltechnologien für die EU27 ist Deutschland, das in 8 Schlüsseltechnologien auf Detailebene wertmäßig am 2.-meisten Produkte in die EU27 liefert und in den restlichen 4 an erster Stelle steht (Robotik, Nanotechnologie, fortschrittliche Produktionstechnologien und Werkstoffe).

Wie erwähnt, sind aggregierte Betrachtungen mit Vorsicht zu genießen, da Durchschnittswerte aus Detailprodukten gebildet werden, die etwa starke Abhängigkeiten bei einzelnen Produktklassen maskieren. Der Bericht des deutschen BMBF (2021) nennt kritische Abhängigkeiten bei Prozessoren hoher Leistungsklassen, Speicher und Hardware für Kommunikationsnetze.

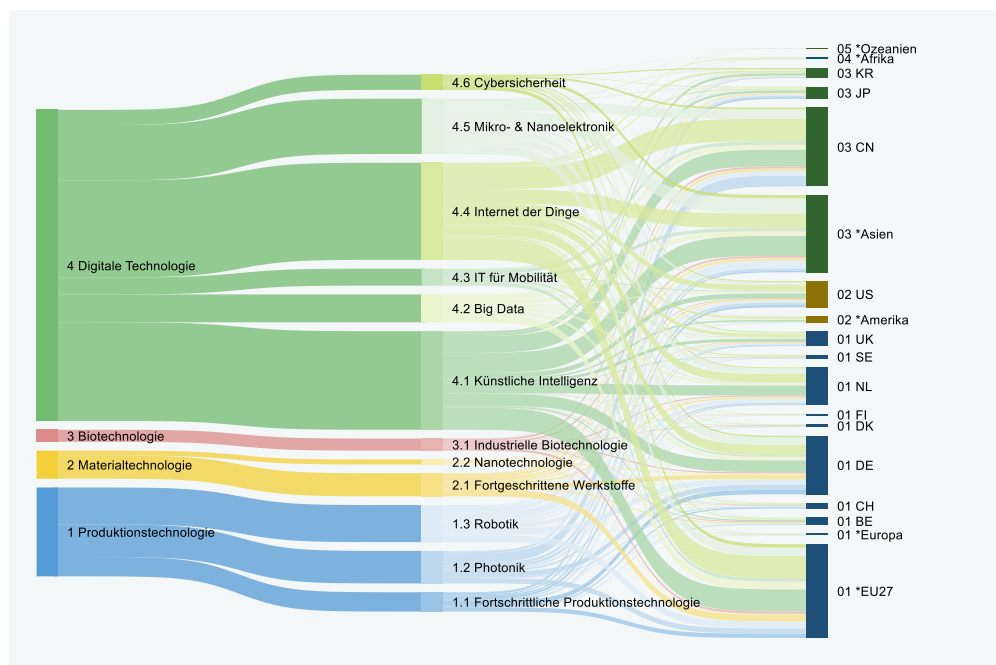
Abbildung 10 zeigt die gleichen Daten als Flussdarstellung und visualisiert die Größe der unterschiedlichen Importe. Gerade in den digitalen Technologien, wo die EU27 die größten Defizite aufweisen, sind die Importe besonders groß, mit hoher Bedeutung Chinas und des restlichen Asiens.

Abbildung 9: Größte Lieferländer der EU27 in den Schlüsseltechnologien, 2020



Q: BACI, WIFO—Berechnungen.

Abbildung 10: Größte Lieferländer der EU27 in den Schlüsseltechnologien, 2020, Flussdarstellung



Q: BACI, WIFO—Berechnungen. „*“ in den Labels am rechten Rand bedeutet "Rest [des Kontinents] wenn nicht separat gelistet.

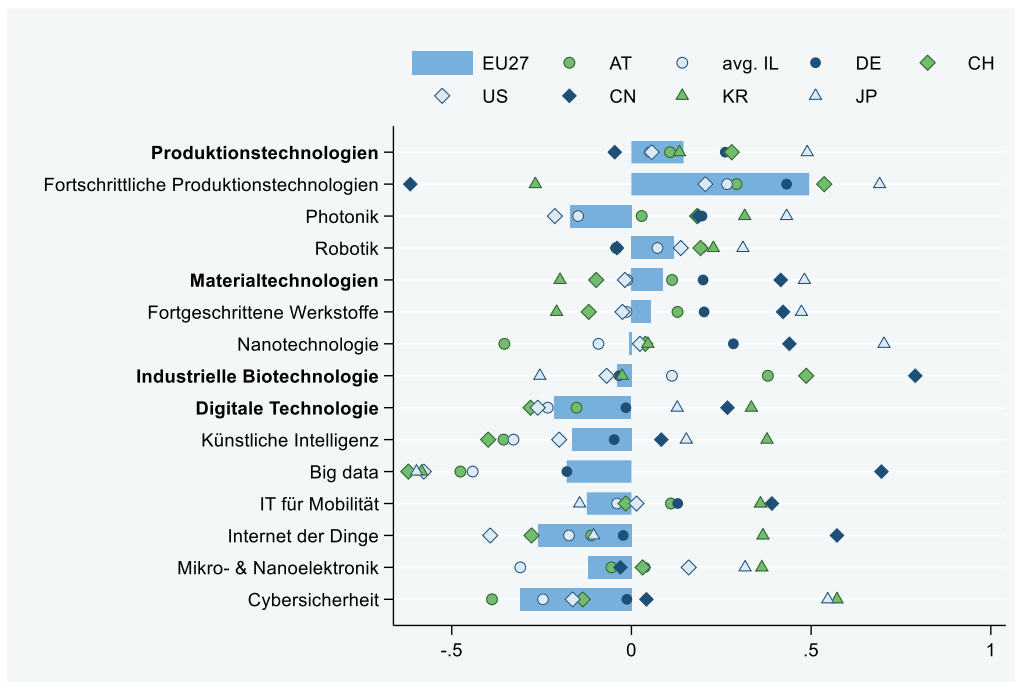
Das Verhältnis von Im- zu Exporten¹¹ bei Schlüsseltechnologie-relevanten Produkten zeigt die Balance zwischen Im- und Exporten und damit beide Produktströme, berücksichtigt demnach auch die Lieferungen der EU27 an China. Werte unter 0 zeigen ein Handelsdefizit, Werte über 0 einen Handelsüberschuss an (Abbildung 11). Im Einklang mit einigen Patentindikatoren, die technologische Fähigkeiten abbilden sollen, erzielt die EU27 Überschüsse in jenen Feldern, in denen sie auch eine gute Erfindungsperformance zeigt – bei Produktions- und Materialtechnologien (mit Ausnahme der Photonik), relativ ausgeglichen ist das Verhältnis im Bereich der Nano- und Biotechnologie. Große Defizite sind jedoch im digitalen Bereich zu sehen, selbst dort, wo die Patentperformance der EU27 relativ besser ist (Internet der Dinge, IT für Mobilität). Die größten Überschüsse (der Exporte relativ zu den Importen) bzw. die meisten Technologien mit Überschüssen weisen Japan, China, Südkorea und die Schweiz auf.

Das Verhältnis von Im- zu Exporten zeigt den Durchschnitt über alle gehandelten Produkte einer Branche, gleichgültig ob es sich um hoch- oder niedrigqualitative Produkte handelt. In der Regel erzeugen fortgeschrittene Länder jedoch überwiegend hochqualitative Produkte, während Schwellenländer ihre Lohnkostenvorteile ausnützen, um preisgünstige Produkte anzubieten. Aufgrund von Stückpreisen (Preise relativ zum Gewicht) können Indikatoren gebildet werden, die zeigen, in welchen Preissegmenten sich die Exporte von Ländern befinden. Wenn hohe Preise aufgrund der hohen Qualität verlangt werden, kann dies als eine Information über die Position eines Landes im Qualitätswettbewerb interpretiert werden (Aiginger, 1997), etwa indem der Anteil des Produktsegments mit den höchsten Preisen an allen Exporte abgebildet wird, wie in Abbildung 12. Tatsächlich weist China hier in allen Technologiefeldern mit Ausnahme der Cybersicherheit Werte unterhalb den EU27 auf, während die USA, Südkorea, die Schweiz und Deutschland hohe Anteile im höchsten Preissegment aufweisen. Würde China aber bewusst eine Niedrigpreispolitik bei eigentlich hoher Qualität fahren, um Marktanteile zu gewinnen, wäre die Aussagekraft des Indikators stark eingeschränkt.¹²

¹¹ Berechnet als $(\text{Exporte} - \text{Importe}) / (\text{Importe} + \text{Exporte})$, um Werte zwischen -1 und 1 zu erhalten.

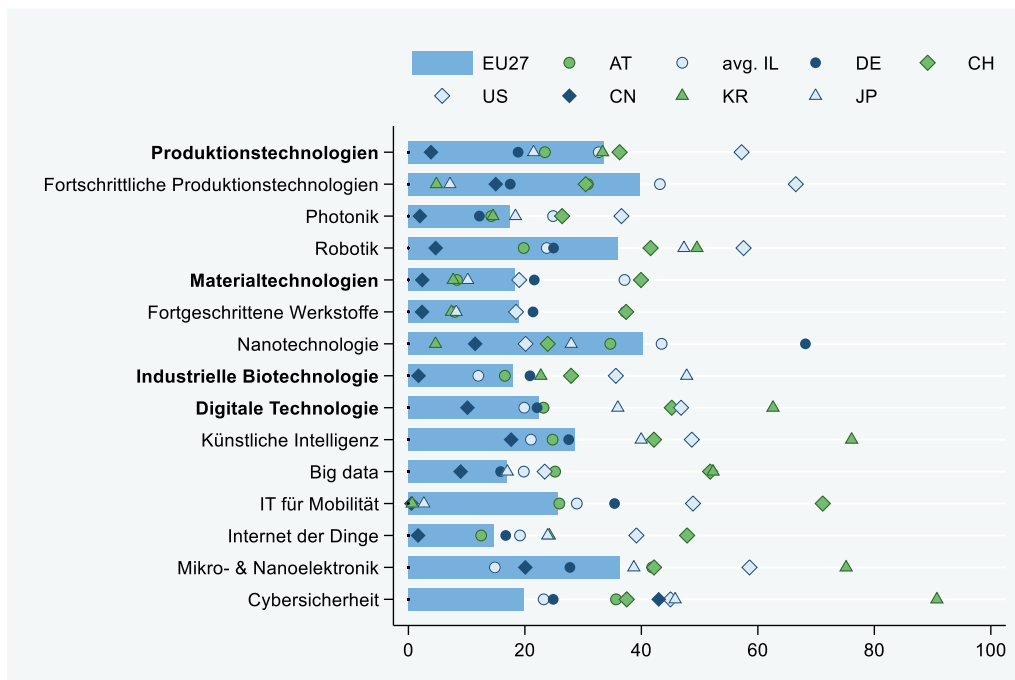
¹² 5G-Technologie von Huawei z.B. ist sowohl technisch überlegen als auch preiswert (<https://www.derstandard.at/story/2000144276910/gutachten-soll-klaeren-ob-von-huawei-und-zte-ein-risiko>)

Abbildung 11: Verhältnis zwischen Im- und Exporten in den Schlüsseltechnologien, 2020



Q: BACI, WIFO—Berechnungen. Werte unter 0 Handelsdefizit, über 0 -Überschuss. (Exporte - Importe) / (Importe + Exporte)

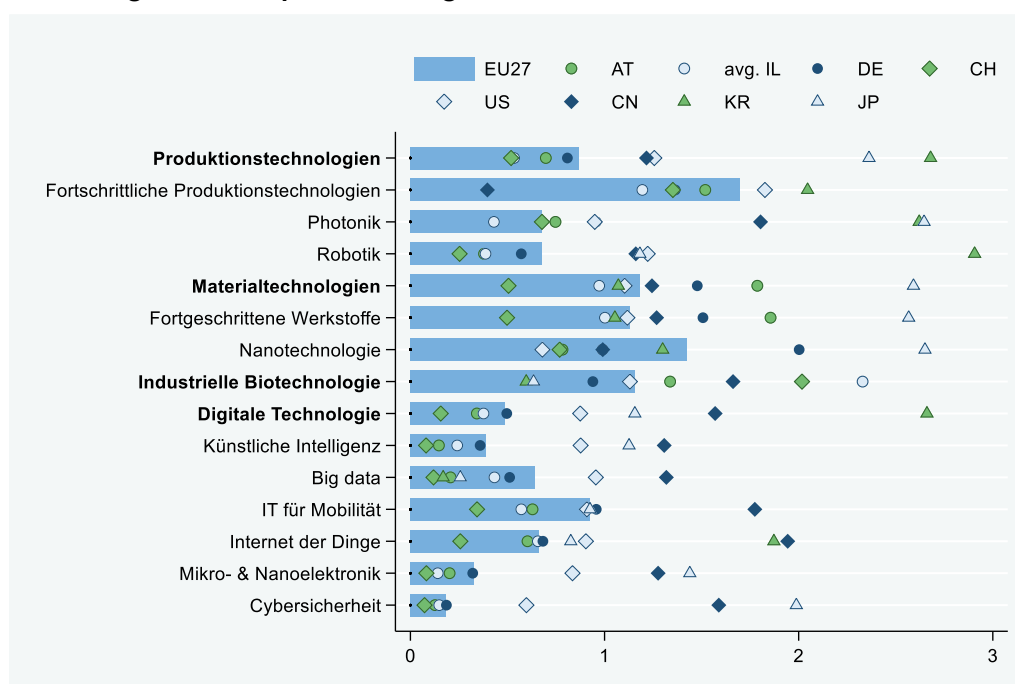
Abbildung 12: Exportanteile im höchsten Preissegment als Qualitätsindikator, 2020



Q: BACI, WIFO—Berechnungen.

Schließlich zeigt Abbildung 13 analog zum Patentspezialisierungsindikator die Exportschwerpunkte der gezeigten Regionen anhand des Anteils der Schlüsseltechnologieexporte am Gesamthandel der Regionen, relativ zu diesem Wert für alle betrachteten Regionen (RCA). Auch hier zeigt sich das bereits bekannte Bild einer Spezialisierung der EU27 auf fortschrittliche Produktions- und Materialtechnologien sowie Biotechnologie, während im Bereich der Digitalisierung hohe Defizite bestehen. China ist in diesen Technologien jedoch fast am stärksten spezialisiert, während Japan und Südkorea in den Produktions- bzw. Materialtechnologien stark spezialisiert sind. Österreich ist sehr stark bei fortgeschrittenen Werkstoffen spezialisiert, an 2. Stelle hinter Japan.

Abbildung 13: RCA: Spezialisierung im Außenhandel, 2020



Q: BACI, WIFO—Berechnungen. Werte über 3 nicht dargestellt (Südkorea bei Cybersicherheit, Mikro- und Nanoelektronik, IT Für Mobilität, Künstliche Intelligenz; Japan in fortschrittlicher Produktionstechnologie).

2.3 Fazit aus Außenhandels- und Patentindikatoren

Abbildung 14 zeigt zusammenfassend je 2 Patent- und Handelsindikatoren für die vier großen Schlüsseltechnologiefelder:

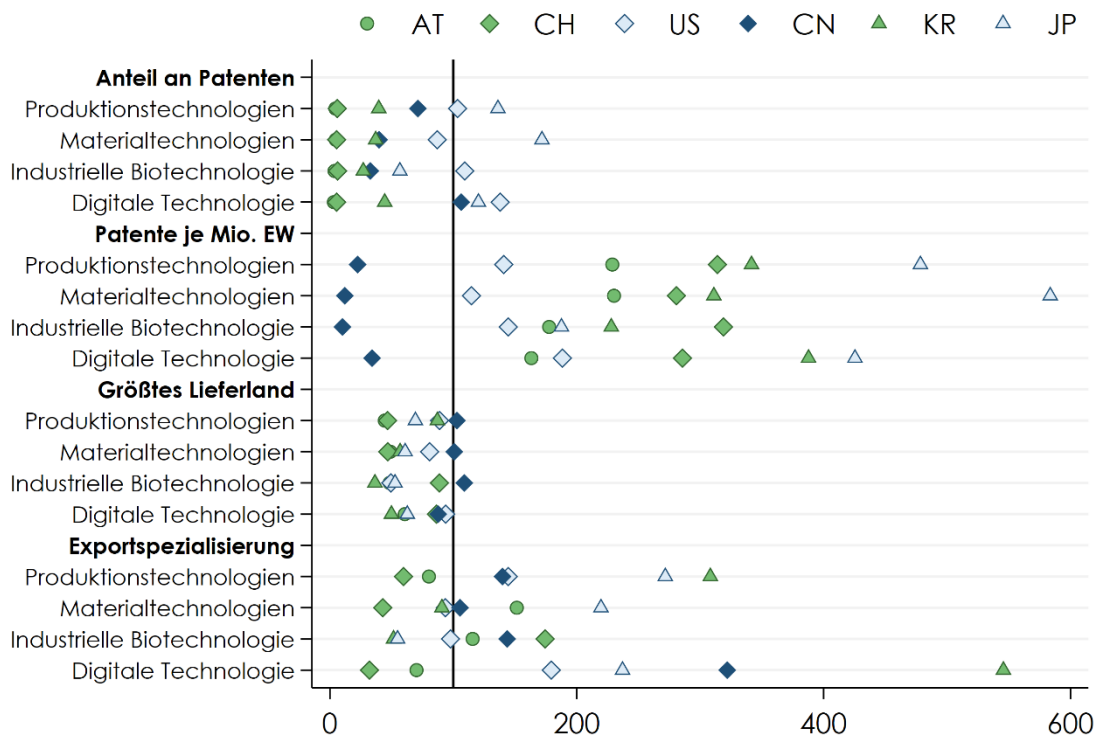
- Anteil eines Landes an allen Patenten eines Technologiefelds (weltweite Bedeutung)
- Patente je Bevölkerung in einem Technologiefeld (Intensität der Leistung)
- Anteil des größten Lieferlands an den Importen in einem Technologiefeld (Importabhängigkeit)
- Exportspezialisierung in einem Technologiefeld

Die EU27 sind ein großer, diversifizierter Wirtschaftsraum mit weltweit bedeutenden Fähigkeiten bei Schlüsseltechnologien, insbesondere bei fortschrittlichen Produktions- und Materialtechnologien, sowie Biotechnologie. Das wird durch den hohen Anteil an Patenten und die relativ geringe Bedeutung des größten Lieferlands im Vergleich zu anderen Regionen sichtbar. Die Analyse zeigt aber auch klare Defizite der EU27 im Bereich digitale Technologien, sowohl bei Soft- (etwa künstliche Intelligenz, Big Data) als auch Hardware (Mikro- und Nanoelektronik). Selbst wenn relativ zur Größe (Patente je Mio. Einwohner) Länder wie Japan, Südkorea oder die Schweiz noch eine höhere Patent- und Handelsleistung aufweisen als China, so unterstreicht die teils starke Spezialisierung Chinas in Schlüsseltechnologien gepaart mit hoher Wachstumsdynamik das Potenzial Chinas für weitere Fortschritte. Die geringe Patentperformance der EU27 relativ zur Bevölkerung und die Exportspezialisierung weisen ebenfalls auf das theoretische große Leistungsverbesserungspotenzial der EU27 hin.

Die Analyse beruhte zudem auf aggregierten Technologiefeldern, die einseitige schon jetzt bestehende kritische Abhängigkeiten oder Konzentrationen bei Lieferländern verdecken, darunter etwa bei Prozessoren hoher Leistungsklassen, aber auch bei für die Schlüsseltechnologien notwendigen Rohstoffen wie seltenen Erden, die dzt. noch fast gar nicht in den EU27 abgebaut werden. Eine Studie der europäischen Kommission zeigt z.B., dass die EU 98 % ihres Bedarfs an seltenen Erden aus China importiert und dass „über 70 % der weltweiten Produktion von Kobalt, seltenen Erden und Wolfram Ausfuhrbeschränkungen unterliegen“.¹³ Für die Wirtschafts- und FTI-Politik stellt sich daher die Frage, wie potenzielle Abhängigkeiten vermieden und bestehende reduziert werden können.

¹³ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy/depth-reviews-strategic-areas-europes-interests_de, abgerufen am 21.2.2023.

Abbildung 14: Patent- und Handelsindikatoren zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der EU27 (=100) in Schlüsseltechnologien, 2020



Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, BACI, WIFO—Berechnungen.

3. FTI- und wirtschaftspolitische Optionen zur Förderung technologischer Souveränität

Eine Förderung technologischer Souveränität sollte kein Selbstzweck sein, sondern in allgemeine FTI-politische Ziele einzahlen, wie z.B. wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und die Fähigkeit zur Lösung großer gesellschaftlicher Herausforderungen (Edler et al., 2021). Ohne Beherrschung von Schlüsseltechnologien und im Fall etwa einer absichtlichen, geo-politisch motivierten Beschränkung des Zugangs der EU27 zu solchen Technologien wären wirtschaftliche Schäden oder Verluste an Problemlösungskompetenz zu erwarten. Die Förderung der technologischen Souveränität dient aber auch außenpolitischen bzw. demokratischen Zielen, wenn etwa die EU27 aufgrund von einseitiger Abhängigkeit bei Schlüsseltechnologien (oder anderen kritischen Produkten) nicht in der Lage ist, ihr Wertesystem zu schützen oder andere Länder gegen Angriffe zu verteidigen. Die Ziele der EU27 für die Welt, etwa zu Frieden und Sicherheit beizutragen, werden ohne technologische Souveränität kaum umgesetzt werden können.¹⁴

3.1 Allgemeine wirtschafts- und FTI-politische Prinzipien zur Förderung technologischer Souveränität¹⁵

Für Österreich machen Aktivitäten zur Förderung technologischer Souveränität eigentlich nur Sinn im Verbund mit den Partnern aus den EU27, einer stabilen demokratischen Wertegemeinschaft mit starkem industriellem Know-how (siehe Kap. 2). Österreich allein wäre zu klein, um die Beherrschung von Fähigkeiten für das Verständnis, für die Produktion und Anwendung aller relevanten Schlüsseltechnologien als FTI-politisches Ziel auszurufen. Gleichzeitig sind kleine, offene Volkswirtschaften wie Österreich am meisten von globalen Störungen von Lieferketten betroffen (Schwellnus, Haramboure, Samek, et al., 2023). Die **Integration in die EU** erweist sich damit einmal mehr als wirtschafts-, FTI-, außen- und sicherheitspolitisch enorm wichtig für Österreich. FTI-politisch können österreichische Aktivitäten idR in den europäischen Rahmen eingebettet werden, sei es über die Initiativen der EU-Ebene, wie z.B. den IPCEIs¹⁶, den wichtigen Projekten im gemeinsamen europäischen Interesse, den europäischen Partnerschaften¹⁷ oder über Kooperationen auf bilateraler Ebene.

Damit einher geht die Absage an jegliche Politik der **nationalen Autarkie**, nicht nur auf österreichischer, sondern auch auf europäischer Ebene, wo das Konzept der **offenen strategischen Autonomie** einen Rahmen für die Förderung technologischer Souveränität bilden kann. Drei wesentliche Pfeiler dieses Ansatzes sind (Klien et al., 2021, S. 8):

- „Widerstands- und Wettbewerbsfähigkeit zur Stärkung der Wirtschaft der EU;
- Nachhaltigkeit und Fairness, die der Notwendigkeit eines verantwortungsbewussten und fairen Handelns der EU-Rechnung tragen;

¹⁴ https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/principles-and-values/aims-and-values_en

¹⁵ Polt et al., 2021, diskutieren wirtschaftspolitische Prinzipien für Souveränität noch breiter.

¹⁶ https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/legislation/modernisation/ipcei_en

¹⁷ <https://www.ffg.at/europa/heu/partnerships>

- Durchsetzungsfähigkeit und regelbasierte Zusammenarbeit, um einerseits die Präferenz der EU für internationale Zusammenarbeit und Dialog zu demonstrieren, aber andererseits auch ihre Bereitschaft, unlautere Praktiken zu bekämpfen und bei Bedarf autonome Instrumente einzusetzen, um ihre Interessen zu verfolgen.“

Technologische Souveränität sollte nicht als Deckmantel für Protektionismus dienen, der Unternehmensmargen vor Wettbewerb schützt (Edler et al., 2021; March & Schieferdecker, 2021). **Klare und transparente Kriterien** sind daher sowohl für die Identifikation von Schlüsseltechnologien (EFI, 2022), als auch für die Analyse von Länderrisiken notwendig. Internationale Arbeitsteilung und internationale Wertschöpfungsketten sind in der Regel positiv für die wirtschaftliche Resilienz im Sinn der Krisenfestigkeit, wenn es keine einseitigen Abhängigkeiten gibt (Felbermayr et al., 2022). Bei rein nationaler Produktion, oder ohne internationalen Handel, würde jeder exogene Schock, der die Produktion von Schlüsseltechnologien trifft – Stichwort Erdbeben, Fabriksbrand, etc. – kurzfristig nicht kompensiert werden können, noch ganz abgesehen davon, was ein Abgehen vom internationalen Handel für eine kleine offene Volkswirtschaft wie Österreich für das Wohlstandsniveau bedeuten würde.¹⁸

Die Förderung der technologischen Souveränität in Schlüsseltechnologien ist zudem ein weiterer Anwendungsfall – neben etwa der Klimapolitik – für eine **themenspezifische oder problemorientierte FTI-Politik**, mit der besonderen Herausforderung, das Ausmaß der technologischen Leistungsfähigkeit in eine bestimmte thematische Richtung zu steigern (*to increase the rate and direction of inventive activities*, siehe Nelson, 1962).

3.2 Rahmen für eine österreichisch-europäische Politik zur Förderung technologischer Souveränität

Ein eigener Vorschlag der Studienautor:innen für einen konzeptuellen Rahmen für FTI- und breitere wirtschaftspolitische Ansätze zur Förderung technologischer Souveränität befindet sich in Abbildung 15. Am Anfang erfolgt eine Identifikation von Schlüsseltechnologien sowie eine Länderrisikoanalyse, bzw. eine Analyse der Vulnerabilität von Wertschöpfungsketten. Dann können eigene Fähigkeiten entwickelt werden und/oder der internationale Zugang zu Schlüsseltechnologien gewährleistet werden. Maßnahmen zur Entwicklung eigener Fähigkeiten werden sich je nach Leistungsfähigkeit der EU27 unterscheiden – befindet sich die Schlüsseltechnologie im gleichen emergenten Zustand wie auch in anderen Ländern (z.B. Quantencomputer¹⁹), soll ein großer Rückstand aufgeholt werden (z.B., Prozessoren) oder sollen etablierte Stärken bewahrt bzw. ausgebaut werden.

Die Effektivität wirtschafts- und FTI-politischer Maßnahmen unterscheidet sich je nach der Entfernung zur Leistungsfrontier in einem Land bzw. einer Branche (Acemoglu et al., 2006; Aghion & Howitt, 2006). Hölzl & Janger, 2014, zeigen empirisch, dass Unternehmen in Ländern weit weg

¹⁸ Felbermayr et al. (2022) schätzen ein um 45% höheres Pro-Kopf-Einkommen Österreichs relativ zur Autarkie.

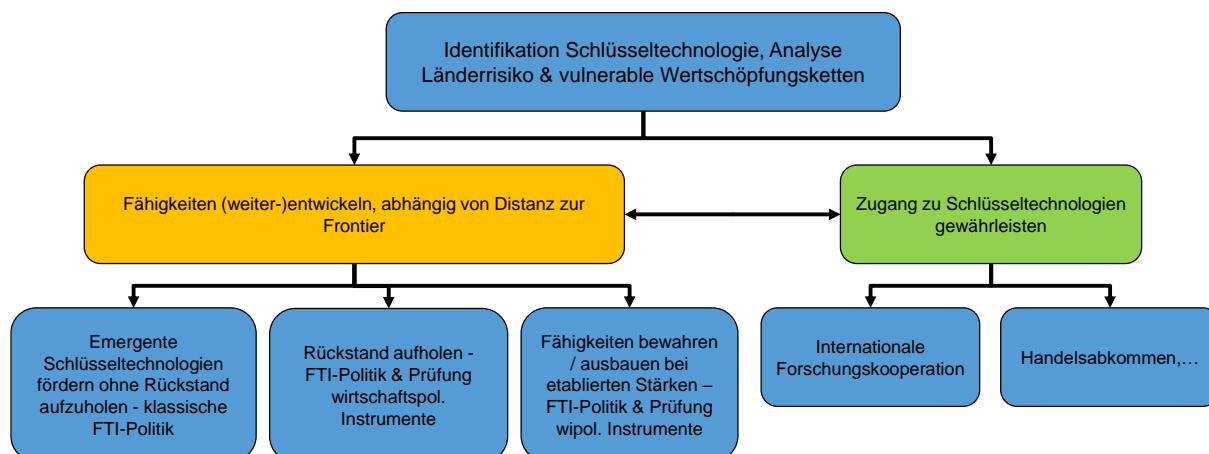
¹⁹ Wobei aktuelle Berichte über Forschungserfolge von Google daran zweifeln lassen (<https://www.derstandard.at/story/2000143806560/google-gelingt-meilenstein-auf-dem-weg-zu-praxistauglichen-quantencomputern>)

von der Frontier andere Innovationshemmnisse wahrnehmen als in Ländern, die sich nah an der Frontier befinden. Während in ersteren in der Regel als Haupthemmnis finanzielle Hürden wahrgenommen werden, werden in letzteren ein Mangel an qualifizierten Arbeitskräften am häufigsten als Innovationsbarriere genannt. Förderung von Schlüsseltechnologien sollte daher immer auch spezifisch auf die jeweilige konkrete Situation eingehen.

Die OECD (2023, Kap. 2) verwendet einen anderen Rahmen, der im Wesentlichen operative Maßnahmen zur Förderung von technologischer Souveränität in drei Gruppen gliedert: Schutzmaßnahmen, Stärkungs- oder Fördermaßnahmen und Maßnahmen, die indirekt wirken, wie Kooperationsförderung oder Entwicklung von Standards („*projection*“). Dieser Rahmen eignet sich gut für die Dokumentation der konkreten Wirtschaftspolitik unterschiedlicher Länder, aber weniger für das Design eines adäquaten Policy mixes für spezifische Technologien, in denen Elemente aus allen drei Gruppen sektorspezifisch – z.B. abhängig von der Distanz zur Frontier – zusammenwirken müssen.

Im Folgenden werden die Fähigkeiten betreffenden Ansätze zur Förderung von Schlüsseltechnologien näher ausgeführt. Außenwirtschaftliche Instrumente wie präferenzielle Handelsabkommen für die Sicherung des Zugangs zu Schlüsseltechnologien werden z.B. bei Felbermayr et al., 2022, näher beschrieben.

Abbildung 15: Schematische Ansätze für Verfolgung technologischer Souveränität



Q: WIFO.

3.3 Schlüsseltechnologien & einseitige Abhängigkeiten pro-aktiv identifizieren

Der erste Schritt zur Förderung technologischer Souveränität ist eine ständig aktualisierte Einschätzung, welche Technologien als Schlüsseltechnologien gelten können. Die Identifikation benötigt u.a. technologische Foresight-Analysen (siehe z.B. Edler et al., 2021). Die deutsche EFI (2022) fordert, den Schlüsseltechnologiestatus nur anhand transparenter Kriterien zu vergeben und ein unabhängiges Beratungsgremium darüber entscheiden zu lassen, um Missbrauch durch protektionistische Partikularinteressen zu verhindern.

Analysen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit der EU27 in diesen Technologien sowie von eventuellen Länderrisiken (eine einseitige Abhängigkeit von Norwegen oder Australien ist anders zu bewerten als eine von Russland) finden am besten auf EU-Ebene statt und berücksichtigen, wie die einzelnen Mitgliedsländer bei den Technologien aufgestellt sind. Die EU hat dazu ein entsprechendes Portal aufgestellt (<https://ati.ec.europa.eu/>), das seit 2021 jedoch nicht mehr aktualisiert wird. Die europäische Kommission führt zudem bereits Analysen wichtiger Rohstoffe oder Produkte mit einseitigen Abhängigkeiten durch.²⁰

Österreich kann Detailanalysen durchführen, um etwa relevante Forschungseinrichtungen und Unternehmen zu identifizieren und entsprechend pro-aktiv in europäische Netzwerke einzubinden. Solche Informationen können das Resultat von Ausschreibungen im Rahmen thematisch einschlägiger Förderprogramme sein.

3.4 Fähigkeiten in emergenten Technologien aufbauen

Wenn eine neue Technologie in der Entwicklung begriffen ist und keine klaren Technologieunterschiede zwischen den EU27 und anderen Ländern bestehen, wie z.B. bei Quantencomputern, kann das klassische FTI-politische Arsenal eingesetzt werden. Etwa die Forschungsförderung von der Grundlagenforschung über thematisch spezifische, anwendungsorientierte Forschung bis hin zur experimentellen Entwicklung.²¹ Reine Grundlagenforschung ohne Anwendungsorientierung („blue sky“) sollte dabei immer auch auf höchstem Niveau in Österreich und der EU gefördert werden, nachdem viele Anwendungen aus ungeplanten Nebenentdeckungen von Grundlagenforschung entstehen (z.B., bildgebende Magnetresonanz, Laser, Genschere...)²² Die EU hat diesbezüglich viel Aufholpotenzial gegenüber den USA, aber auch gegenüber Großbritannien und der Schweiz, wo die bestbewerteten Forschungsuniversitäten des europäischen Kontinents zu Hause sind.²³ Die oft gehörte Feststellung eines „europäischen Paradoxons“, demzufolge eine exzellente europäische Wissenschaft nicht in kommerzielle Erfolge umgesetzt werde, ist demnach schlichtweg falsch (Dosi et al., 2006; Rodríguez-Navarro & Narin, 2018), weil der Leistungsabstand in der Wissenschaft weiter besteht. Der Fokus auf die Verbesserung des Transfers kann sogar kontraproduktive Effekte erzeugen, wenn dadurch die Verbesserung der Forschungsstärke an Aufmerksamkeit einbüßt (Bianchini & Llerena, 2016) oder wenn zu viele Kooperationen die Forschungsqualität reduzieren (Banal-Estañol et al., 2015).

Die Unterstützung von Schlüsseltechnologien benötigt einen ausgewogenen Mix, in dem auch die Fertigungsüberleitung, oder Innovationsunterstützung etwa in Form von Pilotanlagen eine wichtige Rolle spielen kann: bei Schlüsseltechnologien ist es wichtig, immer auch Produktionskompetenzen mit zu unterstützen, um durchgängige Wertschöpfungsketten zu ermöglichen, bzw. die Lerneffekte zu generieren, die sich aus der Produktion ergeben. Förderung von Start-

²⁰ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy/depth-reviews-strategic-areas-europes-interests_de

²¹ Für Österreich, siehe z.B. <https://www.ffg.at/quantenforschung-und-technologie> oder <https://silicon-austria-labs.com/>

²² <https://scienceaces.wordpress.com/2015/11/17/5-great-inventions-found-through-basic-research/>

²³ <https://www.leidenranking.com/>

ups, Gründungsdynamik, bessere Rahmenbedingungen für Risikokapital, unter deren Mangel die EU und Österreich besonders stark leiden, wären hier wichtig, etwa durch einen gemeinsamen europäischen Kapitalmarkt (übereinstimmend Kleimann et al., 2023). Zentral bei neuen Technologien ist ebenso die Gewährleistung von entsprechender Ausbildung an Hochschulen, die Implementierung von Kooperationsprogrammen wie z.B. nach dem Muster der COMET-Zentren. Weiters sind Regulierung und internationale Standardisierung wichtige Komponenten. Diese Instrumente wirken alle angebotsseitig (d.h. sie begünstigen die Herstellung der Technologie), aber gerade bei emergenten Technologien können nachfrageseitige Instrumente wie öffentliche Beschaffung ebenfalls stark die ersten Markteintrittsrisiken senken (Edler et al., 2021; Kleimann et al., 2023).

Die Standardinstrumente der FTI-Politik können von industriepolitischen Instrumenten ergänzt werden, wenn sich nach einer sorgfältigen Prüfung der Situation Gefahren für die Entwicklung der Fähigkeiten abzeichnen – z.B. wenn junge Start-ups aus kurzfristigen Gewinninteressen an Eigentümer aus politisch sensiblen Ländern veräußert werden, oder wenn andere Länder marktverzerrende Instrumente zum einseitigen Vorteil ihrer Unternehmen einsetzen (Edler et al., 2021). Hier kann z.B. das FDI-Screening Instrument der EU eingesetzt werden, das mit dem Investitionskontrollgesetz in Österreich umgesetzt wurde (Felbermayr et al., 2022). Für eine Übersicht außenwirtschaftlicher Instrumente wie dem International Procurement Instrument (IPI), der Richtlinie zur unternehmerischen Sorgfaltspflicht (CSDD) oder dem Anti-Subventionsinstrument siehe Felbermayr et al., 2022. Insbesondere letzteres soll unterbinden „dass die Gewährung von Subventionen durch Nicht-EU-Staaten derzeit weitgehend unkontrolliert erfolgt, während zugleich Subventionen der Mitgliedstaaten einer strengen Kontrolle unterliegen.“ (Felbermayr et al., 2022, S. 128). Vor dem Einsatz solcher Instrumente sollte aber immer eine sorgfältige empirische Analyse erfolgen, da z.B. marktverzerrende Subventionen im Ausland nicht notwendigerweise effektiv sind (Felbermayr, 2023).

3.5 Fähigkeiten aufholen im Fall von Leistungsrückständen

Wenn hohe Leistungsrückstände bestehen – wie aktuell bei einigen Produkten/Technologien der Fall, wie z.B. bei Prozessoren und Speicherkomponenten – sind zwar weiterhin klassische FTI-Instrumente notwendig. Zielformulierungen für F&E-Förderprogramme müssten aber wohl temporär angepasst werden, von der Betonung der Erweiterung der Frontier hin zum Aufholen zur Frontier. In vielen Digitalisierungstechnologien wäre es wesentlicher, dass etwa KMU die Technologien einführen und beherrschen, anstatt in der Forschung an der Spitze mitzumischen, dh. einen Fokus auf Diffusion und Absorption legen.²⁴ Manchmal kann jedoch „*leapfrogging*“ möglich sein, d.h. anstatt Rückstände bei derzeitigen Technologien aufzuholen, direkt in neue einzusteigen, z.B. bei Prozessortechnologien gleich in die Quantentechnologie einzusteigen (BMBF, 2021).²⁵

²⁴ Iszak et al., 2021, sprechen von der „*balance between development and deployment*“

²⁵ Bei IPCEIs und beim Chips Act ist dies nicht geplant, hier gibt es einen Fokus auf Frontier-Forschung bzw. -Produktionsmethoden (Dachs, 2023).

Zusätzlich können aber wirtschaftspolitische Instrumente notwendig sein, die das Aufholen ermöglichen oder begünstigen. Die EFI (2022) bringt etwa explizit den Begriff der „*infant industry protection*“ ins Spiel, also „neue Industrien oder Technologien so lange vor dem internationalen Wettbewerb ... schützen ..., bis sie reif und stark genug sind, sich [dem] Wettbewerb zu stellen“ (EFI, 2022, S. 53). So ein Schutz lässt sich ökonomisch rechtfertigen (Melitz, 2005), wenn Industrien von dynamischen Lerneffekten geprägt sind (z.B. die Produktivität mit zunehmender Produktion steigt, wie z.B. bei Solarpanelen oder Mikroprozessoren) und der Schutz zeitlich auf die Aufholphase begrenzt wird. TSMC oder Samsung haben Milliarden in große Fertigungsstätten für Chips investiert. Aus dieser Skalenproduktion folgern ständige Lerneffekte, die die Produktivität weiter steigern und es neu einsteigenden Firmen sehr schwer machen würden, sofort mit Markteintritt ein wettbewerbsfähiges Produkt anzubieten.

Daher kann es ökonomisch gerechtfertigt sein, solche Firmen anfänglich vor Wettbewerb zu schützen. Die Schutzkosten müssen jedoch kleiner sein als die volkswirtschaftlichen Erträge dieser industriepolitischen Intervention. In der Literatur werden als typische Instrumente Produktionssubventionen, Handelsquoten und Zölle genannt (Melitz, 2005). Das Beispiel Südkorea (Exportförderung) zeigt, dass dieser Ansatz erfolgreich sein kann (Levchenko & Choi, 2021). Die temporäre Begrenzung der Schutzinstrumente sollte zudem nur die Instrumente zum Schutz vor Wettbewerb betreffen. Die Förderung von F&E- und Innovationsanstrengungen sollte in allen Formen – z.B. über einschlägige direkte österreichische und europäische F&E-Förderprogramme – weiterlaufen, da auch Industrien in anderen Ländern von solchen Förderungen profitieren. Selbst nach dem Auslaufen der wettbewerbschützenden Instrumente, wenn Leistungsrückstände aufgeholt sind, benötigt es ein „*level playing field*“.

Aghion et al. (2015) argumentieren z.B., dass sektorspezifische, wettbewerbslich vergebene industriepolitische Förderungen Innovationsanreize in einem Sektor schaffen und dadurch die Wettbewerbsintensität und in weiterer Folge die Produktivität steigern können. Wettbewerb und Industriepolitik können damit bei richtigem Design komplementär sein, im Gegensatz zur „*picking-the-winners*“-Industriepolitik der 80er Jahre, die durch diskretionäre Vergabe an einzelne Unternehmen den Wettbewerb reduzierte. Nunn & Trefler (2010), schätzen empirisch einen positiven Einfluss von Zöllen in qualifikations- oder wissensintensiven Sektoren auf das Wachstum, d.h. dass eine an der divergierenden Wissensintensität von Branchen orientierte Zolltarifstruktur wachstumsfördernd sein kann. Allerdings geht nur ein Viertel auf realwirtschaftliche Effekte zurück, der Rest der Korrelation zwischen Tarifstruktur und Wachstum ist eher durch rent-seeking bzw. Lobbying zu erklären.

Es mag zwar erschüttern, dass die EU27 Instrumente anwenden, die bisher von Schwellenländern eingesetzt wurden, wie etwa im früheren Südkorea, die rezenten weltpolitischen Ereignisse wie der Angriff Russlands auf die Ukraine sollten aber dazu führen, dass alle derartigen Scheuklappen einer nüchternen Analyse von Kosten und Nutzen sowie rechtlicher Rahmenbedingungen weichen. Bei Letzteren sollte zwischen selbst gesteckten, die sich etwa aus dem europäischen Beihilfenrecht ergeben, und internationalen Regeln, wie jenen der WTO, unterschieden werden.²⁶ Der Einsatz von Schutzinstrumenten sollte immer nur auf der Basis einer sorgfältigen

²⁶ Für die Umsetzung der IPCEIs wurde das europäische Beihilfenrecht etwa schon angepasst.

Prüfung erfolgen, insbesondere auch der Umstände für den Leistungsvorsprung in anderen Ländern – ob dieser etwa auf signifikante einseitig verzerrende Subventionen zurückzuführen ist: „Staatliche Interventionen, die helfen, durch Wettbewerbsverzerrungen entstandene Nachteile abzumildern bzw. zu beseitigen, erhöhen die internationale Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, stärken auf diese Weise den Wirtschaftsstandort und sind demgemäß grundsätzlich als wettbewerbspolitisch sinnvoll einzustufen.“ (Felbermayr et al., 2022, S. 143).

Beispiele für aktive Industrie- und FTI-Politik zum Aufholen von Rückständen finden sich zahlreich: Die **USA** praktizierten in der Vergangenheit zahlreiche industriepolitische Ansätze (Hufbauer & Jung, 2021) mit wechselndem Erfolg.²⁷ Sie haben z.B. industriepolitisch stark reagiert, als sie in den 1980er Jahren gegenüber Japan in der Herstellung von Halbleiterproduktionsanlagen nicht mehr wettbewerbsfähig waren. Über die Forschungsförderungsagentur des Verteidigungsministeriums (DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency) wurde das Konsortium Sematech mit den führenden Halbleiterherstellern gebildet, um gemeinsam die Rückstände aufzuholen (Felbermayr et al., 2022).²⁸

Aktuell haben die USA mit dem *Inflation Reduction Act* ein breites Subventionsprogramm für grüne Technologien aufgesetzt, bei dem es weniger um Innovation und Technologiebeherrschung geht, als um die schnelle breite Anwendung grüner Technologien (Kleimann et al., 2023). Das Programm kann aber für das Aufholen in einigen versorgungskritischen Bereichen wie z.B. Batterien relevant sein, indem großzügige Produktionssubventionen an Unternehmen, die sich in den USA ansiedeln, vergeben werden – ein schneller Weg, sich Kompetenzen und Produktionskapazitäten ins Land zu holen. Er wäre aber nur dann nachhaltig, wenn sich Unternehmen dauerhaft ansiedeln und in das umliegende industrielle Ökosystem integriert werden, etwa durch Zulieferbeziehungen oder Forschungsk Kooperationen. Die Verpflichtung zur lokalen Produktion steht zudem im Widerspruch zu WTO-Regeln und könnte daher die regelbasierte internationale Wirtschaftsordnung weiter aushöhlen und einen internationalen Subventionswettbewerb auslösen, der zwar wirtschaftspolitisch ein Nullsummenspiel wäre, aber die grüne Transformation beschleunigen könnte (Kleimann et al., 2023). Die Programme, wie auch der US-amerikanische Chips Act, scheinen jedenfalls schon zu funktionieren – nach US-Census-Daten explodieren Bauausgaben in der Computer/Elektronikherstellung in den USA. Die neue US-amerikanische Industriepolitik fasst Sullivan (2023) wie folgt zusammen:

- „A modern American industrial strategy identifies specific sectors that are foundational to economic growth, strategic from a national security perspective, and where private industry on its own isn't poised to make the investments needed to secure our national ambitions.

²⁷ Eine graphische ökonomische Bewertung einiger bekannter Beispiele wie dem Bailout von Chrysler findet sich hier <https://www.piie.com/blogs/realtime-economic-issues-watch/lessons-learned-half-century-us-industrial-policy>

²⁸ „The history of the global semiconductor industry is a history of major government interventions coupled with very large private sector R&D spending (...).“ Richard Jones, <http://www.softmachines.org/wordpress/wp-content/uploads/2023/03/What-should-the-UK-do-about-semiconductors.pdf>

- *It deploys targeted public investments in these areas that unlock the power and ingenuity of private markets, capitalism, and competition to lay a foundation for long-term growth. ...*
- *This is about crowding in private investment—not replacing it. It's about making long-term investments in sectors vital to our national wellbeing—not picking winners and losers."*

Die New York Times²⁹ erklärt Wettbewerbsschutz zum Aufholen von Leistungsrückständen zum industriepolitischen Ansatz **Chinas**: „China maintained trade protections that helped its companies grow: In exchange for allowing foreign companies to build factories, China restricted those companies' ability to sell goods in China and required them to share technology with local companies. This mix of market capitalism and government regulation was the same one that other countries — including the United States, long ago — have used to industrialize.“ Sie bezieht sich damit auf die merkantilistische Industriepolitik unter dem ersten Finanzminister der USA, Alexander Hamilton, der mit Zöllen zum Schutz vor der britischen überlegenen Industrie und gezielter Industriepolitik die amerikanische Produktionskapazität stark ankurbelte (Cohen & DeLong, 2016).

In der **EU** wird gerne vergessen, dass – laut Airbus – nur die öffentlichen Förderungen das US-amerikanische Luftfahrtsmonopol brechen konnten.³⁰ Bei der Gründung von Airbus 1969 teilten sich 3 US-amerikanische Hersteller den Markt auf. Allein für die Entwicklung des A380 erhielt Airbus über 3 Mrd. € an staatlichen Förderungen bzw. Krediten von Deutschland, Frankreich, Spanien und Großbritannien.³¹ An konkreten aktuellen europäischen Initiativen in Schlüsseltechnologien müssen die erwähnten IPCEIs genannt werden, die auf einer Anpassung des EU-Beihilfenrechts beruhen und die versuchen, in manchen Bereichen mit hohem europäischem Rückstand (z.B. verfügt China über 66% der Produktionskapazitäten für Lithium-Ionen-Batterien, die EU nur 3%) durchgängige europäische Wertschöpfungsketten aufzubauen. Der vorgeschlagene Chips Act soll die Schwäche der EU27 bei Halbleitern adressieren (für eine Diskussion, siehe Dachs, 2023). Im neuen, vorgeschlagenen *Green Deal Industrial Plan* schlägt die Kommission außerdem einen *EU Sovereignty Fund* vor (für eine Übersicht der EU Instrumente, siehe z.B. Kleimann et al., 2023).³²

Insgesamt erfordert das Aufholen von Leistungsrückständen bei Schlüsseltechnologien aber auch noch mehr Forschung und Analyse, um effektive Maßnahmen setzen zu können. Im Vergleich zur Förderung emergenter Technologien ohne Leistungsrückstand ist der Policy-Mix weniger standardisiert. Die Analyse von Aghion et al., 2015, geht z.B. von der Existenz eines produzierenden Sektors aus, sowie von mehreren Unternehmen, die von wettbewerblich vergebenen Förderungen für Produktivitätssteigerungen profitieren können. Solche Bedingungen sind in

²⁹ <https://www.nytimes.com/2023/04/19/briefing/india-population.html>

³⁰ <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/a380-warum-bekommt-airbus-eigentlich-geld-vom-staat-16071399.html?profillogin>

³¹ <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/a380-warum-bekommt-airbus-eigentlich-geld-vom-staat-16071399.html?profillogin>

³² https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_510

manchen Schlüsseltechnologie-Bereichen nicht zu finden – es gibt etwa nur einen kompetitiven Hersteller von Chipproduktionsanlagen (ASML), oder nur zwei Hersteller von 5G-Kommunikationsinfrastruktur (Ericsson, Nokia) und keinen einzigen kommerziellen Hersteller von Hochleistungschips der neuesten 5 Nanometer Generation. Auch mögliche Kostennachteile für nachgelagerte Industrien müssen bedacht werden, wenn Schutzinstrumente den Zugang zu kompetitiven Vorprodukten einschränken. Solche Kostennachteile können aber durch die bessere Verfügbarkeit kritischer Produkte in Krisenzeiten mehr als aufgewogen werden.

3.6 Fähigkeiten bewahren oder ausbauen

Unter diesem Aspekt können mehrere Anwendungsfälle relevant werden: zunächst kann es einfach darum gehen, europäische Stärken weiter auszubauen, um in Handelskonflikten über größere Hebel zu verfügen (EFI, 2022). So ein Ausbau von Stärken sollte nicht marktverzerrend erfolgen, sondern auf die klassischen FTI-Instrumente zurückgreifen.³³ Pro-aktiv solche Instrumente einzusetzen, würde die Gefahr einer eskalierenden Protektionismusspirale stark erhöhen.

Der umgekehrte Fall ist, wenn Unternehmen, die über strategisches Know-how in Schlüsseltechnologien verfügen, vor dem Scheitern stehen, ohne dass es alternative EU-stämmige Anbieter gäbe. Ein derartiges Szenario wird etwa für 5- und 6G-Technologien in der Mobilfunktechnologie befürchtet, wo Huawei technisch besser, aber günstiger ist³⁴. Vor COVID-19 und dem Angriff Russlands auf die Ukraine hätte man diese Unternehmen wohl auch scheitern lassen, nach den – trotz Airbus - schlechten industriepolitischen Erfahrungen der EU mit „*picking the winners*“, das oft als „*defending the losers*“ praktiziert wurde (Polt et al., 2021).

Heute könnte zumindest eine Prüfung aufgrund transparenter Kriterien stattfinden, ob so ein Scheitern nicht unwiederbringlichen Verlust an kritischen Fähigkeiten nach sich ziehen würde, bzw. eine starke Steigerung einer einseitigen ökonomischen Abhängigkeit von politisch sensiblen Ländern. Je nachdem, wie so eine Prüfung ausgeht, könnte entweder das Unternehmen in den Konkurs geschickt werden, oder eine Ausnahme vom EU-Beihilfenrecht geprüft werden³⁵ sowie Maßnahmen, wie das Unternehmen – oder relevante Teile davon, insbesondere die Schlüsselkompetenzen - wieder wettbewerbsfähig gemacht werden könnte. Temporäre Infant Industry Schutzinstrumente wurden bereits im Abschnitt zum Aufholen von Rückständen diskutiert. Eine „Rettung“ könnte etwa über die EU selbst erfolgen, damit nicht einzelne Staaten bevorteilt werden, sondern vielmehr alle EU-Staaten weiterhin von der Schlüsseltechnologie profitieren können.

Besser ist es jedenfalls, der Aushöhlung insbesondere von Produktionskompetenzen, oder dem Entstehen kritischer einseitiger Abhängigkeiten pro-aktiv vorzubeugen. Dazu zählt eine

³³ Die Region Eindhoven rund um das global führende Technologieunternehmen ASML, das Produktionsanlagen für Halbleiter herstellt, bittet die niederländische Regierung etwa um „double the size of the university, increase practical skills training and build homes“, siehe <https://www.ft.com/content/c702c9f0-7f45-47d2-a0b3-6a6525e4b583>

³⁴ <https://www.derstandard.at/story/2000144276910/gutachten-soll-klaren-ob-von-huawei-und-zte-ein-risiko>

³⁵ Wie dies z.B. auch anlässlich der COVID-Hilfsinstrumente erfolgte. „Weder die USA noch China kennen eine mit dem EU-Beihilfenrahmen vergleichbare Beschränkung hinsichtlich der Gewährung von Subventionen“, Felbermayr et al., 2022, S. 121.

intensive Anwendung der erwähnten klassischen FTI-Instrumente wie hervorragende Ausbildung, leistungsstarke Hochschulen, effektive Forschungsförderung, gekoppelt mit weiteren wirtschaftspolitischen Instrumenten wie einem funktionierenden europäischen Kapitalmarkt und attraktiven Rahmenbedingungen für das schnelle Wachstum innovationsintensiver Jungunternehmen.

In der akademischen Literatur ist zudem eine Diskussion um die Risiken internationaler Wertschöpfungsketten entstanden, die aufgrund divergierender privater und öffentlicher Risikopräferenzen unterschiedlich eingeschätzt werden: es kann z.B. sein, dass große Unternehmen aufgrund von Informationsasymmetrien die Risiken gar nicht kennen, die auf der 3. Lieferantenstufe entstehen, oder dass Unternehmen nicht die Auswirkungen auf andere Unternehmen oder die Gesellschaft mitbedenken, wenn sie einseitige Abhängigkeiten eingehen. In solchen Fällen wären Instrumente, die die unterschiedlichen Risikopräferenzen angleichen, eine wirtschaftspolitische Option, ähnlich zu nicht-internalisierten Umweltkosten aufgrund fehlender CO₂-Preise (siehe dazu etwa Baldwin & Freeman, 2022).³⁶ Hier ist aber mehr wirtschaftswissenschaftliche Forschung notwendig.

Im Wesentlichen ist internationale Produktion mit Risiken verbunden, weil man u.a. in einseitige Abhängigkeiten geraten kann, die Länder geopolitisch ausnützen. Dies sollte, wie oben ausgeführt, nicht zur Abschottung führen, sondern durch pro-aktive Politik vermieden werden, um weiterhin von den Vorteilen der internationalen Arbeitsteilung zu profitieren. Drohen aufgrund von Unternehmensschließungen unwiederbringliche Verluste kritischer Fähigkeiten, stellen sich für die Wirtschafts- und FTI-Politik der EU27 besonders heikle Fragen, die kaum durch die Anwendung eines standardisierten Policy-mix zu lösen sind. Hier sollte auf europäischer Ebene jetzt begonnen werden, Vorgangsweisen für den Fall der Fälle zu entwickeln, unabhängig davon, ob diese jemals zum Einsatz kommen werden oder nicht. Dies wäre auch ein Element der Stärkung der Resilienz der EU, also ihrer Krisenfestigkeit.

3.7 Optionen für konkrete Produkte oder Rohstoffe

Die empirische Analyse in der vorliegenden Kurzstudie beschränkte sich auf aggregierte Handels- und Patentdaten zur Analyse der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Regionen in ausgewählten Schlüsseltechnologien. Daraus lassen sich nur allgemeine Stoßrichtungen ableiten, wie ein dringendes Aufholen Europas etwa bei digitalen Technologien; oder eine nähere Untersuchung des Auseinanderklaffens von Patenten und Handel in der Photonik. Das Aufzeigen von Optionen für bestehende einseitige Abhängigkeiten für konkrete Produkte³⁷ sind im Rahmen dieser Kurzstudie nicht möglich. Das gleiche gilt für kritische Rohstoffe.³⁸ Allgemeine Optionen sind hier eine Stärkung – oder Perfektionierung – der Kreislaufwirtschaft, nach Vorkommen in den EU27 aktiv suchen und diese auch abbauen, nach (synthetischen) Substituten forschen und Lieferungen aus stabilen Partnerländern sichern, durch präferenzielle Handelsabkommen aber auch entwicklungspolitische Maßnahmen (Felbermayr et al., 2022).

³⁶ <https://cepr.org/voxeu/columns/global-supply-chain-risk-and-resilience>

³⁷ Klien et al., 2021, weisen die Produkte aus Schlüsseltechnologien mit den höchsten Importabhängigkeiten aus.

³⁸ Siehe dazu etwa Europäische Kommission (2020).

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Technologische Souveränität strebt die Vermeidung einseitiger ökonomischer Abhängigkeiten in Schlüsseltechnologien von politisch sensiblen Ländern oder Regionen an. Die EU27 sind ein großer, technologisch fortgeschrittener Wirtschaftsraum, der bei vielen Schlüsseltechnologien bedeutende Anteile der Welt(wissens-)produktion erzielt. Auf Basis einer Analyse von Schlüsseltechnologien zeigen sich jedoch auch klare Defizite, besonders in digitalen Technologien (künstliche Intelligenz, Big Data, Mikro- und Nanoelektronik), übereinstimmend mit umfangreicheren Analysen wie Kroll et al. (2022), Iszak et al. (2021) oder Wigell et al. (2022). Ihre Stärken liegen in fortgeschrittenen Produktions- und Werkstofftechnologien, teils auch in der Biotechnologie. In der Leistungsfähigkeit der EU27 relativ zu ihrer Größe gibt es großes Aufholpotenzial gegenüber Ländern wie Japan, Südkorea oder der Schweiz – die EU27 könnten eine noch viel größere Rolle bei Schlüsseltechnologien spielen und damit ihre technologische Souveränität absichern.

China zeigt die stärksten Wachstumstrends etwa in der Erfindungsleistung und ist in vielen Schlüsseltechnologien bereits stärker spezialisiert als die EU27. Relativ zur Bevölkerungsgröße befindet sich China noch am unteren Ende der internationalen Vergleichsregionen, d.h. dass die Aufholrends noch weitergehen und China bald eine noch viel größere Dominanz aufweisen könnte als derzeit. China ist im Export vieler Schlüsseltechnologien bereits sehr aktiv und ist in 8 von 12 Schlüsseltechnologien das bedeutendste Lieferland der EU27. Dies beruht nicht nur auf Wissensvorteilen, sondern auch auf Kosten- und Produktionsvorteilen, China versucht jedoch die Wissenskomponente stark zu steigern.

Um einseitige Abhängigkeiten von politisch sensiblen Ländern pro-aktiv zu vermeiden, müsste die EU27 daher ihre Anstrengungen zur Förderung technologischer Souveränität stark intensivieren, sowohl durch die (Weiter-)Entwicklung eigener Fähigkeiten, als auch durch Kooperationen wie vertraglich vereinbarten Handelsabkommen mit politisch stabilen nicht-EU27-Ländern, die die Werte der EU27 teilen.³⁹ Dabei geht es nicht nur um Defizite im Forschungssystem der EU. Der Mangel (junger) großer Unternehmen in digitalen Technologien geht zusätzlich auf regulatorisch-wirtschaftliche Defizite der EU zurück, wie einen zersplitterten Kapitalmarkt (siehe übereinstimmend Kleimann et al., 2023) und im Vergleich geringe Risikokapitalintensität, besonders in Österreich. Sowohl im Software- als auch im Hardwarebereich gab es in den letzten 30-40 Jahren kaum zu Microsoft, Alphabet, Apple, Samsung, Huawei etc. vergleichbare Unternehmensgründungen in den EU27.⁴⁰ Für eine Stärkung der technologischen Souveränität brauchen die EU27 daher nicht nur verstärkte Investitionen in Wissen, sondern auch eine Verbesserung allgemeiner industriepolitischer Rahmenbedingungen.

Um konkrete technologiespezifische Initiativen zu setzen, benötigt es maßgeschneiderte Analysen und Fallstudien, wie sie die Europäische Kommission teils bereits durchführt⁴¹ und auf

³⁹ Mögliche Modelle, wie neue Partnerschaftsmodelle, werden bei Felbermayr et al., 2022, beschrieben.

⁴⁰ Für eine Rangliste der größten F&E-aktiven Unternehmen, siehe <https://iri.jrc.ec.europa.eu/scoreboard/2022-eu-industrial-rd-investment-scoreboard>

⁴¹ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy/depth-reviews-strategic-areas-europes-interests_de_bzw._https://ati.ec.europa.eu/

deren Basis bereits wichtige, neue Akzente in der europäischen FTI- und Industriepolitik gesetzt wurden, wie die IPCEIs Batterien und Mikroelektronik und der in Diskussion befindliche Chips Act (Dachs, 2023) zeigen. Der neue vorgeschlagene Green Industrial Plan enthält z.B. auch den Vorschlag eines EU Sovereignty Fund.⁴² Eine ausführliche Übersicht einschlägiger Maßnahmen der EU, der USA und Chinas findet sich bei Felbermayr et al., 2022⁴³ und Kroll et al., 2022, speziell für grüne Technologien bei Kleimann et al., 2023.

Eine Richtschnur für das Design passender Maßnahmenbündel kann die **Distanz zur Frontier in den jeweiligen Schlüsseltechnologien** sein, d.h. wie leistungsfähig die EU27 in Forschung & Entwicklung sowie Produktion gegenüber wichtigen Vergleichsregionen sind. Für **Schlüsseltechnologien, in denen die EU27 mit führend sind**, kann das klassische FTI-Instrumentenset zur Anwendung kommen. Wirtschaftspolitische Schutzinstrumente können hier reaktiv eingesetzt werden, um schädliche Wirkungen marktverzerrender Handlungen anderer Länder zu verhindern. Solche Instrumente, wie das Anti-Subventionsinstrument oder das FDI-Screening, hat sich die EU bereits gegeben, um entsprechend handlungsfähig zu sein, wobei schon die Drohung der Anwendung solcher Instrumente ausreichend sein kann (Felbermayr et al., 2022).

Der **Policy Mix für das Aufholen von Leistungsrückständen** ist demgegenüber weniger standardisiert und erfordert jedenfalls eine genaue situationsspezifische Analyse, aber auch mehr Forschung zur Eignung unterschiedlicher Mechanismen. Bestehende Instrumente sollten frühzeitig begleitend evaluiert werden. Ob etwa die IPCEIs ausreichen, um Lücken zu schließen, bleibt abzuwarten: Polt et al., 2021, S. 28, berichten, dass Unternehmen weiterhin eine „Lücke“ zwischen der Forschung und Innovation und dem Up-Scaling der Produktion auch im ‚IPCEI Regime‘ wahrnehmen. Gerade die Produktion führt aber zu dynamischen Lerneffekten, die Stückkosten senkt und Wettbewerbsfähigkeit überhaupt erst herstellt. Z.B. bei Prozessoren sind enorm hohe Investitionen in Produktionsanlagen notwendig (Dachs, 2023).

Maßnahmen sollten immer auch die massiven industriepolitischen Anstrengungen anderer Länder wie Chinas oder der USA mitbedenken, die keine inländische Subventionskontrolle wie das EU-Beihilfenrecht kennen. Etwaige „Infant Industry“-Schutzinstrumente wie Subventionen, Zölle oder Handelsquoten müssten jedenfalls sorgfältig begründet und temporär ausgestaltet werden, bis der Leistungsrückstand überwunden ist. Danach sollten wieder herkömmlich F&E-Förderinstrumente, wie z.B. Förderprogramme, zum Einsatz kommen. Um Missbrauch zu verhindern, müssen sowohl Schlüsseltechnologien als auch Länderrisiken auf Basis transparenter Kriterien identifiziert werden.

Sich nur auf die Verbesserung sektorneutraler Rahmenbedingungen wie Infrastruktur und Bildung zu konzentrieren und sektorale einseitige Abhängigkeiten nicht aktiv zu adressieren, würde bestenfalls viel Zeit benötigen, die bei der plötzlichen politischen Ausnützung der Abhängigkeit fehlen würde. Schlimmstenfalls lassen sich dadurch die einseitigen Abhängigkeiten überhaupt nicht bekämpfen, weil sich Technologien meist kumulativ entwickeln, und

⁴² https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_510

⁴³ „Der industriepolitische Ansatz von China lässt sich ... folgendermaßen zusammenfassen: Seitens des Staates werden industriepolitische Ziele vorgegeben, die durch Ausnützung der Marktkräfte und unter massivem Mitteleinsatz (fast) ohne Berücksichtigung der Kosten ("whatever it takes") konsequent verfolgt werden.“ (Felbermayr et al., 2022, 131)

dynamische Lerneffekte in Industrien dafür sorgen, dass der Rückstand im Gegenteil immer größer wird (EFI, 2022). Sich wirtschaftspolitisch auf die Gestaltung horizontaler Rahmenbedingungen zu beschränken und darauf zu warten, dass sich zufällig aus privater Initiative wettbewerbsfähige Konzerne entwickeln, die einseitige Abhängigkeiten reduzieren können, birgt enorme Risiken. Investoren wissen um die Herausforderungen und Defizite Bescheid und werden kaum in wenig aussichtsreiche Aktivitäten investieren, selbst wenn es unternehmerische Persönlichkeiten geben sollte, die sich zufällig genau Bereichen mit kritischer Abhängigkeit widmen.

Noch heikler ist die Diskussion, ob es gerechtfertigt ist, einzelne Unternehmen oder Unternehmensteile vor dem Scheitern zu retten - „*saving the losers*“ – um damit unwiederbringliche Verluste an kritischen Fähigkeiten in Schlüsseltechnologien zu vermeiden. Hier sollte auf europäischer Ebene jetzt begonnen werden, Vorgangsweisen für den Fall der Fälle zu entwickeln, unabhängig davon, ob diese jemals zum Einsatz kommen werden oder nicht, etwa Mechanismen, um die kritischen Schlüsselkompetenzen weiterhin einschlägig produktiv zu halten. Dies wäre auch ein Element der Stärkung der Resilienz der EU, also ihrer Krisenfestigkeit. Nachdem geopolitische Ziele wie die strategische Autonomie der EU27 ebenso eine Rolle spielen, wird ökonomische Effizienz nicht allein der Gradmesser für die Beurteilung von Maßnahmenbündel sein.

Die geo-ökonomische Situation hat sich so stark verändert, dass wirtschafts- oder FTI-politische Maßnahmen, die Forschung und Produktion in den EU27 temporär einseitig fördern könnten, nicht von vornherein aus dogmatischen Gründen abgelehnt werden sollten. Die Frage verlegt sich vom „ob“ zum „wie“, auch vor der Erkenntnis, dass es in Wirklichkeit keine sektorneutrale Wirtschaftspolitik geben kann, denn eine Politik, die nur auf horizontale Rahmenbedingungen setzt, wird trotzdem sektorspezifisch unterschiedlich wirken.⁴⁴ Eine nüchterne Analyse von Kosten und Nutzen, die die einseitigen Maßnahmen der nicht-EU-Länder und der internationalen rechtlichen Rahmenbedingungen (etwa der WTO-Bestimmungen) berücksichtigt, sollte erfolgen. Auf marktverzerrende Subventionspraktiken anderer Länder kann die EU bereits mittels neuer Instrumente, wie dem Anti-Subventionsinstrument, reagieren. Dabei dürfen die enormen Vorteile von internationalem Handel und technologischer Kooperation, die es für die Bewältigung großer Herausforderungen benötigt, nicht aus den Augen verloren werden (OECD, 2023)

Die großen Herausforderungen, die gestiegene Bedeutung, eigene Fähigkeiten zu entwickeln und sich nicht blind auf politisch sensible Länder zu verlassen, sollten jedenfalls zu einer Intensivierung von Wissensinvestitionen in den EU27 führen, deren F&E-Quote lange bei ca. 2% des BIP stagnierten, erst in den letzten drei Jahren auf 2,19% des BIP zulegten, während China die EU27 nach OECD-Daten bereits 2014 überholte und im Jahr 2020 2,4% erreichte. Österreich kann diesbezüglich als Beispiel dienen, das Wachstum seiner F&E-Quote war neben Belgien sehr dynamisch. Die Diskussionen um die Finanzierung europäischer Initiativen wie dem Chips Act⁴⁵

⁴⁴ „If you don't choose sectors, sectors will choose you“, Jones, R., <http://www.softmachines.org/wordpress/wp-content/uploads/2023/03/What-should-the-UK-do-about-semiconductors.pdf> , S. 17.

⁴⁵ https://sciencebusiness.net/news/ICT/act-three-chips-act-heads-negotiation-phase?utm_source=Science%7CBusiness+Newsletters&utm_campaign=c88c5d5cd9-EMAIL_CAMPAIGN_4_26_2021_17_43_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_179178d214-c88c5d5cd9-138652491

lassen leider befürchten, dass ein starker europäischer Wille zu tatsächlich gesteigerten Wissensinvestitionen noch Zeit brauchen wird, selbst wenn sich die europäische FTI- und Industriepolitik in den letzten Jahren zumindest auf dem Papier deutlich verändert hat – hin zu einer deutlich aktiveren Rolle, die sich nicht mehr nur auf die Schaffung guter „horizontaler“ Rahmenbedingungen konzentriert, d.h. sektorneutraler Aspekte wie Bildung, Regulierung und Infrastruktur, sondern sektorspezifisch versucht, die europäische Position zu verbessern, analog zu den USA, wo der neue parteienübergreifende wirtschaftspolitische Konsens aktive Industriepolitik zu sein scheint.⁴⁶ Die europäische Industriestrategie spricht explizit das Konzept der offenen strategischen Autonomie an, für das Schlüsseltechnologien eine große Rolle spielen.⁴⁷

Die Defizite bei den Wissensinvestitionen in den EU27 zeigen sich besonders stark in der mangelnden Stärke der Grundlagenforschung. Europäische Forscher:innen werden nicht mit den Rahmenbedingungen ausgestattet, die sie zur Umsetzung ihres Potenzials benötigen würden, das zeigen neben der geringen F&E-Ausgaben auch die niedrigen Ausgaben je Studierenden der meisten Universitäten in der EU, besonders der großen Länder Deutschland, Frankreich, Italien und Spanien (Hofmann und Janger, im Erscheinen). Die Grundlagenforschung auf höchstem Niveau schafft aber neben relevanten Forschungserkenntnissen auch den notwendigen wissenschaftlichen Nachwuchs für Universitäten und Unternehmen, den es für die Stärkung der Position der EU in den Schlüsseltechnologien dringend benötigen würde.

Zusammenfassend sind für die Unterstützung von Technologiesouveränität auf europäischer Ebene folgende Punkte relevant:

- **Abhängigkeiten aktiv vermeiden & reduzieren:** Die Konzentration auf gute allgemeine („horizontale“) Rahmenbedingungen für wirtschaftliche Aktivität ist nicht ausreichend, um einseitige Abhängigkeiten bei Schlüsseltechnologien zu vermeiden oder zu reduzieren. Solche Abhängigkeiten werden idealerweise pro-aktiv durch nicht verzerrende Instrumente vermieden (F&E-Förderung z.B.). Wenn die Abhängigkeit eingetreten ist, erfordert ihre Reduktion ebenfalls in der Regel einen aktiven Ansatz, der schlüsseltechnologie-spezifisch vorgeht. Technologischer Fortschritt erfolgt kumulativ, die Wissensrückstände können daher immer größer werden (EFI, 2022) – der Faktor Zeit ist wichtig, nicht nur weil die bestehenden Abhängigkeiten der EU jederzeit ausgenutzt werden können. Im Wesentlichen hat die EU diesen Weg bereits eingeschlagen, symbolisiert durch neue außenwirtschaftliche Instrumente (Anti-Subventionsinstrument z.B.) und neue Förderinstrumente wie den IPCEIs oder den Chips Act.⁴⁸
- Die Vorteile und Notwendigkeit von **internationalem Handel und wissenschaftlich-technologischer Kooperation**, die es auch zur Bewältigung globaler Herausforderungen benötigt, nicht aus den Augen verlieren

⁴⁶ <https://www.noahpinion.blog/p/the-new-industrial-policy-explained?sd=pf>

⁴⁷ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_en#strengthening-eus-open-strategic-autonomy

⁴⁸ Aghion et al., 2012, S. 2, formulieren: „the debate on industrial policy should no longer be “existential”, i.e., about whether sectoral policies should be precluded altogether or not, but rather on how such policies should be designed and governed so as to foster growth and welfare.“

- **Weitere Verbesserung der allgemeinen Rahmenbedingungen:** Die EU sollte weiter an der Verbesserung ihrer Rahmenbedingungen für wirtschaftliche Aktivität arbeiten – ein wirtschaftlich starker Binnenmarkt ist ein Trumpf, der auch geopolitisch wirkt (Felbermayr et al., 2022) und die allgemeinen Grundlagen für Wettbewerbsfähigkeit in Schlüsseltechnologien herstellt, selbst wenn diese Prozesse Zeit brauchen und nicht unmittelbar einseitige Abhängigkeiten reduzieren. Baustellen sind etwa die Vertiefung des Binnenmarkts (z.B. europäische Kapitalmarktunion), die Stärkung der Grundlagenforschung und Universitäten, Ausbildung, Infrastruktur, ...
- **Mehr Forschung wie Leistungsrückstände aufzuholen sind:** Mit welchem Policy Mix bestehende Leistungsrückstände am besten aufgeholt und so Abhängigkeiten reduziert werden können, benötigt noch mehr Analyse und Forschung. Eine Orientierung ist, **Maßnahmen an der Distanz zur Frontier auszurichten**, wenn die Effektivität von Maßnahmen sich mit der Entfernung zur Frontier verändert. Potenzielle Elemente des Policy Mix, darunter auch temporäre Infant Industry-Schutzmechanismen, sollten nüchtern auf Kosten und Nutzen geprüft werden sowie auf rechtliche Kompatibilität mit etwa EU-Beihilfen- und WTO-Regeln.
- **Mehr Geld für Wissensinvestitionen:** Die EU27 geben zu wenig Geld für Investitionen in F&E aus, dies ist seit langem bekannt – schon 2000 führte die Lissabon-Strategie ein F&E-Ziel von 3% für 2010 ein, das aber auch 2021 noch nicht erreicht war, China wird es vermutlich vor den EU27 erreichen. Britische forschungsintensive Universitäten geben im Durchschnitt je Studierenden vier Mal so viel aus wie französische Universitäten, Schweizer mehr als doppelt so viel wie deutsche (Hofmann und Janger, im Erscheinen). Mit der Policy Support Facility (PSF)⁴⁹ verfügt die EU über ein *peer learning* Instrument, um Mitgliedsländer bei der Verbesserung des nationalen Innovationssystems zu unterstützen. Konkrete Fortschritte sind jedoch spärlich. Es bleibt zu hoffen, dass die neue geopolitische Situation und auch die Herausforderungen des Klimawandels zur Intensivierung der Reformbemühungen beitragen.

Für Österreich ist zunächst die **Mitgliedschaft bei der Europäischen Union** die wichtigste Maßnahme, um technologische Souveränität zu fördern. Weiters kann sich Österreich auf europäischer Ebene in die Diskussion einbringen, an europäischen Förderprogrammen wie den IPCEIs beteiligen (wie dies bereits bei 4 geschieht) und europäische Programme ko-finanzieren, relevante Forschungseinrichtungen und Unternehmen identifizieren, um sie europäisch zu vernetzen und gezielt z.B. im Wege von Forschungsinfrastruktur, Kooperations- oder thematischen Förderprogrammen zu unterstützen⁵⁰. Ein Positionspapier etwa des Fachverbands der Elektro- und Elektronikindustrie zum European Chips Act fordert die rasche Umsetzung und betont die große einheimische Halbleiterindustrie mit Stärken v.a. bei Sensoren, Energieeffizienz und Sicherheit.⁵¹

⁴⁹ <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/statistics/policy-support-facility>

⁵⁰ Relevante Beispiele sind etwa <https://silicon-austria-labs.com/> oder die Förderung der Quantentechnologie.

⁵¹ <https://www.feei.at/wp-content/uploads/2023/04/pp-european-chips-act-sicherheit-stabilitaet-nachhaltigkeitv2.pdf>

Wie auf europäischer Ebene, kann auch Österreich die Verbesserung **allgemeiner Rahmenbedingungen** für Forschung, Technologie und Innovation das Ziel der technologischen Souveränität unterstützen, dazu zählen insbesondere die seit Jahrzehnten geforderte Verbesserung der Verfügbarkeit von Risikokapital oder die Stärkung der Universitäten, um Forschungsleistung und die Ausbildung hochqualifizierter Absolvent:innen etwa auf dem Niveau der Schweizer Universitäten betreiben zu können.

Technologische Souveränität wird explizit im FTI-Pakt 2024-2026 (Bundesregierung der Republik Österreich, 2022) angesprochen, die Ausarbeitung einer eigenen Strategie analog zu Deutschland (BMBF, 2021), die alle Ansätze bündelt, könnte weiter zur **Koordination der diesbezüglichen Aktivitäten** in Österreich beitragen und zur ebenfalls im FTI-Pakt adressierten europäischen Vernetzung beitragen. Wie jede themenorientierte Politikherausforderung hält sich auch die technologische Souveränität nicht an ministerielle Ressortgrenzen. Eine Bestandsaufnahme von relevanten Akteuren und Schnittstellen auf EU-, Bundes- und Bundesländerebene könnte den Startschuss für eine koordinierte Vorgangsweise bilden, die z.B. im Rahmen einer interministeriellen Task Force unter Vorsitz z.B. des BMK konkrete Maßnahmen identifiziert, bzw. relevante Maßnahmen unterschiedlicher Politikakteure zusammenfasst und daraus eine Strategie entwickelt.

Wie beschrieben, geht es dabei nicht nur um technologiepolitische Förderung, sondern z.B. auch um allgemeine Handels- und Industriepolitik und um die Verbesserung von Rahmenbedingungen für Unternehmenswachstum, die zum BWA ressortieren würden, sowie Forschungs- und Lehreinrichtungen wie Universitäten, die in der Verantwortung des BMBWF stehen. Dies sind nur Beispiele, ein Politikansatz, der für die Governance technologischer Souveränität in Österreich eventuell als Beispiel dienen könnte, wäre die Umsetzung der EU-Missionen, die im Rahmen einer FTI-Task Force in Österreich betrieben wird.⁵²

⁵² <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/Forschung/Forschung-in-der-EU/EU-Rahmenprogramme/Horizon-Europe/EU-Missionen.html>

5. Literatur

- Acemoglu, D., Aghion, P., & Zilibotti, F. (2006). Distance to Frontier, Selection, and Economic Growth. *Journal of the European Economic Association*, 4(1), 37–74.
- Aghion, P., & Howitt, P. (2006). Joseph Schumpeter Lecture Appropriate Growth Policy: A Unifying Framework. *Journal of the European Economic Association*, 4(2–3), 269–314. <https://doi.org/10.1162/jeea.2006.4.2-3.269>
- Aghion, P., Cai, J., Dewatripont, M., Du, L., Harrison, A., & Legros, P. (2015). Industrial Policy and Competition. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 7(4), 1–32. <https://doi.org/10.1257/mac.20120103>
- Aghion, P., Dewatripont, M., Du, L., Harrison, A., & Legros, P. (2012). Industrial Policy and Competition. *NBER Working Paper*, 18048.
- Aiginger, K. (1997). The use of unit values to discriminate between price and quality competition. *Cambridge Journal of Economics*, 21(5), 571–592.
- Arjona, R., Connell-Garcia, W., & Herghelegiu, C. (2023). An enhanced methodology to monitor the EU's strategic dependencies and vulnerabilities. *Single Market Economy Papers, Working Papers 14*. https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/enhanced-methodology-monitor-eus-strategic-dependencies-and-vulnerabilities_en
- Baldwin, R., & Freeman, R. (2022). Risks and global supply chains: What we know and what we need to know. *Annual Review of Economics*, 14, 153–180.
- Banal-Estañol, A., Jofre-Bonet, M., & Lawson, C. (2015). The double-edged sword of industry collaboration: Evidence from engineering academics in the UK. *Research Policy*, 44(6), 1160–1175. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.02.006>

- Bianchini, S., & Llerena, P. (2016). Science policy as a prerequisite of industrial policy. *Economia e Politica Industriale*, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s40812-016-0040-y>
- BMBF. (2021). *Technologisch souverän die Zukunft gestalten* [BMBF-Impulspapier zur technologischen Souveränität].
- Bundesregierung der Republik Österreich. (2022). *FTI-Pakt 2024-2026*.
- Cohen, S. S., & DeLong, J. B. (2016). *Concrete economics: The Hamilton approach to economic growth and policy*. Harvard Business Review Press.
- Dachs, B. (2023). The European Chips Act. *FIW Policy Brief*, 58, 1–8.
- Dosi, G., Llerena, P., & Labini, M. S. (2006). The relationships between science, technologies and their industrial exploitation: An illustration through the myths and realities of the so-called [']European Paradox'. *Research Policy*, 35(10), 1450–1464. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.09.012>
- Edler, J., Blind, K., Frietsch, R., Kimpeler, S., Kroll, H., Lerch, C., Reiss, T., Roth, F., Schubert, T., Schuler, J., & Walz, R. (2020). *Technology sovereignty. From demand to concept*. Fraunhofer ISI.
- Edler, J., Blind, K., Kroll, H., & Schubert, T. (2021). *Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy: Defining rationales, ends and means* (Working Paper Nr. 70). Fraunhofer ISI Discussion Papers - Innovation Systems and Policy Analysis. <https://www.econstor.eu/handle/10419/236194>
- Europäische Kommission (2020f). *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study*. Brüssel. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42881>
- Expertenkommission Forschung und Innovation. (2022). *EFI Gutachten 2022* [Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands]. EFI.

- Felbermayr, G. (2023). Industriepolitik nach der geopolitischen Zeitenwende. *WIFO-Monatsberichte*, 96(1), 3–14.
- Felbermayr, G., Wolfmayr, Y., Bärenthaler-Sieber, S., Böheim, M., Christen, E., Friesenbichler, K., Meinhart, B., Meyer, B., Pekanov, A., & Sinabell, F. (2022). *Strategische Außenwirtschaftspolitik 2030 – Wie kann Österreich Geoökonomie Konzepte nützen?* WIFO. <http://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/69805>
- Gaulier, G., & Zignago, S. (2010). *BACI: International Trade Database at the Product-Level. The 1994-2007 Version* (Working Papers Nr. 2010-23). CEPII. <http://www.cepii.fr/CEPII/fr/publications/wp/abstract.asp?NoDoc=2726>
- Helpman, E. (Hrsg.). (1998). *General Purpose Technologies and Economic Growth*. MIT Press.
- Hofmann, K., & Janger, J. (im Erscheinen). Ausgaben und Finanzierung von Universitäten im internationalen Vergleich. WIFO.
- Hözl, W., & Janger, J. (2014). Distance to the frontier and the perception of innovation barriers across European countries. *Research Policy*, 43(4), 707–725. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.10.001>
- Hufbauer, G. C., & Jung, E. (2021). *Scoring 50 years of US industrial policy, 1970–2020*. Peterson Institute for International Economics.
- Iszak, K., Carosella, G., Micheletti, G., Kroll, H., Wydra, S., & Van de Velde, E. (2021). *Advanced Technologies for Industry* [Report on technology trends and technology adoption]. European Commission.
- Kleimann, D., Poitiers, N., Sapir, A., Véron, N., Veugelers, R., & Zettelmeyer, J. (2023). *How Europe should answer the US Inflation Reduction Act* (Policy Contribution Nr. 4/23). Bruegel.

- Klien, M., Böheim, M., Firgo, M., Reinstaller, A., Reschenhofer, P., & Wolfmayr, Y. (2021). *Stärkung der Unabhängigkeit des Wirtschaftsstandortes Österreich bei kritischen Produkten*. WIFO. <http://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/67234>
- Kroll, H., Berghäuser, H., Blind, K., Neuhäusler, P., Scheifele, F., Thielmann, A., & Wydra, S. (2022). *Schlüsseltechnologien* (Im Auftrag der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) Nr. 7–2022; Studien zum deutschen Innovationssystem). ISI Fraunhofer.
- Levchenko, A. A., & Choi, J. (2021, November 9). *When industrial policy worked: The case of South Korea*. CEPR. <https://cepr.org/voxeu/columns/when-industrial-policy-worked-case-south-korea>
- March, C., & Schieferdecker, I. (2021). *Technological sovereignty as ability, not autarky*.
- Melitz, M. J. (2005). When and how should infant industries be protected? *Journal of International Economics*, 66(1), 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2004.07.001>
- Nelson, R. (1962). Introduction to "The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors". In *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors* (S. 1–16). Princeton University Press.
- Nunn, N., & Trefler, D. (2010). The Structure of Tariffs and Long-Term Growth. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2(4), 158–194. <https://doi.org/10.1257/mac.2.4.158>
- OECD. (2023). *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption*. OECD. <https://doi.org/10.1787/0b55736e-en>
- Polt, W., Peneder, M., & Prem, E. (2021). *Neue europäische Industrie-, Innovations- und Technologiepolitik (NIIT). Eine Diskussion zentraler Aspekte mit Blick auf Österreich*. WIFO. <http://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/67464>
- Reinstaller, A., & Friesenbichler, K. S. (2020). „Better Exports“ – Technologie-, Qualitätsaspekte und Innovation des österreichischen Außenhandels im Kontext der Digitalisierung. WIFO. <http://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/66391>

Rodríguez-Navarro, A., & Narin, F. (2018). European Paradox or Delusion—Are European Science and Economy Outdated? *Science and Public Policy*, 45(1), 14–23. <https://doi.org/10.1093/scipol/scx021>

Schwellnus, C., Haramboure, A., & Samek, L. (2023). *Policies to strengthen the resilience of global value chains: Empirical evidence from the COVID-19 shock*.

Schwellnus, C., Haramboure, A., Samek, L., Pechansky, R. C., & Cadestin, C. (2023). *Global value chain dependencies under the magnifying glass*.

Sullivan, J. (2023, April 27). Remarks by National Security Advisor Jake Sullivan on Renewing American Economic Leadership at the Brookings Institution. *The White House*. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2023/04/27/remarks-by-national-security-advisor-jake-sullivan-on-renewing-american-economic-leadership-at-the-brookings-institution/>

Westphal, L. E. (1982). Chapter 12—Fostering Technological Mastery by Means of Selective Infant-Industry Protection. In M. Syrquin & S. Teitel (Hrsg.), *Trade, Stability, Technology, and Equity in Latin America* (S. 255–279). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-680050-0.50019-2>

Wigell, M., Deschryvere, M., Fjäder, C., Helwig, N., Kaitila, V., Koski, H., Seilonen, J., & Suominen, A. (2022). *Europe Facing Geoeconomics: Assessing Finland's and the EU's Risks and Options in the Technological Rivalry*. Prime Minister's Office.

6. Anhang

6.1 Methodik Patentindikatoren

Die Patentdaten beruhen auf der PATSTAT-Datenbank und WIFO-Berechnungen. Es werden entweder der Durchschnitt der Patentanmeldungen beim EPA und nach PCT genommen, sowie triadische Patente. Die einzelnen Indikatoren in Kap. 2.1 berechnen sich wie folgt (Details bei Unterlass et al., 2013):

Anteil an allen Patenten nach Erfinder (I2, I9)

Der Indikator summiert die Patentanmeldungen je Erfinderland auf und stellt sie zur Gesamtzahl der Patentanmeldungen der Vergleichsregionen in Beziehung. Er kann für das gesamte Land oder für einzelne Branchen oder Technologieklassen berechnet werden. Außerdem wird der Anteil inländischer Erfinder an der Patentanmeldung berücksichtigt, d.h. ein Patent mit einem inländischen und einem ausländischen Erfinder wird zum Beispiel nur mit dem Faktor 1/2 gezählt. Die Formel für die Berechnung der Anzahl der EPO/PCT-Patente für Land j im Prioritätsjahr t lautet:

$$I_{2,t} = \sum_{i=1}^{n_{j,t}} \text{Erfinderanteil}_{j,i}$$

Erfinderanteil bildet den Anteil der Erfinder des Landes j an allen Erfindern des Patents i ab, wobei $i \rightarrow n$ die einer Schlüsseltechnologie zugeordneten Patentklassen bilden. Die Summe wird über alle Patente n im Prioritätsjahr t gebildet, entweder nach dem Durchschnitt von EPO/PCT-Anmeldungen (I2), oder nach triadischen Patenten (I9). Anschließend wird die Anzahl eines Landes in Relation zur Gesamtsumme gesetzt:

$$\text{Anteil}_{j,i} = (\sum_{i=1}^{n_{j,t}} \text{Erfinderanteil}_{j,i}) / (\sum_{i=1}^{n_t} \text{Patente}_{j,i})$$

Patentanmeldungen je Mio. der Bevölkerung

Analog wird zuerst die Patentzahl je Land, dann aber in Beziehung zur Bevölkerung des Landes gesetzt.

$$\text{Patente je Mio. Einwohner}_{j,t} = (\sum_{i=1}^{n_{j,t}} \text{Erfinderanteil}_{j,i}) / (\text{Bevölkerung in Millionen Einwohner}_{j,t})$$

RTA (offenbarter technologischer Vorteil, I4)

Der RTA ist ein Standardindikator der zur Charakterisierung des technologischen Spezialisierungsprofils eines Innovationssystems herangezogen wird. Er stellt die Bedeutung der Patentaktivitäten in einem Technologiefeld in Bezug zur gesamten erfinderischen Tätigkeit eines Landes und gibt damit Auskunft über den Grad der Spezialisierung eines Landes in einem bestimmten Technologiefeld.

Berechnung

Dieser Indikator ist definiert als der Anteil der Patente des Landes j in einem Technologiefeld d dividiert durch den Anteil der Patente des Landes in allen Patenten. Der Index ist 0, wenn das Land in dem jeweiligen Technologiefeld keine Patente aufweist, und 1, wenn der Anteil der Patente in dem Sektor in dem Land exakt gleich dem Anteil des Landes in allen Technologiefeldern ist. In diesem Fall weist das Land keine Spezialisierung auf. Werte über 1 geben eine Spezialisierung in diesem Technologiefeld an. Der Maximalwert hängt dabei von der Verteilung der Anteile in der gesamten Stichprobe ab. Außerdem ist zu beachten, dass Länder mit großer Anzahl an Patenten dazu neigen in diesem Indikator kaum Spezialisierung auszuweisen, d.h. die Werte der Branchen werden tendenziell nahe 1 liegen. Länder mit niedrigen Patentzahlen neigen dem gegenüber zu größeren Abweichungen von 1, wenn in dem Land die Anzahl der Patente auch nur leicht über dem Durchschnitt liegt. Der Indikator wird wie folgt berechnet:

$$I4 = \frac{P_{d,j} / \sum_d P_{d,j}}{\sum_j P_{d,j} / \sum_{d,j} P_{d,j}}$$

$P_{d,j}$ gibt die Anzahl der Patentanmeldungen des Landes j im Technologiefeld d an.

6.2 Methodik Handelsindikatoren

Die folgenden Indikatoren basieren auf der **BACI-Datenbank** (Gaulier & Zignago, 2010), die bilaterale Handelsströme für mehr als 200 Länder und mehr als 5000 Produkt(gruppen) auf 6-Steller Ebene der „Harmonized System“ Nomenklatur abbildet. BACI greift dafür auf Comtrade-Daten der Vereinten Nationen zurück, bereinigt diese aber zusätzlich, in dem die berichteten Informationen beider am Handel beteiligten Länder (Import- und Exportland) abgeglichen und auf Plausibilität geprüft werden.

Die **Relative Handelsbilanz** (RHB) stellt die Exporte (x) eines Berichtslandes (r) in Produktlinie (p) den Importen (m) zum Zeitpunkt (t) gegenüber. Die hier verwendete Form standardisiert die Differenz aus Exporten und Importen (in Geldwerten) durch deren Summe.

$$RHB_{r,p,t} = \frac{x_{r,p,t} - m_{r,p,t}}{x_{r,p,t} + m_{r,p,t}}$$

Die Relative Handelsbilanz liegt somit immer im Wertebereich $RHB \in [-1; 1]$. Eine positive Relative Handelsbilanz weist auf einen Exportüberschuss, eine negative auf einen Importüberschuss hin. Die Randwerte werden erreicht, wenn Land (r) eine Produktlinie (p) exportiert, aber nicht importiert (1) bzw. umgekehrt zwar importiert, aber nicht exportiert (-1). Eine ausgewogene Handelsbilanz (0) liegt vor, wenn Exporte und Importe genau übereinstimmen.

Der **Revealed Comparative Advantage (RCA)**, hier berechnet für die Exporte (x) eines Berichtslandes (r) in der Produktlinie (p), ist ein Index zur Identifikation von Spezialisierungsmustern und wird in der Ökonomie häufig beispielsweise zur Darstellung relativer Kostenvorteile verwendet. Der Index $RCA_{r,p,t}$ stellt dabei zum Zeitpunkt (t) das Verhältnis der Exporte eines Landes (r) der jeweiligen Produktlinie (p) zur Summe der Exporte aller Produkte demselben Verhältnis über alle Länder gegenüber.

$$RCA_{r,p,t} = \frac{x_{r,p,t} / \sum_p x_{r,p,t}}{\sum_r x_{r,p,t} / \sum_{r,p} x_{r,p,t}}$$

Der Index liegt somit immer im Wertebereich $RCA_{r,p,t} \in [0; \infty[$, wobei Werte über 1 auf eine Spezialisierung hindeuten - der „Comparative Advantage“ ist in diesem Fall „revealed“. In diesem Wertebereich exportiert Land (r) (im Vergleich zu seinen Gesamtexporten) überdurchschnittlich viel in Produktlinie (p).

Der **Importanteil (IA)** eines Partnerlandes (c) gibt an, wie groß der Anteil dieses Handelspartners an den Importen (m) in einer Produktlinie (p) des Berichtslandes (r) zum jeweiligen Zeitpunkt (t) ist.

$$IA_{r,c,p,t} = m_{r,c,p,t} / \sum_c m_{r,c,p,t}$$

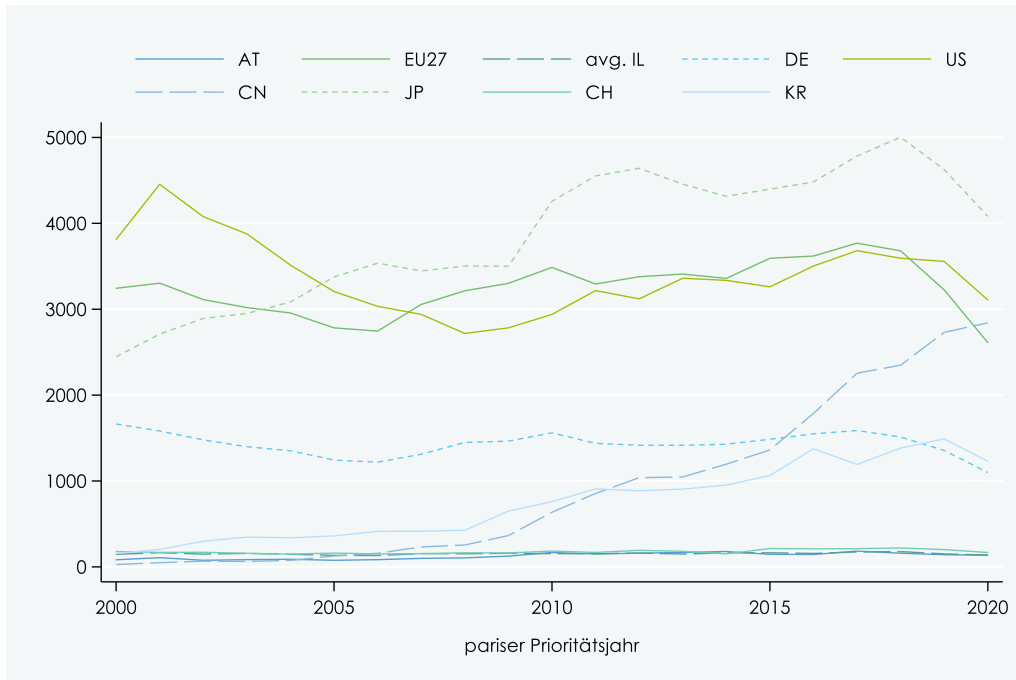
Die Berechnung der **Qualitätssegmente (QS)** setzt Reinstaller und Friesenbichler (2020) folgend auf der Ebene einzelner Produktlinien (HS-6-Steller) an. In einem ersten Schritt werden für jeden bilateralen Exportstrom zwischen zwei Ländern ($UV_{rc,p,t}$) und (c) einer Produktlinie (p) die Einheitswerte $x_{rc,p,t}^z$ zum Zeitpunkt (t) berechnet, indem der Exportwert durch die entsprechende Exportmenge dividiert wird. Werden nun die Einheitswerte aller Länder, $r=z \in \{h, m, n\}, R$, die in Produktlinie (p) in Zielland (c) exportieren berechnet, so ist es möglich, eine Rangordnung aufzustellen, und den Zielmarkt (c) in mehrere Preissegmente aufzuteilen. Bezeichnet man nun das Preissegment in das die höchsten 25% der Einheitswerte fallen als Hochpreissegment (h), jenes in das die niedrigsten 25% der Einheitswerte fallen als Niedrigpreissegment (n) und das mittlere Preissegment, in das 50% der Beobachtungen fallen mit (m), so wird durch diese Berechnung jeder bilaterale Exportstrom einer Produktlinie (p) einem dieser Segmente zugewiesen. Der Exportstrom kann somit mit $QS_{r,t}^h$ bezeichnet werden. Wird nun über alle bilateralen Beziehungen aggregiert, so lässt sich z. B. der Anteil der Exporte des Landes (r) in der Produktlinie (p) als Qualitätssegment $QS_{r,t}^h$

$$QS_{r,p,t}^h = \frac{x_{r,p,t}^h}{(x_{r,p,t}^h + x_{r,p,t}^m + x_{r,p,t}^n)},$$

berechnen. Dabei entsprechen $x_{r,p,t}^h$, $x_{r,p,t}^m$, $x_{r,p,t}^n$ den aggregierten Werten der bilateralen Exportströme in den drei Preissegmenten und $QS_{r,p,t}^h$ dem Marktanteil des Landes (r) im Hochpreissegment der Produktlinie (p).

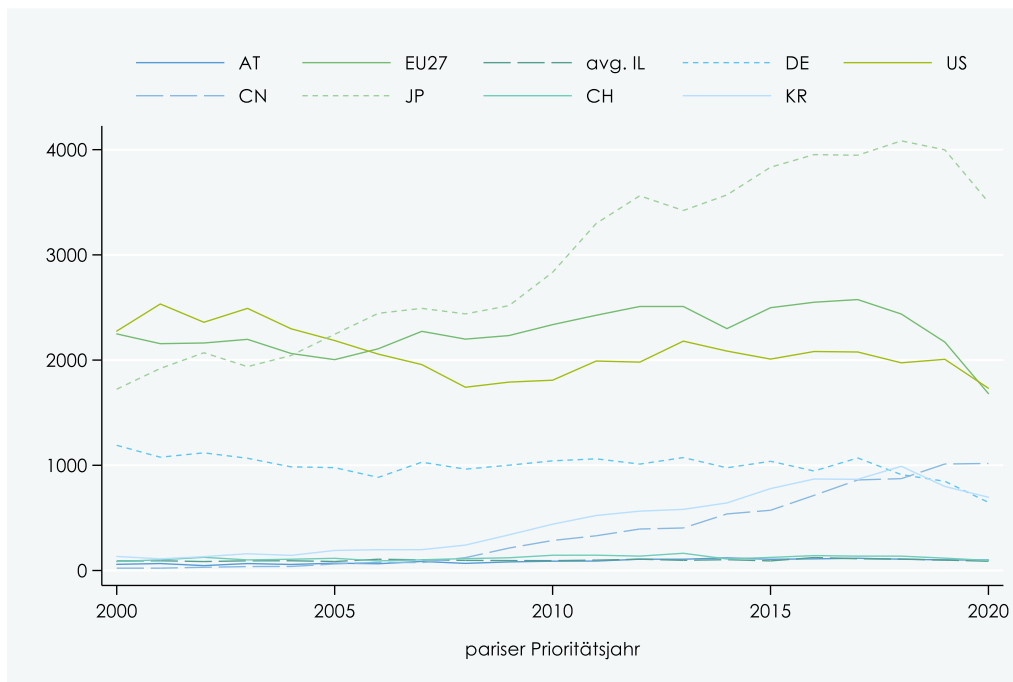
6.3 Zusätzliche Indikatoren

Abbildung 16: Anzahl der Patentanmeldungen (EPO/PCT) in fortschrittlichen Produktionstechnologien, 2000-2020



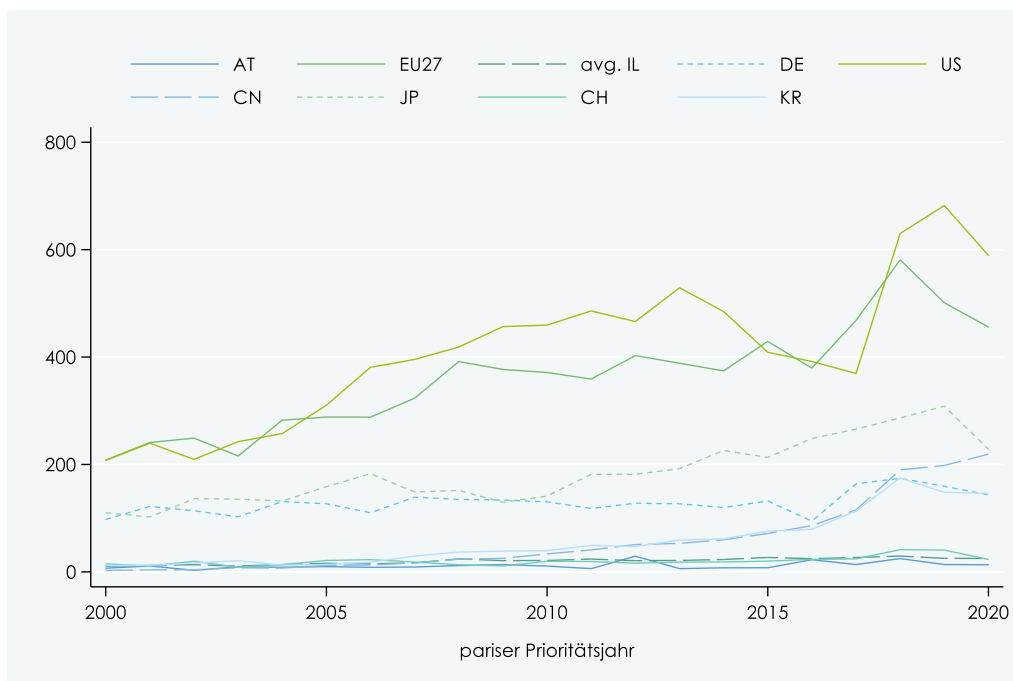
Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, WIFO-Berechnungen.

Abbildung 17: Anzahl der Patentanmeldungen (EPO/PCT) in Materialtechnologien, 2000-2020



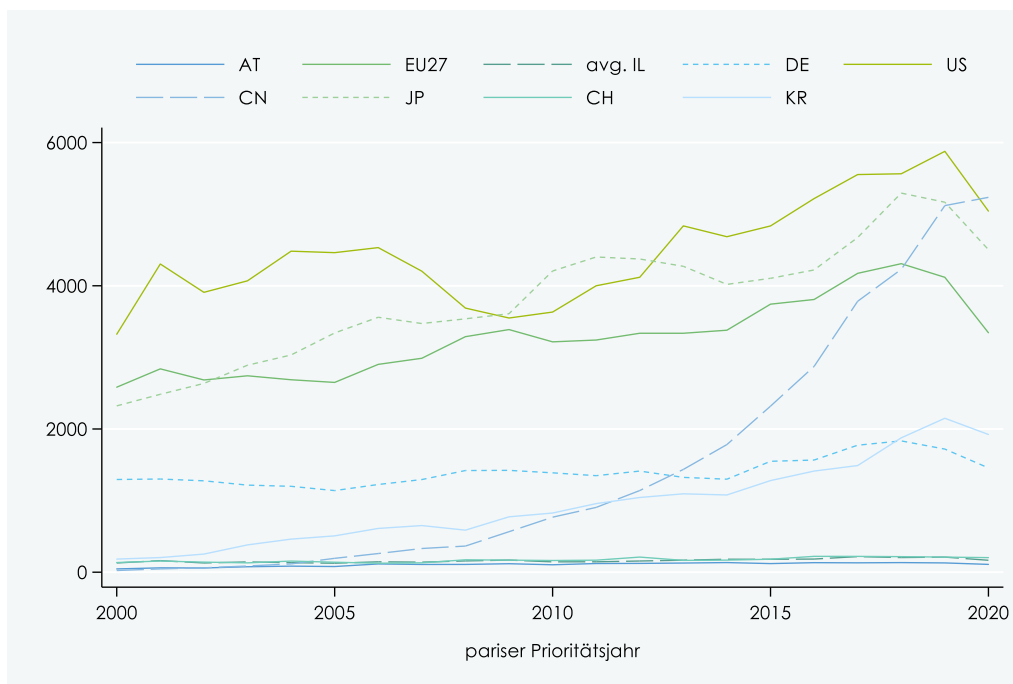
Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, WIFO-Berechnungen.

Abbildung 18: Anzahl der Patentanmeldungen (EPO/PCT) in industrieller Biotechnologie, 2000-2020



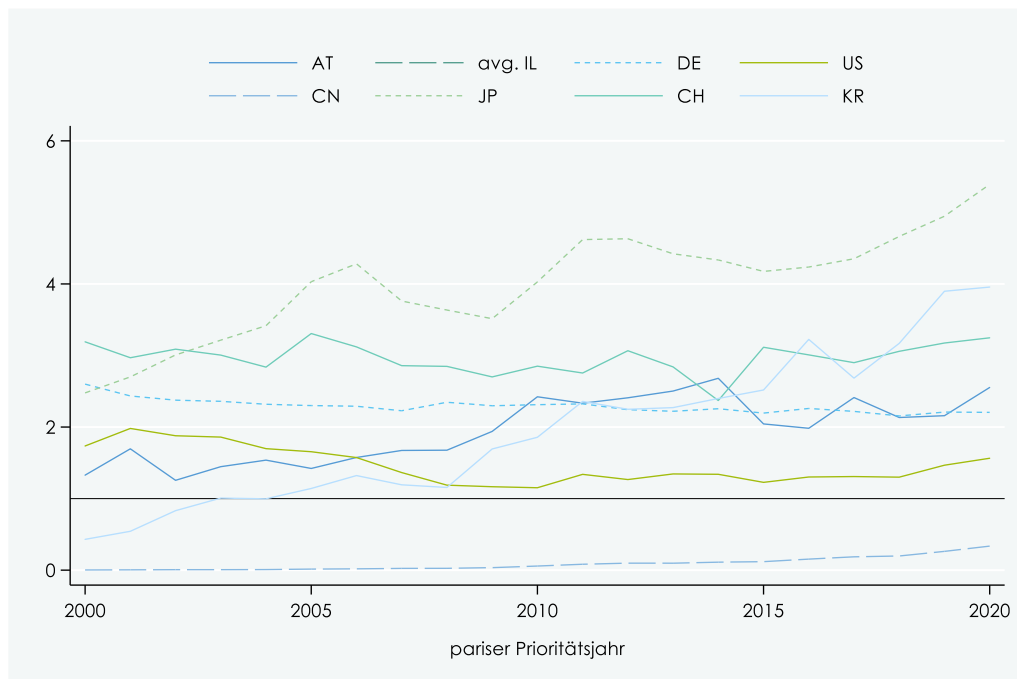
Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, WIFO-Berechnungen.

Abbildung 19: Anzahl der Patentanmeldungen (EPO/PCT) in digitalen Technologien, 2000-2020



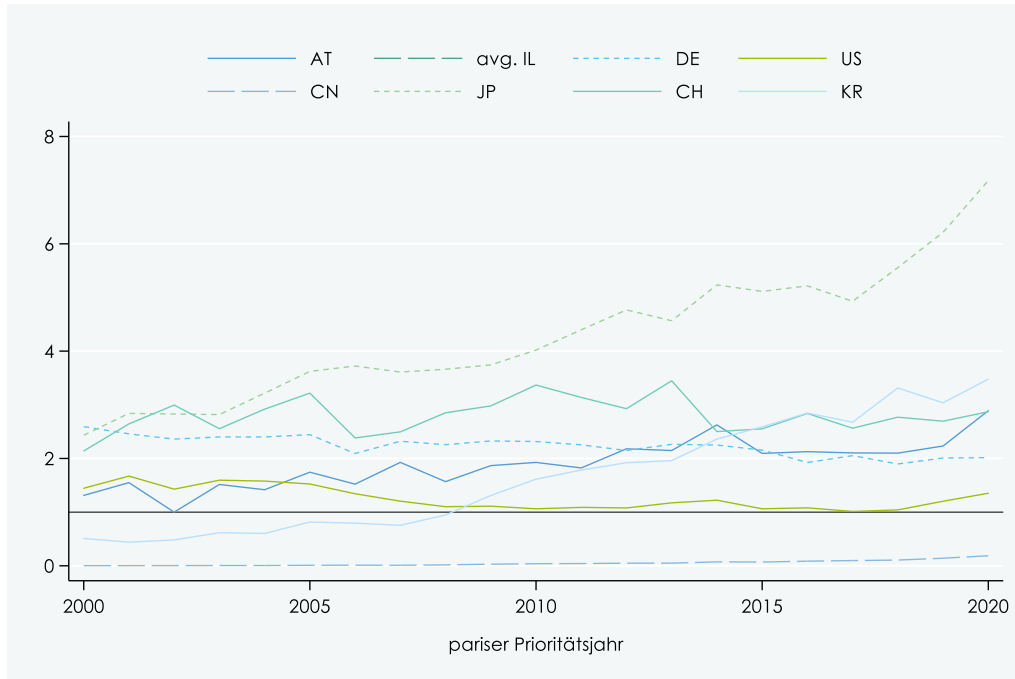
Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, WIFO-Berechnungen.

Abbildung 20: Patentanmeldungen (EPO/PCT) in Produktionstechnologien je Mio. der Bevölkerung und relativ zu EU27=1, 2000-2020



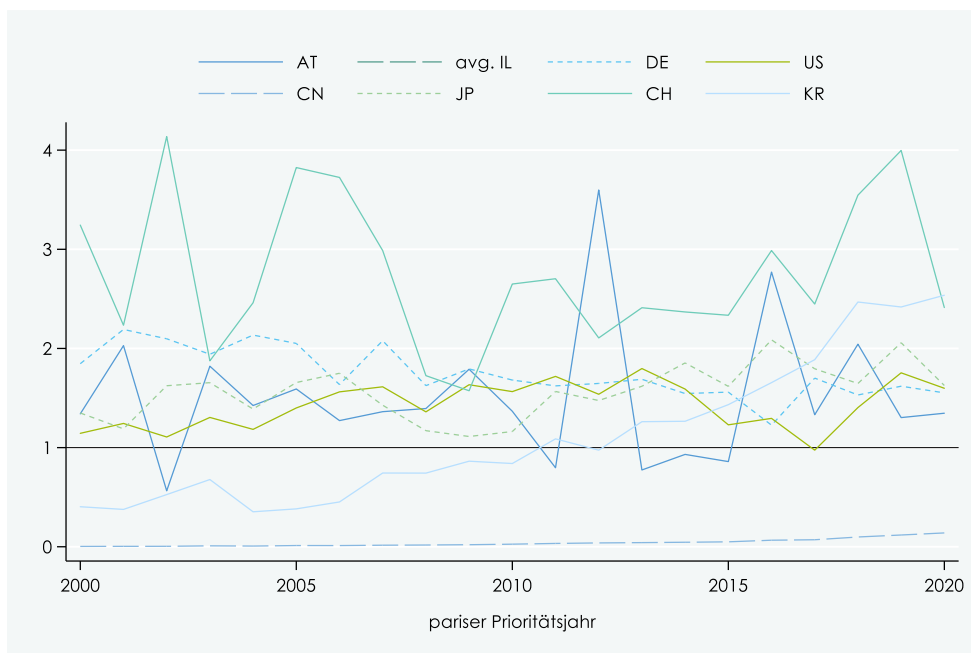
Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, Weltbank, WIFO—Berechnungen.

Abbildung 21: Patentanmeldungen (EPO/PCT) in Materialtechnologien je Mio. der Bevölkerung und relativ zu EU27=1, 2000-2020



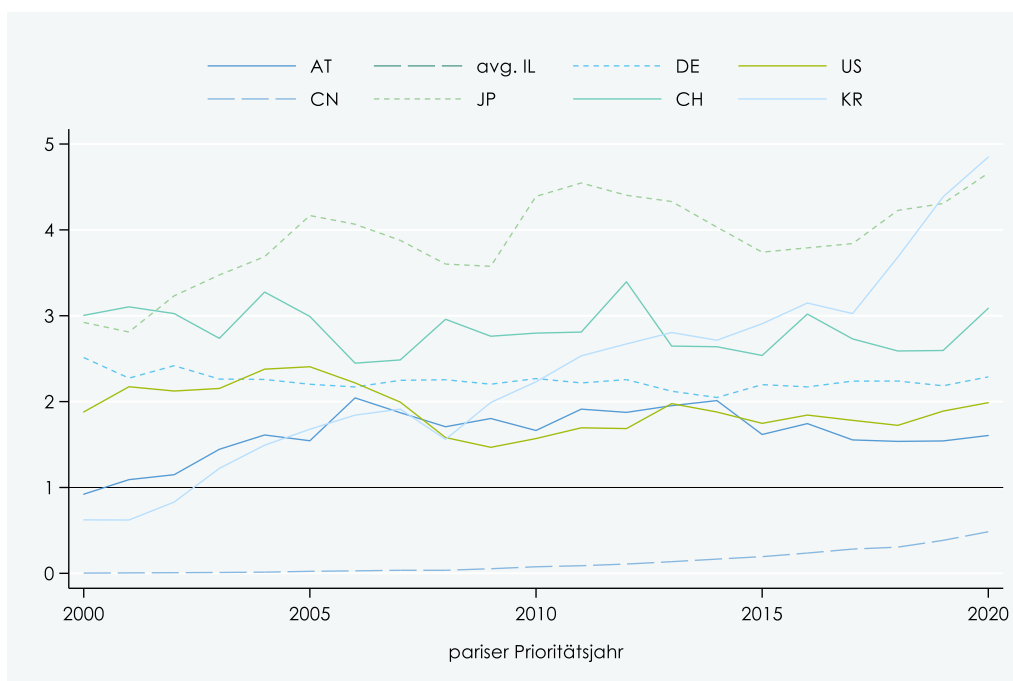
Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, Weltbank, WIFO—Berechnungen.

Abbildung 22: Patentanmeldungen (EPO/PCT) in industrieller Biotechnologie je Mio. der Bevölkerung und relativ zu EU27=1, 2000-2020



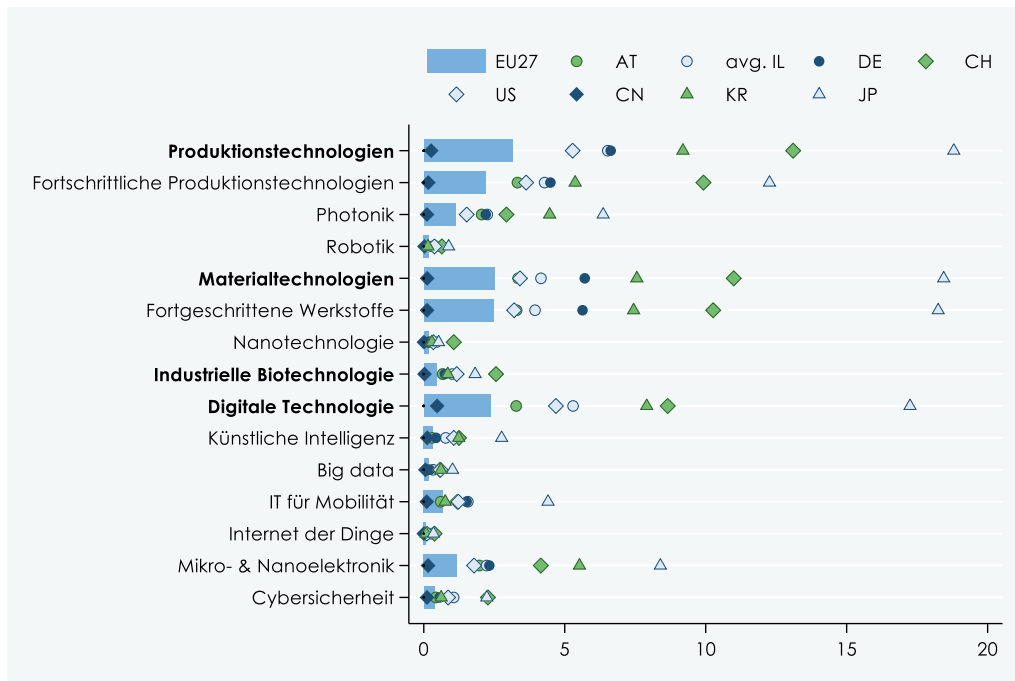
Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, Weltbank, WIFO—Berechnungen.

Abbildung 23: Patentanmeldungen (EPO/PCT) in digitalen Technologien je Mio. der Bevölkerung und relativ zu EU27=1, 2000-2020



Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, Weltbank, WIFO—Berechnungen.

Abbildung 24: Triadische Patentanmeldungen je Mio. der Bevölkerung, 2020



Q: PATSTAT Global - 2022 Herbst, Weltbank, WIFO—Berechnungen.