

UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG

03/2026

Abschlussbericht

Digitalisierung und Klimaschutz: Herausforderung oder Chance?

Eine szenarienbasierte Analyse von Effekten auf Wirtschaft und CO₂-Ausstoß

von:

Marc Ingo Wolter, Louisa Mergner, Florian Bernardt

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS), Osnabrück
Marlène de Saussure

Institut für Innovation und Technik (iit), Berlin

Herausgeber:

Umweltbundesamt



UMWELT, INNOVATION, BESCHÄFTIGUNG 03/2026

REFOPLAN des Bundesministeriums für Umwelt, Klimaschutz,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3722 14 104 0

FB002018

Abschlussbericht

Digitalisierung und Klimaschutz: Herausforderung oder Chance?

Eine szenarienbasierte Analyse von Effekten auf
Wirtschaft und CO₂-Ausstoß

von

Marc Ingo Wolter, Louisa Mergner, Florian Bernardt
Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (GWS),
Osnabrück

Marlène de Saussure
Institut für Innovation und Technik (iit), Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel.: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit
Stresemannstr. 128–130
10117 Berlin
service@bmu.bund.de
www.bmu.bund.de

Durchführung der Studie:

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH
Heinrichstraße 30
49080 Osnabrück

Institut für Innovation und Technik (iit)
in der
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Steinplatz 1
10623 Berlin

Abschlussdatum:

Dezember 2025

Redaktion:

Fachgebiet 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen,
sozial-ökologischer Strukturwandel, nachhaltiger Konsum
Michael Golde

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8272>

ISSN 1865-0538

Dessau-Roßlau, April 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen.

Kurzbeschreibung: Digitalisierung und Klimaschutz: Herausforderung oder Chance? – Eine szenarienbasierte Analyse von Effekten auf Wirtschaft und CO₂-Ausstoß

Welchen Einfluss hat die Digitalisierung auf Nachfrage, Beschäftigung, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen? Um dieser zentralen Fragestellung nachzugehen und die verschiedenen, schwer abschätzbaren Wirkmechanismen der Digitalisierung zu erfassen, wurden Szenario-Rechnungen mit dem Modellsystem QINFORGE durchgeführt, das auch die Grundlage für das Fachkräftemonitoring des BMAS bildet. In den Szenarien wurden verschiedene für die Digitalisierung relevante Themen abgedeckt, wie z. B. Konsum, Produktionsweisen der Industrie, Arbeitsweisen in Behörden sowie Landwirtschaft. Um die Wirkung der Szenarien darzustellen, wurden die resultierenden Entwicklungen für Wertschöpfung, Lohneinkommen, Arbeitsplätze und CO₂-Emissionen analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Digitalisierung nicht immer im positiven Zusammenhang mit der sozial-ökologischen Transformation steht und bspw. auch zu einer Zunahme der CO₂-Emissionen führen kann. In einigen Handlungsfeldern können durch staatliche Vorgaben, wie bspw. Recyclingquoten und Kostenersparnisse durch höhere Effizienz jedoch Synergien zwischen Digitalisierung und sozial-ökologischer Transformation gefördert werden. Da der Energieverbrauch die Umweltbilanz der Digitalisierung maßgeblich beeinflusst, ist die Nutzung erneuerbarer Energien essenziell dafür, dass die Digitalisierung zu sinkenden CO₂-Emissionen führt. Eine abschließende Antwort auf die Frage der sozialen und ökologischen Wirkungen der Digitalisierung ist aufgrund dynamischer Entwicklungen, bspw. im Hinblick auf KI, derzeit nicht möglich.

Abstract: Digitalization and climate protection: Challenge or opportunity? – A scenario-based analysis of effects on the economy and CO₂ emissions

The central question of this study is what impact digitization has on demand, employment, energy consumption, and emissions. A final answer is not possible at present due to the unclear effects, for example with regard to artificial intelligence. In order to capture the various mechanisms of digitalization that are difficult to assess, scenario experiments were carried out using the QINFORGE model system, which also forms the basis for the BMAS's skilled labor monitoring. The scenarios cover topics such as digitalization in government, private households' consumption, production methods in industry and agriculture, and investments in data centers. Indicators such as GDP, wage income, jobs, and CO₂ emissions were taken into account and analyzed. In addition, expert knowledge was incorporated into the scenario design in many areas. The results show that digitalization does not automatically drive socio-ecological transformation but can be promoted in clear areas of action through government incentives and changes in the cost situation. Digitalization has a particularly positive effect when it can draw on renewable energies.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Zusammenfassung.....	10
Summary.....	12
1 Einleitung.....	14
2 Modellierung und Methodik.....	15
3 Die Szenarien.....	17
3.1 Die Szenarien im Überblick.....	17
3.2 Digitalisierung des Staates.....	18
3.3 Digitalisierung bei dem Konsum der privaten Haushalte: Very Fast Fashion.....	20
3.4 Digitalisierung bei dem Konsum der privaten Haushalte: Gebäudeautomation.....	23
3.5 Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur.....	26
3.6 Investition in Rechenzentren.....	29
3.7 Digitalisierung im industriellen Kern.....	32
3.8 Digitalisierung und Recycling.....	35
3.9 Digitalisierung in der Landwirtschaft.....	37
3.10 Digitalisierung im Baugewerbe.....	39
3.11 Digitalisierung in der Textilindustrie.....	42
4 Digitalisierung, Nachfrage und Beschäftigung – eine Zusammenfassung.....	45
5 Literatur.....	51
A Anhang: Übersicht Modellannahmen.....	53
B Anhang: Expert*innen-Interviews Energiespeicher.....	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Modellkasten QuBe	15
Abbildung 2:	Szenariotechnik	16
Abbildung 3:	Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung des Staates“.....	19
Abbildung 4:	Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Digitalisierung des Staates“	20
Abbildung 5:	Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Very Fast Fashion“	22
Abbildung 6:	Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Very Fast Fashion“	23
Abbildung 7:	Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Gebäudeautomation“	25
Abbildung 8:	Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Gebäudeautomation“	26
Abbildung 9:	Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur“	28
Abbildung 10:	Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Berufen (Top 8) für das Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur“	29
Abbildung 11:	Ergebnisübersicht Szenario „Investition in Rechenzentren“	31
Abbildung 12:	Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2030 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Investitionen in Rechenzentren“	32
Abbildung 13:	Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung im industriellen Kern“	34
Abbildung 14:	Szenariowirkung auf Beschäftigtenzahl im Jahr 2040 nach Regionalität für das Szenario „Digitalisierung im industriellen Kern“	35
Abbildung 15:	Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung und Recycling“	36
Abbildung 16:	Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung in der Landwirtschaft“	38
Abbildung 17:	Szenariowirkung auf Beschäftigtenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveaus für das Szenario „Digitalisierung in der Landwirtschaft“	39
Abbildung 18:	Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung im Baugewerbe“ ..	41
Abbildung 19:	Szenariowirkung auf Beschäftigtenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveaus für das Szenario „Digitalisierung im Baugewerbe“	42

Abbildung 20:	Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung in der Textilindustrie“43
Abbildung 21:	Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Digitalisierung in der Textilindustrie“44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse der Szenarien im Jahr 2040 im Überblick.....45
------------	---

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
BIM	Building Information Modeling
EZH	Einzelhandel
Gg	Gigagramm
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
KI	Künstliche Intelligenz
MW	Megawatt
OZG	Onlinezugangsgesetz
PV	Photovoltaik
TJ	Terajoule
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
WZ	Wirtschaftszweig

Zusammenfassung

Um die verschiedenen ökonomischen Auswirkungen der Digitalisierung auf Nachfrage und Beschäftigung sowie CO₂-Emissionen besser zu verstehen, werden mit dem Modellsystem QINFORGE Szenario-Rechnungen durchgeführt. Das System wird seit 2007 im Rahmen des QuBe-Projekts aktualisiert sowie evaluiert und dient u. a. als Grundlage für das Fachkräftemonitoring des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS). Das QuBe-Projekt www.qube-projekt.de wird unter der gemeinsamen Leitung des Bundesinstituts für Berufsbildung (BIBB) und des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB) in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung (GWS) durchgeführt. Ziel der Szenarien ist es, Wirkungsmuster der Digitalisierung im Hinblick auf Beschäftigung, Wertschöpfung, Einkommen und CO₂-Emissionen zu analysieren. Dabei wird auch untersucht, wo Zielkonflikte entstehen könnten, etwa zwischen höherer Wertschöpfung und höheren Emissionen.

Zu folgenden Themen wurden Szenarien gerechnet: Digitalisierung des Staates, Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte im Rahmen von Very Fast Fashion, Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte im Rahmen von Gebäudeautomation, Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte im Rahmen von Reparatur, Investitionen in Rechenzentren, Digitalisierung im industriellen Kern, Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft, Digitalisierung in der Landwirtschaft, Digitalisierung im Baugewerbe und Digitalisierung in der Textilindustrie.

Bei der Auswertung der Ergebnisse werden für jedes Szenario zunächst die vier Indikatoren Wertschöpfung, Lohn Einkommen, Arbeitsplätze und CO₂-Emissionen betrachtet. Zusätzlich werden – wenn es signifikante Veränderungen gibt – die Auswirkungen auf Erwerbstätige nach Anforderungsniveau (Helfer*in, Fachkraft, Spezialist*in, Expertin), Regionalität (kreisfreie Großstadt, städtischer Kreis, ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen, dünn besiedelte ländliche Kreise) oder nach Beruf gezeigt. Die Ergebnisse der genannten Szenarien sind jeweils als Abweichung (absolut oder prozentual) von der QuBe-Basisprojektion (8. Welle) dargestellt. Die Basisprojektion dient dabei als Referenzszenario, das zusätzlich zu aus der Historie beobachteten und fortgeschriebenen Entwicklungen auch bereits bekannte bzw. wahrscheinliche Veränderungen enthält. Diese Rahmendaten werden u. a. mit einem Beirat abgestimmt und wie auch das Modell selbst jährlich aktualisiert und hinterfragt.

Im Verlauf des Projektes wurden zusätzlich Expert*innen zu spezifischen Fragen der Digitalisierung interviewt, z. B. wie der Ausbau von Rechenzentren die Emissionen beeinflusst und in welchen Größenordnungen diese Effekte zu erwarten sind. Zum sehr aktuellen Thema Stromspeicher wurden Expert*innen-Interviews durchgeführt, aufgrund der aktuell schwachen Datenlage jedoch kein Szenario gerechnet.

Die Szenarien- und Expert*innen-Ergebnisse zeigen potenzielle Vor- und Nachteile einzelner digitalisierungsbedingter Veränderungen auf und regen zu weiterer Forschung an. Da sie unterschiedliche Effekte auslösen können, sind die Auswirkungen der Digitalisierung auf verschiedene Bereiche nicht eindeutig. Digitalisierung kann den Zugang zu Dienstleistungen verbessern und neue Warenströme generieren oder aber auch bestehende Güterströme reduzieren. Zudem kann sie als Mittel zur Erreichung von Drittzielen, wie einem besseren Zugang zur öffentlichen Verwaltung, dienen. Die Digitalisierung führt zu unterschiedlichen Verteilungswirkungen: Einige Branchen profitieren direkt – wie beim Onlinehandel – während andere wie der Einzelhandel (EZH) Nachteile erfahren. Besonders stark ist der Effekt auf die betrachteten Indikatoren, wenn Digitalisierung zur Vermeidung von Güterströmen eingesetzt wird, etwa bei der Reduktion von Importen oder dem Materialverbrauch, wie in den Szenarien „Industrieller Kern“ und „Reparatur“. Im Fall von „Reshoring“, also die Rückverlagerung von

zuvor ins Ausland ausgelagerten Produktions- oder Dienstleistungsstandorten oder dem Recycling, ist der Effekt weniger eindeutig: Zwar werden Importe vermieden, aber es entstehen neue Produktionsprozesse und damit Investitionen und Energieverbrauch im Inland. Ein weiteres unvermeidliches Element ist die Notwendigkeit von Rechenzentren, die nicht nur für KI, sondern auch für eine schnelle Digitalisierung im Inland erforderlich sind und mit erheblichem Energieverbrauch verbunden sind. Übergangsphasen, wie beispielsweise bei Investitionen in der Landwirtschaft, führen zu kurzfristig höheren Kosten, bevor langfristige Vorteile wie eine höhere Wettbewerbsfähigkeit sichtbar werden.

Das Ergebnis der Szenarien ist ein **Wirkungsradar der Digitalisierung** auf Nachfrage und Beschäftigung vor dem Hintergrund der Dekarbonisierung, der nicht den Anspruch hat, abschließende Ergebnisse, sondern indikativ Wirkungsweisen aufzuzeigen. Das Wirkungsradar sendet in Form von Szenariorechnungen Impulse aus und wir schauen auf die entstehenden Wirkungen um so einen möglichst breiten Rundumblick auf den Zusammenhang zwischen Digitalisierung und Nachfrage- und Beschäftigung abzubilden.

Die Digitalisierung setzt verschiedene Mechanismen in Gang, löst aber nur im Ausnahmefall nennenswerte Verminderungen der CO₂-Emissionen aus. Die entscheidende Ausnahme stellt die mögliche Wirkung der Digitalisierung auf den industriellen Kern da. Es können Materialströme und die mit ihnen verbundenen hoch energetischen Prozesse wegfallen. Nur in solchen Fällen führt mehr Digitalisierung zu einer eindeutigen Reduktion von CO₂-Emissionen. Da der Energieverbrauch eine zentrale Größe bei der Digitalisierung ist, ist die Nutzung erneuerbarer Energien eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass die Digitalisierung zu sinkenden CO₂-Emissionen führt.

Die Auswirkungen der Digitalisierung auf Nachfrage und Beschäftigung im Kontext des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen sind nicht vollständig erfassbar. Auch zahlreiche Entwicklungen wie die Auswirkungen von KI auf die Wirtschaft sind noch unklar. Die verfügbaren Daten zur Wirkung der KI sind begrenzt, da erste volkswirtschaftliche Daten nur für einen kurzen Zeitraum vorliegen. Gleichwohl ist festzustellen, dass die Digitalisierung Unternehmen, Konsumnachfrage und Exportmöglichkeiten bereits deutlich beeinflusst. Dies hat auch Auswirkungen auf die Klimaneutralität und den Ressourcenverbrauch in Deutschland.

Summary

In order to better understand the various economic effects of digitization on demand, employment, and CO₂ emissions, scenario calculations are carried out using the QINFORGE model system. This system has been updated and evaluated since 2007 as part of the QuBe project and serves, among other things, as the basis for the BMAS's skilled labor monitoring. The QuBe project www.qube-projekt.de is being carried out under the joint leadership of the Federal Institute for Vocational Education and Training (BIBB) and the Institute for Employment Research (IAB) in cooperation with the Society for Economic Structural Research (GWS). The aim of the scenarios is to analyze the impact patterns of digitalization in terms of employment, value added, income, and CO₂ emissions. The project also examines where conflicts of interest could arise, for example between higher value added and higher emissions.

Scenarios were calculated for the following topics: Digitalization of the state, digitalization in private household consumption in the context of very fast fashion, digitalization in private household consumption in the context of building automation, digitalization in private household consumption in the context of repairs, investments in data centers, digitalization in the industrial core, digitalization and the circular economy, digitalization in agriculture, digitalization in the construction industry, and digitalization in the textile industry.

When evaluating the results, the four indicators of value added, wage income, jobs, and CO₂ emissions are first considered for each scenario. In addition, if there are significant changes, the effects on employees are shown according to skill level (assistant, skilled worker, specialist, expert), region (independent city, urban district, rural districts with signs of densification, sparsely populated rural districts) or occupation. The results of the scenarios mentioned are presented as deviations (absolute or percentage) from the QuBe baseline projection (8th wave). The base projection serves as a reference scenario that includes not only developments observed and extrapolated from history, but also known or probable changes. This framework data is coordinated with an advisory board, among others, and, like the model itself, is updated and reviewed annually.

During the course of the project, experts were also interviewed on specific issues relating to digitalization, such as how the expansion of data centers affects emissions and the magnitude of these effects. Expert interviews were conducted on the highly topical issue of electricity storage, but no scenario was calculated due to the current lack of data.

The scenarios and expert findings highlight potential advantages and disadvantages of individual changes brought about by digitalization and encourage further research. Since they can trigger different effects, the impact of digitalization on various areas is not clear-cut. Digitalization can improve access to services and generate new flows of goods, but it can also reduce existing flows of goods. In addition, it can serve as a means of achieving third-party goals, such as better access to public administration. Digitalization leads to different distributional effects: some industries benefit directly – as in online retail – while others, such as brick-and-mortar retail, experience disadvantages. The effect on the indicators considered is particularly strong when digitalization is used to avoid flows of goods, for example, by reducing imports or material consumption, as in the “Industrial Core” and “Repair” scenarios. In the case of “reshoring,” i.e., the relocation of production or service sites that had previously been outsourced abroad, or recycling, the effect is less clear: although imports are avoided, new production processes are created, leading to domestic investment and energy consumption. Another unavoidable element is the need for data centers, which are necessary not only for AI but also for rapid domestic digitalization and are associated with considerable energy

consumption. Transition phases, such as investments in agriculture, lead to higher costs in the short term before long-term benefits such as greater competitiveness become apparent.

The result of the scenarios is an impact radar of digitalization on demand and employment against the backdrop of decarbonization, which does not claim to show conclusive results, but rather indicative effects. The impact radar sends out impulses in the form of scenario calculations, and we look at the resulting effects in order to provide as broad an overview as possible of the connection between digitalization and demand and employment.

Digitalization sets various mechanisms in motion, but only in exceptional cases does it trigger significant reductions in CO₂ emissions. The decisive exception is the possible impact of digitalization on the industrial core. Material flows and the associated high-energy processes can be eliminated. Only in such cases does greater digitalization lead to a clear reduction in CO₂ emissions. Since energy consumption is a key factor in digitalization, the use of renewable energies is an essential prerequisite for digitalization to lead to lower CO₂ emissions.

The effects of digitalization on demand and employment in the context of energy consumption and CO₂ emissions cannot be fully assessed. Numerous developments, such as the impact of AI on the economy, are also still unclear. The available data on the impact of AI is limited, as initial economic data is only available for a short period of time. Nevertheless, it can be said that digitalization is already having a significant impact on companies, consumer demand, and export opportunities. This also has implications for climate neutrality and resource consumption in Germany.

1 Einleitung

Welchen Einfluss nimmt die Digitalisierung auf Nachfrage und Beschäftigung vor dem Hintergrund des durch die Digitalisierung ausgelösten Energieverbrauchs und der damit verbundenen Emissionen? Die Entwicklung im Rahmen von KI (Künstliche Intelligenz) hat eine außerordentliche Dynamik und die wissenschaftliche Literatur bietet noch kein klares Bild (vgl. Becker et al. (2025)). ChatGPT wurde im November 2022 veröffentlicht, sodass nur wenige Daten auf der Ebene von Branchen vorliegen. Dennoch ist die Digitalisierung, die nicht nur Prozesse und Kostenstrukturen von Unternehmen, sondern auch Konsumnachfrage und Exportmöglichkeiten beeinflusst, ein entscheidender Einflussfaktor auch für die Klimaneutralität des Standortes Deutschland.

Angesichts der Vielzahl von ökonomischen Anknüpfungspunkten der Digitalisierung und damit der unterschiedlichen Wirkungen auf Nachfrage und Beschäftigung sowie der nur schwer abschätzbaren Pfade der Digitalisierung (u. a. Wirkung der KI), werden Szenario-Experimente mit dem Modellsystem QINFORGE durchgeführt, das die Basis des Fachkräftemonitorings für das BMAS stellt. Das Modellsystem wird seit 2007 durch das QuBe-Projekt (www.qube-projekt.de) getragen. Mit solchen experimentellen Szenarien wird nicht der eine wahre Zukunftspfad gefunden, nichtsdestotrotz ergeben sich Wirkungsmuster für ausgewählte Aspekte der Digitalisierung. Diese Muster werden vor dem Hintergrund der beschlossenen Klimaneutralität und der sozial-ökologischen Transformation betrachtet. Es wird also insbesondere den Fragen nachgegangen: Welche Wirkungen auf Beschäftigung, Wertschöpfung, Lohneinkommen und CO₂-Emissionen sind zu erwarten und wo können Zielkonflikte entstehen? Zu diesen könnte gehören, dass eine höhere Wertschöpfung i. d. R. auch mit höheren Emissionen einhergeht.

Bei der Gestaltung der Szenarien ist wiederholt die Expertise von Expert*innen eingeholt worden. Dabei stehen insbesondere Fragen nach den Wirkungskontexten im Vordergrund: Welche Wirkungskanäle werden durch bspw. den beschleunigten Ausbau von Rechenzentren wahrscheinlich angestoßen? Welche Aspekte sind zu betrachten? Und schließlich: Gibt es Informationen über die Größe des originären Impulses gemessen in Euro, Stunden oder Arbeitsplätzen? Immer wieder entziehen sich einzelne Aspekte einer finalen Klärung. So hat der Ausbau von Stromspeichern seit 2023 erheblich zugenommen (Stichwort: „Balkonkraftwerk“). In diesem Fall sind die Ergebnisse der Expert*innen-Interviews in Anhang B berichtet und keine Szenario-Ergebnisse vorgestellt, da keine ausreichenden Daten vorliegen.

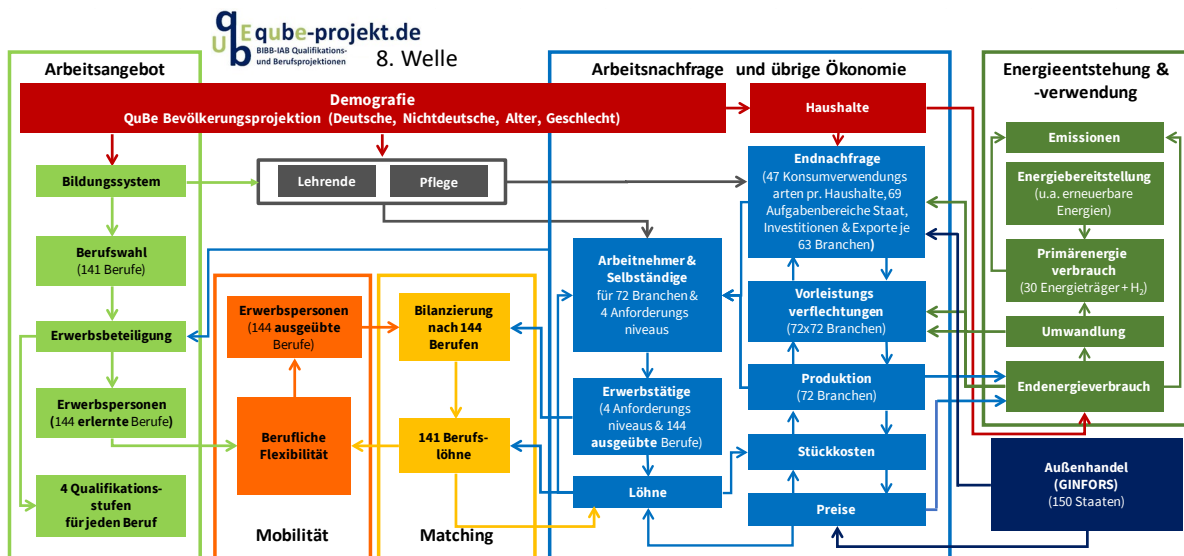
Die Ergebnisse der gerechneten Szenarien und der durchgeführten Expert*innengespräche klären nicht eindeutig den Einfluss der Digitalisierung auf z. B. die CO₂-Emissionen. Die Ergebnisse zeigen aber, worin Vor- und Nachteile einzelner Veränderungen liegen könnten und geben Anlass, weitere detailliertere Forschungsvorhaben durchzuführen. Das Ergebnis ist ein **Wirkungsradar der Digitalisierung** auf Nachfrage und Beschäftigung vor dem Hintergrund der Dekarbonisierung, der nicht den Anspruch hat, abschließende Ergebnisse, sondern indikativ Wirkungsweisen aufzuzeigen.

Da die gewählte Methodik die Ergebnisse prägt, ist das eingesetzte Instrumentarium kurz beschrieben und im Anschluss die eingesetzte Szenariotechnik erläutert. Schließlich sind die einzelnen Szenarien anhand von ausgesuchten Indikatoren vorgestellt und ausgewertet.

2 Modellierung und Methodik

Das hier verwendete **Modellsystem** des QuBe-Projektes (vgl. qube-projekt.de) wird bereits seit 2007 durchgehend aktualisiert und eingesetzt und es ist sehr umfangreich dokumentiert (vgl. Literatur auf der Seite www.qube-projekt.de, z. B. Zika et al. 2023, aufgerufen am 09.10.2025). Jährlich wird die sogenannte „Mittelfrist“ unter dem Stichwort Fachkräftemonitoring auf der Seite des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) veröffentlicht. Die Langfristprojektionen (Wellen) werden alle zwei Jahre beim Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB) veröffentlicht (zuletzt die achte Welle) und die dazugehörigen Regionalergebnisse beim Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung (IAB) bereitgestellt. Darüber hinaus werden mit den Wellen auch Dossiers zu Berufen und Arbeitsmarktregion veröffentlicht (<https://www.bibb.de/de/163203.php>) und die konkreten Ergebnisse in ein Dashboard (www.bibb.de/de/qube_datenportal.php#/) eingepflegt. Für die vorliegenden Arbeiten wird auf den Modellstand QINFORGE_23_1 zurückgegriffen. Diese Version geht auf die Aktualisierung zurück, die im Mai 2024 abgeschlossen wurde und die Strukturdaten bis 2023 sowie Eckzahlen bis Stand 2024 berücksichtigt. Im „Modellkasten“ wird ein Überblick über das Modell gegeben, welches der achten Welle des QuBe-Projektes entnommen wurde.

Abbildung 1: Modellkasten QuBe



Quelle: www.qube-projekt.de

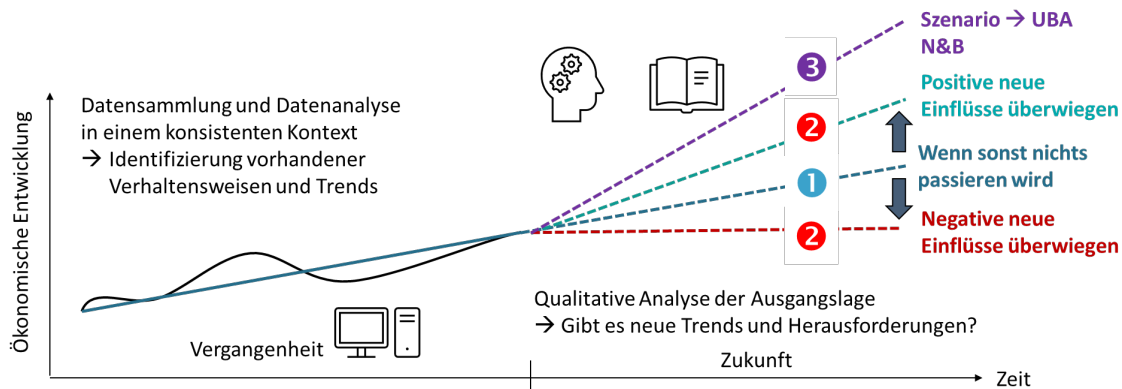
Eingesetzt ist die **Szenariotechnik**. Das Vorgehen bei der Erstellung der Basisprojektion, mit der die Szenarien im Folgenden verglichen werden, ist in Abbildung 2 dargestellt. Auf Basis aktueller Daten wird jedes Jahr die Datensammlung aktualisiert und die Datenanalysen, also z. B. die Schätzung von Verhaltensgleichungen wie das Preissetzungsverhalten des Maschinenbaus oder die Konsumententscheidung privater Haushalte für Pauschalreisen aktualisiert. Insgesamt werden mehrere 1000 Verhaltensgleichungen jährlich in Hinblick auf statistische Signifikanz und inhaltliche Aussagekraft überarbeitet. Auf Basis der Definitionsgleichungen und Verhaltensgleichungen wird ein sogenannter „Rohlauf“ \circ erstellt. Getrieben wird er durch den Vorleistungsmultiplikator, die Einkommenskreisläufe für Staat und private Haushalte, die Akzeleration (Investitionsentscheidungen angesichts des vorhandenen Kapitalstocks und der Produktion) und die Preissetzung von Unternehmen und Handel. Es wird auf der Ebene von Branchen gerechnet und die Größen wie das Bruttoinlandsprodukt ergeben sich durch Addition. Notwendig für den Rohlauf sind ferner die Vorgaben für die Bevölkerungsentwicklung aus dem

demografischen Modell des IAB und die Vorgaben aus dem Welthandelsmodell GINFORS für Importpreise und Exportnachfrage nach Gütern.

Auf den Rohlauf werden die Wirkungen von absehbaren Einflussfaktoren aufgesetzt, deren Wirkungen dem Modell nicht bekannt sein können, da sie bisher unzureichend oder gar nicht in den empirisch vorliegenden Daten abgebildet werden können. Dazu gehören z. B. die deutlich gestiegenen Ausgaben für die Verteidigung, der zusätzliche Ausbau der erneuerbaren Energien oder auch die Klimafolgen und -anpassungen (Maier et al. 2024). Diese Einflüsse können auf Modellgrößen positive oder negative Wirkungen haben ○. Aus dem Rohlauf und den zusätzlichen Einflüssen ergibt sich die sogenannte QuBe-Basisprojektion, welche auch für das Fachkräftemonitoring des BMAS ausschlaggebend ist. Annahmen, die zu ○ gehören, werden u. a. mit Beiräten, Expert*innen und innerhalb des QuBe-Teams diskutiert und dann festgelegt. Die Entscheidungen werden jedes Jahr hinterfragt und aktualisiert.

Die nun im Folgenden beschriebenen Szenarien setzen auf der Basisprojektion auf und berücksichtigen bereits die Komponenten ○ und ○. Es sind dem Modellsystem also weitere Informationen zu Verfügung gestellt. In ○ ergeben sich also weiterhin mögliche, aber aus Sicht des QuBe-Projektes (noch) nicht wahrscheinliche Entwicklungen. Die Basisprojektion und die Szenarien, welche beide sämtliche Ergebnisse des Modells für die Vergangenheit und die Jahre ab 2025 enthalten, sind für ausgewählte Indikatoren vertikal verglichen. D. h., es ist z. B. der Abstand (absolut oder relativ) zwischen den Ergebnissen der Basisprojektion und dem Szenario im Jahr 2035 berechnet und dann dargestellt.

Abbildung 2: Szenariotechnik



Legende: „UBA N&B“: Szenario im Rahmen des Projektes „Nachfrage- und Beschäftigungseffekte künftiger Umweltschutzmaßnahmen“ (UBA N&B) für das Umweltbundesamt

Quelle: eigene Darstellung GWS

3 Die Szenarien

3.1 Die Szenarien im Überblick

Es wurden folgende **zehn** Szenarien gerechnet, die sich aus den Ergebnissen der Literaturstudie und der Expertise aus Interviews ergeben haben. Bei der Auswahl wurde zudem auf die ökonomische Modellierbarkeit sowie die Verfügbarkeit einer genügenden empirischen Datengrundlage geachtet:

- ▶ Digitalisierung des Staates
- ▶ Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Very Fast Fashion
- ▶ Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Gebäudeautomation
- ▶ Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur
- ▶ Investitionen in Rechenzentren
- ▶ Digitalisierung im industriellen Kern
- ▶ Digitalisierung und Recycling
- ▶ Digitalisierung in der Landwirtschaft
- ▶ Digitalisierung im Baugewerbe
- ▶ Digitalisierung in der Textilindustrie

Die Auswahl der Szenarien erfolgt angesichts der vermuteten starken Verbindung zu Umweltaspekten und im Hinblick auf die Aktualität des Themas. Diese Szenarien sind nur eine Teilanalyse. Die Digitalisierung kann nicht vollumfänglich abgebildet werden, da sie an fast allen Stellen in der Wirtschaft in unterschiedlichem Maße und mit unterschiedlichen Wirkkanälen eine Rolle spielt. Eine möglichst vollständige Modellierung ist extrem aufwendig und bleibt trotzdem lückenhaft. Für jedes Szenario konnten umfangreiche Modellierungen und Auswertungen vorgenommen werden. Um die Übersicht zu wahren, sind stets die Ergebnisse zur Wertschöpfung, zu den Lohneinkommen, zur Zahl der Arbeitsplätze und zu den CO₂-Emissionen als Abweichung zur QuBe-Basisprojektion dargestellt. Die Abweichungen sind für die Jahre 2030, 2035 und 2040 dargestellt und beziehen sich auf Veränderungen in Prozent für Wertschöpfung und Lohneinkommen sowie absolute Veränderungen in 1000 Arbeitsplätze bzw. Tausend Tonnen.

Mit der Auswahl der Indikatoren sind u. a. Wirkungsaussagen auf die ökonomische Entwicklung (Wertschöpfung), die Lage der privaten Haushalte (Lohneinkommen), den Arbeitsmarkt (Arbeitsplätze) und den Beitrag zur Klimaneutralität (CO₂-Emissionen) möglich. Die Wirkungen sind interdependent und können nicht einfach über die Szenarien „addiert“ werden.

Selbst wenn es gelänge, alle Szenarien abschließend richtig (also nicht im Sinne von möglich oder wahrscheinlich, sondern im Sinne von tatsächlich) zu formulieren, könnte ihre Wirkung nicht addiert werden, da das Modellsystem auch das Zusammenspiel der Szenarien und ihre gegenseitigen Wirkungen erfasst. Ein Beispiel ergibt sich aus der Engpasslage auf den Arbeitsmarkt: Wegen der Angebotsbegrenzung auf dem Arbeitsmarkt werden Investitionsszenarien – sofern sie gleichzeitig implementiert werden – höhere Lohnsteigerungen und damit höhere Preiswirkungen hervorbringen, sodass die zusammengefasste Wirkung auf

das Lohneinkommen (Lohnsteigerung) größer ausfallen könnte, aber der zusammengefasste Wertschöpfungseffekt (Preise) kleiner ausfiele als in der reinen Addition. Eine Zusammenfassung zu einem Szenario wurde ferner nicht vorgenommen, da die Einzelkomponenten dazu aufeinander abgestimmt werden müssen. Das ist nicht erfolgt, da das Ziel ein Wirkungsradar ist, um Einzelwirkungen sichtbar zu machen.

Für die Politikberatung ergibt sich aufgrund der Ergebnisse also eine Indikation, in welche Richtung z. B. eine Förderung von Rechenzentren wirken würde. Es entsteht ein Wirkungsradar, das möglichst viele Aspekte der Digitalisierung im Hinblick auf die sozial-ökologische Transformation beleuchtet.

Wie geschildert, liegen nur teilweise Informationen für die Szenarien vor. Sie müssen ergänzt und die Angaben durch zusätzliche Quellen evaluiert werden. Dabei gelten folgende Grundsätze:

1. Kein Ertrag ohne Kosten bzw. keine Kosten ohne Ertrag.
2. Die Kosten können den Ertrag nicht langfristig übersteigen.

Der erste Grundsatz setzt auf ökonomische Vollständigkeit: Investitionen führen zu Abschreibungen (Kosten) und sie verändern die Prozesse (Einsparung) bzw. ermöglichen neue Absatzmöglichkeiten. Diese Annahme vernachlässigt dabei zwar, dass in der Realität auch Fehlinvestitionen getätigt werden, dennoch stellt sie eine wichtige Säule für eine kausale Modellierung dar. Der zweite Grundsatz achtet darauf, dass es zwischen den Komponenten eines Szenarios nicht unverhältnismäßig große Unterschiede auf der Kosten- und Ertragsseite gibt.

Im Folgenden sind die Hintergründe und Annahmen der Szenarien beschrieben und die Ergebnisse referiert. Die konkreten Szenario-Einstellungen sind im Anhang A dargestellt.

3.2 Digitalisierung des Staates

Nicht nur vor dem Hintergrund des steigenden Fachkräftemangels ist die Digitalisierung eine zentrale Zukunftsaufgabe in der öffentlichen Verwaltung. Laut Onlinezugangsgesetz (OZG) sollten bereits 2022 ein Großteil der öffentlichen Serviceangebote im Internet verfügbar sein, um die Zugänglichkeit für die Bürger*innen zu verbessern. Die Umsetzung des OZG gestaltet sich jedoch vielerorts schleppend. Häufig fehlen die nötigen Ressourcen und die Komplexität der föderalen Strukturen erschwert die flächendeckende Digitalisierung. Dennoch zeigen aktuelle Entwicklungen, dass digitale Angebote wie Online-Anträge, digitale Bürgerkonten und elektronische Aktenführung zunehmend an Bedeutung gewinnen.

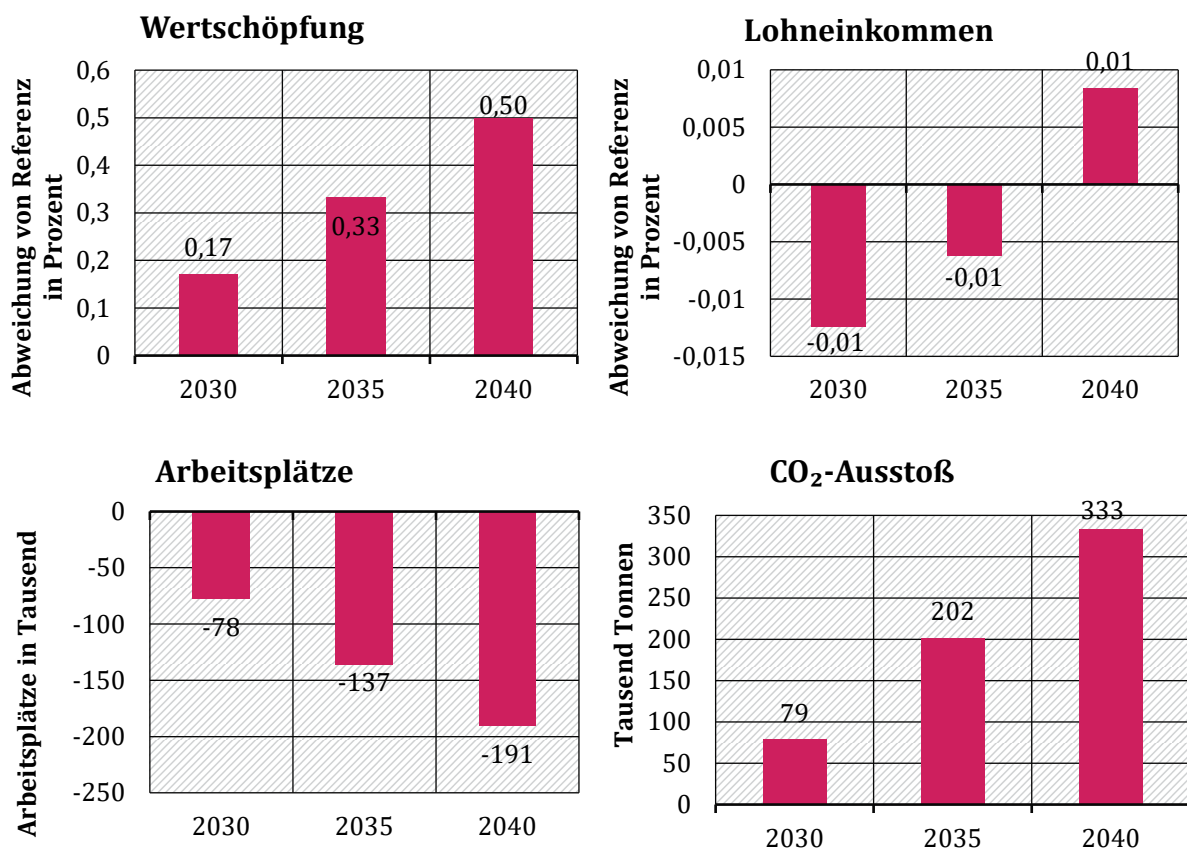
KI-Anwendungen haben das Potenzial, die Digitalisierung des Staates beschleunigt voranzutreiben. Auch wenn derzeit noch unklar ist, was KI-Anwendungen in diesem Rahmen bewirken, gibt es bereits erste Studien, die sich mit dieser Frage auseinandersetzen. Eine Studie von McKinsey (Klier et al., 2024) kommt zu dem Schluss, dass der Einsatz künstlicher Intelligenz erhebliche Auswirkungen auf die öffentliche Verwaltung haben kann. KI-Technologien ermöglichen nicht nur die automatische Verarbeitung von Daten und Dokumenten, sondern können auch Betrugsfälle erkennen und Entscheidungsprozesse unterstützen. Chatbots, intelligente Assistenzsysteme und automatisierte Auskunftsdienste können Anfragen rund um die Uhr beantworten und so die Servicequalität für Bürger*innen erhöhen. Dadurch lassen sich Verwaltungsabläufe beschleunigen, Fehlerquoten reduzieren und Mitarbeiter*innen von Routineaufgaben entlasten. Diese Studie bildet die Orientierung für die im folgenden beschriebenen Annahmen.

Für die Modellierung der ökonomischen Auswirkung ist auf Basis dieser Studie angenommen, dass die öffentliche Verwaltung bzw. der Staat seine Bemühungen in die Digitalisierung spürbar

intensiviert und die Investitionen in Hard- und Software steigert. Langfristig würde es laut der Studienautor*innen zu einer geringen Arbeitsintensivität für die Berufsgruppen Unternehmensorganisation, Büro sowie Verwaltung führen – ohne negative Rückwirkungen auf die Produktivität. Das heißt, dass die Arbeitsproduktivität durch KI-Anwendungen steigt und Arbeitsvolumen eingespart werden kann. Als Folge würde weniger Bürofläche benötigt und die Vorleistungen für Gebäude, Papier und Druck können reduziert werden.

In Abbildung 3 sind die projizierten Auswirkungen, also der jahresspezifische Vergleich der Szenario-Ergebnisse mit dem Referenzszenario dargestellt. Für die Wertschöpfung ergibt sich insgesamt ein positiver Effekt. Im Jahr 2040 könnten gegenüber dem Referenzszenario jährlich rund 0,5 % mehr Wertschöpfung erzielt werden. Dies entspräche rund 18 Mrd. Euro. Der Wertschöpfungsgewinn resultiert auch daraus, dass ein Teil der freiwerdenden Arbeitskräfte in anderen, produktiveren Branchen, eingesetzt werden kann, was sich auch in der Entwicklung der Lohneinkommen zeigt. Sie steigt dadurch an, dass die Zahl der Erwerbstätigen in Branchen mit stärkerer Wertschöpfung, in der die Lohneinkommen oft höher ausfallen, steigt. Dieser Effekt wäre zwar nur geringfügig, dennoch geht mit dieser Maßnahme ein Rückgang der Arbeitsplätze einher, der jedoch erst mit etwas Verzögerung eintreten wird. Für das Jahr 2040 sind rund 190 000 Arbeitsplätze weniger projiziert (0,4 %) als in der Basisprojektion. Allein rund 60 000 davon gehören der Berufshauptgruppe „Berufe in Recht und Verwaltung“ an. Mit einer steigenden Automatisierung würde aber auch die Inanspruchnahme von Rechenleistung steigen und somit der CO₂-Ausstoß in dem Szenario gegenüber dem Referenzszenario um rund 300 000 Tonnen (bzw. 1,1 %) im Jahr 2040 spürbar zunehmen.

Abbildung 3: Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung des Staates“



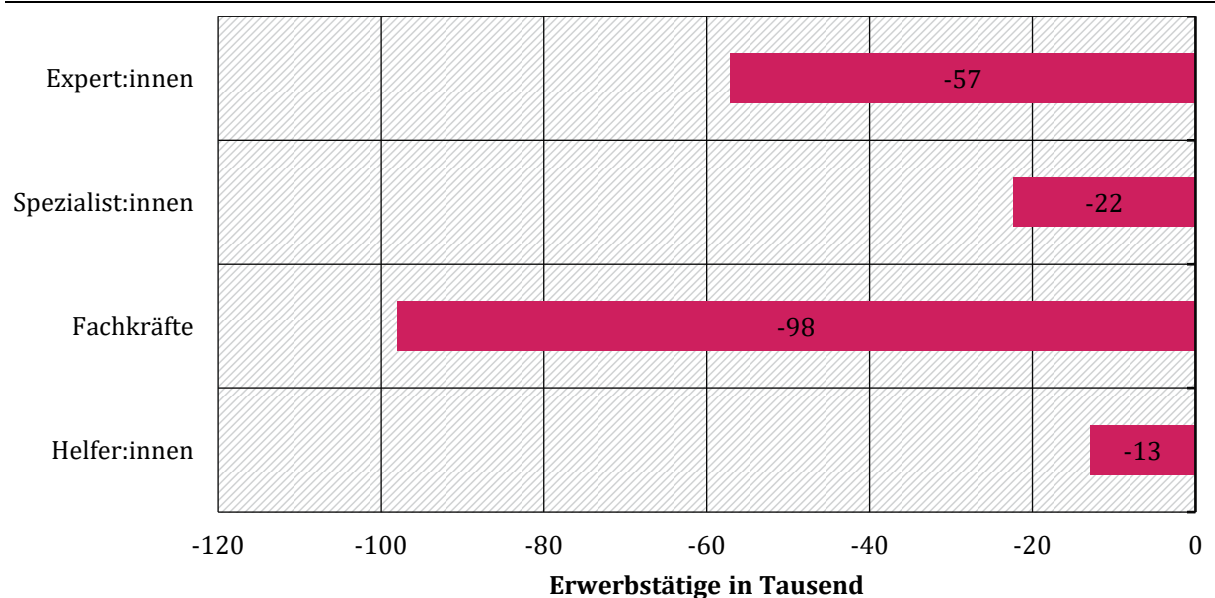
Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das

Lohneinkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

Abbildung 4 stellt die Arbeitsmarktwirkung auf die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen nach Anforderungsniveaus dar. Die Anforderungsniveaus der Bundesagentur für Arbeit unterscheiden insgesamt vier Gruppen: Hilfstätigkeiten sind typische Anlernertätigkeit. Unter die Fachkräfte fallen üblicherweise die Beschäftigten mit einer abgeschlossenen Berufsausbildung. Spezialist*innen- und Expert*innen-Tätigkeiten sind komplexe bzw. hochkomplexe Tätigkeiten. Mit einem Arbeitsplatzabbau von rund 90 000 Erwerbstätigen sind die Fachkräfte am stärksten von der Maßnahme betroffen. Allerdings werden auch hochkomplexe Expert*innen-Tätigkeiten abgebaut (rund 57 000 Erwerbstätige).

Abbildung 4: Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Digitalisierung des Staates“



Anmerkung: Die Grafik stellt die Abweichungen (absolut) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) im Jahr 2040 dar. Die vier Anforderungsniveaus beschreiben die Komplexität der beruflich ausgeübten Tätigkeit. Das Anforderungsniveau „Helfer*in“ beschreibt Helfer*innen und Anlernertätigkeiten und somit das niedrigste Qualifikationsniveau, Erwerbstätige im Anforderungsniveau „Fachkraft“ gehen fachlich ausgerichteten Tätigkeiten nach und sind besser qualifiziert als Helfer*innen (z. B. über eine Ausbildung). „Spezialist*innen“ gehen komplexeren Tätigkeiten nach und haben bspw. einen Bachelorabschluss. „Expert*innen“ üben hoch komplexe Tätigkeiten (z. B. Studienberufe) aus.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

3.3 Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Very Fast Fashion

Private Haushalte bzw. Konsument*innen greifen über Plattformen wie Temu oder Shein auf günstige Kleidung zurück, die zu sehr niedrigen Preisen verkauft und direkt an die Kund*innen geliefert wird. Dies geht mit erheblichen adversen Effekten für Klima- und Umwelt einher, etwa durch den Verbrauch von Materialien und Wasser. Hinzu kommen Emissionen von Chemikalien und Mikroplastik. Im Gegensatz zu Beobachtungen aus der Vergangenheit, sind hier vor allem in den letzten beiden Jahren erhebliche Zuwächse zu beobachten. Die digitalen Möglichkeiten auf Plattformen auch „spielerisch“ bzw. „wie ein Milliardär“ zu shoppen, bietet hohe Wachstumsmöglichkeiten. Die von Temu und Shein genutzten Schlupflöcher, wie der

Direktversand unterhalb der Wertgrenze, können bisher weder von der EU noch auf nationaler Ebene geschlossen werden (Deutschlandfunk 2024, Tagesschau 2024a; Bicking 2023; Tagesschau 2024b).

Für die Modellierung des Szenarios ist angenommen, dass private Haushalte Kleidung und Schuhe deutlich schneller ersetzen. Gründe dafür liegen in der sehr günstigen Verfügbarkeit und einer hohen Nachfrage (insb. nach Gütern aus Asien), u. a. durch Werbeerfolge bspw. durch „Gamification-Strategien“ der Verkaufsplattformen. Eine aktuelle Studie der European Environment Agency (2025) belegt, dass der Textilkonsum in der EU mit 19 kg pro Kopf auf einem Rekordniveau liegt. Entsprechend ist angenommen, dass bis 2030 20 % mehr Gegenstände (Bekleidung, Schuhe) gekauft werden. Ferner ist unterstellt, dass die Importpreise aufgrund der Preiselastizität um 20 % zurückgehen. So ist davon ausgegangen, dass bei einer gleichbleibenden Höhe von Ausgaben für Bekleidung eine höhere Anzahl dieser gekauft werden kann.

Da der Konsum in diesem Szenario vermehrt über Onlineplattformen stattfindet, ergibt sich in diesem Szenario eine Reduzierung des Arbeitsvolumens im EZH (Bekleidung) um 20 %. Der EZH Bekleidung hat einen Anteil von rund 10 % an den Beschäftigten im EZH insgesamt. Das Arbeitsvolumen der Branche „EZH“ sinkt entsprechend im Zeitraum zwischen 2025 und 2035 um 2 %.

Die oben genannten „Schlupflöcher“ ermöglichen es den Anbietern, das tradierte Preisfindungssystem der Verkaufspreise, ausgehend vom Herstellungspreis, zuzüglich Mehrwert-, Gütersteuern und Einzelhandelsleistungen zu umgehen. Daher sind die Konsumpreise bei der Modellierung in Form einer Gegenbuchung gesondert reduziert. Die branchentypischen Preiswirkungen sind dabei berücksichtigt – so stammen ca. 2 % aus den Importpreisen. Der Exportpreis wird um 10 % angehoben.

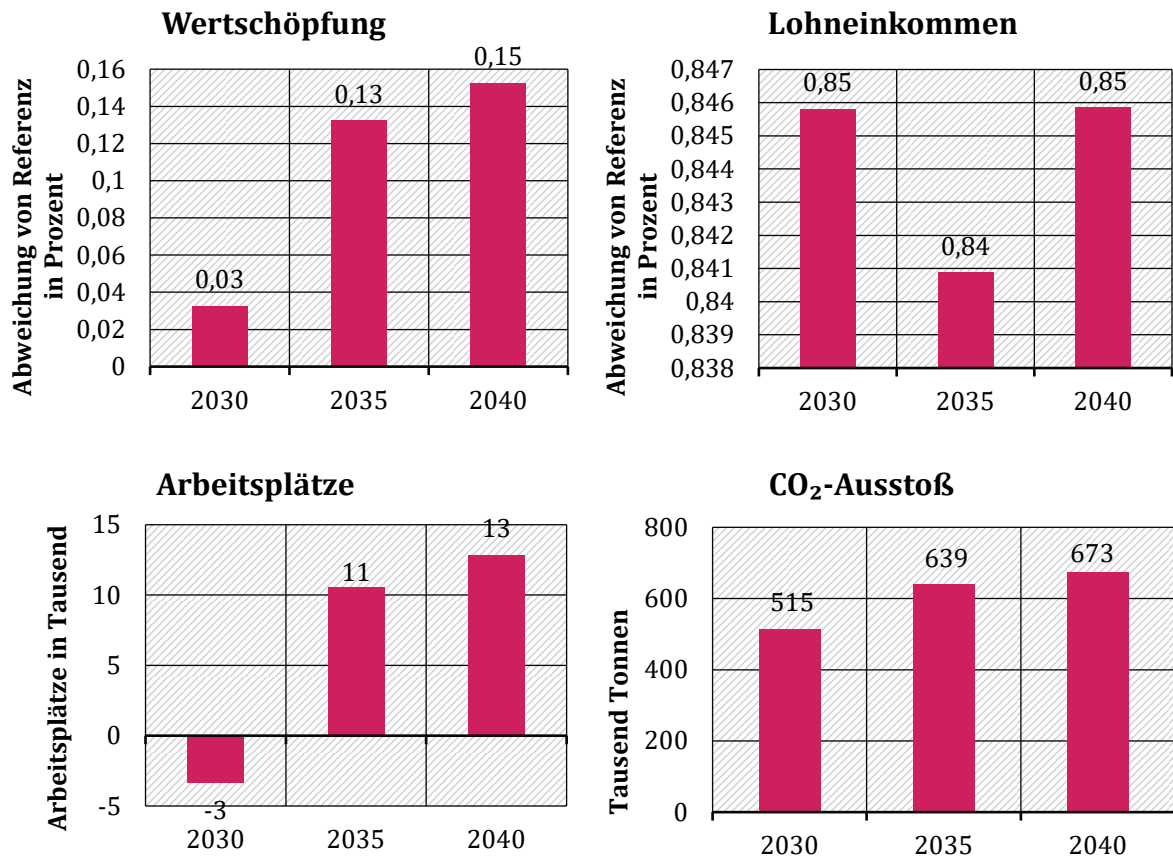
Da die Haushalte, wie oben genannt, zwar mehr Bekleidung bzw. Schuhe kaufen, aber meist nicht mehr dafür ausgeben, ist die Sparquote unverändert belassen, d. h. die privaten Haushalte setzen annähernd die gleichen Mittel ein wie in der Basisprojektion.

Die Ergebnisse dieses Szenarios sind in Form der Abweichung von der Basisprojektion in Abbildung 5 dargestellt. Der Effekt auf die Wertschöpfung ist positiv, sodass im Jahr 2040 gesamtwirtschaftlich 0,15 % (5,6 Mrd. Euro) mehr Wertschöpfung erzielt werden kann. Ebenso steigen die Lohneinkommen um rund 0,85 %. Gründe dafür liegen darin, dass freiwerdende Mitarbeiter*innen zum Teil in Berufe mit höheren Löhnen bzw. höhere Wertschöpfung wechseln und auch zusätzliche Personen erwerbstätig werden (vgl. Abbildung 5, Abbildung 6). Im Jahr 2040 könnte die Zahl der Fachkräfte im Vergleich zur Basisprojektion um 12 000 Personen zurückgehen, während die Zahl der Erwerbstätigkeiten in Helfer*innen-Tätigkeiten um 11 000 zunimmt. Im Anforderungsniveau „Expert*in“ könnte die Zahl der Erwerbstätigen um 9000 steigen, jene der „Spezialist*innen“ um 4000. Während die Anzahl der Erwerbstätigen in Verkaufsberufen zurückgeht, steigt die Zahl der Erwerbstätigen u. a. in Berufen der Unternehmensführung und -organisation, in Berufen im Bereich Finanzdienstleistungen, Rechnungswesen und Steuerberatung, aber auch in Reinigungsberufen. Die steigende Wertschöpfung geht mit höheren CO₂-Emissionen um rund 670 000 Tonnen (bzw. 2,3 %) einher.

Auf den ersten Blick überraschen einige Ergebnisse. Die Preise für Textilien gehen zurück und die Mengen nehmen zu – das senkt rechnerisch die Entwicklung der Konsumpreise jedoch auch im Durchschnitt (höhere Mengen bei gleichen Umsätzen). Die Inflation ist schwächer und damit enden dann auch Lohnverhandlungen etc. in einigen Branchen mit geringeren Steigerungen, in wachsenden Branchen nehmen die Lohneinkommen dagegen zu. Die Wettbewerbsfähigkeit des Standortes Deutschland verbessert sich. Diese Reaktion ist im Sinne von komparativen Vorteilen

zu verstehen, die sich in der gesamtwirtschaftlichen Modellierung ergeben. Allerdings fallen sie zulasten von Einzelhandelsstandorten in Deutschland und damit zur Infrastruktursituation von ländlichen Gemeinden. Werden lebenswerte Innenstädte zugunsten von geringeren Preisen und mehr Wettbewerbsfähigkeit getauscht? Digitalisierung macht in diesem Szenario Produkte günstiger, evtl. auch qualitativ schlechter. Darüber hinaus ist es möglicherweise auch nicht im Sinne der Konsument*innen. Die Umweltwirkung davon wäre nicht positiv.

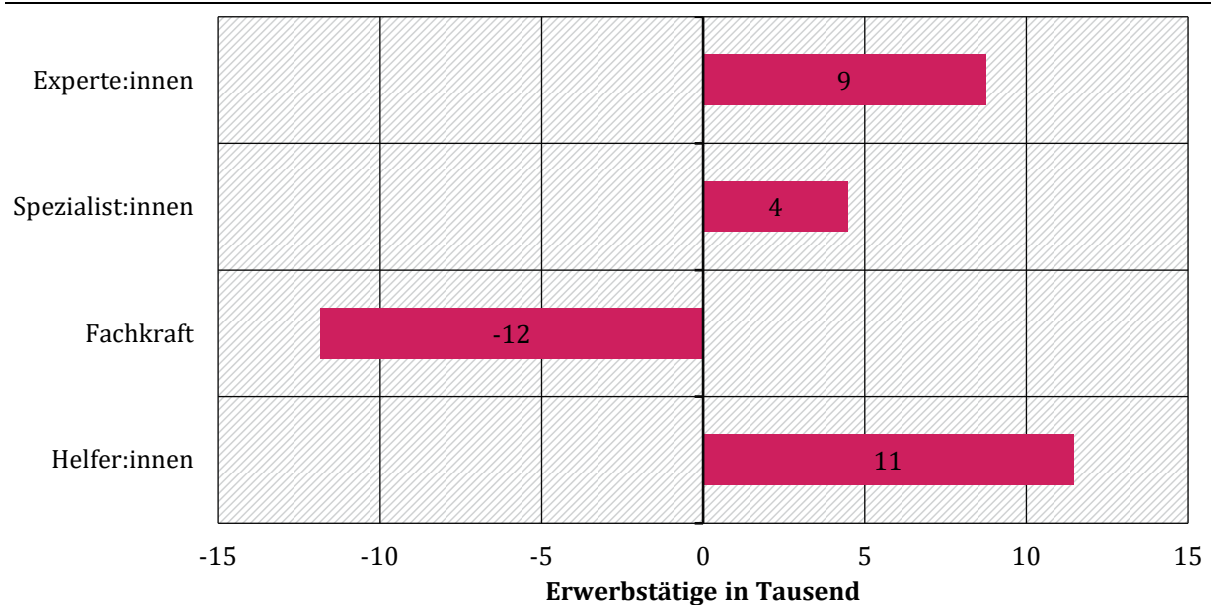
Abbildung 5: Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Very Fast Fashion“



Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das Lohneinkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

Abbildung 6: Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Very Fast Fashion“



Anmerkung: Die Grafik stellt die Abweichungen (absolut) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) im Jahr 2040 dar. Die vier Anforderungsniveaus beschreiben die Komplexität der beruflich ausgeübten Tätigkeit. Das Anforderungsniveau „Helfer*innen“ beschreibt Helfer*innen und Anlernertätigkeiten und somit das niedrigste Qualifikationsniveau, Erwerbstätige im Anforderungsniveau „Fachkraft“ gehen fachlich ausgerichteten Tätigkeiten nach und sind besser qualifiziert als Helfer*innen (z. B. über eine Ausbildung). „Spezialist*innen“ gehen komplexeren Tätigkeiten nach und haben bspw. einen Bachelorabschluss. „Expert*innen“ üben hoch komplexe Tätigkeiten (z. B. Studienberufe) aus.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

3.4 Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Gebäudeautomation

Mit der Gebäudeautomation können elektronische Geräte über das Internet gesteuert (u. a. planbarer Einsatz) und miteinander vernetzt werden (hierbei gibt es Überschneidungen mit dem Thema „Smart Grid“), wodurch es gelingen kann, den Einsatz von Geräten auf die tatsächlich gewünschten Verbräuche der Konsument*innen passgenauer auszurichten. Damit verbunden sind Einsparungen möglich. Es sind jedoch neue oder ergänzende Geräte notwendig, die diese Steuerung ermöglichen, was zu einem vorzeitigen Ersatz alter Geräte, der zusätzlichen Nutzung von Onlinediensten und geänderten Nutzungsdauern neuer Geräte führen kann. Außerdem können Materialverbräuche für die neuen Geräte in den Bereichen Heizung, Licht und Kühlung (Verschattung, aber auch Kühlschrank) höher sein. Entertainment, Sicherheit und Onlinedienste zur Verwaltung kommen als Leistungen hinzu. Das Volumen ist wie folgt abgeschätzt: Es gibt ca. 40 Mio. Wohnungen in Deutschland und jährlich kommen ca. 300 000 Wohnungen neu hinzu.

Im Modell werden für das Szenario folgende Eingriffe vorgenommen: Der Kauf elektronischer Geräte ist vorgezogen oder Geräte werden vorzeitig ersetzt, um die Vorteile der Gebäudeautomation nutzen zu können¹. Es ist angenommen, dass die Ausgaben privater Haushalte für Haushaltsgeräte folglich bis 2035 um 10 % über die Basisprojektion hinaussteigen

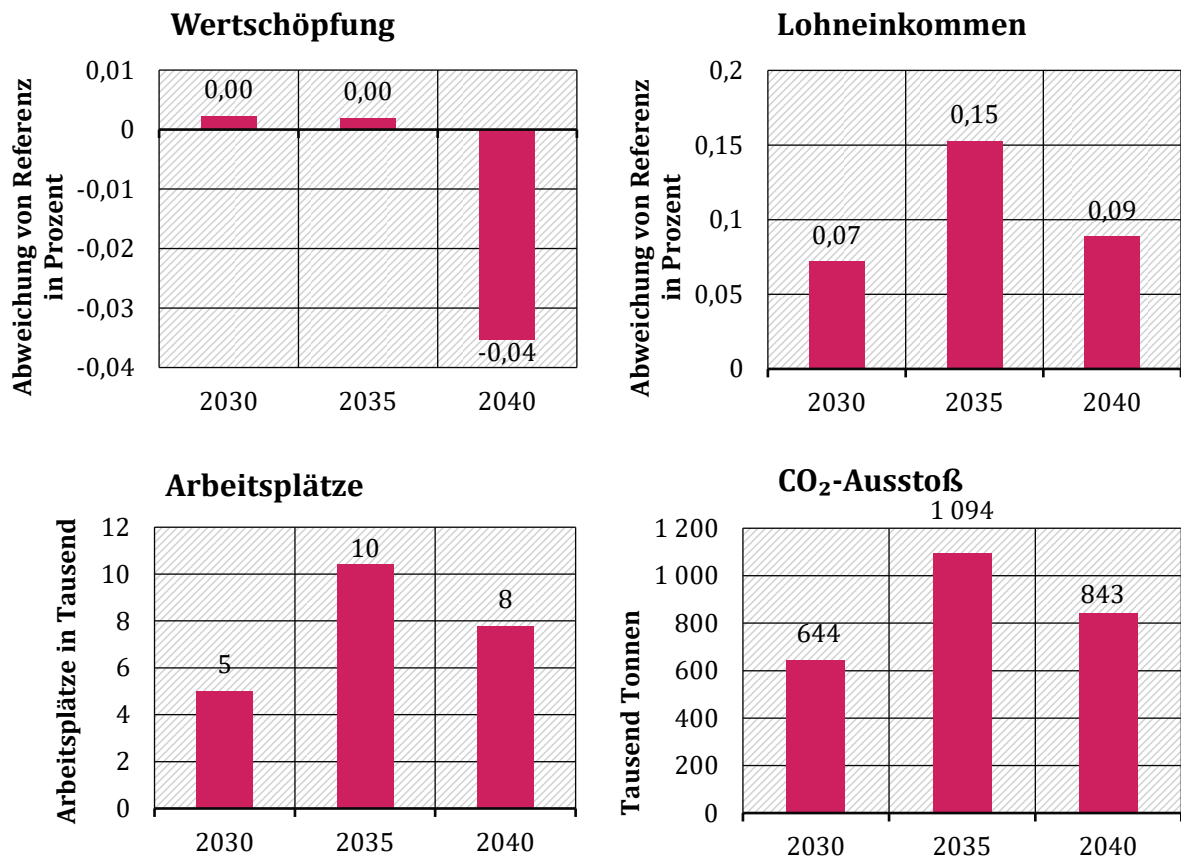
¹ Auch die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) in Auftrag gegebene Forsa-Umfrage „Umweltfolgen der Digitalisierung künftig stärker berücksichtigen“ nennt das Risiko zunehmend Elektroschrotts wegen stark steigender Zahl und häufigen Wechsels technischer Geräte (<https://www.dbu.de/news/umweltfolgen-der-digitalisierung-kuenftig-staerker-beruecksichtigen/>).

und dass der Konsumpfad danach wieder auf das Niveau der Basisprojektion zurückgeht. Zudem ist unterstellt, dass Onlinedienste von privaten Haushalten bis 2035 um 1 % mehr eingesetzt werden. Danach bleibt dieses neue Niveau erhalten. Das hat veränderte Verbräuche zur Folge: Für Strom ist angenommen, dass sich die Ersparnisse und die zusätzlichen Verbräuche (z. B. Internet-Dienstleistungen) die Waage halten. Aufgrund einer besseren Steuerung infolge der Gebäudeautomation gehen die Verbräuche von Gas und Heizöl zurück. Um die Rückgänge der Verbräuche abzuschätzen, ist unterstellt, dass sich die Investitionen (vorgezogener Ersatz) amortisieren. Der Kauf der Geräte refinanziert sich über die Energieeinsparungen.

Aus den für die Vergangenheit vorliegenden Daten ist trotz zunehmenden Digitalisierungsoptionen ein Rückgang des Anteils der „elektronischen Ausrüstungen“ in den Bauinvestitionen zu beobachten. Aus diesem Grund erscheint es nicht plausibel, Szenario-Einstellungen an dieser Stelle vorzunehmen. Um den Einbau bzw. die Installation der Gebäudeautomation abzubilden, ist stattdessen angenommen, dass der Anteil elektronischer Ausrüstungen als Teil der verwendeten Vorleistungen des Ausbaugewerbes bis 2035 um 10 % zunimmt.

Im Vergleich zur Basisprojektion verändert sich die Wertschöpfung im Szenario kaum (vgl. Abbildung 7). Nach 2035 geht sie leicht zurück, weil die Investitionen gemäß Annahmen ab 2035 nicht weiterwachsen. Im Zuge des verstärkten Einsatzes digitaler Geräte werden etwas mehr zusätzliche Personen in Berufen der Unternehmensführung und in Mechatronik-, Energie- und Elektroberufen benötigt. Erwerbstätige werden hier überwiegend in den Anforderungsniveaus Fachkraft, Expert*in oder Spezialist*in benötigt (vgl. Abbildung 8). Wie auch in den anderen Szenarien steigen die CO₂-Emissionen durch den erhöhten Bedarf an elektrischen Geräten und vermehrten Einsatz von Digitalisierung um rund 800 000 Tonnen bzw. fast 3 %. Die Emissionen könnten etwas geringer ausfallen, wenn ausschließlich Strom aus erneuerbaren Quellen von privaten Haushalten eingesetzt wird. Die Produktion der Geräte führt ebenfalls zu CO₂-Ausstoß, wenn auch nicht zwangsläufig in Deutschland. Zuletzt ist eine Studie (Technopolis und IÖW 2024) erschienen, die zu dem Ergebnis kommt, dass die Umweltbelastungen durch Maßnahmen im Rahmen der Gebäudeautomation geringer ausfallen als deren Umweltentlastungen. In der gesamtwirtschaftlichen Betrachtung kann sich aber dennoch ein Anstieg der CO₂-Emissionen ergeben.

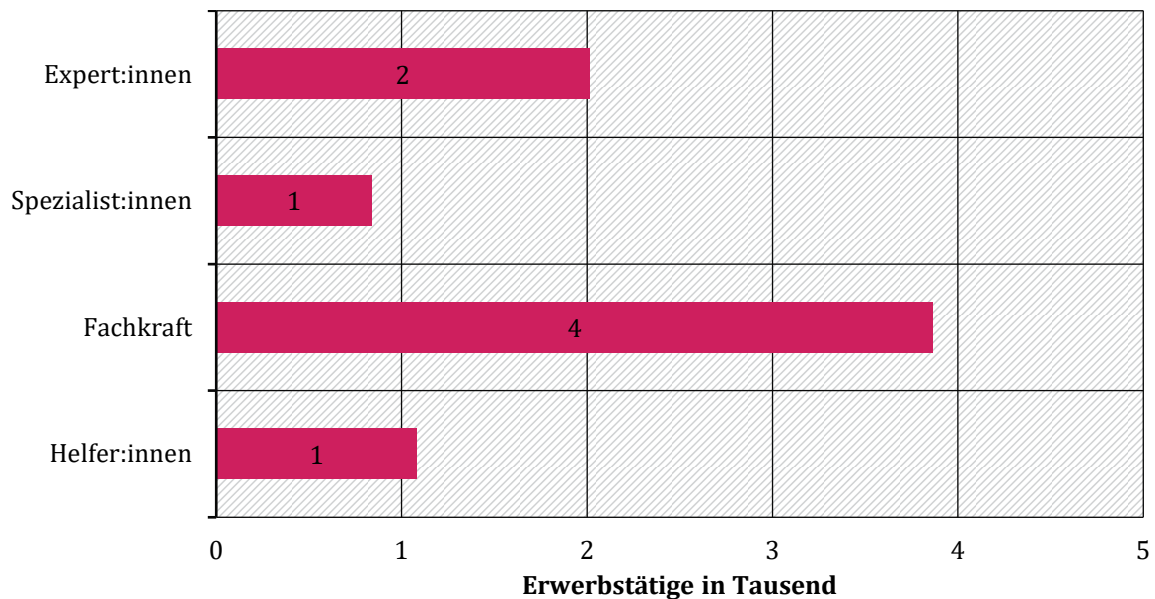
Abbildung 7: Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Gebäudeautomation“



Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das Lohnneinkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

Abbildung 8: Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Gebäudeautomation“



Anmerkung: Die Grafik stellt die Abweichungen (absolut) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) im Jahr 2040 dar. Die vier Anforderungsniveaus beschreiben die Komplexität der beruflich ausgeübten Tätigkeit. Das Anforderungsniveau „Helfer+innen“ beschreibt Helfer*innen und Anlernertätigkeiten und somit das niedrigste Qualifikationsniveau, Erwerbstätige im Anforderungsniveau „Fachkraft“ gehen fachlich ausgerichteten Tätigkeiten nach und sind besser qualifiziert als Helfer*innen (z. B. über eine Ausbildung). „Spezialist*innen“ gehen komplexeren Tätigkeiten nach und haben bspw. einen Bachelorabschluss. „Expert*innen“ üben hoch komplexe Tätigkeiten (z. B. Studienberufe) aus.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

3.5 Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur

Die Anteile der Reparaturausgaben sind an den Verwendungszwecken Schuhe, Möbel, Heimtextilien, Haushaltsgeräte, Telefone, audiovisuelle Geräte und Freizeitgeräte laut der Konsumverflechtungstabelle in der Input-Output-Rechnung des Statistischen Bundesamtes nur (verschwindend) gering. Dies liegt auch daran, dass bspw. Einzelhändler Reparaturleistungen anbieten und diese dann in der Statistik dem Handel zugeordnet werden. Darüber hinaus ist es oft schwierig, den richtigen Anbieter zu finden, der die Reparatur durchführen kann, andere Hürden bestehen in mangelndem Vertrauen, fehlenden Informationen und hohen Kosten (Repartly 2024). Generell wurden zuletzt nur in wenigen Konsumverwendungszwecken Reparaturdienstleistungen eingesetzt: Schuhe, Möbel, Innenausstattung, Teppiche u. ä., Heimtextilien, Haushaltsgeräte, Telefongeräte, audiovisuelle, fotografische und Informationsverarbeitungsgeräte, andere größere langlebige Gebrauchsgüter (z. B. Musikinstrumente), andere Geräte und Artikel für Freizeitwecke (z. B. Sportgeräte, Haustiere). Die Abfolge von Suche eines Reparaturangebotes, der Anlieferung, der Reparatur und der Abholung ist zeitintensiv. Ferner gibt es oftmals im Vorfeld schon klare Hinweise darauf, dass eine Reparatur evtl. nicht mehr möglich oder im Fall eines Totalschadens sinnvoll ist. Über Plattformen können sowohl die Standorte, die Reparierbarkeit (z. B. via Foto oder kurzer Onlineberatung) und ggf. der Versand leichter zugänglich gemacht werden.

Nachdem die Branche Reparatur im Jahr 2005 einen Beschäftigungsgipfel (73 000 Personen) zeigte, sanken die Beschäftigtenzahlen in der Branche. Im Jahr 2023 waren lediglich 50 000 Erwerbstätige in der Branche tätig. Um einen plausiblen Entwicklungspfad innerhalb des

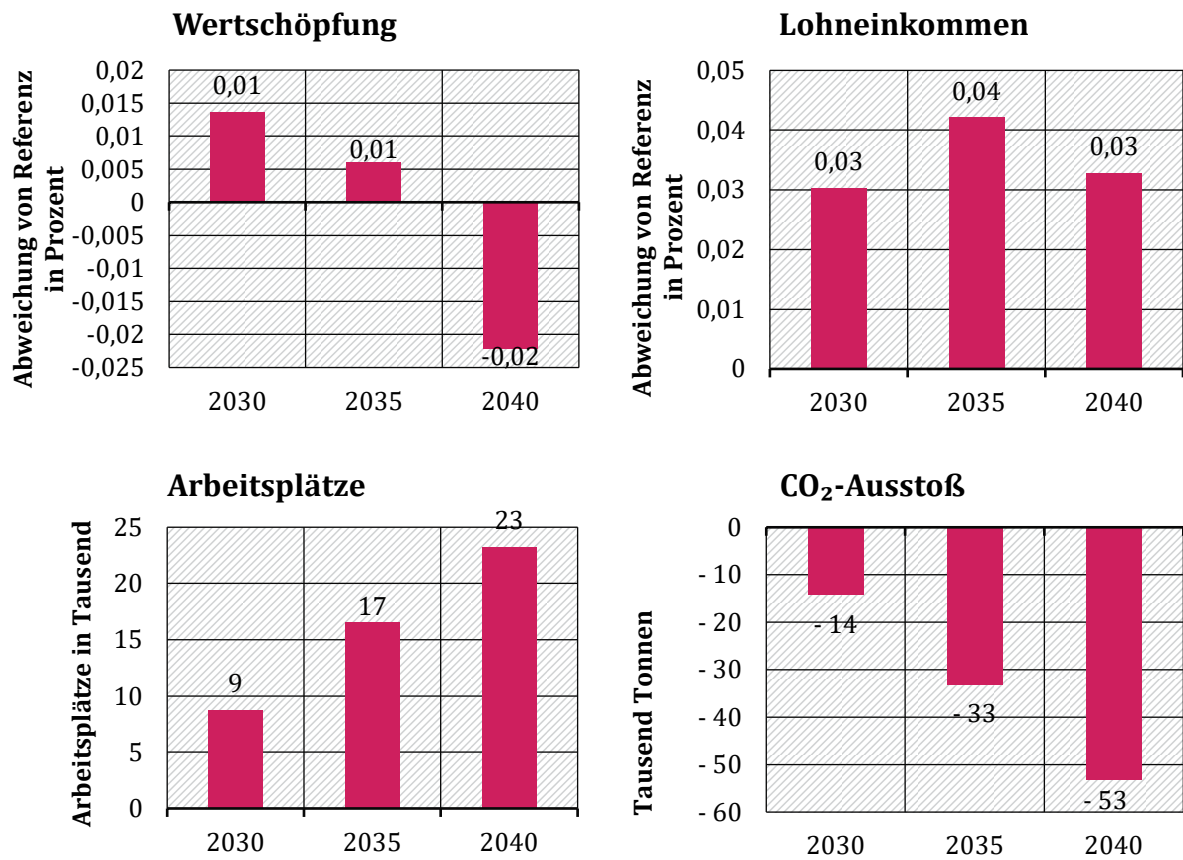
Szenarios zu finden, ist ein Aufstieg der Beschäftigtenzahl auf das Niveau von 2005 unterstellt. Die Reparaturausgaben an den genannten Verwendungszwecken müssten hierzu bis 2050 auf jeweils 7,5 % steigen. Für die Branche Reparatur ist damit implizit ein Anstieg der Dienstleistungen der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) angenommen. Dadurch würde sich auch die Arbeitsweise in der Branche ändern mit einem ausgeprägten Fokus auf IKT-Dienstleistungen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung zunächst leicht zunimmt und im weiteren Verlauf zurückgeht. Das Lohneinkommen und die Anzahl der Erwerbstätigen steigen: Die Branche Reparatur wächst. Berufe, in denen die größten Zuwächse zu erwarten sind, sind „Informatik-, Informations- und Kommunikationstechnologieberufe“, „Maschinen- und Fahrzeugtechnikberufe“, „Textil- und Lederberufe“ und „Berufe in Unternehmensführung- und Kommunikation“ (vgl. Abbildung 12). Neben diesen Berufsgruppen, die eindeutig mit den Szenario-Einstellungen zusammenhängen, gibt es auch Zuwächse in sozialen und medizinischen Berufen. Dies hängt mit höheren Lohneinkommen und damit auch vermehrten Ausgaben in diesen Bereichen zusammen. Die CO₂-Emissionen fallen im Szenario um 53 000 Tonnen (0,2 %) geringer aus als in der Basisprojektion. Die Nachfrage nach Haushaltsgeräten ist durch die längere Nutzung niedriger und damit sinkt der Energieverbrauch in der Industrie. Auch die Importe gehen etwas zurück.

Bei diesem Szenario ist Folgendes zu beachten: In den angesprochenen Konsumverwendungszwecken verändert sich die Zusammensetzung von Gütern hin zu mehr Dienstleistungen. Güter (z. B. Haushaltsgeräte) und Dienstleistungen (Reparatur) haben jedoch unterschiedliche Preisentwicklungen. Während die Preise für Güter insbesondere durch die Importpreisentwicklung und Wechselkurse bestimmt werden, hängen die Preise für Dienstleistungen von der Entwicklung des Arbeitseinsatzes und des Lohns in der Reparaturbranche ab. Folglich verändert sich der durchschnittliche Konsumpreis für den jeweiligen Verwendungszweck (z. B. Haushaltsgeräte). Dies kann eine fördernde (Preise fallen) oder hemmende (Preise steigen) Wirkung zur Folge haben. In der Folge verschiebt sich die Nachfrage nach den verschiedenen Konsumverwendungszwecken und somit wird auch die Produktion beeinflusst.

Die Branche Reparatur steht vor einem Wandlungsprozess. Die bisherigen Strukturen sind auf Abbau ausgelegt – viel Selbstständigkeit und nur „langsames“ Entlassen von Mitarbeiter:innen war bisher die Regel. Nun muss ein Umschwung entstehen, allerdings ist die Branche auf einen Anstieg der Beschäftigung nicht vorbereitet. Das kann auch bedeuten, dass die Branchen zurzeit nicht darauf vorbereitet sind, aus dem Stand große Nachfragesteigerungen (z. B. Verdopplung) zu bearbeiten. Die Arbeitsproduktivität sollte plausibel verlaufen, dürfte aber wegen der nun besseren Auslastung deutlich höher ausfallen.

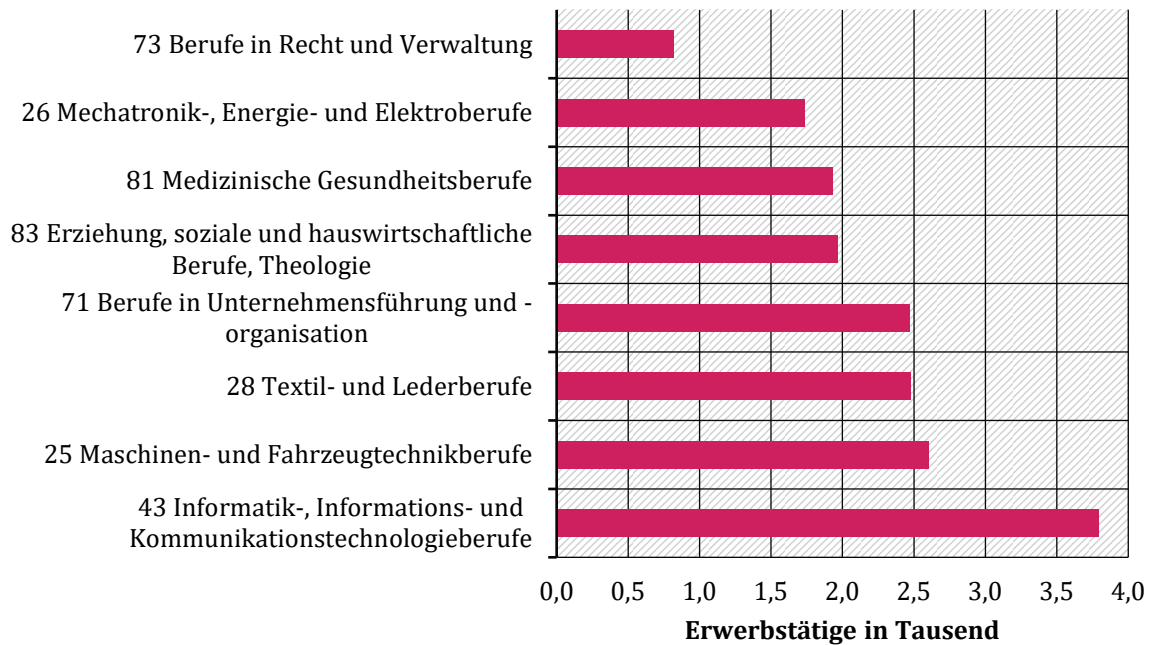
Abbildung 9: Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur“



Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das Lohn Einkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

Abbildung 10: Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Berufen (Top 8) für das Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur“



Anmerkung: Die Grafik stellt die Abweichungen (absolut) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) 2040 dar. Vor der Bezeichnung der jeweiligen Berufshauptgruppe ist die Nummer des Wirtschaftszweiges, wie sie vom statistischen Bundesamt genutzt wird, angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion

3.6 Investition in Rechenzentren

Entscheidend für die Digitalisierung und auch die zunehmende Verwendung und Analyse von Daten ist die bereitstehende Rechenleistung, welche durch Rechenzentren erbracht wird. Vor allem KI-Anwendungen sind rechenintensiv. Große Unternehmen wie Microsoft oder auch SAP investieren Milliarden in den Standort Deutschland (Microsoft 2024, SAP 2024). Die Nähe zu den Nutzer*innen und die Sicherheit der Daten sind Argumente für die Standortwahl. In der offiziellen Statistik kann die Umsatzentwicklung der Anbieter in etwa durch jene des Wirtschaftszweigs (WZ) 63.1 (Datenverarbeitung, Hosting u. Ä., Webportale) angenähert werden. Im Durchschnitt über die verfügbaren Jahre liegt der Wert bei jährlich rund 1,2 Mrd. Euro. Aktuelle Entwicklungen zeigen, dass KI-Modelle auch mit deutlich weniger Rechenleistung arbeiten können. So hat das chinesische Start-up DeepSeek (siehe z. B. Euronews 2025) ein solches KI-Modell vorgestellt. Dies verdeutlicht, dass die Annahme über den zusätzlichen Bedarf von Unsicherheiten geprägt ist und einen Bereich betrifft, in dem es regelmäßig zu Disruptionen kommt.

Eine aktuelle Studie von Hintemann et al. (2024) zeigt, dass der jährliche Stromverbrauch der Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2024 bei 20 Mrd. kWh (also 20 TWh) lag. Im Jahr 2024 wurden in Deutschland Investitionen in Rechenzentren in Höhe von 2,9 Mrd. Euro getätigt. Die Autor*innen der Studie gehen davon aus, dass in Zukunft vor allem große Rechenzentren gebaut werden. So soll die RZ-Kapazität ausgehend von rund 2700 Megawatt (MW) im Jahr 2024 bis 2030 auf 4850 MW steigen.

Durch die Digitalisierung wird eine zunehmende Datennutzung und folglich eine erhöhte Rechenleistung benötigt. Ein Hintergrundgespräch mit dem Umweltbundesamt legt nahe, dass

von einer deutlichen Veränderung auszugehen ist, die aus der Vergangenheit nicht einfach ableitbar wäre.

Aktuell bestünde eine starke Ausweitung aufgrund neuer Technologie durch KI-Server, die das Zehnfache an Energie im Vergleich zu bisherigen Servern verbrauchen. Ebenso benötige die Herstellung der Chip-Speicher deutlich mehr Energie bei gleichzeitig geringerer Nutzungsdauer. Es ist jedoch festzuhalten, dass die Bereitstellung der Rechenleistung nicht zwingend in Deutschland erbracht werden muss. Laut der Expertin gibt es vier große internationale Hotspots: Amerika, Europa, China und Deutschland (Frankfurt). Im Outlook-Bericht der International Energy Agency (IEA 2024), auf den die Expertin verweist, wird für 2026 von einer Verdopplung der Rechenzentren gegenüber 2024 ausgegangen.

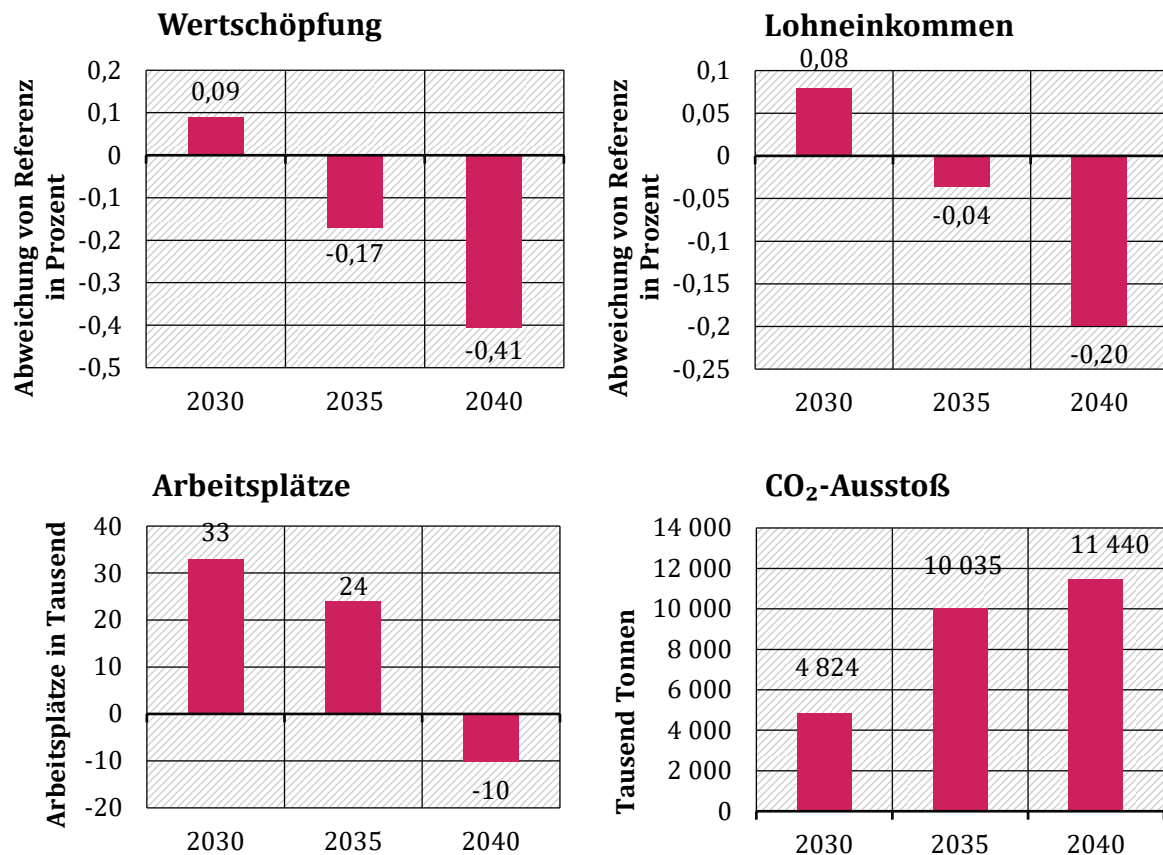
Für die Modellierung des Szenarios ergeben sich aus der Studie von Hintemann et al. (2024) einige Schlüsselgrößen: Für Investitionen liegt der Preis pro MW-Kapazität bei 14,5 Mio. Euro. Die Auslastung beträgt 85 %. Sie berechnet sich aus der tatsächlichen Nutzung (20 Mrd. kWh) und der Kapazität im Jahr 2024 (23,6 TWh). Letztere berechnet sich aus der Anschlussleistung im Jahr 2024 (2700 MW), multipliziert mit 365 Tagen im Jahr und 24 Stunden am Tag, in denen die Anschlussleistung vorliegt. Im Szenario liegt der Fokus auf großen Rechenzentren.

Zuerst stellt sich die Frage, wie stark der TWh-Verbrauch im Szenario „mehr als in der Basisprojektion“ steigt. Der Zubau in der Basisprojektion entspricht dem Durchschnitt der letzten fünf Jahre. Der Zubau im Szenario orientiert sich an der Aussage der Bitkom-Studie für das Jahr 2030 und der Expertin. Der relative Zuwachs im Szenario beginnt mit Steigerung von 25 % ab 2026. Danach vermindert er sich jährlich um vier Prozentpunkte bis ein angestrebter Ausbaustand erreicht ist und Investitionen vor allem für den Erhalt des Ausbaustandes nötig werden. Die Investitionen erreichen im Jahr 2032 ihren Höhepunkt, der zusätzliche Energieverbrauch steigt bis 2040.

Infolge der Annahmen zeigt sich im Ergebnis gegenüber dem Referenzszenario zunächst ein Anstieg der Wertschöpfung während der Investitionsphase (0,09 % in 2030), gefolgt von einem Rückgang (-0,41 % im Jahr 2040, vgl. Abbildung 11). Einen ähnlichen Verlauf zeigen die Lohneinkommen. Die Zahl der Arbeitsplätze fällt im Szenario auch im Jahr 2035 noch höher aus als in der Basisprojektion, sinkt aber im Anschluss, weil angenommen ist, dass die Investitionen zurückgehen. Im Jahr 2030 bspw. steigt die Zahl der Erwerbstätigen in allen vier Anforderungsniveaus, im Bereich der Helfer*innen-Tätigkeiten jedoch am geringsten (vgl. Abbildung 12). Auf beruflicher Ebene steigt die Zahl der Erwerbstätigen am stärksten in Berufen der Unternehmensführung und -organisation, gefolgt von Informatik-, Informations- und Kommunikationstechnologieberufen. Im Jahr 2040 geht die Zahl der Erwerbstätigen im Vergleich zur Basisprojektion zurück. Davon sind insbesondere Erwerbstätige im Anforderungsniveau „Fachkraft“ betroffen. Die Zahl der Expert*innen geht nicht zurück, genauso wie die Zahl der Erwerbstätigen in Informatik-, Informations- und Kommunikationsberufen. Zusammen mit dem steigenden Energieverbrauch liegen auch die CO₂-Emissionen bis 2040 im Szenario fast 40 % höher (rund 11,5 Mio. Tonnen) als in der Basisprojektion (vgl. Abbildung 11).

Während der Investitionsphase, also in der Zeit, in der die Rechenzentren gebaut werden, steigen Wertschöpfung, Lohn und die Zahl der Arbeitsplätze. Es ist der Investitionsimpuls. In der Betriebsphase werden nur wenige Arbeitsplätze gebraucht, allerdings bleiben die Finanzierungskosten ausgelöst durch Abschreibungen auf die Anlagen. Der Energieverbrauch steigt allerdings durchgehend. Er ist mit der Betriebsphase verbunden.

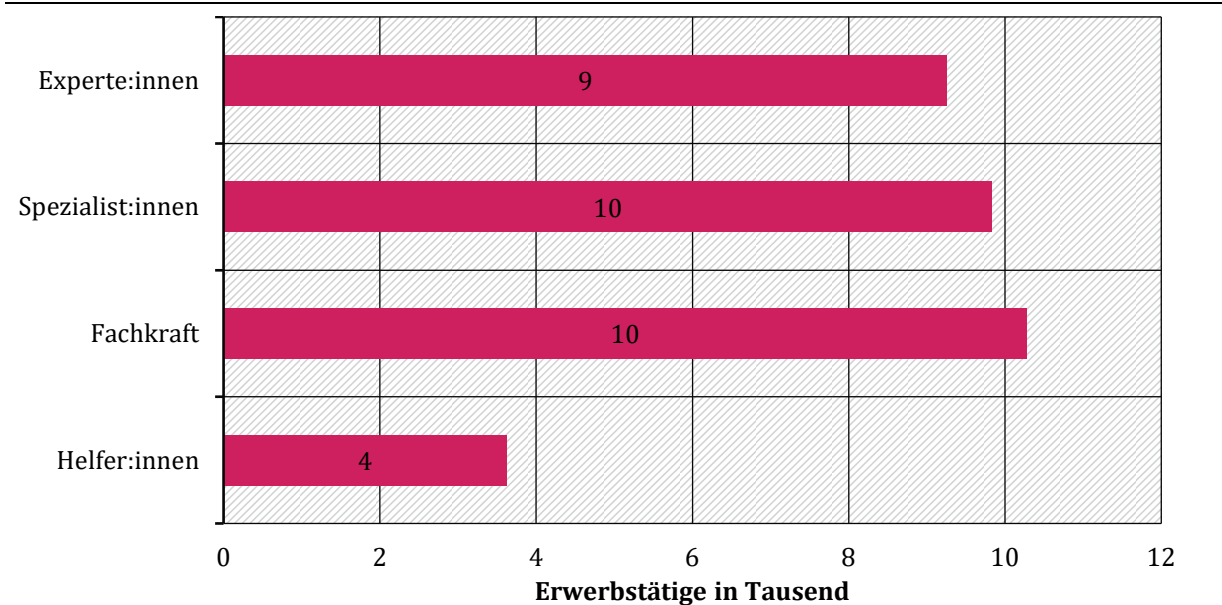
Abbildung 11: Ergebnisübersicht Szenario „Investition in Rechenzentren“



Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das Lohnneinkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

Abbildung 12: Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2030 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Investitionen in Rechenzentren“



Anmerkung: Die Grafik stellt die Abweichungen (absolut) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) im Jahr 2030 dar. Die vier Anforderungsniveaus beschreiben die Komplexität der beruflich ausgeübten Tätigkeit. Das Anforderungsniveau „Helfer*innen“ beschreibt Helfer*innen und Anlernertätigkeiten und somit das niedrigste Qualifikationsniveau, Erwerbstätige im Anforderungsniveau „Fachkraft“ gehen fachlich ausgerichteten Tätigkeiten nach und sind besser qualifiziert als Helfer*innen (z. B. über eine Ausbildung). „Spezialist*innen“ gehen komplexeren Tätigkeiten nach und haben bspw. einen Bachelorabschluss. „Expert*innen“ üben hoch komplexe Tätigkeiten (z. B.) Studienberufe, aus.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

3.7 Digitalisierung im industriellen Kern

Der industrielle Kern (also das verarbeitende Gewerbe) steht für den Großteil der Verwendung von Rohstoffen und Halbfertigprodukte für die Produktion. Die eingesetzten Materialien werden dabei zu einem großen Teil importiert. Wertschöpfungsketten vom Rohstoff über Vorleistungen bis hin zum fertigen Produkt sind ebenfalls durch den industriellen Kern abgebildet.

Mit zunehmender Digitalisierung kann die Materialeffizienz gesteigert werden. Laut Expert*innen-Schätzungen (Thobe et al. 2023) könnte die Materialeffizienz im Rahmen der Digitalisierung um bis zu 0,5 % p. a. gesteigert werden. Wird dieser Trend langfristig unterstellt, ergibt sich eine Steigerung bis 2050 um rund 12,5 %. In diesem Fall würden vor allem Importe von Rohstoffen (biogen, fossil, mineralisch), aber auch Halbfertigprodukte zurückgehen. Allerdings würden auch im Inland vorgelagerte Teile der inländischen Wertschöpfungskette stark mit Nachfragerückgängen konfrontiert sein. Die Umsatzrückgänge sind daher bei den Rohstofflieferanten am stärksten. Bei den Halbfertigprodukten (Vorleistungen) ist der Rückgang am größten.

Um die Steigerung der Materialeffizienz zu realisieren, sind entsprechende Investitionen in Maschinen, Know-how und Qualifikation der Beschäftigten notwendig. Ferner ist der Einsatz von mehr IKT-Dienstleistungen (zu Auswertung, Steuerung etc.) einzuplanen. Dies bedeutet, dass die Bedeutung von Dienstleistungsbranchen gesamtwirtschaftlich steigt. In der Berufsstruktur steigen die Anforderungsniveaus der Arbeitsplätze.

Weiterhin ist im Modell unterstellt, dass solche Maßnahmen von Unternehmen nur dann umgesetzt werden, wenn die Erträge aus der Materialeffizienz die genannten Kosten (Investitionen, Ausgaben) weitestgehend kompensieren.

Für das Szenario wird angenommen, dass die Materialinputs (also die Zulieferungen von Unternehmen aus dem industriellen Kern an den industriellen Kern) um 10 % (0,5 % pro Jahr, aber mit abnehmender Tendenz) zurückgehen. Dazu werden die Investitionen in Ausrüstungen und geistiges Eigentum angehoben, die Ausgaben der Unternehmen für Weiterbildung erhöht und die Zukäufe für IKT-Dienstleistungen angehoben. Dabei führen höhere Investitionen zu höheren Abschreibungen. Die drei Kostengruppen Abschreibungen, Weiterbildung und IKT-Dienstleistungen werden in der Szenariorechnung gesteigert, bis die „Vorteile“ aus der höheren Materialeffizienz durch die übrigen Kostenarten aufgebraucht sind. Die Kontrollgröße hierfür ist der Anteil des Gewinns an den Umsätzen.

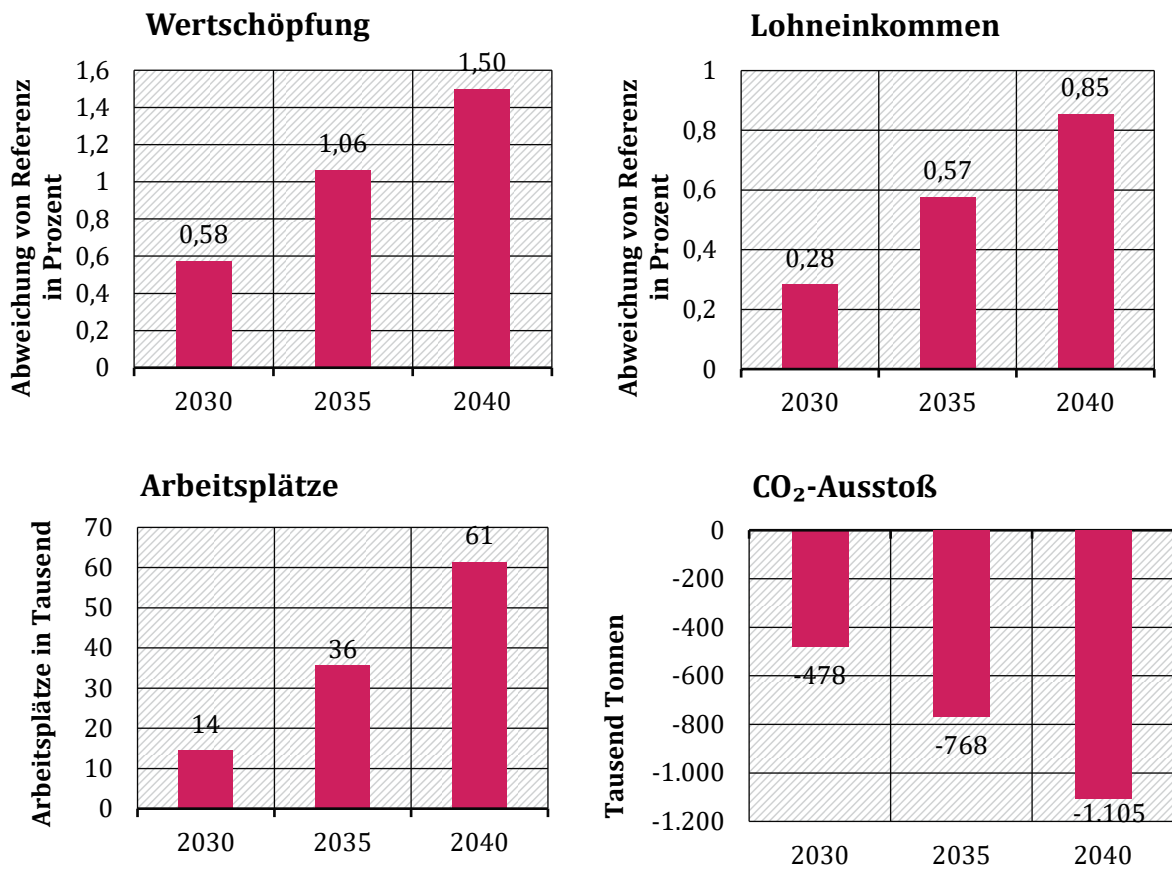
Die Ausgangssituation lässt sich wie folgt beschreiben: Im Vergleich zur QuBe-Basisprojektion tätigen betroffene Unternehmen höhere Investitionen in geistiges Eigentum, Ausrüstungsgüter, Weiterbildung und IKT-Dienstleistungen, mit denen ein geringerer Vorleistungseinsatz erreicht werden kann. Durch Weiterbildungsmaßnahmen und eine höhere Qualifikation der Mitarbeiter*innen werden auch höhere Löhne gezahlt. Im Ergebnis gleichen sich Effizienzgewinne und zusätzliche Kosten laut den Annahmen aus.

Die gesamtwirtschaftliche Wertschöpfung steigt gegenüber dem Referenzszenario zwischen 0,6 % im Jahr 2030 und 1,50 % im Jahr 2040 gegenüber der Basisprojektion (vgl. Abbildung 13). Der positive Einfluss der technologischen Veränderung (gestiegene Arbeitsproduktivität ausgelöst durch Lohnsteigerungen und Materialproduktivität) führt zu einer Umverteilung bei den Branchen, bei der es Gewinner und Verlierer gibt. Die Folge davon ist, dass Personen, die in einer schrumpfenden Branche einen Arbeitsplatz verlieren, nicht die Berufe haben oder die Anforderungen erfüllen, die in wachsenden Branchen benötigt werden. Ein Arbeitsplatzwechsel ist ohne Fort- und Weiterbildung zumindest schwierig. Zudem kann es bei einem Übergang von einem Arbeitsplatz zum anderen Lohnab- bzw. -aufschläge geben. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht kommt es zu einem höheren Lohneinkommen und einer höheren Zahl von Erwerbstätigen im Vergleich zur Basisprojektion. Die Veränderung der Beschäftigtenzahlen würde städtische und ländliche Räume² in unterschiedlichem Maße betreffen: Während kreisfreie Städte im Vergleich zur Basisprojektion die größten Beschäftigtenzuwächse verzeichnen würden (gefolgt von städtischen Kreisen), würden ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen und dünn besiedelte ländliche Kreise nur wenige Beschäftigte mehr verzeichnen (vgl. Abbildung 14). Ursächlich dafür ist, dass Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes eher in ländlicheren Regionen, Dienstleistungsbetriebe aber eher in Städten vertreten sind. So führt der geänderte Branchenmix zu regional unterschiedlichen Wirkungen.

Die CO₂-Emissionen sind geringer als in der Basisprojektion (vgl. Abbildung 13). Es kommt allerdings zu einem Rebound-Effekt, der mit der steigenden Wertschöpfung einhergeht.

² Die Darstellung der Regionalität erfolgt anhand der vier siedlungsstrukturellen Kreistypen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). Diese klassifizieren die 400 Kreise und kreisfreien Städte in Deutschland nach ihrem Urbanisierungsgrad und ihrer Bevölkerungsdichte.

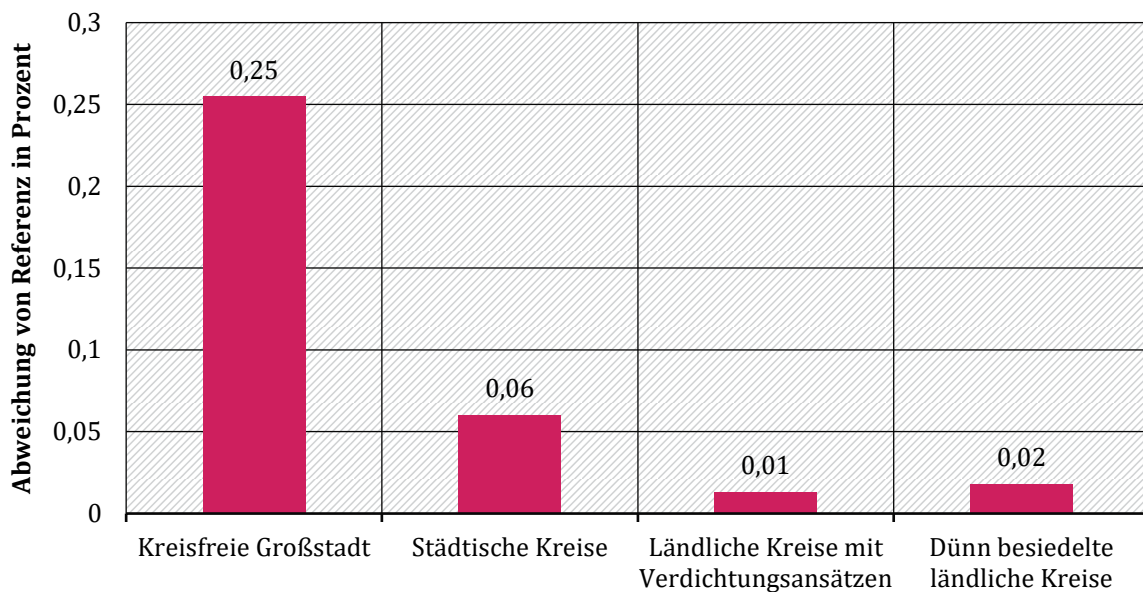
Abbildung 13: Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung im industriellen Kern“



Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das Lohneinkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

Abbildung 14: Szenariowirkung auf Beschäftigtenzahl im Jahr 2040 nach Regionalität für das Szenario „Digitalisierung im industriellen Kern“



Anmerkung: Die Grafik stellt die Abweichungen (absolut) zur Basisprojektion im Jahr 2040 dar. Die vier siedlungsstrukturellen Kreistypen entsprechen denen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR).

Quelle: Berechnungen der GWS, QMORE

3.8 Digitalisierung und Recycling

In der Branche „NE-Metalle“ und im Baugewerbe werden Wertschöpfungsketten zunehmend auf Kreislaufwirtschaft umgestellt. Um dies zu bewerkstelligen, müssen neue Anlagen gebaut werden, die dann die Produktion aufnehmen und u. a. zusätzlichen Energieverbrauch verursachen. Um sich gegen importierbare Rohstoffe und Primärrohstoffe preislich durchsetzen zu können, muss die Wettbewerbsfähigkeit der Recyclingbranche steigen.

Der Produktionsumfang der Branche „Abwasser-, Abfallentsorgung, Rückgewinnung“ hat in den letzten zehn Jahren eine Beschleunigung erfahren, die sich laut unserer Erwartung in Zukunft fortsetzt. Im Szenario ist im Hinblick auf die Digitalisierung angenommen, dass elektronische Geräte um 5 % mehr pro fünf Jahre dem Recycling zugeführt werden.

Es wird angenommen, dass die Recyclingbranche alle fünf Jahre 7,5 % mehr Baumaterial erhält. Dies führt dazu, dass die Mengen von Primärmaterial an Erzen und Steinen entsprechend reduziert werden. Die entsprechenden Gegenbuchungen erfolgen somit in identischer Höhe.

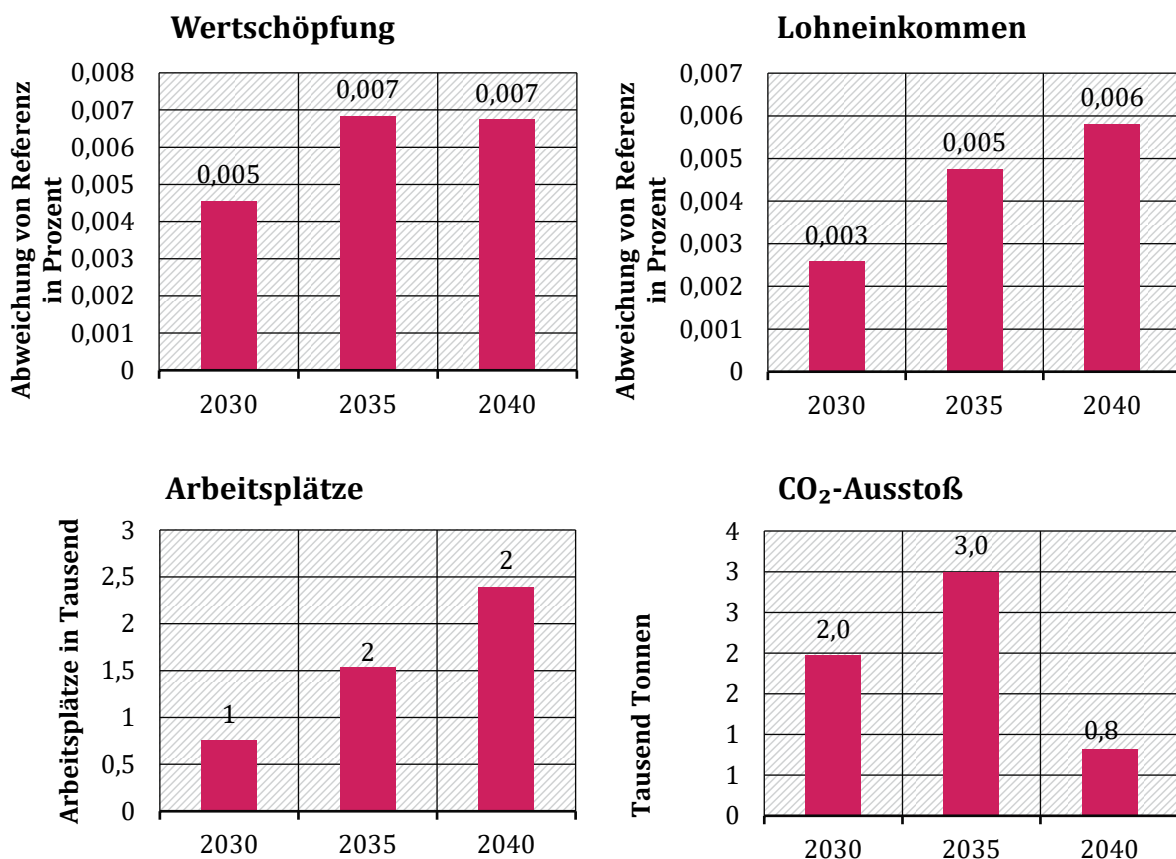
Die dadurch ausgelöste Steigerung beim Recycling führt zu einer entsprechenden Steigerung der Nachfrage der Recyclingbranche nach zusätzlichen IT-Leistungen (sowohl Hosting als auch darauf auszurichtende IKT-Dienstleistungen).

Erwartet wird, dass größere Recyclinganlagen effizienter arbeiten können (Economics of Scale). Dieses Größenwachstum verbessert die Arbeitsproduktivität, die wiederum von der Produktionsentwicklung abhängt und den Bedarf an IKT-Dienstleistungen (+10 % bis 2050) erhöht. Die Produktivitätssteigerung erzeugt rund die Hälfte des Produktionszuwachses, wodurch der Arbeitsmarkteffekt vergleichsweise gering ausfällt.

Die Übersicht der gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse offenbart, dass das Szenario aufgrund der gewählten Einstellungen nur sehr geringe Auswirkungen auf die Wertschöpfung, das Lohn Einkommen, die Zahl der Erwerbstätigen und auf den CO₂-Ausstoß hat. Bei einem stärkeren Umstieg gäbe es entsprechend höhere Veränderungen. Entscheidendes Ergebnis des Szenarios sind die Wirkungsrichtungen: Alle betrachteten Größen könnten infolge der Szenario-Einstellungen etwas höher liegen als in der Basisprojektion.

Der Wirkmechanismus hinter dem Szenario ist entscheidend: Die Importe gehen wegen der breiteren Nutzung recycelter Materialien zurück. Das sorgt für weniger Materialverbrauch und für neue Arbeitsplätze für das Recycling. Gleichzeitig wird nun die Rohstoffgewinnung quasi ins Inland geholt: Hier werden nun zusätzliche Produktionsanlagen betrieben, die das Recycling leisten und entsprechend Energie einsetzen. Wichtig für die Interpretation des Modellergebnisses ist, dass hier nur Deutschland betrachtet ist. Die durch Recycling vermiedenen Rohstoffimporte führen im Herkunftsland mutmaßlich zu einem geringeren Energieverbrauch und damit zu geringeren CO₂-Emissionen. Es ergibt sich also eine Verlagerung der Emissionen nach Deutschland bei einer gleichzeitigen Verbesserung der ökonomischen Lage in Deutschland. Zudem sinkt die Abhängigkeit von Rohstofflieferungen.

Abbildung 15: Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung und Recycling“



Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das Lohn Einkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

3.9 Digitalisierung in der Landwirtschaft

Die Landwirtschaft steht vor einer Neuausrichtung ihrer Produktionstechnologie: Robotik zusammen mit GPS-Steuerung und KI wird nicht nur den Ablauf von Arbeiten auf dem Feld (Arbeitsabläufe (Säen, Bewässern und Ernten) und in der Büroarbeit) weiter optimieren, sondern z. B. auch die eingebrachten Düngemittel genauer bemessen. Es werden weniger Treibstoffe für die Anlagen, weniger Dünger und auch weniger Arbeitskraft eingesetzt. Das betrifft dann nicht nur die Personen, die direkt in der Landwirtschaft beschäftigt sind, sondern auch die Leiharbeit, die durch Ernteroboter auch weniger gebraucht wird.

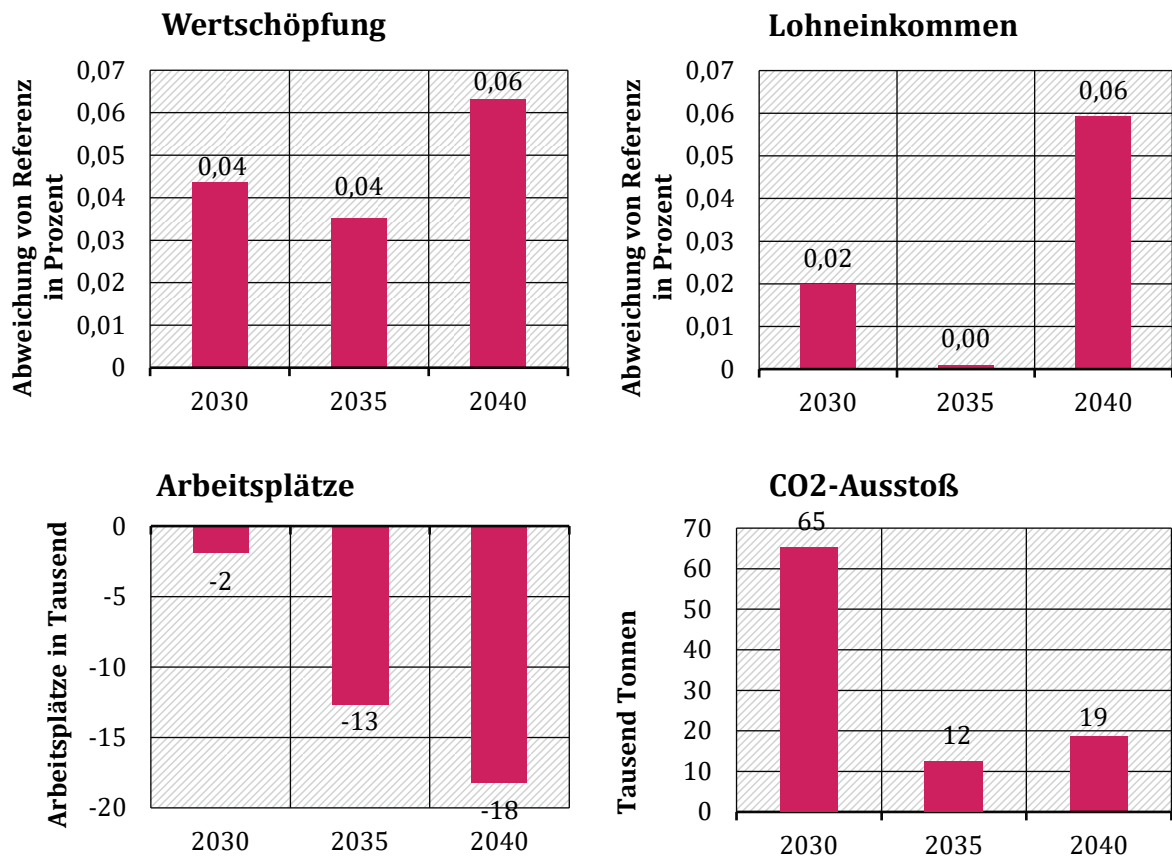
Der zeitliche Übergang ist schwer zu bemessen. Laut den Absetzung-für-Abnutzung(AFA)-Tabellen des Bundesministeriums der Finanzen (BMF) dürfen z. B. Traktoren steuerlich über zwölf Jahre abgeschrieben werden. Die Nutzungsdauer in Jahren hängt aber auch von dem jährlichen Einsatz in Stunden ab. Auch entsprechende Software (Überwachung, Einsatz, Auswertung) ist notwendig. In der Modellierung ist davon ausgegangen, dass sich die Investitionen bis 2030 um 25 % gegenüber „keiner Neuausrichtung der Produktionstechnologie“ steigern, dass dieses Niveau bis 2035 bestehen bleibt und es dann wieder auf das „Normalniveau“, welches vor allem durch Ersatzinvestitionen geprägt ist, absinkt. Zudem ist unterstellt, dass es so etwas wie „learning by doing“ gibt. Ab 2038 gibt es einen Break-even der Produktionsumstellung: Die Gewinne der Landwirtschaft liegen über ihrem Pfad ohne diese Maßnahmen.

Die gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse des Szenarios zeigen einen geringen Anstieg der Wertschöpfung von bis zu 0,06 % (2,3 Mrd. Euro) im Jahr 2040 aufgrund der weiter optimierten Produktionstechnologie, einen leichten Zuwachs in den Lohneinkommen, eine niedrigere Zahl von Erwerbstätigen, da zwar weniger, aber besser ausgebildete Personen benötigt werden und geringfügig höheren CO₂-Ausstoß im Vergleich zur Basisprojektion (vgl. Abbildung 16). Hierbei handelt es sich aber um eine Perspektive aus der Wirtschaft heraus. Der Effekt, der durch einen sinkenden Einsatz von Düngemitteln ausgelöst wird, ist nicht modelliert. Der Zuwachs in den Löhnen bei gleichzeitig sinkender Erwerbstätigenzahl weist darauf hin, dass eher Personen mit geringeren Durchschnittslöhnen den Arbeitsplatz verlieren. Dies zeigt auch Abbildung 17: Insbesondere geht die Anzahl der Erwerbstätigen im Bereich der Fachkräfte zurück, gefolgt von Helfer*innen. Aus regionaler Sicht entspricht der Rückgang der Erwerbstätigen den Erwartungen. Es sind vor allem dünn besiedelte ländliche Kreise und ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen betroffen.

Bei diesem Szenario ist Folgendes zu beachten: Das angenommene Szenario ist von dem Grad der Umstellung her stark und schnell: In Folge überlagern sich die Abschreibungen, Lohnstückkosten und Vorleistungseinsätze und sorgen in Summe zu schwankenden Verläufen der Stückkosten. Das liegt an den hohen Abschreibungen, die durch den schnellen „Umbaupfad“ verursacht werden. Die Folge ist, dass die ökonomischen Vorteile einer Umstellung erst langfristig auftreten, dann aber anhalten.

Für die Realisierung eines solchen Szenarios sind also die Kosten für den Übergang entscheidend. Es kann also auch sein, dass der Übergang anders erfolgt: Z. B. könnten die Betriebe viel größer werden, sodass erhebliche Skaleneffekte erreicht werden können und der Übergang durch Größenwachstum finanziert wird. Die Zahl der Betriebe würde noch einmal deutlich schneller zurückgehen. Das Resultat wären schnellere Erträge aus der höheren Produktivität und viel weniger Betriebe.

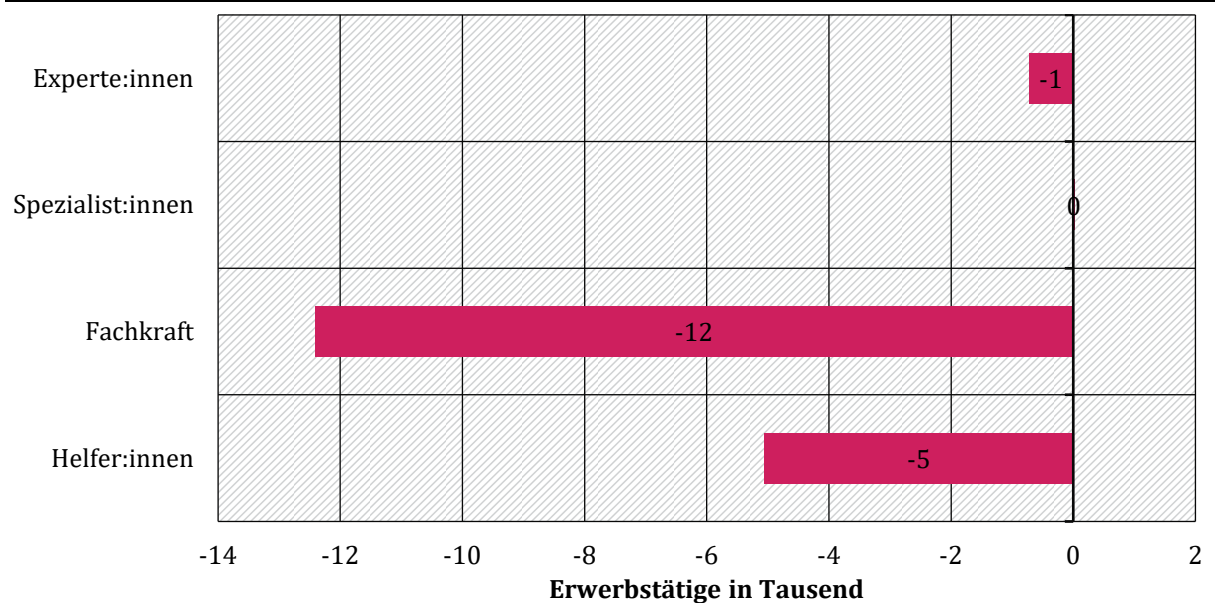
Abbildung 16: Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung in der Landwirtschaft“



Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das Lohneinkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

Abbildung 17: Szenariowirkung auf Beschäftigtenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveaus für das Szenario „Digitalisierung in der Landwirtschaft“



Anmerkung: Die Grafik stellt die Abweichungen (absolut) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) im Jahr 2040 dar. Die vier Anforderungsniveaus beschreiben die Komplexität der beruflich ausgeübten Tätigkeit. Das Anforderungsniveau „Helfer*innen“ beschreibt Helfer*innen und Anlernertätigkeiten und somit das niedrigste Qualifikationsniveau, Erwerbstätige im Anforderungsniveau „Fachkraft“ gehen fachlich ausgerichteten Tätigkeiten nach und sind besser qualifiziert als Helfer*innen (z. B. über eine Ausbildung). „Spezialist*innen“ gehen komplexeren Tätigkeiten nach und haben bspw. einen Bachelorabschluss. „Expert*innen“ üben hoch komplexe Tätigkeiten (z. B. Studienberufe) aus.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

3.10 Digitalisierung im Baugewerbe

Im Umweltbundesamt fand ein Hintergrundgespräch zu den Themen „Neue Bauweisen“ und „Baumaterialien“ im Zuge der Digitalisierung statt. Als ein zentrales Thema hat sich dabei der Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Baubranche herausgestellt, der durch digitale Maßnahmen unterstützt werden kann. Bereits heute bemühen sich Unternehmen, beim Rückbau von Gebäuden Bauteile zu sichern und diese in neuen Bauvorhaben wiederzuverwenden. Besonders beim Beton ist das Recycling von Baustoffen bereits gängige Praxis. Außerdem besitzt Beton die Fähigkeit, CO₂ zu speichern. Je nach Zementart kann bis zur Hälfte des bei der Zementherstellung chemisch freigesetzten CO₂ wieder aufgenommen werden. Einige Betonwerke, zum Beispiel in Berlin, produzieren mittlerweile sogenannte Klimakörnungen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt des Gesprächs war die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als alternative Baustoffe. Stroh wurde als ein besonders geeigneter, nachwachsender Rohstoff genannt, da es nicht mit Flächen für die Nahrungsmittelproduktion konkurriert. Darüber hinaus könnten Paludikulturen, die auf wiedervernässten Mooren angebaut werden, künftig als Baumaterial genutzt werden. Beispielsweise eignen sich ihre Fasern als Dämmstoffe oder Rohrkolben für den Trockenbau. Bislang fehlt es jedoch an Nachfrage und einer entsprechenden Marktentwicklung für diese Materialien.

Über die Förderung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen hinaus bietet die Digitalisierung weitere Anknüpfungspunkte an eine ressourcenschonendere Bauweise. Es können über Tauschportale Wohnung und Häuser den Wechsel des Eigentums bzw. des Besitzes

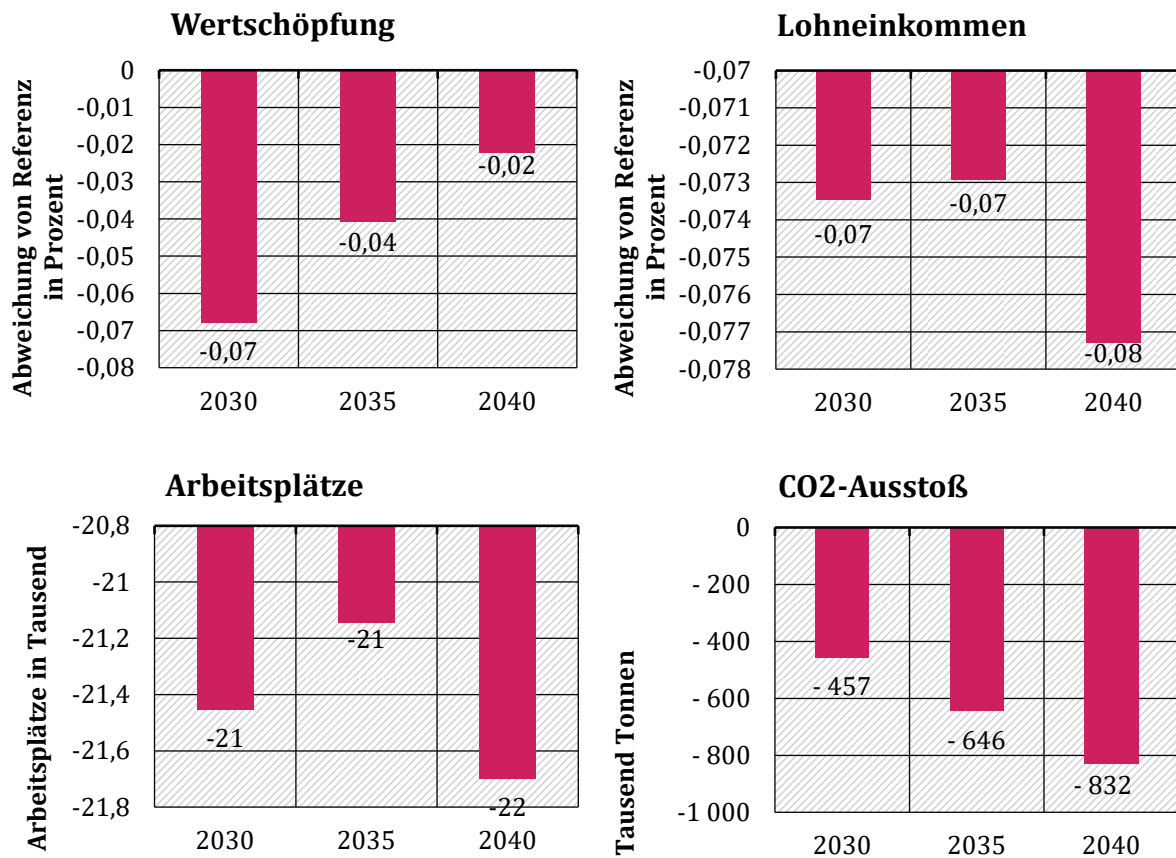
unterstützen, sodass die Beteiligten einen den Lebensumständen angepassten Wohnraum haben. Damit können Neubauten vermieden werden. Über andere Portale könnten Materialien zur Wiederverwertung bereitgestellt werden. Building Information Modeling (BIM) könnte noch stärker zur besseren Gebäudeplanung und zur Beratung von CO₂-Wirkungen genutzt werden. Insgesamt könnten folglich auch mehr nachwachsende Rohstoffe verbaut werden.

Diese Überlegungen gehen in die Modellierung des Szenarios ein und es werden folgende Annahmen getroffen: Die Bauwirtschaft kann zunehmend mehr nachwachsende und recycelte Materialien einsetzen (insgesamt +10 % gegenüber dem Referenzszenario). Der Bezug von Keramik und bearbeiteten Steine und Erden sowie von Gummi- und Kunststoffwaren wird entsprechend reduziert. Dieser Wechsel in der Vorleistungsstruktur (von Steinen und Erden zu nachwachsenden Materialien) steht für die Verwendung anderer Dämmstoffe und auch andere Bauweisen. Bei der Planung über einen „digitalen Zwilling“ (BIM) kann diese über ein Vorschlagsverfahren für Materialien oder einen CO₂-Rechner unterstützt werden. BIM wird zunehmend mehr eingesetzt und verbessert leicht die Arbeitsproduktivität. Ferner werden zunehmend mehr recycelte Stoffe eingesetzt – für den Anteil solcher Materialien wird aufgrund des sehr geringen Anteils eine Verdopplung angenommen; Keramik, Steine und Erden, Glas teilen sich die Reduktion. Es gibt jedoch bisher keinen direkten Zusammenhang in der Vorleistungsverflechtung (basierend auf der Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamts) zwischen Landwirtschaft und Fortwirtschaft zum Baugewerbe. Dafür aber einen starken Vorleistungsstrom von der Holzindustrie zum Baugewerbe. Es wird also eine längere Wertschöpfungskette gebraucht.

Über Vermittlungsplattformen gelingt der Tausch von Wohnungen (bspw. Familien mit höherem Platzbedarf und alleinstehende Senioren) besser. Pro Jahr werden rund 10 000 Wohnungen weniger gebaut werden müssen.

Die gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse des Szenarios zeigen gegenüber der Basisprojektion einen leichten Rückgang der Wertschöpfung (um bis zu 0,07 % im Jahr 2030). Begründet werden kann dies vor allem durch die geringere Zahl der Wohnungsneubauten. Die Zahl der Erwerbstätigen sowie das Lohneinkommen gehen zurück. Insbesondere gehen die Zahlen der Erwerbstätigen in Hoch- und Tiefbauberufen, der Unternehmensführung und Organisation sowie des Ausbaugewerbes zurück (vgl. Abbildung 19). Der Rückgang der Erwerbstätigen in diesem Szenario im Vergleich zur Basisprojektion löst nicht das Problem der Altersstruktur oder des Fachkräftemangels in der Bauwirtschaft (Zika et al. 2024). Der CO₂-Ausstoß könnte durch die verschiedenen Maßnahmen um bis zu rund 830 Tausend Tonnen allein im Jahr 2040 reduziert werden (vgl. Abbildung 18). Die Veränderung der Vorleistungsstruktur (von u. a. Steine und Erden zu nachwachsenden und zu wiederverwertbaren Materialien) wirkt auf die herstellenden Branchen Landwirtschaft (zusätzliche Aufträge) und Keramik oder auch Gummi- und Kunststoffwaren (zurückgehende Nachfrage). Damit werden auch weniger energieintensive Prozesse (z. B. bei der Produktion von Gummi- und Kunststoffprodukten) eingesetzt.

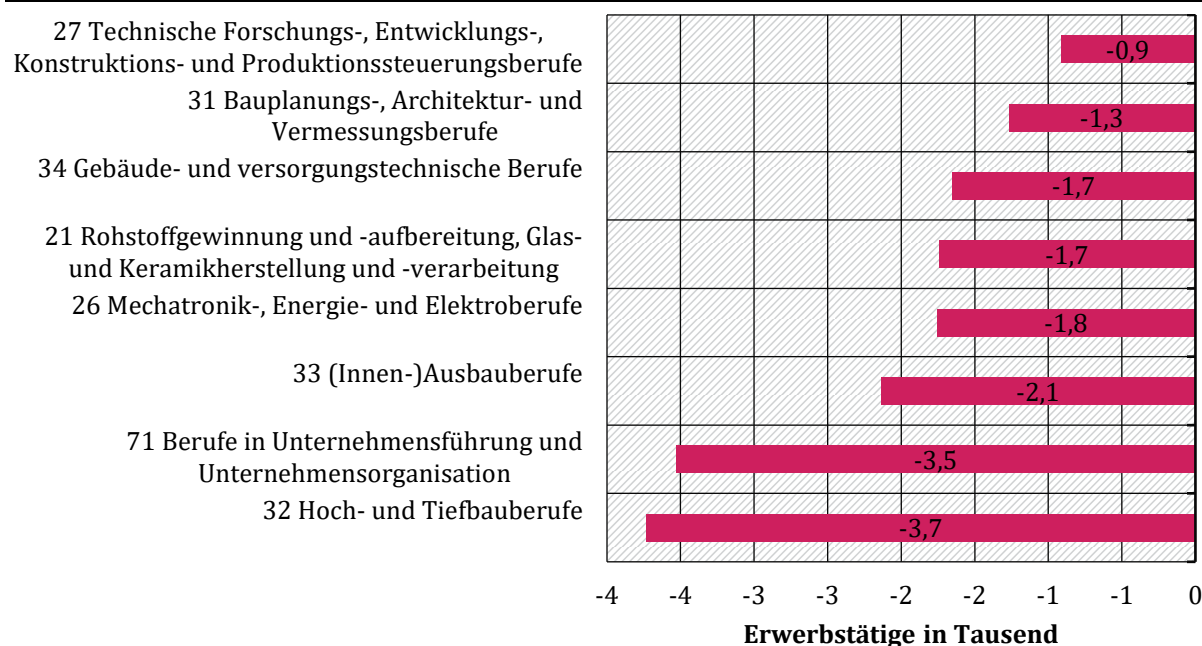
Abbildung 18: Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung im Baugewerbe“



Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das Lohneinkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

Abbildung 19: Szenariowirkung auf Beschäftigtenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveaus für das Szenario „Digitalisierung im Baugewerbe“



Anmerkung: Die Grafik stellt die Abweichungen (absolut) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) 2040 dar. Vor der Bezeichnung der jeweiligen Berufshauptgruppe ist die Nummer des Wirtschaftszweiges, wie sie vom statistischen Bundesamt genutzt wird, angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion

3.11 Digitalisierung in der Textilindustrie

Ein Hintergrundgespräch mit dem Umweltbundesamt in Kombination mit einer Studie von McKinsey (2022) ist der Ausgangspunkt für die Gestaltung des Szenarios. Ein entscheidender Aspekt ist die vermehrte Verwendung von recycelten Rohstoffen zulasten von neuproduzierten Chemiefasern. So ist die Einführung verpflichtender Recyclingquoten von Textilien zu erwarten. In diesem Kontext sind auch die im Jahr 2024 in Kraft getretenen Regularien „Ecodesign for Sustainable Products Regulation“ der EU zu nennen. Sie beinhalten u. a. Recyclingquoten und Lebensdauer-Kriterien. Längere Nutzungsdauern erfordern jedoch eine höhere Materialstärke und damit einen höheren Materialeinsatz. Bereits jetzt würden laut der Expertin zunehmend Recyclingfasern in der Textilindustrie eingesetzt. Es gibt ferner Potenziale im Bereich des Altkleiderrecyclings. Hier würde auch ein digitaler Produktpass helfen und KI könnte für die Sortierung eingesetzt werden. Im Szenario ist angenommen, dass die Textilindustrie vermehrt auf recycelte Fasern zurückgreifen kann.

Damit die recycelten Fasern im Inland Abnehmer finden, ist die Entwicklung der Produktion im Inland entscheidend. In das Szenario geht daher eine teilweise Rückkehr der Textilproduktion und damit von Arbeitsplätzen in der Branche nach Europa und Deutschland ein, die als mögliche Wirkungen genannt wurden. Damit eine teilweise Rückkehr nach Deutschland gelingt, seien Planungsoptimierung, Automatisierung der Konfektion und der Einsatz von Robotik notwendig.

Gegen eine solche „digitalere“ Produktionsweise spricht, dass die Textilbranche traditionell von manuellen Arbeitsschritten geprägt ist. Ferner werden die Digitalisierungspotenziale nur in einigen Phasen der Produktion (z. B. beim Zuschnitt) gesehen. Trotzdem könnten Geschäftsmodelle wie Produktion auf Anfrage (wie z. B. Shein) oder KI-gestützte Onlineplattformen, die auch Ankleidesimulationen oder Ähnliches anbieten, in Zukunft weitere

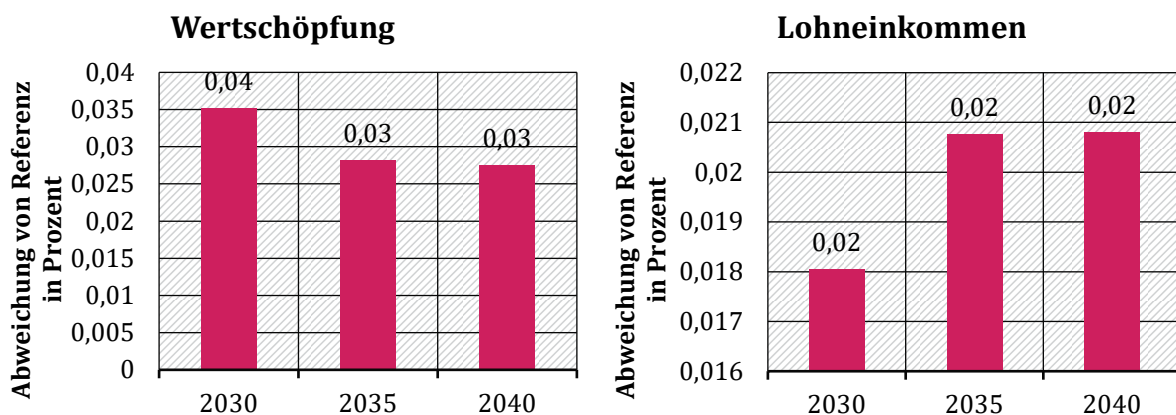
Verbreitung finden. Beispielsweise hatte der Bekleidungskonzern C&A seit Herbst 2021 nachhaltige Jeans in Mönchengladbach produzieren lassen und Arbeitsabläufe in hohem Maße digitalisiert und automatisiert. Der Konzern gab an, so auch „schneller auf die Wünsche von Verkaufsstellen und auf sich ändernde Trends“ reagieren zu können. Anfang 2025 stellte C&A dieses Projekt zwar ein, in der Fabrik werden jedoch weiterhin (bei geringerer Auslastung) Jeans für andere Marken produziert (Deslandes 2023, Hild 2025).

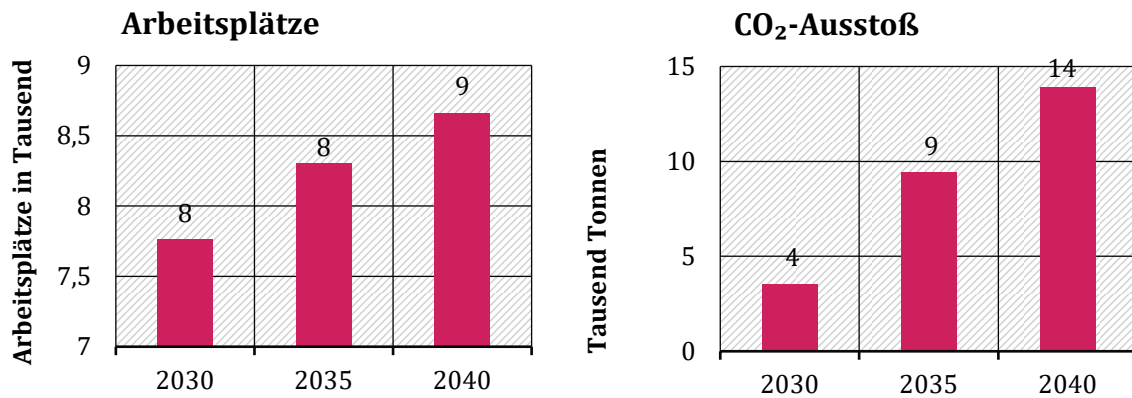
Für das Szenario ist angenommen, dass die Produktion der Textilbranche in Deutschland steigt, geprägt von einer starken Automatisierung. Unternehmen können so von geringeren Betriebskosten profitieren, auf kürzere Strecken schneller liefern und das Angebot an Kleidung stärker auf die Kund*innen zuschneiden. Das höhere Angebot im Inland führt zu geringeren Importen.

Laut einer Studie von McKinsey (2022) sei ein höherer Anteil – sogar eine Verdopplung – recycelter Rohstoffe in der Produktion möglich. Demzufolge ist ein geringerer Einsatz von Chemiefasern sowie von Kunststoff und Gummi unterstellt. Damit das gelingt, ist die Digitalisierung in der Produktion von Kleidung entscheidend: Nur mit mehr Digitalisierung und Automatisierung können Produktionskosten gesenkt werden und neue Produkte (z. B. „auf Maß“) geschaffen werden. Ohne die Digitalisierung ist eine Rückverlagerung der Produktion nach Deutschland eher ausgeschlossen. Ohne eine Verlagerung der Produktion nach Deutschland werden aber auch die größeren Mengen an recycelten Rohstoffen keine Abnehmer in der Produktion finden. Für die „digitalere“ Produktion muss in neue Software und Maschinen investiert werden. Im Szenario wird von einem Investitionshorizont von sechs Jahren (2025 bis 2030) ausgegangen.

Die gesamtwirtschaftlichen Ergebnisse zeigen einen Anstieg der Wertschöpfung, die im Jahr 2030 (Ende der Investitionsphase) mit +0,04 % (rund 1 Mrd. Euro) im Vergleich zur Basisprojektion ihren Höhepunkt erreicht (vgl. Abbildung 20). Mit der „digitaleren“ Produktion, die mit höheren Anforderungen an die Beschäftigten einhergeht (vgl. Abbildung 21), steigt das Lohn Einkommen leicht an. Die Zahl der Erwerbstätigen nimmt ebenfalls zu – so könnten im Jahr 2040 rund 9000 Personen mehr erwerbstätig sein als in der Basisprojektion. Mit der höheren Produktion gehen auch höhere CO₂-Emissionen einher (vgl. Abbildung 20).

Abbildung 20: Ergebnisübersicht Szenario „Digitalisierung in der Textilindustrie“

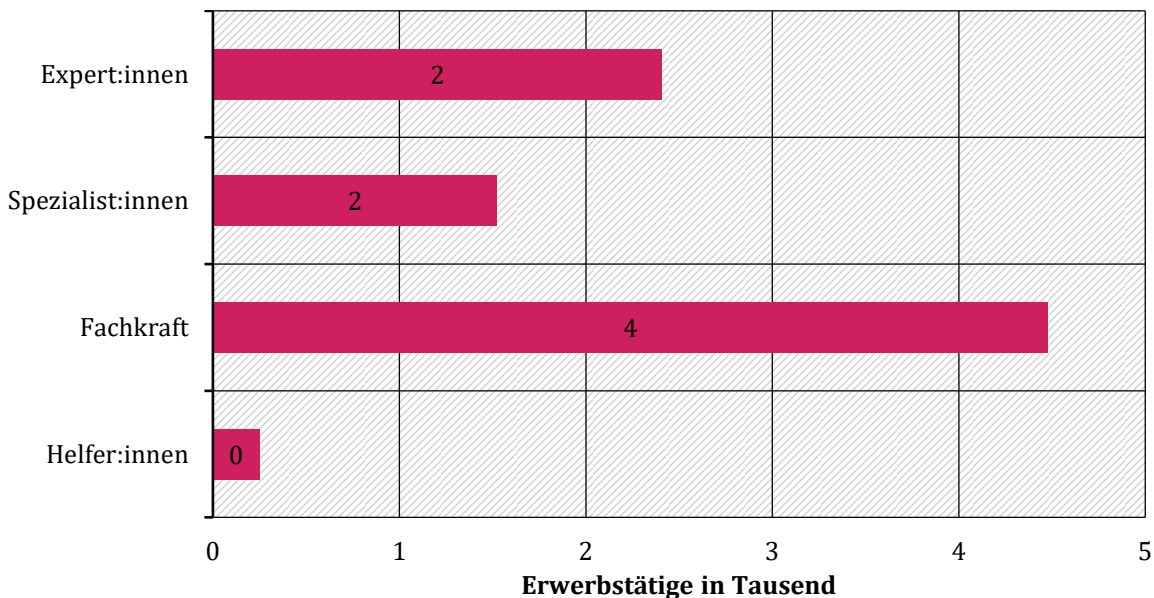




Anmerkung: Die Grafiken stellen die Abweichungen (absolut bzw. in Prozent) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) in den Jahren 2030, 2035 und 2040 dar. Dabei ist die Wertschöpfung ein Indikator für die ökonomische Entwicklung, das Lohneinkommen für die Lage der privaten Haushalte und die CO₂-Emissionen für den Beitrag zur Klimaneutralität. In letzteren sind ausschließlich CO₂-Emissionen berücksichtigt. Zudem ist die Entwicklung der Erwerbstätigenzahlen (Arbeitsplätze) angegeben.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

Abbildung 21: Szenariowirkung auf Erwerbstätigenzahl im Jahr 2040 nach Anforderungsniveau für das Szenario „Digitalisierung in der Textilindustrie“



Anmerkung: Die Grafik stellt die Abweichungen (absolut) zur QuBe-Basisprojektion (8. Welle) im Jahr 2040 dar. Die vier Anforderungsniveaus beschreiben die Komplexität der beruflich ausgeübten Tätigkeit. Das Anforderungsniveau „Helfer*innen“ beschreibt Helfer*innen und Anlernertätigkeiten und somit das niedrigste Qualifikationsniveau, Erwerbstätige im Anforderungsniveau „Fachkraft“ gehen fachlich ausgerichteten Tätigkeiten nach und sind besser qualifiziert als Helfer*innen (z. B. über eine Ausbildung). „Spezialist*innen“ gehen komplexeren Tätigkeiten nach und haben bspw. einen Bachelorabschluss. „Expert*innen“ üben hoch komplexe Tätigkeiten (z. B. Studienberufe) aus.

Quelle: Berechnungen der GWS, QuBe-Basisprojektion, www.qube-projekt.de

4 Digitalisierung, Nachfrage und Beschäftigung – eine Zusammenfassung

Eine aggregierte Betrachtung der Szenarien würde zu Fehlschlüssen führen, Die kausalen Zusammenhänge zwischen den Szenarien sind nicht explizit modelliert wurden, und wird daher nicht vorgenommen. Daher wird das Vorgehen vereinfacht: es wird auf das Jahr 2040 geschaut und die relative Abweichung gegenüber dem Referenzszenario bewertet. Die Grenzen zur Kategorisierung der Veränderungen ergeben sich logarithmisch: Eine Abweichung von über einem Prozent wird als „deutlich“, eine Abweichung von über 0,1 % und unter 1 % als „mittel“, eine Abweichung von über 0,01 % und unter 0,1 % als „gering“ und alle darunter als „nahezu unverändert“ beschrieben.

Tabelle 1: Ergebnisse der Szenarien im Jahr 2040 im Überblick

Szenario	Wertschöpfung	Arbeitsplätze	Lohneinkommen	CO ₂ -Ausstoss
Digitalisierung des Staats	Mittlerer Anstieg	Mittlerer Rückgang	Nahezu unverändert	Mittlerer Anstieg
Fast Fashion	Mittlerer Anstieg	Geringer Anstieg	Mittlerer Anstieg	Mittlerer Anstieg
Gebäudeautomation	Geringer Rückgang	Geringer Anstieg	Geringer Anstieg	Mittlerer Anstieg
Reparatur	Geringer Rückgang	Geringer Anstieg	Geringer Anstieg	Geringer Rückgang
Rechenzentren	Mittlerer Rückgang	Geringer Rückgang	Mittlerer Rückgang	Deutlicher Anstieg
Industrieller Kern	Deutlicher Anstieg	Mittlerer Anstieg	Mittlerer Anstieg	Mittlerer Rückgang
Recycling	Nahezu unverändert	Nahezu unverändert	Nahezu unverändert	Nahezu unverändert
Landwirtschaft	Geringer Anstieg	Geringer Rückgang	Geringer Anstieg	Nahezu unverändert
Baugewerbe	Geringer Rückgang	Geringer Rückgang	Geringer Rückgang	Mittlerer Rückgang
Textilindustrie	Geringer Anstieg	Geringer Anstieg	Geringer Anstieg	Nahezu unverändert

Anmerkung: Die Tabelle zeigt die Abweichung der Indikatoren Wertschöpfung, Lohneinkommen, Arbeitsplätze und CO₂-Ausstoß von der Qube-Basisprojektion im Jahr 2040 je Szenario. Die Grenzen zur Kategorisierung der Veränderungen ergeben sich logarithmisch: Eine Abweichung von über einem Prozent wird als „deutlich“, eine Abweichung von über 0,1 % und unter 1 % als „mittel“, eine Abweichung von über 0,01 % und unter 0,1 % als „gering“ und alle darunter als „nahezu unverändert“ beschrieben.

Quelle: eigene Darstellung GWS

Das Ergebnis der Szenarienrechnungen, die in Tabelle 1 qualitativ zusammengestellt wurden, zeigt:

- **Fehlende Eindeutigkeit:** Digitalisierung ist nicht eindeutig in ihrer Wirkung auf die Indikatoren. Das liegt an den unterschiedlichen Wirkmechanismen, die Digitalisierung anstoßen kann: Sie kann den Zugang zu Leistungen verbessern und damit neue Warenströme/Transporte etc. auslösen. Sie kann aber auch Güterströme vermeiden und sie

kann als Begleitprozess zur Erreichung von Drittzielen (z. B. einfacher Zugang zu Dienstleistungen der öffentlichen Verwaltung) eingesetzt werden.

- ▶ **Wettbewerbsfähigkeit und Rebound:** Eine Folge der Digitalisierung ist besonders beim Szenario „Industrieller Kern“ eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Vergleich. Es werden weniger Materialien importiert. Gleiches kann mit weniger Input produziert werden. Der entstehende Wachstumsimpuls generiert zusätzliche Nachfragen von Unternehmen und Haushalten – es kommt zum Rebound. Im Ergebnis vermindert sich der positive Effekt auf Emissionen. In dem hier gewählten Szenario für den industriellen Kern überwiegen die direkten Wirkungen auf den CO₂-Ausstoß. Die indirekten Wirkungen, die aus der verbesserten Wertschöpfung kommen (Tabelle 1) und die Nachfrage nach Gütern und Leistungen steigern, sind kleiner.
- ▶ **Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt:** Digitalisierung hat in sechs von zehn Szenarien eine positive Wirkung auf die Zahl der Arbeitsplätze (Tabelle 1). Besonders deutlich werden Veränderungen beim Szenario „Fast Fashion“. Der Blick auf die Anforderungsniveaus zeigt, dass die Zahl der Fachkräfte sinkt, während die übrigen Anforderungsniveaus zulegen können. Insgesamt ergibt sich aber keine eindeutige Richtung bei den Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt durch die Digitalisierung. Die beiden Beispiele („Rechenzentren“, „Fast-Fashion“) zeigen aber, dass Verteilungswirkungen bei den Lohneinkommen nicht a priori ausgeschlossen werden können.
- ▶ **Verteilungswirkungen zwischen Regionen:** Weitere Verteilungswirkungen ergeben sich zwischen Stadt und Land, wie das Szenario „Digitalisierung im industriellen Kern“ zeigt: Am stärksten profitieren Städte, die bei der Bereitstellung von IKT-Dienstleistungen stark sind. So können Unterschiede zwischen Regionen weiter zunehmen.
- ▶ **Vermeidung von Güterströmen:** Wird Digitalisierung zur Vermeidung von Güterströmen eingesetzt, ist sie bezogen auf die hier betrachteten Indikatoren am stärksten. Sie wirkt dann doppelt: Es werden einerseits im Prozess weniger Güter verbraucht und andererseits weniger Güter in das rohstoffarme Land importiert. Das eine löst den positiven Impuls über die Kostenstruktur aus – die Materialstückkosten gehen zurück, der andere positive Impuls wird durch die Vermeidung des Imports ausgelöst. Das gilt für die Szenarien „Digitalisierung im industriellen Kern“ und „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur“.
- ▶ **Effekte des „Reshorings“:** Auffällig ist, dass das Szenario „Digitalisierung und Recycling“ auf den CO₂-Ausstoß nicht merklich mindernd (Tabelle 1) wirkt, wie „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur“ oder „Digitalisierung im industriellen Kern“, obwohl auch hier auf den ersten Blick Güterströme vermieden werden. Das ist auch richtig: Weniger Materialien müssen importiert werden, wenn Kupfer wiederverwertet wird. Ansonsten wird aber ersetzt: Ein neues Produkt, das vor allem aus dem Ausland kommt, ist durch ein recyceltes oder wiederaufgearbeitetes Produkt aus dem Inland ersetzt. Damit aber recycelt werden kann, müssen neue Produktionsprozesse geschaffen werden. Es werden also Produktionsprozesse (Gewinnung von Erzen) im Ausland zu Recyclingprozessen im Inland. Damit gehen Investitionen in Anlagen und beim Recycling dann Energieverbrauch im Inland einher.
- ▶ **Reshoring steht im Wettbewerb:** In den Szenarien „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur“, „Digitalisierung und Recycling“ und „Digitalisierung in der Textilindustrie“ ist unterstellt, dass Produktionsverlagerungen in das Inland vorliegen: Mal sind es Anlagen zum Recycling und mal neue Betriebe, die reparieren. Immer werden Importe vermieden. Die neuen Anlagen oder Betriebe stehen daher im internationalen

Wettbewerb. Sind die Preise auf Dauer im Inland höher, haben die neuen Anlagen oder Betriebe aber keinen Bestand.

- ▶ **Unvermeidbare Energieverbräuche:** Die Einrichtung von Rechenzentren ist unvermeidbar. Diese werden nicht nur für die KI benötigt, sondern sind an sich für eine schnellere Digitalisierung notwendig, wenn die Daten auch im Inland bleiben sollen. Aber es kommt dadurch zu einem höheren Bedarf an Energie, der – soweit er nicht aus erneuerbaren Energien bedient werden kann – die CO₂-Emissionen erhöht. Energieeffizienz z. B. durch die Nutzung der Abwärme wirkt dem entgegen, kompensiert aber nicht den zusätzlichen Energieverbrauch. Aus Sicht der zehn hier gerechneten Szenarien ist aber eine schnellere und umfangreichere Datenverarbeitung notwendig.
- ▶ **Übergangszeiten:** Investitionen in neue Prozesse, wie bei der Landwirtschaft angedacht, verursachen zumindest vorübergehend deutlich höhere Investitionen und sind erst in langer Frist wirksam. Werden dann die Vorteile (hier gezielterer Einsatz von Gütern und Arbeitskraft) voll wirksam, ergeben sich auch die entsprechenden Kostenvorteile und damit eine höhere Wettbewerbsfähigkeit. Zusätzliche Nachfrage löst dann aber auch zusätzliche CO₂-Emissionen aus.
- ▶ **Verwaltungsmodernisierung:** Der vereinfachte Zugang zu administrativen Vorgängen wird angestrebt, um die Wettbewerbssituation u. a. von Unternehmen auf der Kostenseite zu unterstützen. Die Digitalisierung der Verwaltung trägt dazu bei. Eine Folge könnte sein, dass weniger Personal gebraucht wird, sodass die Aufwendungen auch tatsächlich zurückgehen. Auch wenn beim Staat dann Arbeitsplätze nicht mehr gebraucht werden, ist das in der Situation insgesamt zurückgehender Erwerbspersonenzahlen kein Nachteil: Der Staat kann über eine Pensionierungswelle, die mit dem Ausscheiden der „Boomer-Generation“ einsetzen wird, Personal ohne Kündigung abbauen. Die neuen Arbeitskräfte können dann in anderen Branchen arbeiten. Eine Verwaltungsmodernisierung kann aber auch dazu beitragen, dass das vorhandene Personal effizienter arbeiten kann und somit Vorgänge schneller ablaufen.

Welche **Handlungsempfehlungen** lassen sich aus den Ergebnissen ableiten? Im Folgenden sind die Handlungsempfehlungen nach Handlungsfeldern zusammengefasst:

Handlungsfeld Arbeitsmarkt: Die zehn Szenarien setzen auf mehr Digitalisierung. D. h., es werden Arbeitskräfte benötigt, die diese zunehmende Digitalisierung auch umsetzen können. Damit das möglich wird, sind z. B. die Ausgaben für Weiterbildung im Szenario „Digitalisierung im industriellen Kern“ deutlich erhöht worden. Diese Erhöhung bezieht sich vor allem auf „zugekaufte“ Weiterbildung. Allerdings ist auch davon auszugehen, dass es innerbetriebliche Weiterbildung geben muss, die in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen nicht eigenständig sichtbar wird. Die Organisation und Durchführung innerbetrieblicher Weiterbildung gestaltet sich für Unternehmen mit weniger als zehn Angestellten, die die Masse an Unternehmen stellen, allerdings schwierig. Es gibt in der Regel keine Strukturen für Weiterbildung. Hier können gezielte Angebote helfen, die aber mit schon existierenden Programmen abgestimmt werden sollten.

Die Szenarien zeigen auch Veränderungen von Branchenstrukturen. So verlieren im Szenario „Digitalisierung im industriellen Kern“ vor allem Unternehmen der Grundstoffindustrie aufgrund der höheren Materialeffizienz Aufträge. Gleichzeitig werden an anderer Stelle Arbeitskräfte (vor allem in der IKT) benötigt. Der Übergang von einem Arbeitsplatz in der Grundstoffindustrie hin zu einem IKT-Dienstleistungen anbietenden Unternehmen ist ohne Weiterbildung oder gar Umschulung nicht möglich. Aus der Kombination der Szenarien können

sich aber auch Möglichkeiten ergeben, sodass ein Übergang für die Beschäftigten einfacher wird: Im Szenario „Digitalisierung bei dem Konsum privater Haushalte: Reparatur“ werden mehr Fachkräfte benötigt. Im Szenario „Digitalisierung in der Landwirtschaft“ gehen Fachkräfte verloren. Auch wenn diese Kombination kein ideales Beispiel ist, zeigt sich dennoch: Es geht darum, die Einzelwirkungen der Digitalisierung zu verstehen, um gezielte Verknüpfungen zwischen Branchen mit Verlusten und solchen mit Gewinnen herzustellen. So können dann „Drehtüren“ von einer Branche in die andere gleich mitgedacht werden und auf der Ebene der Unternehmen mit oder ohne Unterstützung der Bundesagentur für Arbeit organisiert werden. Besonders intensiv wird derzeit eine solche „Drehtür“ für den Übergang von der Automobil- zur Rüstungsindustrie diskutiert und auch praktiziert.

Schließlich gibt es jene Herausforderungen, die bei der Bewältigung von regionalen Unterschieden entstehen (vgl. „Digitalisierung im industriellen Kern“, Stadt-Land-Verteilung). Mit der Digitalisierung ist davon auszugehen, dass besonders in städtischen Räumen zusätzliche Arbeitsplätze entstehen, weil hier bereits viele IKT-Standorte angesiedelt sind. Allerdings ist eine Begleitung der Transformation in der Regel von vielen Faktoren abhängig. So spielt beispielsweise die familiäre Situation oder Eigentum eine Rolle bei der Wohn- und Arbeitsortswahl.

Handlungsfeld Regulatorik/Förderung: Die Szenarien zeigen viele Anknüpfungspunkte für Regulatorik oder Förderung. Reparaturen können begünstigt, Recyclingquoten erhöht oder Anforderungen für den Bau energieeffizienter Rechenzentren gesetzt werden. Dabei ist die intendierte Wirkung klar: ein geringerer Material- und Energieverbrauch.

Die Voraussetzungen, damit Regulierung wirken kann, müssen immer mitberücksichtigt werden. So hat eine Begünstigung von Reparatur (z. B. durch Sicherstellung der Reparierbarkeit oder einen Reparaturbonus) nur dann den gewünschten Erfolg, wenn es ausreichend Reparaturbetriebe gibt und die Alternative „Neukaufen“ teurer ist. Diese Nebenbedingungen sind beim Handlungsansatz mitzudenken. Z. B. könnte bei einem Reparaturbonus schrittweise vorgegangen oder der Bonus über die Steuer (Handwerksleistungen) absetzbar gemacht werden.

Gelegentlich kann es auch zu nicht intendierten Wirkungen kommen: Beispielsweise könnte der Einsatz von recycelten Rohstoffen in der Textilindustrie vorgeschrieben werden. Wenn zeitgleich die Möglichkeiten zum Recycling z. B. in China deutlich günstiger sind als bei uns, dann werden Textilien nach China verschifft und die recycelten Fasern von dort importiert. Es sind also die Marktbedingungen zu prüfen und ggf. weitere Regelungen zu ergänzen.

Eine andere typische Nebenwirkung von Regulierung ist, dass sich die Produktion im Inland durch weitere Anforderungen verteuert. Das kann die Entscheidungslage für Investitionen ungünstig ausfallen lassen, sodass die Entscheidung für einen Standort im Ausland noch wahrscheinlicher wird.

Ein Anknüpfungspunkt für Regulatorik ist die Herabsenkung der Grenze, ab der Zoll erhoben wird, um dem Zustrom von Gütern z. B. von Shein oder Temu zu vermeiden. Das ist auf den ersten Blick wiederum in seinen Wirkungen eindeutig: Weniger Fast Fashion und höhere Zolleinnahmen. Die Szenariorechnung gibt Hinweise auf einen unerwünschten Effekt: Auf die Kleidungsstücke, die über Shein bezogen werden, entfallen Zölle, sodass der Preis steigt. Haushalte in Deutschland werden mehr zahlen müssen.

Die Szenarios zeigen: Um eine geeignete Regulierung oder Förderung zu finden, ist es also hilfreich, angedachte Maßnahmen nicht nur auf ihre intendierten Wirkungen, sondern auch auf ihre nicht intendierten Wirkungen und notwendigen Voraussetzungen zu untersuchen. Dabei ist

insbesondere darauf zu achten, dass der Prüfungsansatz möglichst ganzheitlich ist, also die entscheidenden Umwandlungsprozesse, Produktion der Unternehmen, Nutzung der Haushalte, staatliche Beteiligung und internationale Zusammenhänge berücksichtigt werden.

Handlungsfeld Industriepolitik: Kaum weniger schwierig sind Entscheidungen bezüglich der Industriepolitik. Hier wird Industriepolitik als staatliches Engagement verstanden, um neue Unternehmen zu fördern. Auch hier weisen die Szenarien auf Anknüpfungspunkte hin. Ein wesentlicher Faktor für das Gelingen z. B. des Recyclings ist der Preis des Produktes, des recycelten Materials. Das gilt auch für die Schaffung von Recycling-Kapazitäten im Inland. Hier kann der Staat mit Beteiligungen, Investitionszuschüssen oder gleich als eigener Betreiber (z. B. über Stadtwerke) tätig werden. Auch hier sind die beabsichtigten Umweltwirkungen eindeutig.

Hinzu kommt, dass durch vermehrtes Recycling im Sinne von De-Risking Abhängigkeiten von Rohstofflieferanten gemindert werden könnten. Das Problem: Der Rückgang der Abhängigkeiten ist nicht monetär messbar. Erst im Fall der Exportbeschränkung seitens des Rohstofflieferanten steigen die Preise für importierte Waren oder sind gar nicht mehr verfügbar und heimische Produkte werden damit attraktiver. Auch stellt sich die Frage, wie viele (z. B. Recycling-)Werke sinnvoll sind. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass durch Skalierung der Werke höhere Effizienz und damit geringere Kosten realisiert werden können.

Die Abwägung – also ob überhaupt gefördert wird und wenn ja, in welcher Größenordnung – muss für den Einzelfall geprüft werden. Dabei sind wie bei der Regulatorik alle Umwandlungsprozesse zu betrachten, um gleichzeitig nicht-intendierte Wirkungen zu erkennen.

Ergebnis: Die Digitalisierung treibt die sozial-ökologische Transformation nicht von sich aus voran. Dazu gibt es zu viele Wirkungsprozesse und zu viele unterschiedliche Interessen. Sie kann eindeutig wirken (z. B. wie hier modelliert im industriellen Kern). In derartigen Fällen werden Digitalisierungsprozesse häufig bereits vorangetrieben. Zumeist bleiben aber Unsicherheiten, wo staatliche Anreize oder eine Verschiebung der relativen Kostensituation nötig sind für positive Umweltwirkungen. Sicher ist jedoch, dass die Digitalisierung besser wirkt, je mehr sie auf erneuerbaren Strom zurückgreifen kann.

Abschließende Bemerkungen:

Monitoring des Ist-Standes: Die Digitalisierung bekommt durch die Einführung von KI einen neuen Schub. Wie dieser genau aussieht, ist heute nicht absehbar. Vorstellbar ist aber, dass Large Language Models (LLM) bspw. durch eine Verbreitung in anderen Programmen stark zum Einsatz kommen – weil Softwareanbieter sie in ihre Programme integriert haben. Dies kann zu veränderten Produktionsweisen, anderen Zusammensetzungen der Belegschaften oder auch neuen Forschungsergebnissen führen. Der Prozess ist aktuell also noch offen und es bedarf einer engen Beobachtung der Entwicklung durch möglichst zeitnah verfügbare, aktuelle Indikatoren. Diese können sich auch auf die Berufswelt beziehen: Dort werden Veränderungen in den Berufsstrukturen schnell sichtbar. Die Bundesagentur für Arbeit verfügt über entsprechende Prozessdaten, die aufbereitet werden können. Weitere Daten über z. B. Neugründungen (Monatsdaten) etc. stellt das Statistische Bundesamt zur Verfügung.

Monitoring der neuen technischen Möglichkeiten: Ferner ist zu prüfen, welche neue Methoden z. B. der Materialforschung oder des Recyclings gibt, die wirtschaftlich wettbewerbsfähig sind. Damit würde sich Regulatorik verändern können und Industriepolitik sich anders wirtschaftlich darstellen.

Monitoring der Veränderungen von Wirkmechanismen: Die Auswirkungen geänderten Verhaltens von Haushalten oder Unternehmen müssen fortlaufend überprüft werden. Dazu ist

es notwendig, das Verhalten regelmäßig anhand aktueller Daten empirisch zu analysieren. Auf dieser Grundlage sollte bewertet werden, in welche Richtung sich die Entwicklung auch ohne staatliche Eingriffe wie Regulierungen oder Industriepolitik bewegt. Dabei ist besonders darauf zu achten, auch unbeabsichtigte Nebenwirkungen möglicher Maßnahmen zu erfassen und zu dokumentieren.

Es ist möglich, dass die Digitalisierung an Dynamik gewinnt – mit sowohl positiven als auch negativen Effekten auf die CO₂-Emissionen. Deshalb sollte regelmäßig überprüft werden, ob sich die Situation verbessert oder verschlechtert hat und ob bereits eingeführte Maßnahmen weiterhin sinnvoll sind oder durch andere ersetzt werden sollten.

5 Literatur

Becker, L., Stöver, B., Krieger, B., Saleh, F. & Meißner, L. (2025): Nachfrage- und Beschäftigungseffekte der doppelten Transformation. Literaturstudie zu den ökonomischen Wirkungen von Digitalisierung und Energiewende. Umwelt, Innovation, Beschäftigung 01/2025, Dessau-Roßlau.

Bicking, J. (2023): Billigprodukte aus China – die Temu-Strategie. Tagesschau vom 18.08.2023, <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/temu-shopping-billigprodukte-100.html>, abgerufen am 12.11.2024.

Deslandes, M. (2023): Denim: ein Blick in die Hightech-Fabrik von C&A in Mönchengladbach. <https://de.fashionnetwork.com/news/Denim-ein-blick-in-die-hightech-fabrik-von-c-a-in-monchengladbach,1510006.html>, abgerufen am 04.08.2025.

Deutschlandfunk (2024): Temu, Shein & Co: Muss die Billigware aus China begrenzt werden? <https://www.deutschlandfunk.de/temu-shein-china-zoll-onlineshop-100.html>, zuletzt aktualisiert am 28.06.2024, abgerufen am 12.11.2024.

Euronews (2025): <https://de.euronews.com/next/2025/01/29/deepseek-modell-eines-chinesischen-start-ups-schafft-mehr-mit-weniger-rechenleistung>, abgerufen am 04.08.2025.

European Environment Agency (EEA) (2025): Consumption of clothing, footwear, other textiles in the EU reaches new record high. Pressemitteilung vom 26.03.2025, Copenhagen. <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/news/consumption-of-clothing-footwear-other-textiles-in-the-eu-reaches-new-record-high>, abgerufen am 15.10.2025.

Hild, P. (2025): C&A stellt nachhaltige Jeans-Produktion in Mönchengladbach ein. WDR-Nachrichten. <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/cunda-nachhaltige-jeans-moenchengladbach-produktion-eingestellt-100.html>, abgerufen am 04.08.2025

Hintemann, R., Hinterholzer, S. & Progni, K. (2024): Bitkom-Studie Rechenzentren in Deutschland: Aktuelle Marktentwicklungen. Stand: 2024. Borderstep Institut, Berlin.

International Energy Agency (IEA) (2024): World Energy Outlook 2024. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c036b390-ba9c-4132-870b-ffb455148b63/WorldEnergyOutlook2024.pdf>, abgerufen am 17.10.2025.

McKinsey Apparel, Fashion & Luxury Group (2022): Scaling textile recycling in Europe – turning waste into value.

Microsoft (2024): Fit für das KI-Zeitalter: Microsoft investiert 3,2 Milliarden Euro, um KI-Infrastruktur und Cloud-Kapazitäten in Deutschland mehr als zu verdoppeln sowie Fachkräfte zu qualifizieren. <https://news.microsoft.com/de-de/fit-fuer-das-ki-zeitalter-microsoft-investiert-32-milliarden-euro-um-ki-infrastruktur-und-cloud-kapazitaeten-in-deutschland-mehr-als-zu-verdoppeln-sowie-fachkraefte-zu-qualifizieren/>, abgerufen am 04.08.2025.

Klier, J., Münstermann, B., Kirchherr, J., Weber, T. & Bodem-Schrötgens, J. (2024): Mit Mut und Augenmaß, bitte! Wie GenAI die Arbeit der öffentlichen Verwaltung unterstützen und den Fachkräftemangel abfedern kann, McKinsey & Company.

Maier, T., Kalinowski, M., Schur, A. C., Zika, G., Schneemann, Ch., Mönning, A. & Wolter, M. I. (2024): Weniger Arbeitskraft, weniger Wachstum. Ergebnisse der achten Welle der BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsprojektionen bis zum Jahr 2040. BIBB Report.

Repartly (2024): Repartly Reparatur-Report 2024. repartly.de/de/c/press/grafiken-repartly-reparatur-report-2024, abgerufen am 05.08.2025.

SAP (2024): SAP stärkt digitale Souveränität mit milliardenschwerem Investitionsprogramm in souveräne Cloud-Angebote. <https://news.sap.com/germany/2024/09/sap-digitale-souveraenitaet-investitionsprogramm-cloud-angebote/>, abgerufen am 04.08.2025.

Tagesschau (2024a): Importe von Temu & Co.: Bund will Zoll-Schlupfloch schließen. 23.05.2024. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/weltwirtschaft/shein-temu-zoll-schlupfloch-100.html>, abgerufen am 12.11.2024.

Tagesschau (2024b): Pläne des Wirtschaftsministeriums – schärfere Regeln für Temu und Shein? 05.09.2024. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/temu-shein-kontrollen-geplant-100.html>, abgerufen am 12.11.2024.

Technopolis und IÖW (Hrsg.) (2024): Metastudie „Nachhaltigkeitseffekte der Digitalisierung“. Eine Auswertung aktueller Studien zur (quantitativen) Bemessung der Umwelteffekte durch die Digitalisierung, Berlin. https://www.bmftr.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/2024/24_02_14_nachhaltigkeitseffekte_digitalisierung.pdf?__blob=publicationFile&v=5, abgerufen am 15.10.2025.

Thobe, I., Eckermann, F. & Maier, T. (2023): Das „Recht auf Reparatur“ – mögliche Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt. Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis (BWP) 4/2023 – Ökologische Transformation, Bonn, S. 12–16.

Zika, G., Hummel, M., Maier, T. & Wolter, M. I. (2023): Das QuBe-Projekt: Modelle, Module, Methoden. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB). IAB-Bibliothek 374, DOI: 10.3278/9783763973712, Nürnberg.

Zika, Gerd; Schneemann, Christian; Zenk, Johanna; Krinitz, Jonas; Wolter, Marc Ingo; Maier, Tobias et al. (2024): Fachkräftemonitoring für das BMAS - Mittelfristprognose bis 2028. Hg. v. Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS). Berlin.

A Anhang: Übersicht Modellannahmen

	Eingriff	Stellgröße	Zeitraum	Ausprägung
Digitalisierung Staat	Anstieg der Investitionen in geistiges Eigentum und digitale Ausrüstungen	Investitionen in sonstige Anlagen sowie Investitionen in neue Ausrüstungen in der öffentlichen Verwaltung	2024–2028	Anstieg um 10 %
	Anstieg der Ausgaben für Qualifikation in der öffentlichen Verwaltung	Vorleistung für Bildung in der öffentlichen Verwaltung	Zunächst Anstieg bis 2030, dann fortlaufend	Rund 9 Mio. Euro jährlich
	Rückgang des Arbeitsvolumens für Büro, Verwaltung und Unternehmensführung in der öffentlichen Verwaltung	Arbeitsvolumen in der öffentlichen Verwaltung	Bis 2040	Rückgang um 10 %
	Rückgang der Kosten für Gebäude	Vorleistungen für Kokerei- und Mineralölerzeugnisse	Bis 2040	Rückgang um 5 %
	Rückgang der Kosten für Papier und Druck	Vorleistungen für Papier und Druck in der öffentlichen Verwaltung	Bis 2040	Rückgang um 50 %
Private Haushalte: Very Fast Fashion	Nachfrage nach Very Fast Fashion steigt, Schuhe und Bekleidung werden schneller ersetzt	Konsumausgaben der privaten Haushalte Bekleidung, Schuhe	2025–2030	Anstieg um 20 %
	Die Importpreise gehen zurück (Preiselastizität von -1)	Importpreis	2025–2030	Rückgang um 20 %
	Rückgang des Arbeitsvolumens in der Branche „EZH“	Arbeitsvolumen im EZH	2025–2030	Rückgang um 2 %
	Gesonderte Reduzierung der Konsumentenpreise (Korrekturbuchung)	Konsumentenpreis Bekleidung, Schuhe	2025–2030	Rückgang um 18 %
	Gesonderte Anhebung des Exportpreises (Korrekturbuchung)	Exportpreis Bekleidung und Schuhe	2025–2030	Anstieg um 10 %
	Die Sparquote soll unverändert bleiben (Korrekturbuchung)	Konsumausgaben der privaten Haushalte für Sparen	2025–2030	Bleibt bei QuBe-Basisprojektion, 8. Welle

	Eingriff	Stellgröße	Zeitraum	Ausprägung
Private Haushalte: Gebäudeautomation	Durch vorzeitigen Ersatz/Kauf elektronischer Geräte steigen die Ausgaben privater Haushalte für Haushaltsgeräte	Konsumausgaben der privaten Haushalte für elektronische Geräte	2025–2035	Anstieg um 10 %
	Höherer Einsatz von Onlinediensten	Konsumausgaben der privaten Haushalte für Onlinedienste	2025–2035	Anstieg um 1 %
	Verbräuche von Gas und Heizöl gehen zurück	Konsumausgaben der privaten Haushalte für Gas, Heizöl	2025–2035	Rückgang um 4 %
	Höherer Einsatz elektronischer Einrichtungen durch das Ausbaugewerbe	Vorleistungen: elektronische Ausrüstungen im Ausbaugewerbe	2025–2035	Anstieg um 10 %
Private Haushalte: Reparatur	Die Reparaturausgaben der Verwendungszwecke „Schuhe“, „Möbel, Innenausstattung, Teppiche u. ä.“, „Heimtextilien“, „Haushaltsgeräte“, „Telefongeräte“, „audiovisuelle, fotografische und Informationsverarbeitung sgeräte“, „andere größere langlebige Gebrauchsgüter“, „andere Geräte und Artikel für Freizeitwecke“ steigen	Ausgabenanteil der Branche Reparatur am jeweiligen Verwendungszweck	2025–2050	Anstieg jeweils auf 7,5 % (vorher: 0,8–3,2 %)
	Gegenbuchung: Der jeweils größte Vorleistungsanteil ist entsprechend reduziert, da er durch die Reparatur ersetzt wird.	Ausgabenanteil der Branche mit jeweils größtem Anteil des jeweiligen Verwendungszwecks	2025–2050	„Schuhe“: -6,69%-Punkte „Möbel, Innenausstattung, Teppiche u. ä.“: -6,11 %-Punkte „Heimtextilien“: -4,04 %-Punkte „Haushaltsgeräte“: -7,48 %-Punkte „Telefongeräte“: -7,41 %-Punkte

	Eingriff	Stellgröße	Zeitraum	Ausprägung
				„Audiovisuelle, fotografische und Informationsverarbeitungsgeräte“: -4,44 %-Punkte „Andere größere langlebige Gebrauchsgüter“: -7,48 %-Punkte „Andere Geräte und Artikel für Freizeitwecke“: -7,23 %-Punkte
	Audiovisuelle Geräte und Haushaltsgeräte werden länger genutzt. Und erst später bzw. seltener neu beschafft	Konsumausgaben der privaten Haushalte für audiovisuelle Geräte bzw. Haushaltsgeräte	2025–2050	Reduktion um 10 %
	Gegenbuchung: freiwerdende Mittel durch geringere Konsumausgaben für audiovisuelle Geräte und Haushaltsgeräte werden nach typischer Struktur verteilt	Konsumausgaben für anderweitige Verwendung	2025–2050	Anstieg um 0,05 %
	Arbeitsvolumen in der Branche steigt	Arbeitsvolumen in der Branche Reparatur	2025–2050	Anstieg um 60 %
	Löhne steigen je Anforderungsniveau	Durchschnittlicher Lohn je Beschäftigtenstunde je Anforderungs-niveau	2025–2050	Anstieg um 50 %
	Kostenstruktur der Branche „[...] Reparatur“ verändert sich: zunehmender Vorleistungseinsatz von IKT-Dienstleistungen und Post- und Kurierleistungen	Vorleistungen IKT-DL bzw. Post- und Kurierleistungen in Reparatur	2025–2050	Verdopplung
Investitionen in Rechenzentren	Bau und Betrieb von Rechenzentren	Investitionen der Branche IT-Dienstleistung in Bau (40 %), in geistiges Eigentum (20 %), in Ausrüstung (40 %)	2025–2050	zusätzlich: 2025: 1,7 Mrd. € 2026: 2,4 Mrd. € 2027: 3,1 Mrd. € 2028: 3,9 Mrd. € 2029: 4,6 Mrd. €

	Eingriff	Stellgröße	Zeitraum	Ausprägung
				2030: 5,1 Mrd. € 2031: 5,4 Mrd. € 2032: 5,5 Mrd. € 2033: 5,3 Mrd. € 2034: 4,8 Mrd. € 2035: 4,1 Mrd. € 2036: 3,3 Mrd. € 2037: 2,5 Mrd. € 2038: 1,6 Mrd. € 2039: 0,8 Mrd. € ab 2040: 0,2 Mrd. €
	Zusätzlicher Energieverbrauch	Endenergie-verbrauch (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) von Strom und insgesamt	2025–2050	zusätzlich: 2025: 3 040 TJ 2026: 7 413 TJ 2027: 13 187 TJ 2028: 20 331 TJ 2029: 28 703 TJ 2030: 38 034 TJ 2031: 47 947 TJ 2032: 57 982 TJ 2033: 67 647 TJ 2034: 76 475 TJ 2035: 84 079 TJ 2036: 90 199 TJ 2037: 94 720 TJ 2038: 97 674 TJ 2039: 99 211 TJ ab 2040: 99 561 TJ
Industrieller Kern	Weniger Materialinputs werden benötigt	Vorleistungen des industriellen Kerns an den industriellen Kern	2025–2050	Reduktion um 10 %
	Investitionen in Technologie, um Material einzusparen	Investitionen in geistiges Eigentum	2025–2030	Anstieg um 10 %
	Investitionen in Technologie, um Material einzusparen	Investitionen in Ausrüstung	2025–2030	Anstieg um 5 %
	Besser ausgebildete Mitarbeiter*innen	Vorleistungen „Weiterbildung“ an alle Branchen	2025–2030	Anstieg um 15 %
	Höherer Einsatz von IKT-Dienstleistungen	Vorleistungen der IKT-Dienstleistungen an alle Branchen	2025–2030	Anstieg um 15 %
	Höhere Löhne	Durchschnittlicher Stundenlohn (Aggregat)	2025–2030	Anstieg um 1 %

	Eingriff	Stellgröße	Zeitraum	Ausprägung
Recycling	Mehr Recycling von elektronischen Geräten (NE-Metallen)	Vorleistungen Recycling an elektronische Geräte	2025–2050	Anstieg um 1,2 %-Punkte (Ausgangs-niveau 2023: 4,275 %)
	Mehr Recycling von Baumaterialien	Vorleistungen Recycling an Steine und Erze	2025–2050	Reduzierung um 1,2 %-Punkte
	Höherer Einsatz von IKT im Recycling	Vorleistung IKT an Recycling	2025–2050	Anstieg um 10 % (Ausgangs-niveau 2023: 10,87 %)
	Höhere Arbeitsproduktivität in der Branche Recycling	Arbeitsvolumen der Branche Recycling	2025–2050	Reduzierung um 0,0012 %-Punkte (Hälfte des Impulses aus der Produktion)
Landwirtschaft	Einsatz bzw. Anschaffung digitaler Technologie/ Robotik	Investitionen in Ausrüstungsgüter bzw. Software	2025–2040	Bis 2030: Anstieg um 25 % Bis 2030: Anstieg um 25 % Bis 2040: Abnehmend auf durchschnittliches Niveau der letzten Jahre
	Geringerer Einsatz von Treibstoffen	Vorleistungen Kokerei- und Mineralölzeugnisse an Landwirtschaft	2025–2040	Bis 2030: Reduzierung um 5 % Bis 2030: Reduzierung um 20 % Bis 2040: Reduzierung um 30 %
	Geringerer Einsatz von Düngemitteln, Herbiziden etc.	Vorleistungen Chemieindustrie an Landwirtschaft	2025–2040	Bis 2030: Reduzierung um 5 % Bis 2030: Reduzierung um 20 % Bis 2040: Reduzierung um 30 %
	Einsatz digitaler Technologie	Vorleistungen IKT-Dienstleistungen an Landwirtschaft	2025–2040	Bis 2030: Anstieg um 50 % Bis 2030: Anstieg um 50 %

	Eingriff	Stellgröße	Zeitraum	Ausprägung
				Bis 2040: Anstieg um 50 %
	Weiterbildungsmaßnahmen	Vorleistungen der Weiterbildung an Landwirtschaft	2025–2040	Bis 2030: Anstieg um 25 % Bis 2030: Anstieg um 25 % Bis 2040: Abnehmend auf durchschnittliches Niveau der letzten Jahre
	Höhere Arbeitsproduktivität	Arbeitsvolumen der Landwirtschaft	2025–2040	Bis 2030: Reduzierung um 2,5 % Bis 2030: Reduzierung um 5 % Bis 2040: Reduzierung um 7,5 %
	Weniger Leiharbeiter*innen	Vorleistungen der Vermittlung und Überlassung von Arbeitnehmer*innen	2025–2040	Bis 2030: Reduzierung um 2,5 % Bis 2030: Reduzierung um 5 % Bis 2040: Reduzierung um 7,5 %
Baugewerbe	Anderes Material wird eingesetzt: geringerer Einsatz von Keramik und bearbeiteten Steinen und Erden	Vorleistungen der Keramik und bearbeitete Steine und Erden an Bauindustrie	2025–2040	Reduzierung um 1,8 %-Punkte (entspricht 10 % gegenüber Referenzszenario)
	Anderes Material wird eingesetzt: Mehr Ersatzbaustoffe	Vorleistungen der Land- und Forstwirtschaft an die Holzindustrie	2025–2040	Anstieg um 0,15 %-Punkte (Ausgangs-niveau 2023: 0,15 %)
	Anderes Material wird eingesetzt: Mehr Ersatzbaustoffe	Vorleistungen der Holzindustrie an die Bauwirtschaft	2025–2040	Anstieg um 1,8 %-Punkte (Ausgangs-niveau 2023: 0,961 %)

	Eingriff	Stellgröße	Zeitraum	Ausprägung
	Recycling von Baumaterialien	Vorleistungen der Abfallentsorgung und -rückgewinnung an Bauwirtschaft	2025–2040	Anstieg um 0,82 %-Punkte (Ausgangs-niveau 2023: 0,054 %)
	Weniger neue Baustoffe: Holz, Glas, Keramik	Vorleistungen der Holzindustrie bzw. Glasindustrie bzw. Keramikindustrie an Bauwirtschaft	2025–2040	Reduzierung um jeweils 0,27 %-Punkte (Ausgangs-niveau Holz 2023: 0,961 %, Ausgangsniveau Glas 2023: 0,023 %, Ausgangsniveau Holz 2023: 13,057 %)
	Weniger neue Wohnungen werden gebaut	Neubau Wohnungen insgesamt	2025–2040	Reduktion um 10 000 (Ausgangs-niveau 2023: 244860 %)
	BIM verbessert die Arbeitsproduktivität	Arbeitsproduktivität des Baugewerbes	2025–2040	Anstieg um 1 %
Textilindustrie	Verdopplung des Einsatzes recycelter Rohstoffe	Vorleistungen der Recyclingbranche an die Textilindustrie	2025–2030	Anstieg um 2 %-Punkte (Ausgangs-niveau 2023: 2,0 %)
	Geringerer Einsatz von Chemiefasern	Vorleistungen der Chemieindustrie an die Textilindustrie	2025–2030	Reduktion um 1,7 %-Punkte (Ausgangs-niveau 2023: 8,023 %)
	Geringerer Einsatz von Gummi und Kunststoff	Vorleistungen der Gummi- und Kunststoffindustrie an die Textilwirtschaft	2025–2030	Reduktion um 0,3 %-Punkte (Ausgangs-niveau 2023: 1,33 %)
	Investition in neue Software	Investitionen in geistiges Eigentum	2025–2030	Jährlich: Anstieg um 10 Mio. Euro

	Eingriff	Stellgröße	Zeitraum	Ausprägung
	Investition in neue Maschinen	Investitionen in Ausrüstung	2025–2030	Jährlich: Anstieg um 80 Mio. Euro
	Größerer Einsatz von Digitalisierung in der Produktion	Vorleistungen der IT und Informationsdienstleistungen an Textilindustrie	2025–2030	Anstieg um 1 %-Punkt (Ausgangs-niveau 2023: 0,864 %)
	Weniger Importe durch Angebot im Inland	Importe der letzten Verwendung	2025–2030	Reduzierung um 1 Mrd. Euro

B Anhang: Expert*innen-Interviews Energiespeicher

Energie aus erneuerbaren Quellen kann den Digitalisierungsprozess – wie oben erwähnt – unterstützen, indem negative Auswirkungen, wie bspw. höhere CO₂-Emissionen durch Energieverbräuche, reduziert werden. An dieser Stelle wird auch die Möglichkeit, Energie zu speichern relevant. Um dieses Thema abzubilden, wurden sechs Expert*innen zu den Themen „Markt und Bedeutung stationärer Energiespeicher“, „Beschäftigung und Fachkräftebedarf“, „Technologische Entwicklungen und Digitalisierung“ und „Wirtschaftlichkeit und Geschäftsmodelle“ befragt. Zuletzt wurde den Expert*innen die Möglichkeit gegeben, weitere Punkte einzubringen.

Markt und Bedeutung stationärer Energiespeicher

Der Anteil von Energie aus Energiespeichern ist Stromnetz aktuell noch eher gering und resultiert vornehmlich aus Pumpspeicherkraftwerken – sie gewinnen jedoch an Bedeutung. Mit Blick auf die Energiewende und den fortschreitenden Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien ändert sich dies in den kommenden Jahren jedoch deutlich. Die Notwendigkeit, elektrische Energie zwischenzuspeichern und flexibel bereitzustellen, nimmt spürbar zu – insbesondere in den Wintermonaten, in denen die Versorgungssicherheit besonders gefordert ist.

Batteriespeicher rücken dabei zunehmend in den Fokus. Aufgrund ihrer hohen Reaktionsgeschwindigkeit und Flexibilität gelten sie als Schlüsseltechnologie, um kurzfristige Versorgungsschwankungen auszugleichen – deutlich effizienter als klassische Pumpspeicherkraftwerke. In den kommenden fünf bis zehn Jahren wird ein Energiesystem ohne den großflächigen Einsatz von Batteriespeichern kaum noch vorstellbar sein. Zahlreiche Großprojekte mit Leistungen von über 100 MW sind bereits in Planung oder im Bau.

Treibende Faktoren für den erwarteten Ausbau stationärer Speicher sind neben dem schleppenden Wasserstoffhochlauf auch die Notwendigkeit, erneuerbaren Strom verstärkt für die Wärmewende nutzbar zu machen. Dabei werden Batteriespeicher nicht als Langzeitspeicher verstanden, sondern zur Überwindung aktueller Engpässe. Auch aus ökonomischer Sicht sind Großspeicherprojekte zunehmend attraktiv: Mit Amortisationszeiten von etwa fünf Jahren und Projektlaufzeiten von rund zehn Jahren lassen sich Renditen von 7 bis 12 % erzielen. Gleichzeitig stehen stationäre Speicher vor einer Reihe von Herausforderungen. Regulatorische Unsicherheiten bremsen den Ausbau, insbesondere in Bezug auf die erlaubte Nutzung unterschiedlicher Stromquellen (erneuerbare und konventionelle Energie) innerhalb eines Speichers sowie hinsichtlich der rechtlichen Einordnung von Speicheranlagen im Baurecht.

Auch sind Themen wie Netzentgeltbefreiungen oder Baukostenzuschüsse derzeit rechtlich noch nicht eindeutig geregelt.

Zudem verzögert der stockende Netzausbau die Integration von Speichern ins Stromnetz. Viele Projekte befinden sich noch in frühen Stadien und sind technisch wie regulatorisch nicht vollständig ausgereift, was zu einer insgesamt heterogenen Projektlandschaft führt.

Mit Blick auf die kommenden Jahre ist zu erwarten, dass stationäre Speicher zunehmend sowohl für netzdienliche Aufgaben als auch für den Stromhandel genutzt werden. Neue Betriebsmodelle – etwa in Zusammenarbeit mit Netzbetreibern – sollen dabei helfen, die Einsatzmöglichkeiten flexibler und effizienter zu gestalten. Auch differenzierte regionale Strompreismodelle könnten künftig an Bedeutung gewinnen und das bisherige Prinzip eines einheitlichen Strompreises ergänzen.

Beschäftigung und Fachkräftebedarf

Die Energiewende hat nicht nur tiefgreifende Auswirkungen auf Technologien, sondern verändert auch die Arbeitsmärkte und die Beschäftigungsstrukturen. Unternehmen passen ihre Geschäftsmodelle auf die neuen Umstände an, was mit einer grundlegenden Veränderung der Qualifikationsanforderungen einhergeht. Zunehmend werden Fachkräfte gesucht, die bereit sind, sich in neue Themenfelder einzuarbeiten und deren Berufsfeld sich in den kommenden Jahren stark wandelt.

Besonders gefragt sind aktuell Fachkräfte für die Planung, Dimensionierung und Umsetzung von Speicherprojekten. In diesem Bereich liegt der Fokus weniger auf handwerklich-technischen Fachkräften, sondern vielmehr auf der operativen und wirtschaftlichen Umsetzung. Mit der zunehmenden Digitalisierung gewinnen zudem Data Analysts und Data Engineers an Bedeutung, die für digitale Geschäftsmodelle und die wirtschaftliche Vermarktung von Speichern benötigt werden. Zudem sind Elektroingenieur*innen und Elektrotechniker*innen, die sich auf Speichertechnologien spezialisiert haben, gesucht. Auch Bauingenieur*innen und Architekt*innen können ihre klassischen Berufsbilder an die Anforderungen von Speicherprojekten anpassen. Expertise im Bereich Speichertechnologie ist noch immer selten und wird ebenso selten mit fundiertem Wissen über Energiesysteme und Netzinfrastrukturen kombiniert. Diese Berufsgruppen werden jedoch auch von Branchen wie Photovoltaik und Bauwesen nachgefragt. Trotz des wachsenden Marktes für stationäre Energiespeicherlösungen führt der Ausbau bislang nicht zu einer signifikanten Zunahme neuer Berufsprofile. Ein flächendeckender Fachkräftemangel im Bereich der stationären Energiespeicher konnte bislang nicht beobachtet werden, da größere Projekte meist spezialisierte Unternehmen deutschlandweit finden.

Technologische Entwicklungen und Digitalisierung

Die Digitalisierung wird zunehmend als entscheidender Faktor für die Entwicklung des Speichermarktes angesehen. Durch Technologien wie Smart Meter, datenbasierte Steuerungssysteme und digitale Plattformen wird eine effiziente Nutzung von Energiespeichern möglich, insbesondere zur Ausgleiche von Strompreisschwankungen. Ein Beispiel hierfür sind integrierte Apps, die es Kund*innen ermöglichen, Stromflüsse aus Photovoltaikanlagen (PV), E-Autos und Speichern effizient zu steuern und somit die Kosten zu reduzieren. Diese digitalen Lösungen setzen jedoch eine zuverlässige Netzinfrastruktur voraus, weshalb ein flächendeckend leistungsfähiges Stromnetz als Grundvoraussetzung gilt. Die Digitalisierung ermöglicht es auch, Speicher über Algorithmen gesteuert am Strommarkt zu handeln. Im Hinblick auf die zunehmende Vernetzung von Speichern sollten Aspekte der Cybersicherheit nicht vernachlässigt werden.

Auf Großspeicher, die sich am Strommarktpreis orientieren und kein hochgradig automatisiertes System benötigen, hat die Digitalisierung einen begrenzten Einfluss. Hingegen hat sie deutliche Auswirkungen im Bereich der Heimspeicher. Ein besonders innovativer Bereich sind hierbei die datenbasierten Geschäftsmodelle. Hersteller versuchen, ihre Produkte in cloudbasierten Aggregatoren zu bündeln, um gemeinsam am Regelenergiemarkt teilzunehmen. PV-Anlagen werden mit Speichern kombiniert, um Steuerungspotenziale zu erschließen. Darüber hinaus entwickeln Stromversorger dynamische Tarife, die in Zukunft durch „Vehicle to Grid“-Konzepte ergänzt werden könnten. Bei Heimspeichern erfolgt die Steuerung zunehmend über digitale Prognosetools wie wetterbasierte Ladelogiken. Hier wird der typische Ablauf, dass zuerst die Verbraucher*innen im Haushalt versorgt werden, dann der Speicher aufgeladen und dann ins Netz eingespeist wird, entsprechend der Wetterprognose angepasst. Anstatt zuerst den Speicher zu füllen, wird nach der Haushaltsversorgung schon am

Vormittag ins Netz eingespeist, um Leistungs- oder Einspeisebegrenzungen in der Mittagszeit zu vermeiden. Der Markt bewegt sich in Richtung intelligenterer Lösungen, die in Zukunft auch zur Netzstabilisierung beitragen könnten.

Technisch entwickelt sich der Markt dynamisch. Erfahrungen aus Großprojekten liefern wertvolle Erkenntnisse zur Skalierung, auch wenn es nach wie vor erhebliche Herausforderungen beim Netzanschluss gibt: Netzanschlusskapazitäten sind vielerorts begrenzt, Anfragen werden bspw. über das „first come, first serve“-Prinzip vergeben, bei dem der Zeitpunkt des vollständigen Antragseingangs ausschlaggebend ist und nachfolgende Antragsteller nicht nur kurzfristig verdrängt werden können.

Wirtschaftlichkeit und Geschäftsmodelle

Die ökonomische Tragfähigkeit von Speicherlösungen ist durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, doch die Unsicherheit über technologische Entwicklungen stellt ein gewisses Risiko dar. Der Druck, nicht auf „veraltete Technologien“ zu setzen, ist hoch, da gleichzeitig kontinuierliche Innovation erforderlich ist. Die Preise für Speichertechnologie sind in den letzten Jahren stark gesenkt worden und haben sich mittlerweile auf einem stabilen Niveau eingependelt – bei Schwankungen von etwa 10 %. Für die kommenden Jahre wird eine moderate Preissteigerung erwartet – allerdings nicht in einem Ausmaß, das problematisch wäre, da derzeit eine Überkapazität an Produktionskapazitäten besteht. Auch die Verfügbarkeit wichtiger Hardwarekomponenten wie Klimatisierungseinheiten oder Transformatoren stellt derzeit kein Problem dar. Finanzierungsseitig zeigt sich der Markt derzeit als liquide, da Investoren aufgrund der attraktiven Strommarktlage gerne in Speicherprojekte investieren.

Ein entscheidender Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg von Speicherprojekten ist ein verlässlicher, langfristiger regulatorischer Rahmen. Eine klare Orientierung, beispielsweise durch die EEG-Novelle sowie die Verfügbarkeit gut funktionierender Netze werden von Expert*innen als Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg angesehen. Weitere regulatorische Unsicherheiten – etwa im Hinblick auf Brandschutzanforderungen, Löschwasserrückhaltung oder die baurechtliche Einstufung von Container-Großspeichern führen z. T. zu umfangreichen Auflagen, welche die Umsetzung von Projekten erschweren. Ein weiteres Hindernis sind fehlende Langzeiterfahrungen bei Bauherr*innen, Gemeinden und Netzbetreibern, was die Planung und Umsetzung von Speicherprojekten zusätzlich erschwert. Diskutiert werden auch negative Strompreise. Wenn das Angebot an Strom die Nachfrage übersteigt, kann es dazu führen, dass Stromerzeuger Geld zahlen müssen, damit ihr Strom abgenommen wird, da die Netzstabilität erhalten bleiben muss. Nachfrager mit dynamischen Strompreisen können an dieser Stelle profitieren.

Dennoch eröffnen sich auch neue Chancen: Besonders plattformbasierte Geschäftsmodelle, in denen Aggregatoren oder digitale Direktvermarkter zentrale Rollen spielen, bieten innovative Ansätze. Zudem könnte die Kombination von Speichern mit dynamischen Stromtarifen neue wirtschaftliche Perspektiven für Projekte schaffen und sie besonders attraktiv machen.

Offene Fragen

Trotz des Fortschritts in der Speichertechnologie bleiben noch wesentliche Fragen ungelöst. Eine der zentralen Herausforderungen ist die rechtliche Klärung der Behandlung von Strommischungen in Speichern sowie die baurechtliche Einordnung von Speicheranlagen. Insbesondere die Frage, wie diese im Hinblick auf Baukostenzuschüsse behandelt werden, bleibt offen. Ein weiteres ungelöstes Problem betrifft die Amortisationszeiträume von Heimspeichern, die oft mit einer Rückzahlungsdauer von rund zehn Jahren kalkuliert werden. Ob diese in der Praxis tatsächlich erreicht werden können, bleibt abzuwarten und ist entscheidend für die

langfristige Wirtschaftlichkeit dieser Lösungen. Ein weiteres zentrales Problem betrifft die gesicherte Energieversorgung an sehr kalten Tagen, insbesondere in Metropolregionen wie Berlin, die hohe Wärmelasten aufweisen. Ohne den Einsatz von Wasserstoff erscheint eine vollständige Dekarbonisierung derzeit schwer realisierbar.

Ein weiteres zukunftsweisendes Thema ist das bidirektionale Laden von Elektrofahrzeugen – das sogenannte „Vehicle to Grid“-Konzept. Obwohl dieses Konzept derzeit noch keine praktische Rolle spielt, könnte es mittelfristig zu einem entscheidenden Faktor für die Energiewende werden – sowohl aus technischer als auch aus regulatorischer Sicht. Eine Herausforderung bleibt jedoch die Skepsis der Verbraucher*innen, die durch Anreizsysteme und eine transparente Kommunikation überwunden werden muss