

Zur Bedeutung der Digitalisierung für die Entwicklung der Arbeitsproduktivität

Die Entwicklung der Arbeitsproduktivität ist bestimmend für Wirtschaftswachstum und Wohlstand. Seit Längerem fallen die Produktivitätszuwächse in vielen Industrieländern nur noch gering aus, trotz der raschen Verbreitung digitaler Technologien. Diesen wird gemeinhin das Potenzial bescheinigt, die Arbeitsproduktivität nachhaltig zu steigern. Es stellt sich daher die Frage, inwieweit die Digitalisierung tatsächlich zu Produktivitätsfortschritten führt.

Der digitale Wandel kann über verschiedene Kanäle auf die Arbeitsproduktivität einwirken. Ein häufig untersuchter Wirkungskanal stellt die Investitionen in Digitalgüter in den Mittelpunkt. Ein anderer, weniger beachteter Übertragungsweg sind digitale Vorleistungen, die über Produktionsverflechtungen in zahlreiche Güter einfließen. Hier wird anhand eines Mehr-Sektoren-Modells gezeigt, dass dieser Kanal eine wichtige Rolle spielt und dass bei Vernachlässigung digitaler Vorleistungen der Beitrag der Digitalisierung zur Entwicklung der Arbeitsproduktivität erheblich unterschätzt wird. Zudem zeigt die Analyse, dass Effizienzfortschritte in den Digitalsektoren – gemessen an der Entwicklung der totalen Faktorproduktivität – von zentraler Bedeutung sind. Ohne diese wäre das Wachstum der Arbeitsproduktivität in einigen großen Ländern des Euroraums deutlich niedriger ausgefallen. Teilweise hätte die Produktivität sogar stagniert.

Gleichwohl ist festzuhalten, dass die auf den digitalen Wandel zurückzuführenden Effizienzgewinne im Zeitverlauf tendenziell abgenommen haben. Ob es angesichts des deutlichen Anstiegs in der Anwendung und Verbreitung digitaler Technologien während der Coronavirus-Pandemie diesbezüglich zu einem Wendepunkt kommt, lässt sich derzeit noch nicht abschätzen. Befragungen von Unternehmen kommen aber zu einer durchaus optimistischen Einschätzung.

Frage nach gesamtwirtschaftlicher Bedeutung der Digitalisierung ...

... vor dem Hintergrund eines nachlassenden Produktivitätswachstums in den Industrieländern

Motivation

Ähnlich wie die Elektrifizierung zu Beginn des 20. Jahrhunderts gilt die Digitalisierung als Triebkraft eines fundamentalen wirtschaftlichen Strukturwandels. Digitale Transformationsprozesse wie die zunehmende Automatisierung von Produktionsabläufen, der verstärkte Einsatz von Robotern oder die steigende Nutzung digitaler Plattformen können auf Unternehmens- und Branchenebene erhebliche Veränderungen auslösen. Welche gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen die Digitalisierung tatsächlich hat, wird jedoch nach wie vor intensiv untersucht (siehe hierzu auch die Ausführungen auf S. 50 f.). Eine zentrale Fragestellung ist die Bedeutung des digitalen Wandels für die Entwicklung der Arbeitsproduktivität.¹⁾

Angesichts der zunehmenden Verbreitung digitaler Technologien mag es verwundern, dass seit längerem in vielen Industrieländern – auch in den großen Volkswirtschaften des Euro-raums – das Produktivitätswachstum nachlässt. Einerseits gibt es eine Reihe struktureller Faktoren, wie etwa den demografischen Wandel oder institutionelle und regulatorische Hemmnisse, die möglichen Effizienzgewinnen des digitalen Wandels entgegenwirken können.²⁾ Zudem bestehen Hinweise auf Messprobleme, die potenziell zu einer Unterschätzung der Produk-

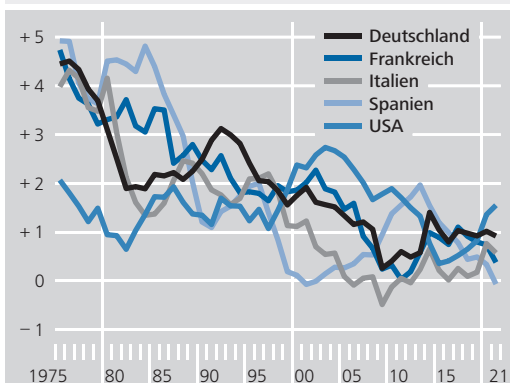
tivitätsgewinne durch Digitalisierung führen.³⁾ Andererseits gibt es auch eine Gruppe von „Technologiepessimisten“, die digitale Technologien grundsätzlich als weniger transformativ ansehen als gemeinhin unterstellt. Ihnen zufolge böte die Digitalisierung nicht das Potenzial für große Produktivitätssprünge wie frühere Innovationswellen, die zum Beispiel durch die Entwicklung der Dampfmaschine oder die Elektrifizierung ausgelöst wurden.⁴⁾ Auch gebe es Anzeichen dafür, dass die Entwicklung digitaler Innovationen zunehmend kostspieliger würde und diese somit immer schwerer hervorzubringen seien.⁵⁾ Zudem sei zu berücksichtigen, dass Innovationen ihre produktivitätssteigernde Wirkung erst erzielen, wenn sie in der Praxis eingesetzt würden. Kämen neue Technologien – wie beispielsweise künstliche Intelligenz oder Quantencomputer – nicht in der Breite zur Anwendung, könne sich ihr Produktivitätspotenzial nur bedingt entfalten.⁶⁾ In der Tat gibt es Hinweise auf eine zunehmende Produktivitätsdivergenz zwischen hoch- und weniger produktiven Unternehmen. Diese wird auch als Zeichen einer sich abschwächenden Technologiediffusion gedeutet.⁷⁾

Dieser Aufsatz untersucht die Bedeutung der Produktion und Verwendung von Digitalgütern für die Entwicklung der Arbeitsproduktivität in den vier größten Euro-Ländern und stellt sie derjenigen in den Vereinigten Staaten gegenüber. Dabei kommen strukturelle makroökonomische Modelle zum Einsatz, welche wesentliche Transmissionskanäle abbilden. Insbesondere werden Produktionsnetzwerke modelliert, denn Auswirkungen der Digitalisierung auf die

Bedeutung der Digitalisierung für das Arbeitsproduktivitätswachstum in den vier größten Euro-Ländern im Fokus

Wachstum der Stundenproduktivität in ausgewählten Industrieländern seit 1975

in %, gleitender Fünfjahresdurchschnitt der jährlichen Wachstumsraten



Quelle: OECD und eigene Berechnungen.
 Deutsche Bundesbank

1 Die Arbeitsproduktivität ist definiert als das Verhältnis von Produktion zu Arbeitseinsatz. Trendverläufe der Arbeitsproduktivität geben Hinweise auf Wachstumspotenziale von Volkswirtschaften. Aufgrund ihrer engen Verbindung zum Pro-Kopf-Einkommen wird die Arbeitsproduktivität häufig auch als Wohlstandsmaß interpretiert. Vgl. hierzu: Deutsche Bundesbank (2021a).

2 Vgl.: Deutsche Bundesbank (2021a).

3 Vgl. u. a.: Byrne et al. (2017a, 2017b).

4 Vgl. u. a.: Gordon (2016).

5 Vgl.: Brynjolfsson et al. (2019) sowie Bloom et al. (2020).

6 Vgl.: Brynjolfsson et al. (2019) sowie OECD (2020a).

7 Vgl. u. a.: Berlingieri et al. (2020) sowie Deutsche Bundesbank (2021a).

Produktivität können sich auch aus Vorleistungsverflechtungen ergeben. Davor steht aber das Problem der angemessenen Erfassung der Digitalisierung.

Messung und Entwicklung der Digitalisierung

Kein eindeutiges Maß für den Digitalisierungsgrad

Die Abschätzung der gesamtwirtschaftlichen Effekte der Digitalisierung setzt eine Abgrenzung des Prozesses voraus. Eine eindeutige Definition des digitalen Wandels gibt es jedoch nicht. Enge Auslegungen grenzen Digitalisierung als das Erfassen, Speichern und Verarbeiten von Informationen ab.⁸⁾ Breitere Definitionen begreifen Digitalisierung als Spektrum innovativer Anwendungen der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) in Geschäftsmodellen und Produkten.⁹⁾ Um den Grad der Digitalisierung einer Volkswirtschaft zu messen, werden daher verschiedene Indikatoren genutzt. Neben Befunden zur Verbreitung und Anwendung digitaler Technologien bei Haushalten, Unternehmen und im öffentlichen Sektor zählen hierzu etwa die Investitionsausgaben für Digitalgüter sowie die Produktionsleistungen und Effizienzsteigerungen in denjenigen Sektoren, die überwiegend digitale Waren und Dienstleistungen bereitstellen. Diese Indikatoren ergeben nicht zwingend ein einheitliches Bild. Ihre Betrachtung liefert aber erste Anhaltspunkte für die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Digitalisierung. Zudem zeigt die Einordnung der Kennzahlen zentrale Aspekte auf, die bei der Interpretation modellgestützter Analysen zu beachten sind. Dies betrifft etwa Messprobleme, welche die Aussagekraft von Querschnittsvergleichen über Länder mindern können.

Indikatoren zur Verbreitung und Anwendung digitaler Technologien

Die Europäische Kommission erfasst die Verbreitung und Anwendung digitaler Technologien in den EU-Mitgliedstaaten anhand des Digital Eco-

nomy and Society Index (DESI).¹⁰⁾ Dieser größtenteils auf Umfragedaten basierende Indikator besteht aus vier gleichgewichteten Komponenten, welche die Verbreitung der Digitalisierung mit Bezug auf die Infrastruktur („Konnektivität“), den Unternehmenssektor („Integration der Digitaltechnik“), die öffentliche Verwaltung („Digitale öffentliche Dienste“) sowie die IT-Kompetenz der Bevölkerung, („Humankapital“) bewerten.¹¹⁾ Infolge konzeptioneller Überarbeitungen liegt die aktuelle Version des DESI lediglich für die Jahre 2017 bis 2022 vor.¹²⁾

Gemessen am DESI wurden in der EU digitale Technologien in den letzten Jahren zunehmend genutzt. Dies ist insbesondere bei den digitalen öffentlichen Dienstleistungen sowie der Konnektivität ersichtlich. Im Länderquerschnitt ist das Bild aber uneinheitlich. So zeigt sich eine deutliche Diskrepanz zwischen Spitzenreitern wie Finnland, Dänemark sowie den Niederlanden und Ländern mit den niedrigsten Indikatorwerten wie Griechenland, Bulgarien und Rumänien.¹³⁾ Zwar gab es auch bei den Nachzüglern in den letzten Jahren merkbliche Fortschritte, der Abstand zu den am besten bewerteten EU-Ländern vergrößerte sich aber.¹⁴⁾

Indikatoren zu Anwendung und Verbreitung digitaler Technologien ...

... zeigen Zunahme für die EU insgesamt ...

⁸ Vgl. u. a.: Byrne (2022).

⁹ Vgl. u. a.: Internationaler Währungsfonds (2018).

¹⁰ Entwickelt wurde der Indikator vor dem Hintergrund der Strategie für den digitalen Binnenmarkt. Vgl.: Europäische Kommission (2015).

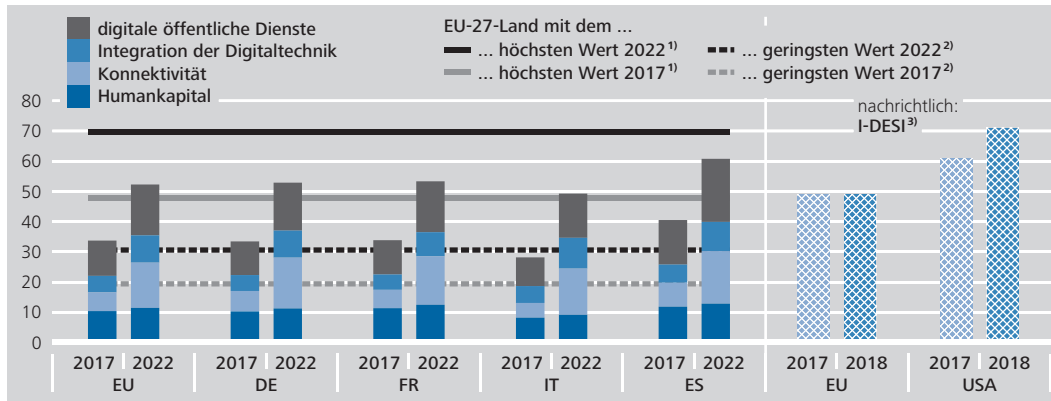
¹¹ Die Komponente „Konnektivität“ erfasst die Abdeckung fester und mobiler Breitbandanschlüsse in einem EU-Mitgliedstaat sowie die entsprechenden Preise. Die Nutzung digitaler Lösungen im Unternehmenssektor – wie z. B. sozialer Medien, elektronischer Kommunikation und Rechnungslegung, künstlicher Intelligenz sowie von Clouddiensten und Big-Data-Analysen – ist Bestandteil der Komponente „Integration der Digitaltechnik“. In der Komponente „Digitale öffentliche Dienste“ wird erfasst, inwieweit die Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltungen digital erbracht werden. In die Komponente „Humankapital“ gehen die Zahl der Hochschulabsolventen im Bereich IKT sowie IKT-Qualifizierungsmaßnahmen ein. Eine ausführliche Beschreibung des DESI findet sich in: Europäische Kommission (2022a).

¹² Der Indikator greift zum Großteil auf Daten des jeweils vorangegangenen Jahres zurück. Hauptbezugszeitraum des DESI 2022 ist somit das Jahr 2021.

¹³ Vgl. hierzu auch: Europäische Kommission (2022b).

¹⁴ Verglichen mit dem DESI 2017 fiel die Differenz zwischen dem Mittel der jeweils drei EU-Länder mit den niedrigsten und den höchsten Indikatorwerten gemäß DESI 2022 um etwa 30 % höher aus.

Index für Digitale Wirtschaft und Gesellschaft (DESI)¹⁾



Quelle: Europäische Kommission und eigene Berechnungen. * Berechnet als gleichgewichteter Durchschnitt der Komponenten Humankapital, Konnektivität, Integration der Digitaltechnik und digitale öffentliche Dienste. Der Maximalwert liegt bei 100. Der Minimalwert liegt bei 0. **1** Finnland. **2** Rumänien. **3** Internationaler Digitalisierungsindex (I-DESI).

Deutsche Bundesbank

... und die vier größten Euro-Länder

Die vier größten Euro-Länder bewegen sich um den EU-Durchschnitt, wobei Spanien zuletzt am besten und Italien am schlechtesten abschnitt. In allen vier Ländern gab es im Zeitverlauf teilweise erhebliche Fortschritte.¹⁵⁾ Insbesondere in den durch die Corona-Pandemie geprägten Jahren zeigten sich deutliche Verbesserungen. Auffallend war dabei vor allem die verstärkte Nutzung von mobilem Internet und ein Anstieg bei der Integration digitaler Technologien durch kleine und mittlere Unternehmen.

Verbreitung digitaler Technologien in den Vereinigten Staaten im Vergleich zur EU stärker vorangeschritten

Der ebenfalls von der Europäischen Kommission veröffentlichte internationale Digitalisierungsindex (I-DESI) erlaubt es, den Digitalisierungsfortschritt in der EU international einzuordnen.¹⁶⁾ Die zuletzt veröffentlichten Ergebnisse zeigen einen deutlichen Vorsprung der Vereinigten Staaten vor der EU. Auch gibt es Hinweise auf eine dynamischere Entwicklung in den Vereinigten Staaten im Vergleich zur EU.

Investitionsausgaben für Digitalgüter

Auch Investitionen in IKT-Kapital können Anhaltspunkte für den Grad der Digitalisierung liefern

Ein anderer Ansatz zur Erfassung der Digitalisierung blickt auf die Investitionsausgaben im Bereich IKT, wie sie in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) erfasst werden.¹⁷⁾ IKT-Investitionen gelten als ein zentraler Trans-

missionskanal, durch den die Digitalisierung ihre produktivitätssteigernde Wirkung entfaltet. Dies erfolgt zum einen über eine vermehrte Ausstattung der Arbeitsplätze mit IKT-Kapital.¹⁸⁾ Zum anderen kann sich die Qualität des Kapitalstocks verbessern. In diesem Zusammenhang betont eine Reihe von Studien die Bedeutung des kapitalgebundenen technologischen Fortschritts, der erst durch Investitionen freigesetzt wird.¹⁹⁾

In der EU stiegen die Ausgaben für IKT-Investitionen im Verhältnis zu den gesamten Bruttoanlageinvestitionen zwischen 1999 und 2020 spürbar an. Dahinter verbergen sich jedoch divergierende Entwicklungen. Der Anteil der In-

Spürbarer Anstieg der IKT-Investitionen in der EU

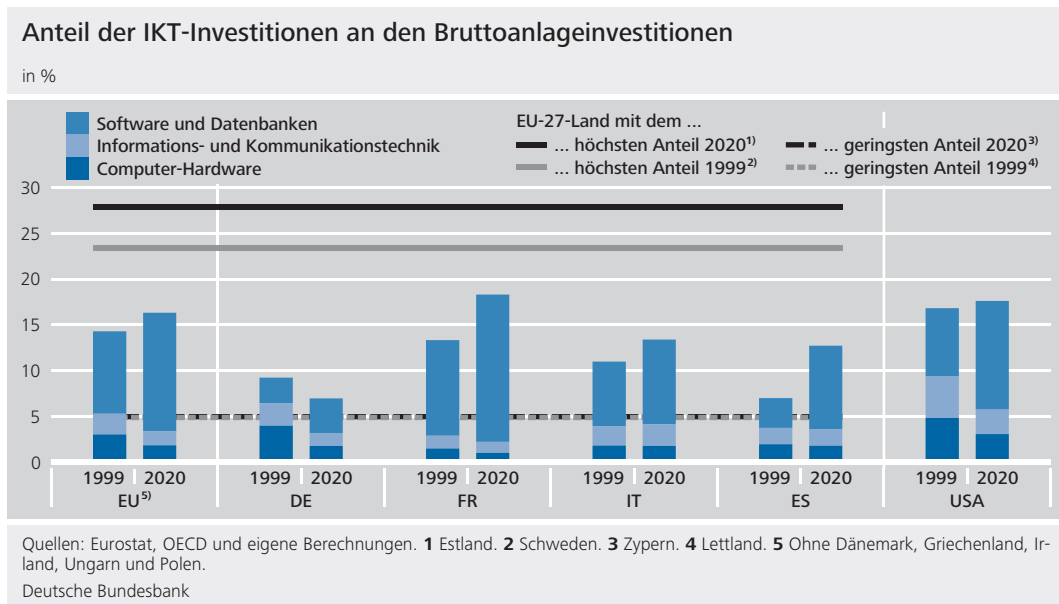
¹⁵ So legte der Indikator während dieses Zeitraums in Spanien um rund 50 %, in Deutschland und Frankreich um annähernd 60 % und in Italien sogar um etwa 75 % zu.

¹⁶ Der I-DESI, der aufgrund methodischer Unterschiede nur eingeschränkt mit dem DESI vergleichbar ist, deckt u. a. die EU27-Mitgliedstaaten, die EU als Ganzes sowie die Vereinigten Staaten ab. Vgl. hierzu auch: Foley et al. (2020). Der I-DESI enthält zusätzlich die Komponente „Internetnutzung durch die Bevölkerung“, die auch den Gebrauch von sozialen Medien, Onlinebanking oder Videotelefonie erfasst. Zudem unterscheidet sich die Gewichtung der Hauptkomponenten in den beiden Indikatoren. Der I-DESI wurde letztmalig 2020 veröffentlicht und bezieht sich auf Daten bis 2018. Vgl. zur Methodik des DESI und des I-DESI: Europäische Kommission (2020a, 2020b, 2022a).

¹⁷ IKT-Investitionen umfassen hier die Komponenten Telekommunikationsausrüstungen, Computer-Hardware sowie Software und Datenbanken.

¹⁸ Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2002).

¹⁹ Vgl. u. a.: Solow (1960), Greenwood et al. (1997), Hercowitz (1998), Cooper et al. (1999) sowie Greenwood und Jovanovic (2001).



vestitionen in Software und Datenbanken nahm deutlich zu, während sich die Investitionen in Telekommunikationsausrüstungen sowie Computer-Hardware im Verhältnis zu den Gesamtinvestitionen merklich verringerten. Auf Länderebene ergibt sich ein durchaus heterogenes Bild. Während etwa zwischen 1999 und 2020 der Anteil von IKT-Investitionen an den Bruttoanlageinvestitionen in Frankreich, Italien und insbesondere Spanien teils deutlich zunahm, sank er in Deutschland merklich. Auch unterscheidet sich die relative Bedeutung der einzelnen IKT-Anlagegütergruppen zwischen den vier größten Euro-Ländern. Investitionen in Software und Datenbanken machen in Frankreich, Italien und Spanien einen deutlich größeren Teil der Bruttoanlageinvestitionen aus als in Deutschland.²⁰⁾

Hohe Bedeutung der Investitionen in Software und Datenbanken in EU und Vereinigten Staaten

Auch in den Vereinigten Staaten entfällt der größte Teil der IKT-Investitionen auf Software und Datenbanken. Ähnlich zur Entwicklung in der EU stieg ihr Anteil an den Bruttoanlageinvestitionen zwischen 1999 und 2020 deutlich, während die Anteile von Telekommunikationsausrüstungen sowie Computer und Hardware sanken. Der Anteil der IKT-Investitionen insgesamt nahm im Untersuchungszeitraum leicht zu.

Bei Betrachtung der Anteile der IKT-Investitionen ist zu beachten, dass hinter der Ausgabenentwicklung spezifische Preistrends stehen. Diese unterscheiden sich über Anlagegütergruppen hinweg mitunter erheblich. Den offiziellen Angaben zufolge halbierte sich der Preis von IKT-Gütern in den Vereinigten Staaten zwischen 1999 und 2020 qualitätsbereinigt, während der Deflator der gesamten Bruttoanlageinvestitionen um annähernd ein Drittel anstieg. Daraus folgt, dass in realer Rechnung die IKT-Investitionen jährlich etwa 7 % zulegten. Demgegenüber wuchsen die preisbereinigten Bruttoanlageinvestitionen insgesamt im Mittel um annähernd 2 % pro Jahr. Qualitativ vergleichbare Entwicklungen zeigen sich auch für die EU. Dort stiegen die realen IKT-Investitionen durchschnittlich um 4 % pro Jahr, gegenüber einer mittleren Zuwachsrate von 1 % bei den preisbereinigten Bruttoanlageinvestitionen insgesamt.

Nominale Betrachtungen nur eingeschränkt aussagekräftig

Bei diesen Gegenüberstellungen ist weiterhin anzumerken, dass die VGR-Größen mit einer Reihe von Messproblemen behaftet sind, welche Ländervergleiche erschweren. Digitale Güter werden teilweise unterschiedlich klassifi-

Messprobleme erschweren Ländervergleiche

²⁰ Der sich aus den offiziellen Statistiken ergebende niedrige Anteil der Investitionen in Software und Datenbanken in Deutschland fällt auf. Nicht klar ist, weshalb er so gering ist.

Online- und Offlinepreise in Deutschland: ein Vergleich

Der Handel über Onlineshops und digitale Marktplätze gewinnt im Zuge der Digitalisierung zunehmend an Bedeutung. Dies wirkt sich möglicherweise auf das Preissetzungsverhalten aus. Alltägliche Erfahrungen und wissenschaftliche Studien zeigen, dass die Preise vieler Güter nur gelegentlich angepasst werden.¹⁾ Wenn sie aber angepasst werden, sind die prozentualen Änderungen im Vergleich zur durchschnittlichen Inflationsrate typischerweise groß.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welchen Einfluss die zunehmende Digitalisierung auf die Preissetzung hat. Denkbar wäre, dass Onlinepreise wegen geringerer Änderungskosten und größerer Transparenz häufiger, dann aber weniger stark angepasst werden.²⁾

Die vorliegende Analyse baut auf Einzeldaten auf, die für die Berechnung des deut-

schen Verbraucherpreisindex (VPI) erhoben werden und seit Kurzem für Forschungszwecke zur Verfügung stehen.³⁾ Der Datensatz umfasst rund 14,5 Millionen Preisbeobachtungen für die Jahre 2015 bis 2019. Es werden acht Geschäftstypen unterschieden, darunter auch der Internethandel.⁴⁾ Online- und Offlinemärkte gibt es für etwa 290 Produktgruppen, darunter zum Beispiel Damen-Sportschuhe. Auf diese Produktgruppen

1 Siehe bspw.: Dhyne et al. (2006) sowie Gautier et al. (2022).

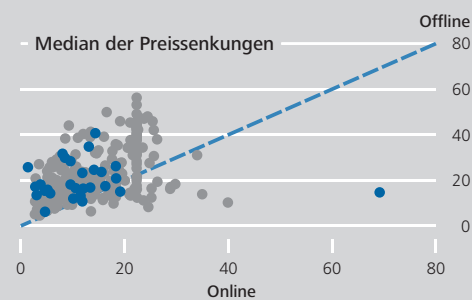
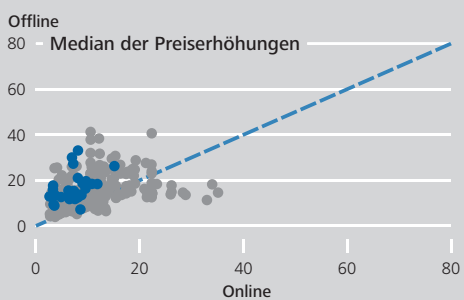
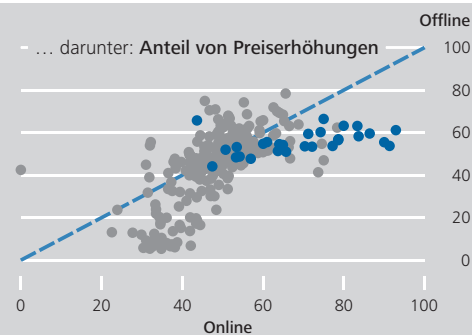
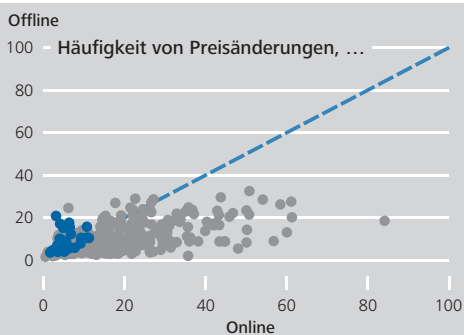
2 Für eine Übersicht über Studien zu Unterschieden in der Preissetzung zwischen Offline- und Onlinemärkten siehe bspw.: Europäische Zentralbank (2021). Cavallo (2017) findet bei Multi-Channel-Händlern keine großen Unterschiede im Preissetzungsverhalten nach Markttyp, während Gorodnichenko et al. (2018) berichten, dass Onlinehändler Preise häufiger ändern.

3 Diese Ausführungen basieren auf Bundesbank-Arbeiten im Rahmen des ESZB-Forschungsnetzwerks „Price-setting Microdata Analysis Network“ (PRISMA). Siehe u. a.: Strasser et al. (2023).

4 Siehe: Sandhop (2012).

Häufigkeit und Größe von Preisänderungen im deutschen VPI¹⁾

in % ● Industriegüter (nicht-energetisch) ● verarbeitete Nahrungsmittel



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis deutscher VPI-Mikrodaten. * Durchschnittswerte der monatlichen Erhebungen für den Zeitraum 2015 bis 2019 für 288 Produktarten (COICOP-Zehnsteller-Ebene des VPI). Punkte über (unter) der 45-Grad-Linie geben einen größeren (niedrigeren) Wert für ein bestimmtes Offline-Produkt gegenüber seinem Online-Pendant an.

Deutsche Bundesbank

entfallen etwa 16% des Warenkorbs des deutschen VPI, vor allem Industriewaren, aber auch einige verarbeitete Lebensmittel wie Tiefkühlkost und alkoholische Getränke.⁵⁾ Die Preisänderungen werden auf Ebene von Einzelprodukten in individuellen Berichtsstellen ermittelt und dann zusammengefasst.⁶⁾

Es zeigt sich, dass Onlinepreise in der Tat insgesamt häufiger geändert werden als Offlinepreise (pro Monat durchschnittlich 17% gegenüber 11%). Dies gilt vor allem für Industriewaren. Bei verarbeiteten Nahrungsmitteln werden dagegen die Preise offline etwas häufiger geändert. Ein Grund hierfür sind Rabattaktionen. Ohne die Berücksichtigung dieser Vergünstigungen werden die Preise von Industriewaren online weiterhin häufiger angepasst, und bei verarbeiteten Lebensmittel gleichen sich die Häufigkeiten an.

Wird nach der Richtung von Preisänderungen (Anteil von Preisanhebungen bzw. -senkungen) unterschieden, finden sich keine eindeutigen Unterschiede. Nur bei der Kategorie „Verarbeitete Lebensmittel“ ist der Anteil an Preiserhöhungen im Onlinehandel höher. Hinsichtlich der Stärke der Preisänderungen zeigt sich, dass sie wie erwartet im Onlinehandel im Mittel kleiner ausfallen als im Offlinehandel, und zwar in beide Richtungen.

Insgesamt häufigere, aber kleinere Preisänderungen im Onlinehandel stehen im Einklang mit der Erwartung niedrigerer Preisänderungskosten bei dieser Marktform. Da der Onlinehandel im Zuge der Digitalisierung zunehmend Marktanteile gewinnt, könnte dies gesamtwirtschaftlich zu einer höheren Preisflexibilität führen.

5 Bei verarbeiteten Nahrungsmitteln sind neben Onlineshops auch Heimdienste für Tiefkühlkost vertreten.
6 Siehe: Gautier et al. (2022).

ziert. Zudem wird ein aussagefähiger Ländervergleich dadurch erschwert, dass die statistischen Verfahren zur Bewertung von IKT-Investitionen nicht vollständig harmonisiert sind. Dies ist umso bedeutsamer, da die Messung von IKT-Investitionen mit besonderen Herausforderungen verbunden ist. So äußert sich technischer Fortschritt häufig in Form von Qualitätsverbesserungen. Diese werden im Fall von IKT-Gütern jedoch in den offiziellen Statistiken zum Teil nur unzureichend erfasst – wie eine Reihe von Untersuchungen zeigt.²¹⁾ Und schließlich wird der statistische Ausweis der Investitionen, insbesondere jener in geistiges Eigentum (dazu zählen auch Software und Datenbanken), in einigen Ländern seit mehreren Jahren wesentlich durch Dispositionen multinationaler Unternehmen verzerrt.²²⁾

Erzeugung von Digitalgütern

Hinweise auf die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Digitalisierung liefert auch die Entstehungsseite der VGR. Zu den gängigen Kennziffern zählt dabei der Bruttowertschöpfungsanteil der sogenannten Digitalsektoren.²³⁾ Diese Wirtschaftsbereiche zeichnen sich durch eine hohe Konzentration an Digitalgüterproduzenten aus.²⁴⁾ Allerdings ist ihre Abgrenzung in der Re-

Bruttowertschöpfungsanteile der Digitalsektoren

21 Vgl. u. a.: Byrne et al. (2016) sowie Byrne et al. (2017a, 2017b).

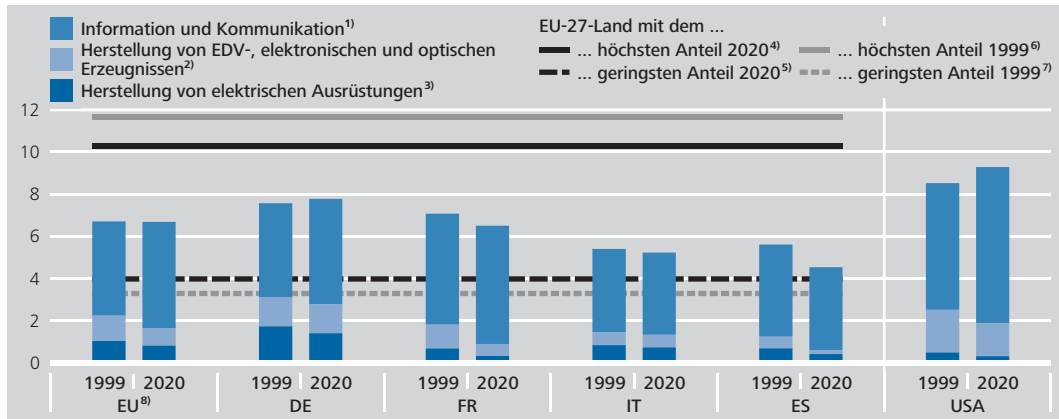
22 Niveaushiftungen und Sprünge in makroökonomischen Zeitreihen aufgrund von Verlagerungen von Rechtstiteln, wie z. B. Lizenzen, dürften vor allem kleine Volkswirtschaften betreffen. Probleme für die Wirtschaftsanalyse können sich jedoch auch für größere Wirtschaftsregionen ergeben. Vgl. hierzu: Deutsche Bundesbank (2018).

23 Vgl. u. a.: Internationaler Währungsfonds (2018), Europäische Zentralbank (2020a) sowie OECD (2020b).

24 Als Digitalsektoren werden in den nachfolgenden Untersuchungen die Wirtschaftsbereiche Herstellung von EDV-, elektronischen und optischen Erzeugnissen (NACE-Abteilung C26), Herstellung von elektrischen Ausrüstungen (NACE-Abteilung C27) sowie Information und Kommunikation (NACE-Abschnitt J) betrachtet. Vgl. hierzu auch: Ander-ton et al. (2020) sowie Europäische Zentralbank (2021).

Anteile der Digitalsektoren an der gesamten Bruttowertschöpfung

in %



Quellen: Eurostat, OECD und eigene Berechnungen. **1** NACE-Abschnitt J. **2** NACE-Abteilung C26. **3** NACE-Abteilung C27. **4** Tschechische Republik. **5** Griechenland. **6** Finnland. **7** Bulgarien. **8** Ohne Irland, Luxemburg und Malta.

Deutsche Bundesbank

gel nicht wirklich trennscharf.²⁵⁾ Zudem kann sich die Branchenkomposition über Länder hinweg unterscheiden. Auch dies schränkt die Aussagekraft von vergleichenden Analysen ein.²⁶⁾ Bei der Betrachtung von Wertschöpfungsanteilen ist außerdem zu beachten, dass diese die wirtschaftliche Bedeutung der Digitalsektoren nur unvollständig erfassen. So fließen die Erzeugnisse der Digitalgüterproduzenten über Zwischenprodukte in eine breite Palette von Waren und Dienstleistungen ein.

Bruttowertschöpfungsanteil der Digitalsektoren in der EU annähernd konstant, ...

In der EU entfielen auf die Digitalsektoren im Jahr 2020 etwa 7 % der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung. Damit lag ihr Anteil ähnlich hoch wie 20 Jahre zuvor. In Deutschland war der Wertschöpfungsanteil der Digitalsektoren zum Teil deutlich höher als in den anderen drei großen Euro-Ländern. Auch nahm er hier zwischen 1999 und 2020 leicht zu, während er in Frankreich, Italien und Spanien zum Teil merklich zurückging.

... in den Vereinigten Staaten spürbarer Anstieg

Im Gegensatz zur EU insgesamt stieg der Wertschöpfungsanteil der Digitalsektoren in den Vereinigten Staaten zwischen 1999 und 2020 spürbar an. Dies ist umso beachtlicher, als die Produzentenpreise für Digitalgüter in diesem Zeitraum um etwa 40 % sanken. Entsprechend kräftig fiel das Wachstum der realen Bruttowertschöpfung in den Digitalsektoren aus. Wäh-

rend die gesamte Bruttowertschöpfung preisbereinigt um durchschnittlich 2 % pro Jahr zulegen, waren es bei den Digitalsektoren 7 %.

Effizienzmaße

Anhand der vorgestellten Indikatoren lassen sich erste Erkenntnisse über Verlauf und Ausmaß der Digitalisierung gewinnen. Direkte Rückschlüsse auf die Bedeutung des digitalen Wandels für die Entwicklung der gesamtwirtschaftlichen Arbeitsproduktivität ergeben sich aus den Kennziffern jedoch nicht. Diese resultieren letztlich aus den Effizienzgewinnen, die durch die Digitalisierung möglich werden.²⁷⁾ Solche Effizienzsteigerungen können nicht direkt beobachtet werden. Es gibt jedoch Wege, sie indirekt zu erfassen. Als Indikatoren gelten etwa der Relativpreis der Investitionen in IKT sowie die totale Faktorproduktivität (TFP) in den Digitalsektoren.

Rückschlüsse auf gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Digitalisierung anhand von Effizienzmaßen

²⁵ So sind etwa Fintech-Aktivitäten in der heute noch gültigen Klassifikation der Wirtschaftszweige (NACE Rev. 2) kaum explizit aufgeführt, und statistische Register ordnen Unternehmen aus dem Fintech-Bereich zu einem wesentlichen Teil der IT-Branche zu. Vgl. hierzu: von Kalckreuth und Wilson (2020).

²⁶ Vgl. hierzu auch: Europäische Zentralbank (2021).

²⁷ Kosteneinsparungen spielen dabei eine zentrale Rolle. Vgl. hierzu: Goldfarb und Tucker (2019).

Relativpreis-
 entwicklung der
 Investitionen ...

Der Relativpreis der IKT-Investitionen wird häufig durch das Verhältnis zwischen dem Preisindex für IKT-Investitionsgüter und jenem für Konsumgüter erfasst. Ein über die Zeit sinkender Relativpreis wird dabei als Indikator für investitionsspezifischen technologischen Fortschritt interpretiert. Dahinter steht die Überlegung, dass technologischer Fortschritt auf der Angebotsseite zu Preissenkungen führt. Ein recht anschauliches Beispiel hierfür ist die Preisentwicklung für Computer-Hardware. Relativ zum Konsumdeflator sank der Preisindex für Computer-Hardware, der auch Qualitätsfortschritte berücksichtigt, in den Vereinigten Staaten zwischen 1980 und 2021 etwa um das Hundertneunzigfache. Ein sinkender Relativpreis stimuliert die Investitionsgüternachfrage und sorgt so dafür, dass der Technologiefortschritt über Investitionen seine produktivitätssteigernde Wirkung entfaltet.

... als Maß
 für investitions-
 spezifischen
 technologischen
 Fortschritt

In den vier größten Euro-Ländern fiel der Relativpreis der IKT-Investitionen in den letzten Jahrzehnten zum Teil kräftig.²⁸⁾ Dies zeigt sich insbesondere in Deutschland. Demgegenüber war der relative Preisrückgang der IKT-Investitionen in Frankreich, Italien und Spanien erheblich schwächer. Gleichwohl fiel er auch in diesen Ländern zumeist deutlich größer aus als bei den übrigen Bruttoanlageinvestitionen (ohne Bauinvestitionen).²⁹⁾ Dementsprechend wäre der investitionsspezifische technologische Fortschritt im Bereich der IKT in den betrachteten Ländern, insbesondere in Deutschland, recht ausgeprägt gewesen.

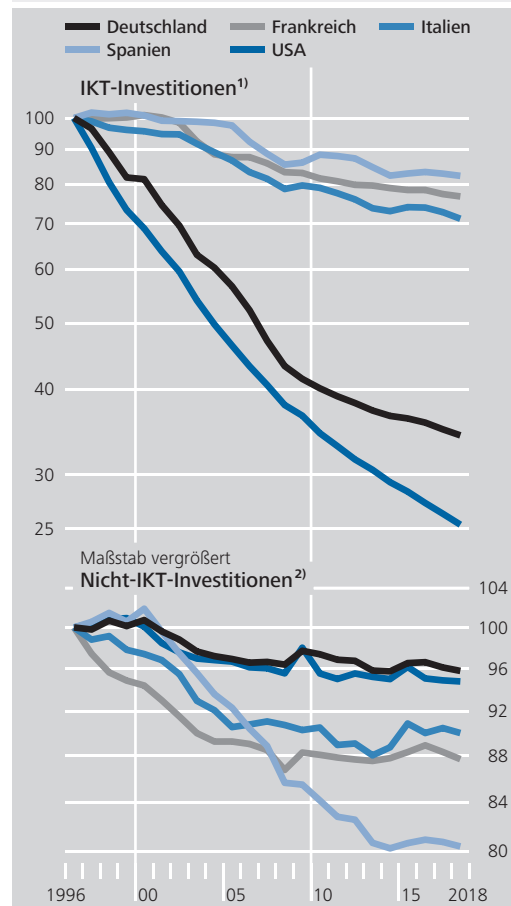
Verzerrungen
 durch
 Messprobleme

Allerdings sind die Unterschiede zwischen den Ländern auch hier mit Vorsicht zu interpretieren, da die Preismessung bei IKT-Gütern mit besonderen Herausforderungen verbunden und nicht vollständig harmonisiert ist.³⁰⁾ Dies ist auch bei Vergleichen des Relativpreisverlaufs der IKT-Investitionen mit den Vereinigten Staaten zu beachten. Dort ging der Relativpreis besonders kräftig zurück.

Von diesen Einschränkungen losgelöst lässt sich jedoch festhalten, dass der Relativpreisrückgang

Relativpreis der IKT- und Nicht-IKT-Investitionen^{*)}

1996 = 100, log. Maßstab



Quellen: EU KLEMS, Haver Analytics und eigene Berechnungen.
 * Investitionsdeflator relativ zum Konsumdeflator. **1** IKT-Investitionen umfassen die Anlagearten Computer-Hardware, Ausrüstungen der Informations- und Kommunikationstechnik sowie Software und Datenbanken. **2** Nicht-IKT-Investitionen umfassen die Bruttoanlageinvestitionen ohne IKT-Investitionen sowie Bau.
 Deutsche Bundesbank

der IKT-Investitionsgüter in den letzten Jahren in allen betrachteten Ländern merklich abflachte. Dies lässt auf eine länderübergreifende Verlangsamung des investitionsspezifischen technologischen Fortschritts bei IKT-Gütern schließen.

Entwicklung in den vier größten Euro-Ländern und USA zuletzt abgeflacht

28 IKT-Investitionen umfassen die Komponenten Telekommunikationsausrüstungen, Computer-Hardware sowie Software und Datenbanken.

29 Mit Ausnahme von Spanien hat der Relativpreis der Bauinvestition im betrachteten Länderkreis zwischen 1999 und 2019 sogar zugenommen und deutet damit Effizienzverluste in diesem Bereich an. Vgl. hierzu auch: Abdel-Wahab und Vogel (2011) sowie Sveikauskas et al. (2016).

30 Vgl. u. a.: Statistisches Bundesamt (2018).

Zur Entwicklung der totalen Faktorproduktivität in den digitalen Sektoren

Die totale Faktorproduktivität (TFP) ist ein zentrales Maß für die Effizienz von Produktionsabläufen. Sie bestimmt letztendlich die Produktivität der Arbeit. Es stellt sich daher die Frage, wie sich die TFP in den sogenannten Digitalsektoren entwickelt hat, also den Sektoren, die Digitalgüter in Form von Waren und Dienstleistungen herstellen. Betrachtet werden hier vier Wirtschaftszweige: der Teilbereich des Verarbeitenden Gewerbes zur Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie elektronischer Ausrüstungen, die Branche zur Herstellung und Vertrieb von Medienprodukten (Verlagswesen; Herstellung, Verleih und Vertrieb von Filmen und Fernsehprogrammen; Kinos und Tonstudios; Verlegen von Musik; Rundfunkveranstalter), der Bereich der Telekommunikation sowie die Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie und Informationsdienstleistungen.¹⁾

Ein gängiger Ansatz für die Bestimmung der TFP-Entwicklung zerlegt das Wachstum der Bruttowertschöpfung in die Beiträge der Produktionsfaktoren Arbeit und Kapital sowie eine Residualkomponente.²⁾ Letztere, oft als Solow-Residuum bezeichnet, wird als Maß für das TFP-Wachstum interpretiert. Um eine möglichst präzise Schätzung der TFP zu erhalten, wird hier in einem zweistufigen Ansatz zusätzlich für Schwankungen des Auslastungsgrades der Produktionsfaktoren kontrolliert.³⁾

Dabei wird in einem ersten Schritt das Solow-Residuum (Δs_{it}) in Sektor i im Jahr t als Differenz der Wachstumsrate der preisbereinigten Bruttowertschöpfung (Δy_{it}) und den mit den jeweiligen Produktionselastizitäten gewichteten jährlichen Zuwachsraten von Kapital- (Δk_{it}) und Arbeitseinsatz (Δl_{it}) ermittelt:⁴⁾

$$\Delta s_{it} = \Delta y_{it} - (1 - \alpha_{it})\Delta k_{it} - \alpha_{it}\Delta l_{it}.$$

In einem zweiten Schritt werden die Solow-Residuen verschiedener Wirtschaftszweige auf die Veränderung des durchschnittlichen Kapazitäts-

auslastungsgrades (Δu_{it}) sowie eine sektorspezifische Indikatorvariable regressiert (c_i):⁵⁾

$$\Delta s_{it} = c_i + \beta \Delta u_{it} + \varepsilon_{it},$$

wobei ε_{it} einen Fehlerterm darstellt. In die Schätzmodelle gehen Angaben für je 23 Wirtschaftszweige in den vier großen Euro-Ländern sowie den USA für die Jahre 1997 bis 2018 ein.⁶⁾

1 Eine Voraussetzung dafür, dass Effizienzänderungen und Digitalisierungstendenzen einander sachgemäß zugeordnet werden können, ist eine zweckmäßige klassifikatorische Abgrenzung digitaler Aktivitäten. Soweit solche Aktivitäten innovativ sind, sind die jeweils gültigen Klassifikationssysteme naturgemäß veraltet. Fintech-Aktivitäten z. B. sind in der heute noch gültigen NACE Rev. 2 aus dem Jahr 2008 kaum explizit aufgeführt, und statistische Register weisen Unternehmen aus dem Fintech-Bereich zu einem wesentlichen Teil als IT-Unternehmen aus. Für Deutschland siehe hierzu: von Kalkreuth und Wilson (2020).

2 Vgl.: Solow (1957).

3 Wird die Kapazitätsauslastung nicht berücksichtigt, kann es zu einer ungenauen Erfassung des Faktoreinsatzes und damit des TFP-Verlaufs kommen. Vgl. hierzu: Basu et al. (2006), Comin et al. (2020) sowie Deutsche Bundesbank (2021a).

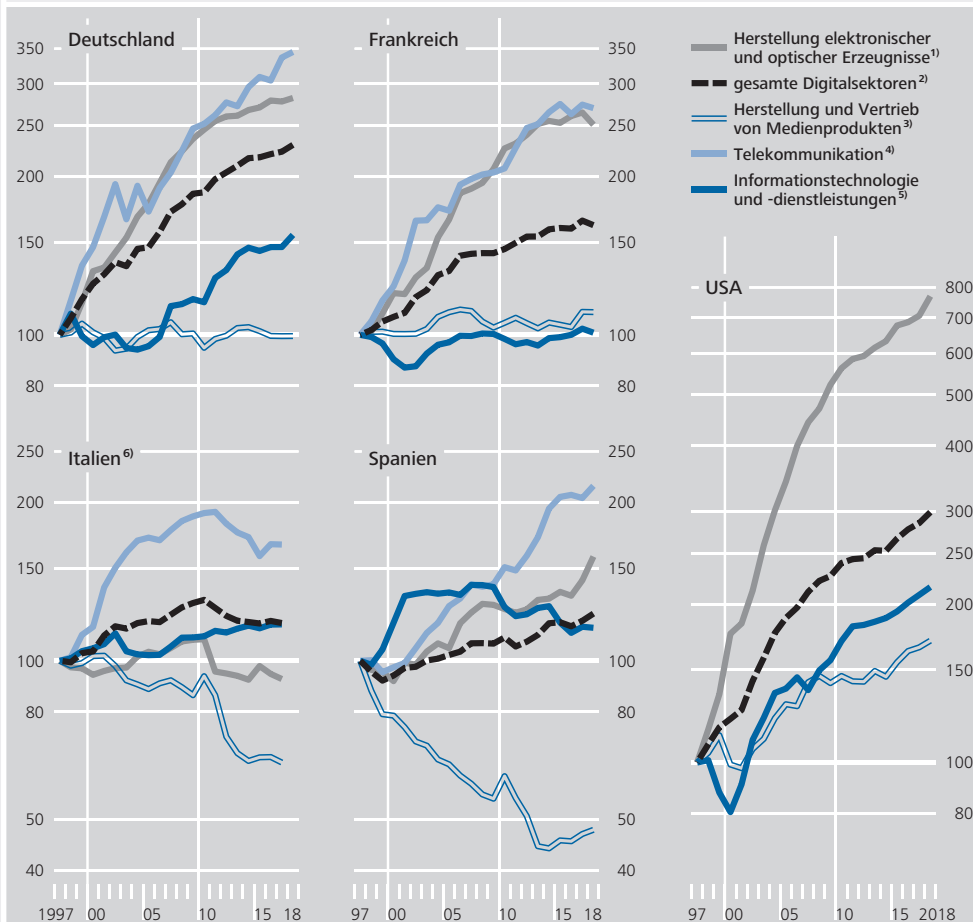
4 Die Zerlegung basiert auf einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion mit konstanten Skalenerträgen. Unter der Annahme vollkommenen Wettbewerbs auf den Faktor- und Gütermärkten werden die Produktionsfaktoren bei Kostenminimierung der Unternehmen mit ihren Grenzprodukten entlohnt. Die Produktionselastizität der Arbeit (α_{it}) ergibt sich folglich als Verhältnis von Lohnsumme zu Bruttowertschöpfung, die Kapitalelastizität als $1 - \alpha_{it}$. Vgl.: Hulten (2010) sowie Deutsche Bundesbank (2012, 2021a).

5 Vgl.: Basu et al. (2006), Comin et al. (2020) sowie Deutsche Bundesbank (2021a).

6 Das Modell wird für jedes Land und je drei Teilbereiche separat als Panel geschätzt. Letztere umfassen Branchen zur Herstellung kurzlebiger Güter (NACE-Abteilungen C10-C12, C13-C15, C16-C18, C20-C21 und C22-C23 sowie Abschnitte D und E), langlebiger Güter (NACE-Abteilungen C24-C25, C26-C27, C28, C29-C30, C31-C33) und sonstige Wirtschaftszweige (NACE-Abschnitte F, G, H, I, J, K, M, N und R-5), vgl.: Deutsche Bundesbank (2021a). Um die digitalen Sektoren gesondert zu betrachten, gehen die NACE-Abteilungen J58-J60, J61 und J62-J63 getrennt ein. Aufgrund fehlender Daten werden für die Abteilungen J58-J60 und J61 in Deutschland Auslastungsdaten des Bereichs J62-J63 verwendet. Für Italien enden die Datenreihen im Jahr 2017. Für die USA lassen sich auf Basis der EU-KLEMS-Daten TFP-Wachstumsraten erst ab 1998 gewinnen. Zudem sind keine Angaben für die NACE-Abteilungen J61 und C21 verfügbar und die Sektoren D und E gehen als ein Sektor (D-E) ein.

Totale Faktorproduktivität in den digitalen Sektoren¹⁾

1997 = 100, log. Maßstab



Quellen: EU KLEMS, Europäische Kommission und eigene Berechnungen. * Berechnet unter Verwendung einer prototypischen Solow-Zerlegung und im Rahmen eines ökonomischen Modells um Veränderungen des Auslastungsgrades bereinigt. 1 NACE-Abteilungen C26-C27. 2 NACE-Abteilungen C26-C27 und NACE-Abschnitt J. 3 NACE-Abteilungen J58-J60. 4 NACE-Abteilung J61 (nicht für die USA verfügbar). 5 NACE-Abteilungen J62-J63. 6 Für Italien enden die Reihen in 2017.

Deutsche Bundesbank

Die sektoralen Daten werden der EU-KLEMS-Datenbank entnommen.⁷⁾ Die Angaben zur Kapazitätsauslastung stammen aus den Unternehmensbefragungen der Europäischen Kommission.⁸⁾

Da die Kapazitätsauslastung selbst auch auf die TFP reagieren kann, werden die Panelmodelle mithilfe eines Instrumentenansatzes geschätzt. Als Instrumente dienen ökonomische Größen, die mit der Auslastung, aber nicht mit der TFP korrelieren. Diese sind ein Ölpreisschock, ein internationaler Finanzmarktschock sowie ein makroökonomischer Unsicherheitschock.⁹⁾ Das auslastungsbereinigte TFP-Wachstum eines Wirtschaftszweiges ergibt sich dann aus der Differenz

7 Die Daten sind unter <https://euklems-intanprod-llce.luiss.it/> verfügbar.

8 Die Auslastungsdaten sind für das Verarbeitende Gewerbe ab 1985, für Dienstleistungssektoren ab Mitte 2011 (Italien ab Mitte 2010) verfügbar, vgl.: Europäische Kommission (2020c). Für die Jahre vor 2011 (für Italien vor 2010) werden die Kapazitätsmaße der Dienstleistungssektoren mit der Zuwachsrate der mittleren Auslastung im Verarbeitenden Gewerbe zurückgerechnet, vgl.: Comin et al. (2020). Für die Vereinigten Staaten werden durchschnittliche Arbeitsstunden als Indikator des Auslastungsgrades verwendet, vgl.: Basu et al. (2006).

9 Der Ölpreisschock basiert auf Bewegungen des Brent-Ölpreises, vgl.: Basu et al. (2006). Die Unsicherheitschocks gehen auf makroökonomische Modelle zurück, vgl.: Jurado et al. (2015) sowie Meinen und Röhe (2017). Der Finanzmarktschock basiert auf dem Indikator von Gilchrist und Zakrajšek (2012) für die nicht prognostizierbare Komponente von Risikoaufschlägen auf US-Unternehmensanleihen. Gemäß statistischer Tests sind die Instrumente hinreichend mit der Veränderung der Kapazitätsauslastung korreliert.

des Solow-Residuums und dem Einfluss der Veränderungen der Auslastung:¹⁰⁾

$$\Delta \widehat{tfp}_{it} = \Delta s_{it} - \hat{\beta} \Delta u_{it}.$$

Die Schätzungen zeigen für die vier größten Länder des Euro-Währungsraumes wichtige Gemeinsamkeiten, aber auch deutliche Unterschiede auf. Die größten Effizienzsteigerungen gab es im Bereich der Telekommunikation. Im Mittel der Jahre 1997 bis 2018 stieg die TFP dort in Italien um rund 2 % pro Jahr, in Spanien um 4 %, in Frankreich um 5 % und in Deutschland sogar um 6 %.¹¹⁾ Die niedrige mittlere Zuwachsrate in Italien erklärt sich zu einem Teil durch den deutlichen TFP-Rückgang im Zuge der europäischen Staatsschuldenkrise. Für den Bereich Herstellung elektronischer und optischer Güter finden sich für Deutschland und Frankreich ähnlich kräftige TFP-Zuwächse wie bei der Telekommunikation. In Spanien und Italien fielen hier die Zuwächse allerdings deutlich schwächer aus. Insbesondere in Italien gab es in dieser Branche kaum Effizienzsteigerungen. Merkliche Unterschiede zwischen den betrachteten Euro-Ländern zeigen sich im Bereich der Informationsdienstleistungen, zu welchem unter anderem die Softwareentwicklung, Programmierung und Datenverarbeitung zählen. Nur in Deutschland kam es dort seit 2007 zu erkennbaren Effizienzsteigerungen. In Spanien sank die TFP nach anfänglichen Steigerungen wieder. In dem auf die Herstellung und den Vertrieb von Medienprodukten konzentrierten Wirtschaftsbereich blieb die Effizienz der Schätzung zufolge in Deutschland und Frankreich weitgehend unverändert, in Spanien und Italien sank sie sogar merklich.

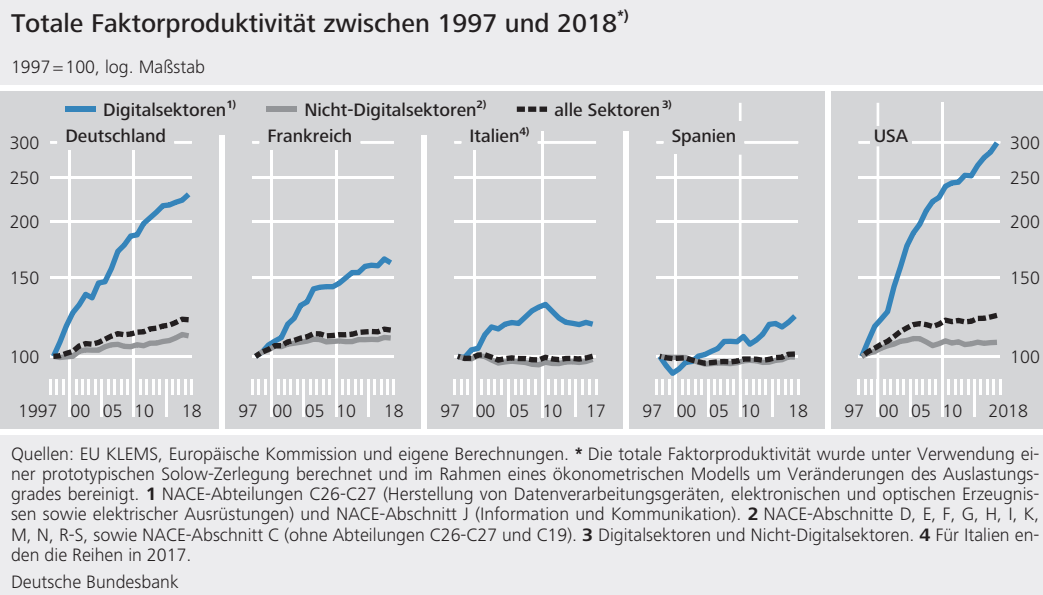
In den Vereinigten Staaten verlief die TFP-Entwicklung in den betrachteten Sektoren grundsätzlich ähnlich, allerdings waren dort die Fortschritte insgesamt größer.¹²⁾ Dies gilt insbesondere für den Bereich Herstellung elektronischer und optischer Produkte mit außergewöhnlich starken TFP-Zuwächsen von annähernd 10 % pro Jahr. Bemerkenswerterweise gab es in den Vereinigten Staaten zudem auch im Bereich der Print-, Film- und Hörmedien erhebliche Produktivitätsgewinne.

Fasst man die verschiedenen Digitalbereiche zusammen, ergibt sich eine klare Abstufung. Sehr großen Effizienzgewinnen in den USA stehen etwas geringere Zuwächse in Deutschland gegenüber. Frankreich fällt etwas stärker ab. Deutlich schwächer waren die TFP-Fortschritte in den Digitalbranchen Italiens und Spaniens. Diese länderübergreifende Betrachtung steht allerdings unter dem Vorbehalt, dass Messprobleme die Vergleichbarkeit der TFP-Verläufe einschränken können (siehe hierzu auch die Ausführungen auf S. 51 ff.).

¹⁰ Die Auslastung wird nur dann berücksichtigt, wenn $\hat{\beta}$ auf dem 90 %-Niveau signifikant ist.

¹¹ Für Italien beziehen sich die Angaben auf die Jahre 1997 bis 2017. Ein möglicher Treiber der TFP-Zuwächse in der Telekommunikationsbranche ist der vergleichsweise starke Wettbewerb zwischen Anbietern. Allerdings ist der staatliche Einfluss in diesem Bereich zum Teil immer noch ausgeprägt. Vgl.: Statistisches Bundesamt (2018).

¹² Aufgrund fehlender Daten können keine Aussagen für die Telekommunikationsbranche (J61) getroffen werden. Grund hierfür ist eine unterschiedliche Klassifikation der Wirtschaftsbereiche. Für die NACE-Abteilung J61 gibt es in der in den Vereinigten Staaten genutzten NAICS-Klassifizierung keine eindeutige Entsprechung. Auch für die NACE-Abteilung J60 ergeben sich leichte Unterschiede.



Auch Verlauf der TFP in den Digital-sektoren ...

Die Entwicklung der TFP erfasst den Anteil des Produktionswachstums, der nicht durch einen veränderten Einsatz von Arbeit oder Kapital erklärt werden kann. Die TFP stellt damit eine zentrale Kenngröße für die Effizienz von Produktionsabläufen dar.³¹⁾ Allerdings lässt sie sich nicht direkt beobachten, sondern muss geschätzt werden (siehe hierzu auch die Ausführungen auf S. 54 ff.).³²⁾ Dies kann auf Unternehmens- oder Branchenebene sowie für die gesamte Volkswirtschaft erfolgen.

... deutet Abschwächung von Effizienzsteigerungen an

Solche Schätzungen zeigen, dass sich das Wachstum der TFP in den Digitalsektoren der vier größten Euro-Länder im Zeitverlauf tendenziell abgeflacht hat.³³⁾ Gegenüber den ersten fünf Jahren nach Gründung des Währungsraumes fiel das durchschnittliche TFP-Wachstum in den Digitalsektoren in Deutschland und Frankreich zwischen den Jahren 2014 und 2018 um 3 Prozentpunkte, in Italien um 4 Prozentpunkte niedriger aus.³⁴⁾ Nur in Spanien zog das TFP-Wachstum in diesem Zeitraum leicht um 1 Prozentpunkt an. In den Vereinigten Staaten verstärkte sich das TFP-Wachstum zuletzt zwar wieder, reichte aber nicht an die kräftigen Raten anfangs der 2000er Jahre heran. Gleichwohl war die TFP in den Digitalsektoren des untersuchten Länderkreises weiterhin erheblich größer als in den übrigen Wirtschaftsbereichen.

Dies deckt sich mit dem Bild, das bei der Betrachtung der Relativpreise gewonnen wurde.

Digitalisierung und Arbeitsproduktivität

Die verschiedenen hier betrachteten Indikatoren weisen zum Teil auf eine hohe Dynamik der Digitalisierung hin. Dies gilt insbesondere für die beiden vorgestellten Effizienzmaße – wenngleich sich ihre Entwicklung im Zeitverlauf teilweise abgeschwächt hat. Welche Implikationen dies für den Verlauf der gesamtwirtschaftlichen Arbeitsproduktivität hat, lässt sich mithilfe makroökonomischer Strukturmodelle untersuchen. Traditionelle Ansätze stellen hierbei vor allem auf die Rolle der Investitionen ab.³⁵⁾ Die Bedeutung digitaler Vorleistungen wird hingegen ver-

Bedeutung von Digitalisierung für Arbeitsproduktivität aus dem Blickwinkel makroökonomischer Modelle

³¹ Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2021a).

³² Die hier vorgenommenen TFP-Schätzungen basieren auf Daten der EU-KLEMS-Datenbank (<https://euklems-intanprod-illee.luiss.it>). Der Schätzzeitraum umfasst die Jahre 1997 bis 2017 (Italien) bzw. 2018 (Deutschland, Frankreich, Spanien) sowie 1998 bis 2018 für die Vereinigten Staaten.

³³ Die ab 2010 zu beobachtende, auffallend schwache Dynamik in Italien lässt sich dabei auf Entwicklungen in der dortigen Telekommunikationsbranche zurückführen (siehe hierzu die Ausführungen auf S. 54 ff.).

³⁴ Die Zahl für Italien bezieht sich auf 2013 bis 2017, da keine Daten für 2018 verfügbar sind.

³⁵ Vgl. u. a.: Byrne et al. (2013), Cetto et al. (2015) sowie Europäische Zentralbank (2021).

Beiträge von IKT-kapitalgebundenem technischen Fortschritt zum Wachstum der Arbeitsproduktivität^{*)}

%-Punkte



Quellen: EU KLEMS, Haver Analytics und eigene Berechnungen.
 *) Aus einem DSGE-Modell abgeleitete Beiträge des IKT-kapitalgebundenen technischen Fortschritts zur durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate der Arbeitsproduktivität je Erwerbsstunde. Der IKT-Kapitalstock umfasst Investitionskapital in den Bereichen Computer-Hardware, Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Software und Datenbanken.

Deutsche Bundesbank

nachlässigt. Neuere Untersuchungen deuten jedoch darauf hin, dass Produktionsverflechtungen eine zentrale Rolle für die Technologiediffusion spielen.³⁶⁾

Traditionelle Analyseansätze

Investitionen im Fokus traditioneller Ansätze

Dynamische stochastische allgemeine Gleichgewichtsmodelle (DSGE-Modelle) stellen eine Möglichkeit dar, die gesamtwirtschaftliche Bedeutung von investitionsspezifischem technologischen Fortschritt zu erfassen.³⁷⁾ So kann unter anderem dessen Beitrag zum Trendwachstum der Arbeitsproduktivität abgeschätzt werden.³⁸⁾ Die Basis dafür liefert ein neoklassisches Grundmodell,³⁹⁾ bei dem verschiedene Arten von Kapital – darunter auch IKT-Kapital – berücksichtigt werden. Neben der TFP-Entwicklung stellt der mit den jeweiligen Kapitalarten verbundene investitionsspezifische technologische Fortschritt eine zentrale Triebkraft des Modells dar.⁴⁰⁾

Der Gesamtbeitrag des investitionsspezifischen technologischen Fortschritts zum Wachstum der Arbeitsproduktivität ergibt sich als gewichtete Summe der mit den jeweiligen Kapitalarten verbundenen Technologiezuwächse.⁴¹⁾ Letztere lassen sich anhand des Relativpreisverlaufs der entsprechenden Investitionsgütergruppen approximieren.⁴²⁾ Daneben bestimmt das relative Gewicht der entsprechenden Kapitalart im Produktionsprozess die Bedeutung des investitionsspezifischen Technologiefortschritts für das Produktivitätswachstum.⁴³⁾

Gewicht und Dynamik investitionsspezifischen technologischen Fortschritts bestimmen dessen Wachstumsbeitrag

Diesem Ansatz zufolge fielen in den vier größten Euro-Ländern die Beiträge des investitionsspezifischen technologischen Fortschritts im Bereich der IKT zum gesamtwirtschaftlichen Produktivitätsfortschritt in den letzten Jahren geringer aus als vor der globalen Finanz- und Wirtschaftskrise. Ähnliches ergibt sich für die Vereinigten Staaten. Diese Entwicklung wird wesentlich durch die sich abflachenden Relativpreisverläufe der IKT-Investitionen bestimmt. Hinsichtlich der Größe der Wachstumsbeiträge ist zu beachten, dass das relative Gewicht des IKT-Kapitals vergleichsweise

Abnehmende Erklärungsbeiträge investitionsspezifischen Technologiefortschritts im Bereich IKT

36 Vgl. u. a.: Foerster et al. (2022) sowie vom Lehn und Winberry (2022).

37 Siehe u. a.: Justiniano et al. (2011), Schmitt-Grohé und Uribe (2011) sowie Díaz und Franjo (2016).

38 Vgl. u. a.: Greenwood et al. (1997), Bakhshi und Larsen (2005) sowie Rodríguez-López und Torres (2012).

39 Eine ausführliche Darstellung dieses Modellrahmens findet sich in: Acemoglu (2009).

40 Eine Besonderheit der hier gewählten Modellspezifikation ist die Annahme zeitvariabler Produktionselastizitäten. Ihre Berechnung erfolgt in Anlehnung an Eden und Gaggl (2018). Zeitvariiende Produktionselastizitäten können im DSGE-Kontext in Form exogener Schocks implementiert werden. Vgl. hierzu: Young (2004), Ríos-Rull und Santaella-Llopis (2010) sowie Lansing (2015).

41 Dabei wird unterstellt, dass sich der exogene investitionsspezifische Technologiefortschritt durch einen stochastischen Trend beschreiben lässt. Vgl. hierzu: Schmitt-Grohé und Uribe (2011).

42 In der Modellanalyse wird ein inverser Zusammenhang zwischen Relativpreisverlauf und investitionsspezifischem technologischen Fortschritt unterstellt. Vgl. hierzu auch: Schmitt-Grohé und Uribe (2011).

43 Unter der Annahme einer Cobb-Douglas-Produktionsfunktion mit konstanten Skalenerträgen ergibt sich das Gewicht aus dem Verhältnis der jeweiligen Kapitaleinkommen zum gesamten Lohneinkommen.

gering war.⁴⁴⁾ Daran gemessen sind die IKT-Wachstumsbeiträge zur gesamtwirtschaftlichen Arbeitsproduktivität durchaus hoch.⁴⁵⁾ So fielen in Frankreich und den Vereinigten Staaten die Erklärungsbeiträge des investitionsspezifischen technologischen Fortschritts im Bereich der IKT im Zeitabschnitt 2013 und 2018 etwa um das Zwölfwache höher aus als bei den übrigen Investitionen (ohne Bau). In Deutschland und Spanien waren sie immerhin ähnlich hoch wie die Beiträge der übrigen Investitionen. Gemäß Modellzerlegung stand in Italien zwischen 2013 und 2018 dem positiven Impuls aus dem IKT-Bereich sogar ein negativer Wachstumsbeitrag der übrigen Investitionen gegenüber.

Berücksichtigung von Vorleistungsverflechtungen

Rolle von Vorleistungsbeziehungen in Analysen bisher weniger beachtet

Digitale Erzeugnisse gehen aber nicht nur als Kapitalgüter, sondern auch als Vorleistungen in Produktionsprozesse ein. Dieser Übertragungskanal wird in gängigen makroökonomischen Modellen selten berücksichtigt. Dabei nimmt die Verwendung als Vorleistung insbesondere bei den digitalen Gütern einen erheblichen Anteil ein. Das in der Bundesbank entwickelte Mehr-Sektoren-DSGE-Modell MuSe erfasst sektorale Produktionsverflechtungen und ermöglicht so die Analyse ihrer gesamtwirtschaftlichen Implikationen.⁴⁶⁾ In dem Modell dient die Erzeugung eines Sektors nicht nur Konsum- oder Investitionszwecken, sondern geht auch als Vor-

44 Die durchschnittlichen IKT-Kapitaleinkommensquoten bewegen sich für den gesamten Betrachtungszeitraum zwischen 2 % (Deutschland, Italien, Spanien) und 5 % (Vereinigte Staaten). Die Kapitaleinkommensquoten für Nicht-IKT-Vermögensgüter variieren demgegenüber zwischen 9 % (Spanien) und 13 % (Deutschland).

45 Bei der modellbasierten Wachstumszerlegung müssen vereinfachende Annahmen getroffen werden. Dazu zählen neben den Voraussetzungen des neoklassischen Grundmodells die Annahme einer geschlossenen Volkswirtschaft sowie eines homogenen Produktionsfaktors Arbeit. Zudem unterstellt das Modell einen unmittelbaren inversen Zusammenhang zwischen investitionsspezifischem technologischen Fortschritt und dem Relativpreis der jeweiligen Investitionsgüter.

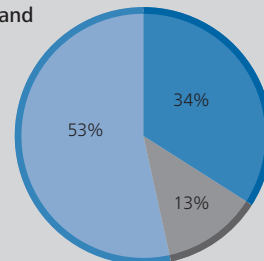
46 MuSe ist eine Variante des Mehr-Sektoren-Umwelt-DSGE-Modells EMuSe (Environmental Multi-Sector) ohne Einbindung eines Umweltmoduls. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in: Hinterlang et al. (2021, 2022, 2023).

Verwendung von Digitalgütern*)

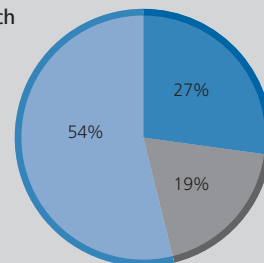
in %

■ Konsum ■ Investitionen ■ Vorleistungen

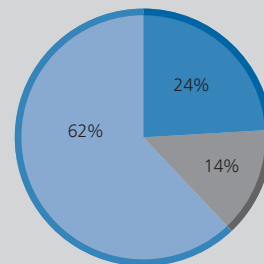
Deutschland



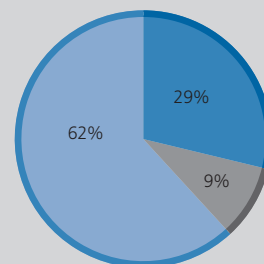
Frankreich



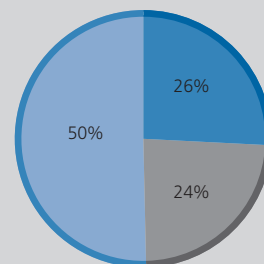
Italien



Spanien



USA



Quelle: World Input-Output Database und eigene Berechnungen. * Digitalgüter umfassen Erzeugnisse aus den NACE-Abteilungen C26-C27 und NACE-Abschnitt J. Insgesamt werden die NACE-Abschnitte D-E, F, G, H, I, J, K, M, N, R-S sowie die Abteilungen des NACE-Abschnitts C (ohne C19) im Jahr 2000 betrachtet.

Deutsche Bundesbank

leistung in verschiedene Wirtschaftssektoren ein.⁴⁷⁾ Hierbei wird angenommen, dass die unterschiedlichen Vorleistungen nur begrenzt substituierbar sind. Zudem kann sich das Vorleistungsgüterbündel zwischen den Wirtschaftszweigen unterscheiden. Die hier verwendete Modellspezifikation umfasst 19 Wirtschaftsbereiche und wurde jeweils für die vier größten Volkswirtschaften des Euroraums sowie die Vereinigten Staaten spezifiziert.⁴⁸⁾⁴⁹⁾

TFP-Entwicklung in Digitalsektoren als zentrale Triebkraft

Der digitale Wandel wird in diesem Modellrahmen durch die TFP-Entwicklung in den Digitalsektoren angestoßen. Eine Steigerung der TFP senkt dort die Grenzkosten, da die Produktion nun mit einem geringeren Faktoreinsatz erfolgen kann.⁵⁰⁾ In der Folge fallen die Digitalgüterpreise. Dies wiederum regt die Nachfrage nach diesen Gütern an, und zwar sowohl für Konsum- und Investitionszwecke als auch als Vorleistung. Nach Möglichkeit werden Produkte aus Nicht-Digitalbranchen durch die vergleichsweise preiswerteren Digitalgüter ersetzt. Aufgrund von Komplementaritätsbeziehungen steigt aber auch die Nachfrage nach anderen Gütern. Die Ausweitung der Produktion in den Nicht-Digitalsektoren verlangt einen verstärkten Einsatz von Produktionsfaktoren, was für sich genommen Faktorentgelte, Grenzkosten und Preise nach oben treibt.

Abschätzung der Rolle der Digitalisierung durch kontrafaktische Analyse

Um den Beitrag der Digitalisierung zur Arbeitsproduktivität zu quantifizieren, werden außerhalb des Modells geschätzte sektorale TFP-Verläufe in MuSe eingespeist (siehe hierzu auch die Ausführungen auf S. 54 ff.). Hierbei werden zwei Szenarien miteinander verglichen. In das Referenzszenario gehen die TFP-Verläufe aller Sektoren ein.⁵¹⁾ Für das kontrafaktische Szenario wird unterstellt, dass es in den Digitalsektoren zu keinen TFP-Veränderungen gekommen ist. Aus den Unterschieden zwischen den beiden Szenarien kann dann der Beitrag der Digitalsektoren zum Produktivitätswachstum abgelesen werden.

Es zeigt sich, dass das MuSe-Modell den tatsächlichen Verlauf der Arbeitsproduktivität in

den betrachteten Ländern – mit Ausnahme von Spanien – durchaus treffend wiedergibt.⁵²⁾ Dies ist auch insofern bemerkenswert, als die Entwicklung der Arbeitsproduktivität in diesem Länderkreis zum Teil stark variiert. In den Vereinigten Staaten stieg die Arbeitsproduktivität deutlich stärker an als in den betrachteten Euro-Ländern. Innerhalb dieser Gruppe gab es zwischen Deutschland und Frankreich einerseits sowie Italien und Spanien andererseits eine deutliche Abstufung.

Werden die TFP-Veränderungen in den digitalen Sektoren ausgeblendet, ändert sich das Bild deutlich. Das Wachstum der Arbeitsproduktivität fiel deutlich schwächer aus. Für die Vereinigten Staaten gingen etwa sieben Zehntel des Produktivitätswachstums verloren, trotz des vergleichsweise geringen Anteils der Digitalsektoren an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung. Auch in Deutschland und Frankreich wäre der Verlust mit rund der Hälfte beziehungsweise vier Zehnteln substantiell. In

Insgesamt treffende Beschreibung des tatsächlichen Arbeitsproduktivitätsverlaufs

Überwiegend hohe Beiträge digitaler Sektoren zum Wachstum der Arbeitsproduktivität, ...

⁴⁷⁾ Das MuSe-Modell stellt somit eine Erweiterung prototypischer Modelle dar. In Letzteren wird die Produktion üblicherweise nur zu Konsum- oder Investitionszwecken verwendet, da Kapital und Arbeit die einzigen Produktionsfaktoren darstellen. Vgl. u. a.: Christiano et al. (2018).

⁴⁸⁾ Im Modell sind die NACE-Abteilungen C26-C27 (Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie elektrischer Ausrüstungen) sowie NACE-Abschnitt J (Information und Kommunikation) in einem Sektor zusammengefasst. Als separate Wirtschaftszweige abgebildet werden zudem die NACE-Abteilungen C10-C12, C13-C15, C16-C18, C20-C21, C22-C23, C24-C25, C28, C29-C30, C31-C33 sowie die Abschnitte D-E, F, G, H, I, K, M, N, R-S. Eine detaillierte Beschreibung der NACE-Klassifikation findet sich in: Eurostat (2008).

⁴⁹⁾ Von außenwirtschaftlichen Verflechtungen wird zur Vereinfachung abgesehen. Die Produktionsstruktur der betrachteten Länder wird mit länderspezifischen Datensätzen der World Input-Output Database (WIOD) abgebildet. Für weitere Informationen zur WIOD siehe: Timmer et al. (2015).

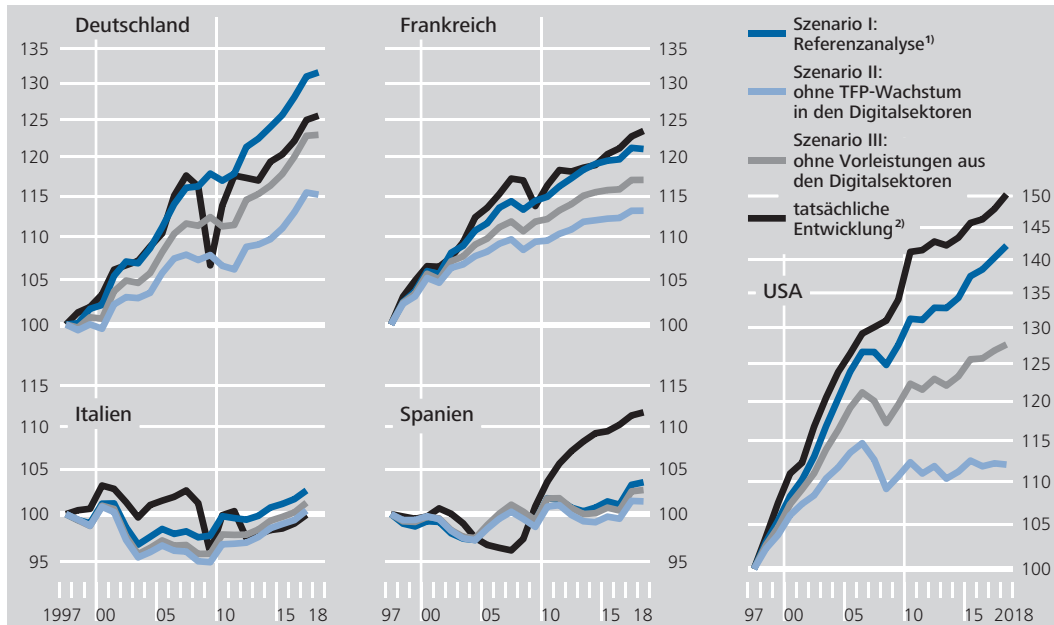
⁵⁰⁾ Der hier beschriebene Wirkungskanal des TFP-Wachstums in den Digitalsektoren ist auf die anderen im Modell abgebildeten Sektoren übertragbar.

⁵¹⁾ Die Simulationsergebnisse werden ausschließlich vom Zusammenspiel der TFP-Verläufe in den einzelnen Branchen getrieben.

⁵²⁾ In Spanien stieg im Zuge der globalen Finanz- und Wirtschaftskrise sowie der anschließenden Staatsschuldenkrise die Arbeitsproduktivität infolge der überproportional starken Einschränkungen des Arbeitseinsatzes erheblich an. Diese drastische Entwicklung wird jedoch nicht von der um den Auslastungsgrad bereinigten TFP ausgelöst und kann somit von dem Modell nicht abgegriffen werden. Vgl. hierzu auch: Deutsche Bundesbank (2021a).

Bedeutung der Digitalsektoren für die gesamtwirtschaftliche Arbeitsproduktivität¹⁾

1997 = 100, log. Maßstab



Quellen: EU KLEMS, World Input-Output Database und eigene Berechnungen. * Die Simulationen basieren auf einem multi-sektoralen DSGE-Modell. Der Simulationszeitraum umfasst die Jahre 1997 bis 2018 für Deutschland, Frankreich, Spanien und die Vereinigten Staaten sowie 1997 bis 2017 für Italien. Der Digitalsektor umfasst die NACE-Abteilungen C26-C27 (Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie elektrischer Ausrüstungen) sowie den NACE-Abschnitt J (Information und Kommunikation). Abgedeckt werden zudem die NACE-Abschnitte C (ohne die Abteilungen C26-C27 und C19), D-E, F, G, H, I, K, M, N, R-S. **1** Stellt die Entwicklung der Arbeitsproduktivität basierend auf den sektoralen TFP-Verläufen und einer Modellversion mit 19 Sektoren dar. **2** Aggregierte Stundenproduktivität der 19 Sektoren, auf denen die Referenzanalyse basiert.

Deutsche Bundesbank

Italien wäre es dieser Rechnung zufolge gesamtwirtschaftlich zu einer Stagnation der Arbeitsproduktivität gekommen. Für Spanien zeigen sich hingegen erst gegen Ende des Simulationszeitraums Unterschiede zum Referenzszenario. Demnach hätte es dort in den Jahren vor 2012 nur vergleichsweise schwache gesamtwirtschaftliche Impulse aus den Digitalbranchen gegeben. In der Gesamtschau zeigen die Simulationsergebnisse die zentrale Bedeutung der TFP-Zuwächse in den Digitalsektoren für den Verlauf der Arbeitsproduktivität. Dementsprechend hätte eine weniger dynamische Entwicklung der TFP in den Digitalsektoren – bei unverändert schwachen Impulsen aus den übrigen Wirtschaftszweigen – deutliche Konsequenzen.

zwecken und nicht als Vorleistungen genutzt werden.⁵³⁾ Die Simulationsergebnisse legen nahe, dass die digitalen Vorleistungen eine zentrale Rolle für den gesamtwirtschaftlichen Produktivitätsfortschritt spielen, denn ohne die digitalen Vorleistungen fielen die Produktivitätsgewinne zumeist deutlich geringer aus.⁵⁴⁾ Dies zeigt sich insbesondere für die Vereinigten Staaten, Deutschland und Frankreich. Aber auch in Italien war dieser Transmissionskanal bedeutsam. In Spanien hingegen war aufgrund der vergleichsweise schwachen TFP-Entwicklung in den Digitalsektoren auch die Bedeutung digitaler Vorleistungen für das Arbeitsproduktivitätswachstum geringer.

Bei dieser Analyse wurde vereinfachend eine geschlossene Volkswirtschaft betrachtet. Tat-

... wobei Vorleistungsbeziehungen einen wichtigen Transmissionskanal darstellen

Um die spezifische Bedeutung der Vorleistungsbeziehungen für die Transmission der Digitalisierung aufzuzeigen, wird in einem weiteren Szenario unterstellt, dass Digitalgüter ausschließlich zu Konsum- oder Investitions-

⁵³ Zu diesem Zweck werden Digitalgüter aus den Vorleistungsbündeln aller Sektoren herausgerechnet.

⁵⁴ Eine detailliertere Diskussion der hervorgehobenen Rolle von Vorleistungsbeziehungen findet sich u. a. in: Foerster et al. (2022) sowie vom Lehn und Winberry (2022).

Rolle internationaler Verflechtungen

sächlich werden Digitalgüter auch ex- und importiert.⁵⁵⁾ Allerdings ist hervorzuheben, dass in das Modell die tatsächlichen länderspezifischen TFP-Verläufe eingehen, die auch Entwicklungen von außen widerspiegeln. Eine Reihe von Studien zeigt, dass der TFP-Fortschritt insbesondere in offenen Volkswirtschaften merklich von internationaler Forschung und Entwicklung geprägt wird.⁵⁶⁾ Auch ausländische Direktinvestitionen und Importe von Vorleistungen können einen Einfluss auf das TFP-Wachstum eines Landes haben.⁵⁷⁾

■ Resümee und Ausblick

Wichtige Rolle digitaler Vorleistungen, ...

Die Digitalisierung wirkt sich auf vielfältige Art und Weise auf die gesamtwirtschaftliche Produktivitätsentwicklung aus. Gängige Analyseansätze konzentrieren sich typischerweise auf die Bedeutung digitaler Investitionsgüter. Die Rolle digitaler Vorleistungen bleibt hingegen oft unberücksichtigt. Analysen mithilfe eines makroökonomischen Mehr-Sektoren-Modells zeigen die zentrale Bedeutung digitaler Vorleistungen. Bei Vernachlässigung der sektoralen Verflechtungen wird der aus der Digitalisierung resultierende Produktionsfortschritt häufig erheblich unterschätzt. Zudem zeigt sich, dass die Effizienzgewinne in den Digitalsektoren die Entwicklung der Arbeitsproduktivität entscheidend beeinflussen. Ohne die Fortschritte in den Digitalsektoren wäre der Produktivitätsfortschritt in den größten Euro-Ländern wesentlich niedriger ausgefallen oder die Produktivität hätte sogar stagniert. Ähnliches gilt für die Vereinigten Staaten. Auch hier wird die Entwicklung der

Arbeitsproduktivität wesentlich durch das TFP-Wachstum in den Digitalsektoren getrieben.

Gleichwohl zeigt sich, dass die auf die Digitalisierung zurückzuführenden Effizienzgewinne im Zeitverlauf tendenziell nachgelassen haben. Ob es angesichts jüngster Entwicklungen zu einer Wende kommt, ist umstritten.⁵⁸⁾ Die Indikatoren der Europäischen Kommission zur Anwendung und Verbreitung digitaler Technologien zeigen einen deutlichen Anstieg während der Coronavirus-Pandemie an. Dies legt nahe, dass Veränderungen der Rahmenbedingungen deutliche Anreizwirkungen haben können. Inwieweit dies zu messbaren Effizienzsteigerungen führt, lässt sich derzeit noch nicht abschätzen. Befragungen von Unternehmen kommen diesbezüglich aber zu einer durchaus optimistischen Einschätzung.⁵⁹⁾

... aber abnehmende Impulse der Digitalisierung über die Zeit

55 Gemäß WIOD-Angaben für das Jahr 2014 lag der Anteil importierter digitaler Vorleistungen an den gesamten Vorleistungen zuletzt bei jeweils etwa 3 % in Deutschland, 2 % in Frankreich und Italien sowie 1 % in Spanien und den Vereinigten Staaten. Der Anteil importierter digitaler Konsumgüter belief sich in allen betrachteten Ländern auf etwa 1 %. Der Anteil importierter digitaler Investitionsgüter an den gesamten Bruttoanlageinvestitionen lag in Deutschland bei annähernd 7 %, in Spanien bei 5 %, in den Vereinigten Staaten bei 4 % sowie in Frankreich und Italien bei jeweils 3 %.

56 Vgl. u. a.: Coe und Helpman (1995) sowie Coe et al. (2009).

57 Vgl. u. a.: Borensztein et al. (1998) sowie Acharya und Keller (2009).

58 Vgl. u. a.: van Ark et al. (2021).

59 In einer EZB-Umfrage gaben über 35 % der befragten Unternehmen an, infolge der Corona-Pandemie langfristig eine zunehmende Digitalisierung ihres Unternehmens zu erwarten, vgl.: Europäische Zentralbank (2020b). Für Deutschland legen Umfrageergebnisse insbesondere für große Unternehmen einen Digitalisierungsschub nahe, vgl.: Deutsche Bundesbank (2022). Auch von der verstärkten Nutzung des mobilen Arbeitens erhofft sich die Mehrheit der befragten deutschen Unternehmen Produktivitätszuwächse, vgl.: Deutsche Bundesbank (2021b).

■ Literaturverzeichnis

Abdel-Wahab, M. und B. Vogl (2011), Trends of productivity growth in the construction industry across Europe, US and Japan, *Construction Management and Economics*, Vol. 29 (6), S. 635–644.

Acharya, R. C. und W. Keller (2009), Technology transfer through imports, *Canadian Journal of Economics*, Vol. 42 (4), S. 1411–1448.

Acemoglu, D. (2009), *Introduction to Modern Economic Growth*, Princeton University Press.

Anderton, R., V. Jarvis, V. Labhard, J. Morgan, F. Petroulakis und L. Vivian (2020), Virtually everywhere? Digitalisation and the euro area and EU economies, ECB Occasional Paper Series, Nr. 244.

Bakhshi, H. und J. Larsen (2005), ICT-Specific Technological Progress in the United Kingdom, *Journal of Macroeconomics*, Vol. 27 (4), S. 648–669.

Basu, S., J.G. Fernald und M.S. Kimball (2006), Are Technology Improvements Contractionary?, *American Economic Review*, Vol. 96 (5), S. 1418–1448.

Berlingieri, G., A. Calligaris, C. Criscuolo und R. Verlhac (2020), Laggard firms, technology diffusion and its structural and policy determinants, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, Nr. 86.

Bloom, N., C.I. Jones, J. van Reenen und M. Webb (2020), Are Ideas Getting Harder to Find?, *American Economic Review*, Vol. 110 (4), S. 1104–1144.

Borensztein, E., J. De Gregorio und J.-W. Lee (1998), How does foreign direct investment affect economic growth?, *Journal of International Economics*, Vol. 45 (1), S. 115–135.

Brynjolfsson, E., D. Rock und C. Syverson (2019), Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics, in: Agrawal, A., J. Gans und A. Goldfarb (Hrsg., 2019), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*, S. 23–60.

Byrne, D.M. (2022), The Digital Economy and Productivity, Board of Governors of the Federal Reserve System, Finance and Economics Discussion Series, Nr. 2022–038.

Byrne D.M., J.G. Fernald und M.B. Reinsdorf (2017a), Does Growing Mismeasurement Explain Disappointing Growth?, Federal Reserve Bank of San Francisco, Economic Letter, Nr. 2017–4.

Byrne, D.M., S.D. Oliner und D.E. Sichel (2017b), Prices of high-tech products, mismeasurement, and the pace of innovation, *Business Economics*, Vol. 52, S. 103–113.

Byrne, D.M., J.G. Fernald und M.B. Reinsdorf (2016), Does the United States have a Productivity Slowdown or a Measurement Problem?, *Brookings Papers on Economic Activity*, S. 109–157.

Byrne, D.M., S.D. Oliner und D.E. Sichel (2013), Is the Information Technology Revolution Over?, *International Productivity Monitor*, Vol. 25, S. 20–36.

Cavallo, A. (2017), Are Online and Offline Prices Similar? Evidence from Large Multi-Channel Retailers, *American Economic Review*, Vol. 107 (1), S. 283–303.

Cette, G., C. Clerc und L. Bresson (2015), Contribution of ICT Diffusion to Labour Productivity Growth: The United States, Canada, the Eurozone, and the United Kingdom, 1970–2013, *International Productivity Monitor*, Vol. 28, S. 81–88.

Christiano, L.J., M.S. Eichenbaum und M. Trabandt (2018), On DSGE Models, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 32 (3), S. 113–140.

Coe, D.T., E. Helpman und A.W. Hoffmaister (2009), International R&D spillovers and institutions, *European Economic Review*, Vol. 53 (7), S. 723–741.

Coe, D.T. und E. Helpman (1995), International R&D spillovers, *European Economic Review*, Vol. 39 (5), S. 859–887.

Comin, D., J.Q. Gonzalez, T.G. Schmitz und A. Trigari (2020), A New Measure of Utilization-adjusted TFP Growth for Europe and the United States, NBER Working Paper, Nr. 28008.

Cooper, R., J. Haltiwanger und L. Power (1999), Machine Replacement and the Business Cycle: Lumps and Bumps, *American Economic Review*, Vol. 89 (4), S. 921–946.

Deutsche Bundesbank (2022), Digitalisierung im deutschen Unternehmenssektor seit Ausbruch der Coronavirus-Pandemie, Monatsbericht, September 2022, S. 54–55.

Deutsche Bundesbank (2021a), Zur Verlangsamung des Produktivitätswachstums im Euroraum, Monatsbericht, Januar 2021, S. 15–47.

Deutsche Bundesbank (2021b), Zur Nutzung des mobilen Arbeitens und dessen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität, Monatsbericht, Oktober 2021, S. 59–60.

Deutsche Bundesbank (2018), Aktivitäten multinationaler Unternehmensgruppen und nationale Wirtschaftsstatistiken, Monatsbericht, Oktober 2018, S. 67–81.

Deutsche Bundesbank (2012), Zum rechnerischen Zusammenhang zwischen der Trendrate der Stundenproduktivität, dem trendmäßigen Zuwachs der totalen Faktorproduktivität und der Kapitalintensivierung, Monatsbericht, April 2012, S. 24–25.

Deutsche Bundesbank (2002), Zur Entwicklung der Produktivität in Deutschland, Monatsbericht, September 2002, S. 49–63.

Dhyne, E., L.J. Álvarez, H. Le Bihan, G. Veronese, D. Dias, J. Hoffmann, N. Jonker, P. Lünemann, F. Rumler und J. Vilminen (2006), Price Changes in the Euro Area and the United States: Some Facts from Individual Consumer Price Data, *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 20 (2), S. 171–192.

Díaz, A. und L. Franjo (2016), Capital goods, measured TFP and growth: the case of Spain, *European Economic Review*, Vol. 83, S. 19–39.

Eden, M. und P. Gaggl (2018), On the welfare implications of automation, *Review of Economic Dynamics*, Vol. 29, S. 15–43.

Europäische Kommission (2022a), Digital Economy and Society Index (DESI) 2022 – Methodological Note, Juli 2022.

Europäische Kommission (2022b), Digital Economy and Society Index (DESI) 2022 – Thematic chapters, Juli 2022.

Europäische Kommission (2020a), International Digital Economy and Society Index – Final Report, SMART 2019/0087.

Europäische Kommission (2020b), Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft (DESI) 2020: Fragen und Antworten, Juni 2020 (Index für die digitale Wirtschaft und Gesellschaft (DESI) 2020: FAQ (europa.eu)).

Europäische Kommission (2020c), The Joint Harmonised EU Programme of Business and Consumer Surveys – User Guide.

Europäische Kommission (2015), Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, „Strategie für einen digitalen Binnenmarkt für Europa“, COM (2015), 192 final.

Europäische Zentralbank (2021), Digitalisation: channels, impacts and implications for monetary policy in the euro area, Occasional Paper Series, Nr. 266.

Europäische Zentralbank (2020a), The digital economy and the euro area, Economic Bulletin, Issue 8/2020, S. 128–150.

Europäische Zentralbank (2020b), The long-term effects of the pandemic: insights from a survey of leading companies, Economic Bulletin, Issue 8/2020, S. 72–75.

Eurostat (2008), NACE Rev. 2 – Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft, Methodologies and Working Papers.

Foerster, A. T., A. Hornstein, P.-D. G. Sarte und M. W. Watson (2022), Aggregate Implications of Changing Sectoral Trends, *Journal of Political Economy*, Vol. 130 (12), S. 3286–3333.

Foley, P., D. Sutton, R. Potter, S. Patel und A. Gemmel (2020), International Digital Economy and Society Index 2020 – SMART 2019/0087, Publications Office of the European Union.

Gautier, E., C. Conflitti, R. P. Faber, B. Fabo, L. Fadejeva, V. Jouvanceau, J.-O. Menz, T. Messner, P. Petroulas, P. Roldan-Blanco, F. Rumler, S. Santoro, E. Wieland und H. Zimmer (2022), New facts on consumer price rigidity in the euro area, ECB Working Paper, Nr. 2669.

Gilchrist, S. und E. Zakrajšek (2012), Credit Spreads and Business Cycle Fluctuations, *American Economic Review*, Vol. 102 (4), S. 1692–1720.

Goldfarb, A. und C. Tucker (2019), Digital Economics, *Journal of Economic Literature*, Vol. 57 (1), S. 3–43.

Gordon, R. J. (2016), *The Rise and Fall of American Growth: The US Standard of Living since the Civil War*, Princeton University Press.

Gorodnichenko, Y., V. Sheremirov und O. Talavera (2018), Price Setting in Online Markets: Does IT click?, *Journal of the European Economic Association*, Vol. 16 (6), S. 1764–1811.

Greenwood, J. und B. Jovanovic, Accounting For Growth, in: C.R. Hulten, E.R. Dean und M.J. Harper (Hrsg., 2001), *New Developments in Productivity Analysis*, University of Chicago Press, S. 179–224.

Greenwood, J., Z. Hercowitz und P. Krusell (1997), Long-Run Implications of Investment-Specific Technological Change, *American Economic Review*, Vol. 87 (3), S. 342–362.

Hercowitz, Z. (1998), The ‘embodiment’ controversy: A review essay, *Journal of Monetary Economics*, Vol. 41 (1), S. 217–224.

Hinterlang, N., S. Moyen, O. Röhe und N. Stähler (2023), Gauging the effects of the German COVID-19 fiscal stimulus package, *European Economic Review*, 104407.

Hinterlang, N., A. Martin, O. Röhe, N. Stähler und J. Strobel (2022), Using energy and emissions taxation to finance labor tax reductions in a multi-sector economy, *Energy Economics*, Vol. 115 (106381).

Hinterlang, N., A. Martin, O. Röhe, N. Stähler und J. Strobel (2021), Using Energy and Emissions Taxation to Finance Labor Tax Reductions in a Multi-Sector Economy: An Assessment with EMuSe, *Diskussionspapier der Deutschen Bundesbank*, Nr. 50/2021.

Hulten, C. R., Growth Accounting, in: B. H. Hall und N. Rosenberg (Hrsg., 2010), *Handbook of the Economics of Innovation*, Ed. 1, Vol. 2, S. 987–1031.

Internationaler Währungsfonds (2018), *Measuring the Digital Economy*, IMF Staff Report, Februar 2018.

Jurado, K., S. C. Ludvigson und S. Ng (2015), Measuring Uncertainty, *American Economic Review*, Vol. 105 (3), S. 1177–1216.

Justiniano, A., G. E. Primiceri und A. Tambalotti (2011), Investment shocks and the relative price of investment, *Review of Economic Dynamics*, Vol. 14 (1), S. 102–121.

Lansing, K. J. (2015), Asset Pricing with Concentrated Ownership of Capital and Distribution Shocks, *American Economic Journal: Macroeconomics*, Vol. 7 (4), S. 67–103.

Meinen, P. und O. Röhe (2017), On measuring uncertainty and its impact on investment: Cross-country evidence from the euro area, *European Economic Review*, Vol. 92, S. 161–179.

OECD (2020a), Artificial intelligence, digital technology and advanced production, in: *The Digitalisation of Science, Technology and Innovation: Key Developments and Policies*.

OECD (2020b), *A Roadmap Toward a Common Framework for Measuring the digital Economy – Report for the G20 Digital Economy Task Force*.

Ríos-Rull, J.-V. und R. Santaeulàlia-Llopis (2010), Redistributive shocks and productivity shocks, *Journal of Monetary Economics*, Vol. 57 (8), S. 931–948.

Rodríguez-López, J. und J. Torres (2012), Technological Sources of Productivity Growth in Germany, Japan, and the United States, *Macroeconomic Dynamics*, Vol. 16 (1), S. 133–150.

Sandhop, K. (2012), Geschäftstypengewichtung im Verbraucherpreisindex, *WISTA – Wirtschaft und Statistik*, März 2012, S. 266–271.

Schmitt-Grohé, S. und M. Uribe (2011), Business cycles with a common trend in neutral and investment-specific productivity, *Review of Economic Dynamics*, Vol. 14 (1), S. 122–135.

Solow, R. M., Investment and Technical Progress (1960), in: K. J. Arrow, S. Karlin und P. Suppes (Hrsg., 1960), *Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford University Press, S. 89–104.

Solow, R. M. (1957), Technical Change and the Aggregate Production Function, *Review of Economics and Statistics*, Vol. 39 (3), S. 312–320.

Statistisches Bundesamt (2018), Erzeugerpreise für Dienstleistungen: Information zum Preisindex Telekommunikation (WZ 2008:61), *DESTATIS, Strukturhebung im Dienstleistungsbereich – Fachbericht Rechts- und Steuerberatung*.

Strasser, G., E. Wieland, P. Macias, A. Błazejowska, K. Szafranek, D. Wittekopf, J. Franke, L. Henkel und C. Osbat (2023), E-commerce and Price Setting: Evidence from Europe, *ECB Occasional Paper Series*, im Erscheinen.

Sveikauskas, L., S. Rowe, J. Mildenerger, J. Price und A. Young (2016), Productivity Growth in Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 142 (10).

Timmer, M. P., E. Dietzenbacher, B. Los, R. Stehrer und G. J. de Vries (2015), An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: the Case of Global Automotive Production, *Review of International Economics*, Vol. 23 (3), S. 575–605.

van Ark, B., K. de Vries und A. Erumban (2021), How to not miss a productivity revival once again?, *National Institute Economic Review*, Vol. 255 (1), S. 9–24.

vom Lehn, C. und T. Winberry (2022), The Investment Network, Sectoral Comovement, and the Changing U.S. Business Cycle, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 137 (1), S. 387–433.

von Kalckreuth, U. und N. Wilson (2020), Fintech and statistics – the challenge of classifying something that hasn't existed before, *Irving Fisher Committee on Central Bank Statistics, IFC Report Nr. 12: Towards monitoring financial innovation in central bank statistics*, Bank for International Settlements, S. 126–139.

Young, A. T. (2004), Labor's share fluctuations, biased technical change, and the business cycle, *Review of Economic Dynamics*, Vol. 7 (4), S. 916–931.