

Effekte der Digitalisierung auf die Nachhaltigkeit

Studie im Auftrag des Vodafone Instituts



Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Executive Summary

Ziel der Studie

Kompakter Überblick über den Beitrag der Digitalisierung zur Nachhaltigkeit

Gesamteffekt der Digitalisierung

- Die Digitalisierung fördert die Nachhaltigkeit, wenn die indirekten Effekte die direkten Effekte übertreffen.

Direkte Effekte: Energie- und Ressourcenverbrauch

- Zunehmende Datenmengen erhöhen den Energieverbrauch von Rechenzentren und Netzen, während der Verbrauch durch die Endgeräte sinkt.
- Effizienzverbesserungen bremsen den Verbrauchsanstieg:
 - Die Datenmengen steigen schneller als der Energieverbrauch.
 - Neue Netztechnologien (Glasfaser, 5G) sind energieeffizienter im Hinblick auf den Datentransfer.

Indirekte Effekte: Effizienzgewinne durch Digitalisierung

- Digitalisierung ermöglicht die Sammlung und Analyse von Daten über den Energie- und Rohstoffeinsatz.
- Dies ist die Basis für Effizienzgewinne durch intelligente Steuerung in unterschiedlichen Nutzungsszenarien bei bestehenden und neuen Technologien.

Ausgewählte Fallbeispiele zur Illustration der Digitalisierungseffekte zur Nachhaltigkeit

Digital Farming

- Digitalisierung der Landwirtschaft führt zu Automatisierung und Effizienzerhöhung der Bewirtschaftungsprozesse.
- Nachhaltigkeitseffekte: weniger Betriebsmittel/Dünger, höhere Erträge durch flächenspezifischen Einsatz (z.B. Pestizide, Kraftstoff)

Industrie 4.0

- Verzahnung von industrieller Produktion und IKT führt zu Ressourcenoptimierung entlang gesamter Wertschöpfungskette.
- Nachhaltigkeitseffekte: höhere Ressourceneffizienz, weniger Energieverbrauch und CO₂-Emissionen

Verkehr & Logistik, Schwerpunkt Smart Parking

- Kombiniertes Einsatz von Parksensoren und IKT reduziert Suchdauern und Verkehrsaufkommen.
- Nachhaltigkeitseffekte: weniger Emissionen (CO₂, Feinstaub)

Smart Metering

- Digitale, vernetzte Verbrauchszähler erlauben Verbrauchsfeedback.
- Weniger Energieverbrauch, weniger CO₂-Emissionen, Grundlage für zukunftsfähige Smart-Grid-Infrastruktur

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Zielsetzung und Gliederung der Studie

Ziele

Die vorliegende Studie soll einen kompakten Überblick über den **Beitrag der Digitalisierung zur Nachhaltigkeit** von Wirtschaft und Gesellschaft zu bieten. Sie nimmt zwei Perspektiven ein:

- Digitalisierung geht mit **Ressourcen- und Energieverbrauch** einher. Die Produktion der nötigen **Hardware** setzt den Einsatz von Rohstoffen, Energie und Arbeit voraus. Der **Betrieb** der technischen Geräte benötigt Energie. Mit der Zunahme der Datenströme wächst dieser Ressourcenverbrauch.
- Digitalisierung ist ein **Enabler für Ressourcen- und Energieeffizienz** in vielen Anwendungen in einem breiten Spektrum von Branchen von der Landwirtschaft über die Industrie und Energieerzeugung bis hin zu den Dienstleistungen.

Gliederung

Die vorliegende Studie gliedert sich in drei Bereiche:

- Direkte Effekte der Digitalisierung auf die Nachhaltigkeit
- Indirekte Effekte: Digitalisierung als Enabler von Effizienz
- Fallbeispiele und Illustrationen, darunter
 - Digital Farming
 - Industrie 4.0
 - Verkehr & Logistik (Schwerpunkt Smart Parking)
 - Smart Metering

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Direkte Effekte | Energiebedarf: Bedeutung von Servern nimmt zu

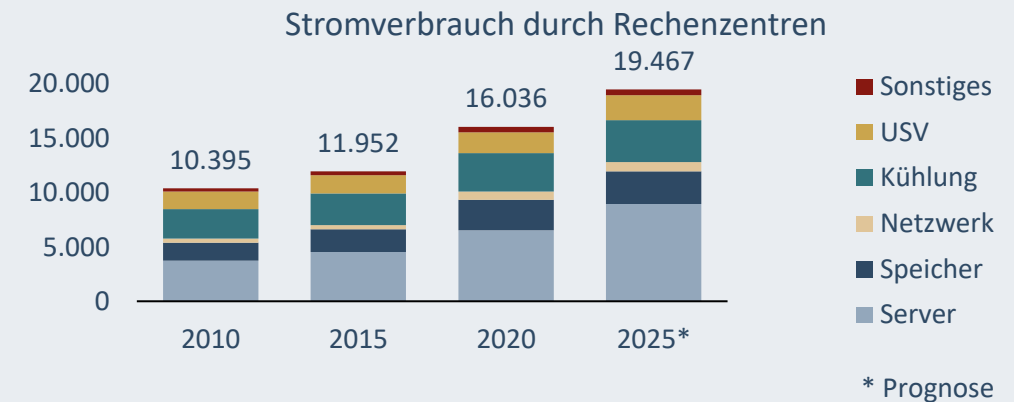
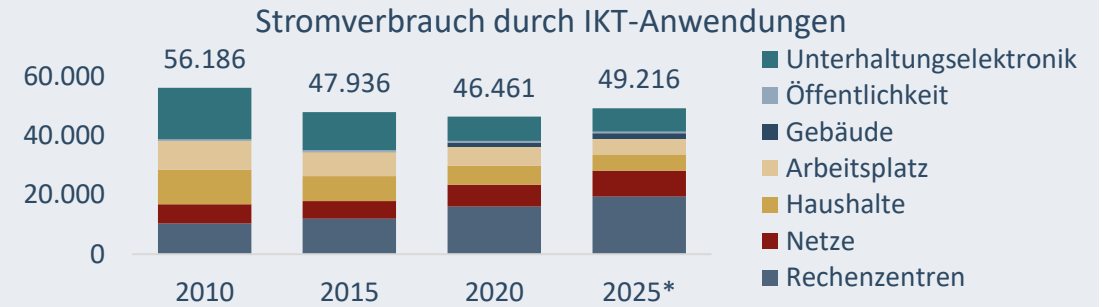
Divergierende Entwicklungen

Der Stromverbrauch durch IKT in Deutschland ist durch **gegenläufige Entwicklungen** geprägt:

- Der Verbrauch der Endgeräte sank von 38,8 Mrd. kWh/a (2010) auf 21,1 Mrd. kWh/a (2020), davon:
 - um 9,2 Mrd. kWh/a bei Unterhaltungselektronik,
 - um 8,6 Mrd. kWh/a beim Verbrauch anderer Endgeräte in Haushalten und an Arbeitsplätzen.
- Gleichzeitig stieg der Verbrauch von Rechenzentren und Netzen von 10,4 Mrd. kWh/a auf 16,0 Mrd. kWh/a auch in Folge größerer verarbeiteter Datenmengen deutlich.
- Bis 2025 wird eine Fortsetzung dieser Entwicklungen erwartet. Der Verbrauch von Rechenzentren und Netzen führt zu einem Anstieg des Gesamtverbrauchs.

Quellen: Hintemann et al. (2021)

IKT-Stromverbrauch in Deutschland



Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Direkte Effekte | THG-Emissionen sinken mit grünem Stromanteil

Stromverbrauch und THG-Emissionen

Die THG-Emissionen aus dem Betrieb von Rechenzentren hängen vom **Stromverbrauch** und **der Art der Stromerzeugung** ab.

- In Deutschland stiegen die THG-Emissionen aus dem Betriebs von Rechenzentren von 2010 bis 2016. Von **2018 bis 2020 sanken die Emissionen** trotz weiter steigenden Stromverbrauchs.
- Dies liegt am **höheren Anteil von regenerativen Energieträgern** in der Stromerzeugung in Deutschland.
- Zunehmende **Effizienz** von Rechenzentren durch IT-Hardware und IT-Management, bei der Klimatisierung und durch klimafreundliche Stromversorgung können einen Anstieg der THG-Emissionen begrenzen. Auch die Nutzung von Abwärme und die Integration ins Energiesystem sind geeignete Maßnahmen.

THG-Emissionen durch Stromverbrauch

Rechenzentren und kleinere IT-Installationen
(D, in Mio. t CO₂/a)



Quellen: Bitkom (2022), Hintemann et al., (2020); Masanet et al. (2020)

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

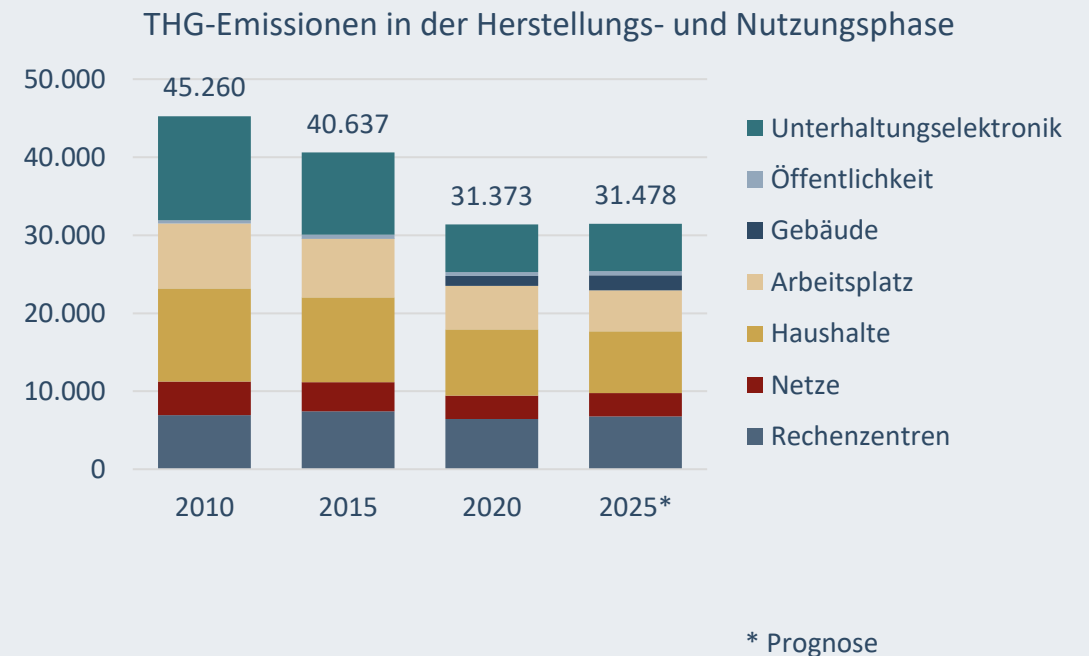
Direkte Effekte | Ressourcenverbrauch durch Geräte

Energieverbrauch und kritische Rohstoffe

IKT-Geräte benötigen nicht nur in der **Nutzungsphase** Energie. Auch in der **Herstellung** wird Energie verbraucht. Darüber hinaus verursacht die **Beschaffung der Rohstoffe** THG-Emissionen. Bei den meisten Geräten übersteigen die THG-Emissionen in der Herstellung die THG-Emissionen der Nutzungsphase. Zur Nachhaltigkeit der IKT trägt daher eine lange Nutzung existierender Geräte bei.

Für die Herstellung von IKT-Geräten werden häufig **Rohstoffe** benötigt, deren Versorgung **kritisch** zu beurteilen ist, etwa weil die Förderung in politisch und wirtschaftlich instabilen Ländern stattfindet oder die Förderung deutlich ausgeweitet werden muss, um die zukünftig zu erwartende Nachfrage zu decken. Dazu zählen z.B. Lithium, Kobalt, Kupfer, Platin, Seltene Erden, Tantal.

THG-Emissionen der IKT



Quellen: Hintemann et al. (2021), UBA (2021), vbw (2021), Marscheider-Weidemann et al. (2021), Berg et al. (2021)

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Direkte Effekte | Datenmenge wächst schneller als Energieverbrauch

Steigende Energieeffizienz der Rechenzentren

Datenmenge und Rechenleistung in Rechenzentren steigen schneller als deren Energieverbrauch. Die **Energieeffizienz** des IKT-Bereichs bezogen auf die Leistung wächst damit deutlich. In Deutschland stieg die Energieeffizienz zwischen 2010 und 2020 um den Faktor sechs.

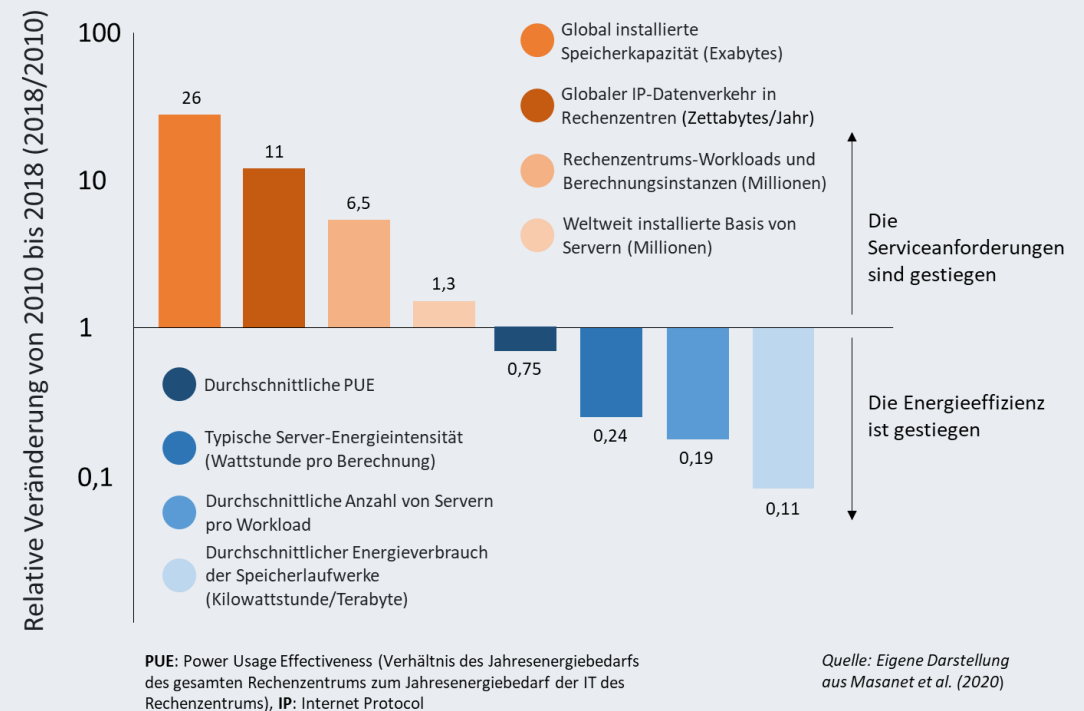
Absolute Leistungsmerkmale wie die installierte Speicherkapazität, der Datenverkehr in den Rechenzentren oder die durchgeführten Berechnungen nehmen deutlich zu und erhöhen den Energieverbrauch der Rechenzentren.

Effizienzindikatoren wie die Power Usage Effectiveness (PUE), die Energieintensität der Server oder der Energieverbrauch der Speicher je Datenvolumen zeigen in die andere Richtung. Bei gleichbleibendem Datenvolumen und konstanter Rechenkapazität sänke der absolute Energieverbrauch.

Quellen: Hintemann (2021), eigene Darstellung in Anlehnung an Masanet et al. (2020)

Treiber des Energieverbrauchs

Globale Trends bei den Treibern des Energieverbrauchs von Rechenzentren



Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Direkte Effekte | Neue Netze sind energieeffizienter

Steigende Energieeffizienz der Netze

Neue **Netztechnologien (Glasfaser, 5G) sind energieeffizienter** in Hinblick auf den Datentransfer. Die Entwicklung führt auf zwei Wegen zur Verringerung des Energieverbrauchs und THG-Emissionen (UBA, 2021):

- Die **Energieeffizienz** der jeweiligen Technikgeneration **wächst** im Zeitablauf.
- Neuere Zugangstechnologien weisen eine deutlich **geringere spezifische Leistungsaufnahme** auf.

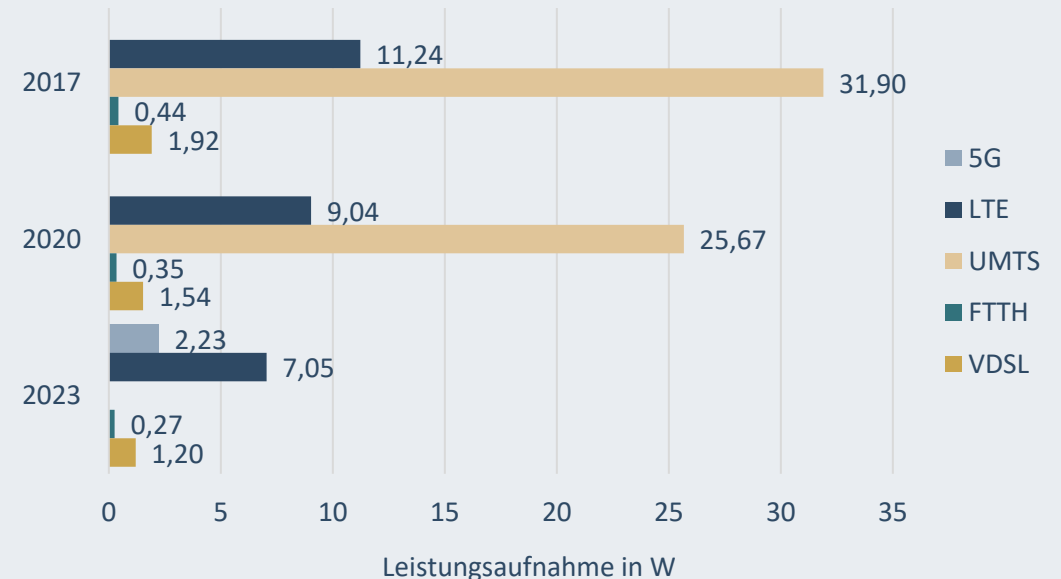
Obermann (2020) zeigt, dass die spezifische Energieaufnahme **optischer Netze (Glasfaser) geringer** ist die von kupferbasierten Netzen (z.B. DSL).

Bieser et al. (2020a) errechnen auf Basis von Schweizer Daten, dass die **THG-Emissionen pro GB in 5G-Netzen im Jahr 2030 um 85% geringer** ausfallen werden als in den 2-4G-Netzen des Jahres 2020 und um 44% geringer als in den 4G-Netzen des Jahres 2030. Dennoch gehen die Autoren von höheren THG-Emissionen durch die mobilen Datennetze im Jahr 2030 im Vergleich zum Jahr 2020 in der Schweiz aus.

Quellen: UBA (2021), Obermann (2020), Bieser et al. (2020a)

Energieverbrauch der Netze je Datenvolumen

Leistungsaufnahme des Telekommunikationsnetzwerks bei 1GB/h bis vor das Rechenzentrum in Abhängigkeit von der Technikgeneration.



Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Indirekte Effekte | Digitalisierung ermöglicht Effizienzsteigerung

Effizienzsteigerung durch Digitalisierung

Das Potenzial der Digitalisierung für die Effizienzsteigerung beim Energieverbrauch kann als dreistufiger Prozess verstanden werden (vgl. IEA, 2019). Daten werden gesammelt, analysiert und dann zur Veränderung der physikalischen Umwelt verwendet werden.

- Die **Datensammlung** erfolgt über (vernetzte) Sensoren, Messgeräte oder Schnittstellen, von denen die Informationen an Datenverarbeitungsstellen zur Analyse geliefert werden.
- Zur **Analyse** werden Algorithmen, Künstliche Intelligenz oder Digitale Simulationen eingesetzt.
- Die **Ergebnisse** werden entweder automatisch oder durch den Menschen vermittelt an die Verbrauchsgeräte weitergegeben.

Eine automatische Umsetzung erfolgt z.B. bei Produktionsrobotern oder bei Heizungs- und Kühlungssystemen in Gebäuden; Eine Umsetzung durch Menschen erfolgt beispielsweise, wenn Smartphone-Apps eine effiziente Verhaltensweise vorschlagen, z.B. in der Verkehrsführung.

Quellen: eigene Darstellung in Anlehnung an IEA (2019)

Dreistufiges Konzept

Daten sammeln



- Sensoren
- Messgeräte
- Schnittstellen

Daten analysieren

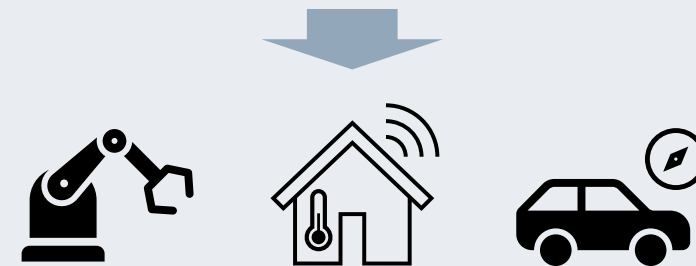


- Algorithmen
- Künstliche Intelligenz
- Digitale Simulationen

Steuern



- Automatisierung
- Kontrollen
- 3D Druck
- Schnittstellen



Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Indirekte Effekte | Energie- und THG-Einsparpotenziale

Bereiche der Digitalisierung

Bieser et al. (2020b) betrachten die Ergebnisse von acht Studien zum Beitrag einzelner Digitalisierungsmaßnahmen auf ihren Beitrag zum Klimaschutz. Dem zufolge können in den optimistischen Szenarien 8,9 bis 20 Prozent der weltweiten THG-Emissionen durch die Digitalisierung eingespart werden. Die größten Effekte sehen sie in den Bereichen Elektrizität und Wärme, Transport, Gebäude, Industrieproduktion und Landwirtschaft.

Clausen et al. (2022) heben zwei Wirkungskanäle der Digitalisierung auf Effizienz und THG-Einsparung hervor: die Steigerung der Effizienz bestimmter Anwendungen durch Digitalisierung und die Änderung des verwendeten Energiemix hin zur Elektrizität.

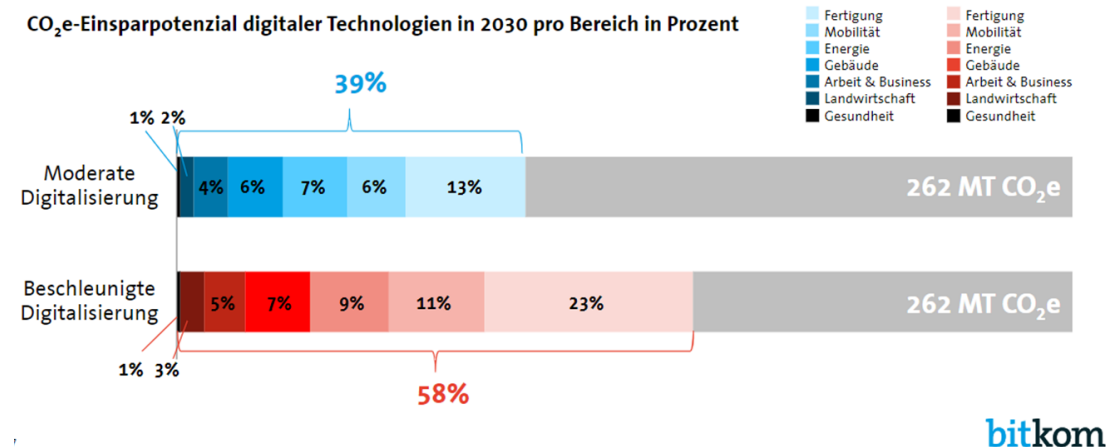
Axenbeck und Niebel (2021) finden für das Verarbeitende Gewerbe in Deutschland zwischen 2009 und 2017 allerdings nur einen kleinen Effekt der Digitalisierung auf Energieeinsparungen. Diese werden eher bei großen Verbrauchern erzielt.

Quellen: Bieser et al. (2020b), Clausen et al. (2022), Axenbeck/Niebel (2021), Bitkom (2021)

Bereiche der Digitalisierung

In einer Studie für den Bitkom (2021) untersucht Accenture für 14 Anwendungsfälle in sieben Bereichen die Klima-Effekte der Digitalisierung in Deutschland. Demnach können 39 bis 58 Prozent der bis 2030 in Deutschland notwendigen THG-Emissionseinsparungen durch den Einsatz dieser Technologien erreicht werden.

CO₂e-Einsparpotenzial digitaler Technologien in 2030 pro Bereich in Prozent



Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Gesamteffekt | Nettoeffekt aus direkten und indirekten Effekten

Bestimmungsgründe des Gesamteffekts

Zunehmende Digitalisierung erhöht über den direkten Effekt den Energie- und Ressourcenverbrauch der Wirtschaft. Die Nutzung der Digitalisierung zur Effizienzsteigerung ermöglicht über den indirekten Effekt die Einsparung von Energie, Ressourcen und Treibhausgasemissionen. Für eine **nachhaltige Nutzung der Digitalisierung müssen die indirekten Effekte größer sein als die direkten Effekte.**

Um dies zu erreichen, sollte einerseits der **direkte Effekt der Digitalisierung möglichst gering, die Marktdurchdringung nachhaltiger Digitalisierungsmaßnahmen möglichst hoch** sein.

Darüber hinaus besteht die **Gefahr von Rebound-Effekten.** Einsparungen durch die Digitalisierung können durch Mehrverbrauch in anderen Anwendungen überkompensiert werden.

Enablement-Faktor und Rebound-Effekt

Zum Vergleich der Größe von direkten und indirekten Effekten berechnen Bieser et al. (2020b) „**Enablement**“-Faktoren für die von ihnen betrachteten Studien von minimal zwischen 0,3 und 4,6 und maximal zwischen 4,7 und 16,3. Enablement-Faktoren über 1 stehen dafür, dass die indirekten Einspareffekte größer als die direkten Verbrauchseffekte sind. So ist unter pessimistischeren Annahmen nicht klar, ob die Digitalisierung zu einer Reduktion von THG-Emissionen führt. Unter optimistischen Annahmen ist dagegen nur die Größe des Beitrags fraglich.

Bitkom (2021) zitiert aus drei anderen Studien **Rebound-Effekte** in Höhe von 4 bis 37 Prozent für die Reduzierung der Effizienzpotenziale.

Quellen: Clausen et al. (2022), Bieser et. al (2020b), Bitkom (2021)

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 1 | Digital Farming



Bildquelle: Getty Images

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 1 | Digital Farming



Aktuelle Trends in der Landwirtschaft

Landwirtschaftliche Betriebe unter doppeltem Druck:

- Kostenseitig: Betriebsmittel & Ressourcen teurer
- Erlöseseitig: Wenig Spielraum für höhere Preise

Dies führt zu erhöhtem Margendruck.

Verstärkt wird der Margendruck durch zusätzliche Faktoren, z.B. unsicher werdende globale Wertschöpfungsketten (s. Ukraine-Krieg, COVID-Pandemie) oder Klimawandeleffekte.

Digitalisierung in der Landwirtschaft ist auf dem Vormarsch:

- Jeder zweite Betrieb nutzt bereits heute digitale Technologien (z.B. digitale Fütterungsautomaten).
- Für 2030 erwarten die Betriebe, dass sich fahrerlose Traktoren und autonome Feldroboter durchgesetzt haben werden.

Was ist Digital Farming?

Digital Farming

(1)
Precision
Farming

(2)
Smart
Farming

- (1) Digitale Messung und Aufbereitung von relevanten Bewirtschaftungsdaten
- (2) Vernetzung aller IT-Systeme und Automatisierung der Bewirtschaftungsprozesse

Mit Digital Farming strebt man an, die Bewirtschaftung der Flächen und Pflanzen möglichst...
... präzise und nährstoffeffizient
... ausbringungsoptimierend und umweltentlastend
... transparent und dokumentierbar zu gestalten.

Quellen: Fountas et al. (2020), Müller (2020), Rohleder/ Krüsken (2020), Seifert (2018), BMEL (2017), Bovensiepen et al. (2016), Taenzer (2016)

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 1 | Digital Farming



Praxisbeispiele für Digital Farming



Nachhaltigkeitseffekte von Digital Farming

Kraftstoffeinsparung **bis zu 10%**

Bis zum Jahr 2030 werden **9% weniger CO₂-Emissionen** bei der Nutztierhaltung prognostiziert

Weniger Betriebsmittel und Dünger notwendig, da flächenspezifischer Einsatz

Einsatz von **bis zu 61% weniger Herbiziden** und **ca. 20% weniger Pestiziden***

Höherer Ertrag je Hektar, z.B. **+20%** für Kartoffeln

Quellen: Bitkom (2021), Fountas et al. (2020), Müller (2020), Rohleder/ Krüsken (2020), Seifert (2018), BMEL (2017), van Evert et al. (2017), Bovensiepen et al. (2016), Taenzer (2016), Bongiovanni/ DeBoer (2004).

* In Abhängigkeit vom jeweiligen Anbauprodukt

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 2 | Industrie 4.0



Bildquelle: BMWK

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 2 | Industrie 4.0



Negative Klimaeffekte der Industrie

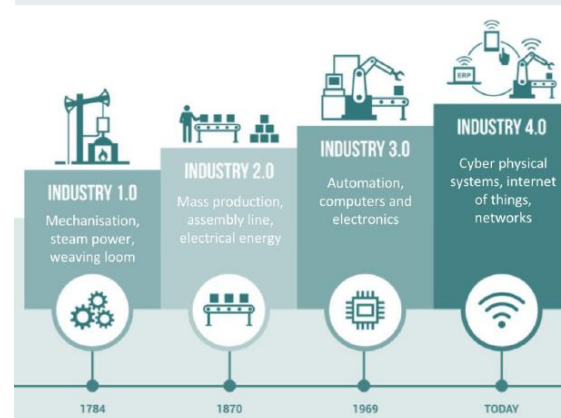
Ca. 8% der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland lassen sich auf Industrietätigkeiten zurückführen.
Weltweit gehen gut 40% des Stromverbrauches auf das Konto der Industrie.

Durch den Einsatz von Industrie 4.0-Lösungen soll eine klimaneutrale Produktion in Deutschland realisiert werden.

Gut 70% der Unternehmen sind überzeugt, dass Industrie 4.0 den CO₂-Ausstoß deutlich verringern wird.
Um bis zu 86% würden sich Industrieemissionen weltweit senken lassen, wenn Maschinenhersteller ihren Industriekunden grüne Technologien anbieten würden.

Was ist Industrie 4.0?

Industrie 4.0 Verzahnung von industrieller Produktion mit moderner IKT (auf Grundlage intelligenter, vernetzter Systeme)



Elemente:

- Automatisierung
- Standardisierung
- Einbettung
- Digitalisierung
- Vernetzung

d.h. alle Materialflüsse können gleichzeitig analysiert und aufeinander abgestimmt werden

- > Weitgehend selbstorganisierte Produktion
- > Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette

Quellen: Berg et al. (2021), BMWi (2020), Bitkom (2021), BCG (2020)

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 2 | Industrie 4.0



Industrie 4.0 & Nachhaltigkeit: Beispiele

Sustainable Twin

Digitaler Zwilling als virtuelles Ebenbild eines Produktes, erweitert um Aspekte der Nachhaltigkeit

Materialpass

Gibt Auskunft über Emissionen und Ressourcenverbrauch in Produktion und Vorprodukten

Bosch

- Seit 2019 sind deutsche Standorte klimaneutral
- Werk Homburg: Senkung der CO₂-Emissionen um 10%

Festo

- Energy Saving Service
- In Produktion: Senkung des Energieverbrauches von Pneumatiken um bis zu 60%

Nachhaltigkeitseffekte von Industrie 4.0

Industrie 4.0 führt mittelfristig zu **höherer Produktions- und Ressourceneffizienz von ca. 18%**

Bis zu **64 Megatonnen CO₂** könnten aufgrund von Digitalisierung in der industriellen Fertigung in Deutschland im Jahr 2030 eingespart werden

Durch digitalen Zwilling und Automatisierung der Produktion können insgesamt bis **16% der Primärenergie-Emissionen** im Jahr 2030 vermieden werden

Bis **8% der erwarteten Primärenergieemissionen** in der industriellen Fertigung lassen sich durch Reduzierung manueller Eingriffe verringern

Bildquellen: Wiley.com, Bosch, Festo; Quellen: Berg et al. (2021), Bitkom (2021), BMWi (2020), PwC (2014)

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

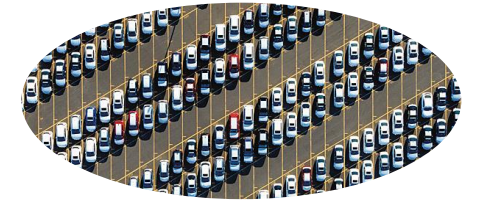
Fallstudie 3 | Verkehr & Logistik | Schwerpunkt Smart Parking



Bildquelle: Vodafone

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 3 | Verkehr & Logistik | Schwerpunkt Smart Parking



Typische Probleme beim Parken

- Parken ist ein wichtiges Element von Mobilität.
 - Öffentliche Parkplätze in Städten werden immer knapper.
 - Parkplatzsuche wird zunehmend stressiger, teurer und zeitintensiver.
 - Dies führt zu mehr Emissionen, Stau, ungerechtem Zuparken.
-
- Deutsche verbringen ca. 41 Stunden pro Jahr mit Parkplatzsuche
 - Der dafür benötigte Kraftstoff sowie die zusätzliche Abgasbelastung kostet p.a. mehr als 40 Mrd. EUR, das entspricht ca. 896 EUR je FahrerIn.
-
- Durchschnittliche Suchzeit für einen Straßenparkplatz je Fahrt: 6 Minuten
 - Überbezahlte Parkzeit pro Jahr (Deutschland): 42 Stunden, das entspricht 98 EUR je FahrerIn

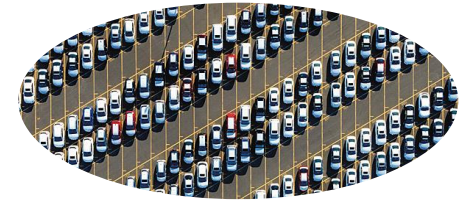
Smart Parking: Eckpunkte

<p>Effiziente Organisation des ruhenden innerstädtischen Verkehrs</p>	<p>Typische Elemente: Sensoren, Gateway, Mobilfunknetz</p>	<p>Einsatz von Sensorik (Belegmessung) und Informationssystemen</p>
<p>Abgleich Parkplatzangebot und -nachfrage</p>	<p>PKW-Fahrende werden via Smartphone/Navi zu freiem Parkplatz geleitet</p>	<p>Amsterdam, Barcelona, Riga, Pisa, San Francisco</p>
<p>Intelligentes Parken als Element von Smart City („Stadt von morgen“)</p>	<p>Verknüpfen mit Ladeinfrastruktur für E-Mobilität</p>	<p>Aufsatzpunkt für zeitabhängige Preise</p>
<p>Bewirtschaftung nach Nutzergruppen (Busse, Lieferverkehr, Anwohner)</p>	<p>Narrowband-IoT: geringer Energieverbrauch, hohe Gebäudedurchdringung</p>	<p>Diverse Sensorarten einsetzbar (RFID, Radar, Kontakt, optisch etc.)</p>

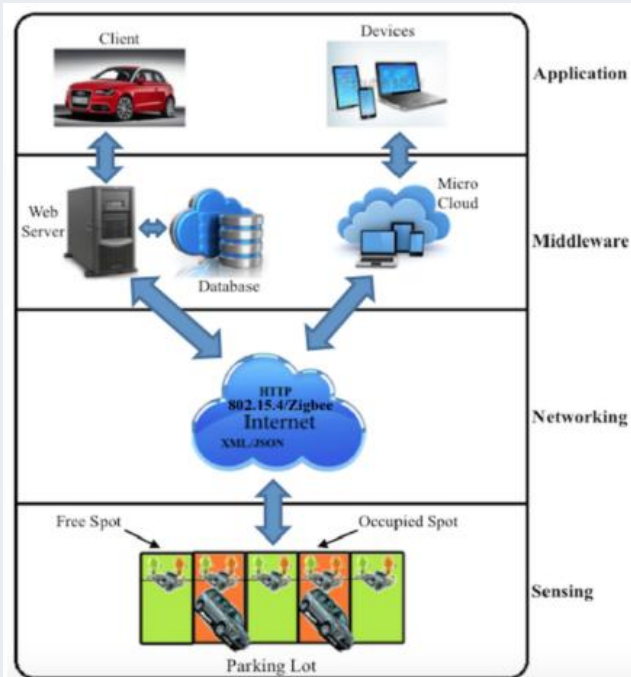
Quellen: Winter/Goel (2021), Fahim et al. (2021), Biyik et al. (2021), Umweltbundesamt (2021b), Luo (2020), INRIX (2017)

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 3 | Verkehr & Logistik | Schwerpunkt Smart Parking



Smart Parking: Layout



- Vernetzte Sensoren melden Signale an ein verkabeltes oder mit Solarstrom betriebenes Gateway.
- Gateway sendet Informationen via Narrowband-IoT an die Cloud.
- Benachrichtigungen oder Kennzahlen lassen sich per Portal, Smartphone-App oder weitere Tools auswerten oder nutzen.

Nachhaltigkeitseffekte von Smart Parking

Potentielle Einsparung durch Smart Parking bis zu **0,9 Millionen Tonnen CO₂** jährlich*

Entspricht der CO₂-Belastung, die durch knapp **50% aller innerdeutschen Flüge** jährlich verursacht wird

Deutliche Reduzierung von Suchdauern nach Parkplätzen sowie Verkehrsaufkommen

Ohne Smart Parking keine intelligente Mobilität – und diese kann im Jahr 2030 zur Einsparung von bis zu **25 Millionen Tonnen CO₂** beitragen

Quellen: Bitkom (2021), Winter/ Goel (2021), Fahim et al. (2021), Biyik et al. (2021), Umweltbundesamt (2021b), Luo (2020), INRIX (2017)

*in Deutschland, im Vergleich zum Jahr 2015, wenn alle kommunalen öffentlichen Parkplätze mit entsprechender Sensorik ausgestattet wären

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 4 | Smart Metering



Bildquelle: Techem

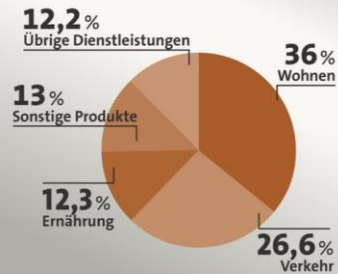
Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 4 | Smart Metering



Wohnen als Verursacher von CO₂-Emissionen

CO₂-Emissionen privater Haushalte



Jeder Deutsche verursacht durchschnittlich 11,3t CO₂-Äquivalente.

Der CO₂-Ausstoß privater Haushalte ist wesentlich auf das Wohnen zurückzuführen.

Direkte CO₂-Emissionen

Verbrennung von Energieträgern für Anwendungsbereiche wie Raumwärme & Warmwasser

Indirekte CO₂-Emissionen

Energiebereitstellung für die privaten Haushalte

Was ist Smart Metering?

Smart Meter



- Smart Meter sind intelligente und vernetzte Zähler
- Ermöglichen computergestütztes Messen, Ermitteln und Steuern von Energien und Ressourcen (v.a. Wasser, Gas, Strom)
- Einbindung via Gateway in ein Mobilfunk-/Kommunikationsnetz, um Daten zu senden/empfangen
- Beispiele: Tarifänderungen, durchgeleitete Strommengen

Quellen: Statistisches Bundesamt (2019), Umweltbundesamt (2021a) Jacyn/ Böhing (2022)

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Fallstudie 4 | Smart Metering



Bedeutung von Smart Metering

Smart Metering erlaubt ein transparentes Bild vom Energieverbrauch



Energieoptimierende Steuerung angeschlossener Verbraucher (Kühlschrank, Wärmepumpe, Ladesäule)



Bessere Organisation der Energieverwaltung (z.B. Spitzenlastverschiebung) und Abstimmung von Angebot/Nachfrage



Smart Metering als Grundlage für die Digitalisierung des Energiesektors und Aufsatzpunkt für zukunftsfähige Smart Grid-Infrastruktur



Nachhaltigkeitseffekte von Smart Metering

Verbrauchs- und Preisfeedback kann zu **moderaten Einspareffekten** und damit auch zur **CO₂-Reduktion** führen

Durchschnittlicher Verbrauchsrückgang **bis zu 5%**

Aber deutlich höheres Einsparpotenzial **bis zu 10%**, wenn sich technische Lösungen zur Analyse des Einzelgeräteverbrauches am Markt durchsetzen

Bis zu 20% weniger Wasserverbrauch beim Duschen

Über Spitzenlastverschiebung kann eine effizientere Einbindung ins Stromnetz erfolgen -> Grundlage für Smart Grid

Quellen: Umweltbundesamt (2021a), Frondel (2021), Weigel (2018), Tiefenbeck et al. (2019), Degen et al. (2013)

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Verwendete Literatur

Axenbeck, J./ Niebel, T. (2021): Climate Protection Potentials of Digitalized Production Processes: Microeconomic Evidence? ZEW Discussion Paper No. 21 – 105, 12/2021.

BCG (2020): Grüne Technologien für grünes Geschäft. Studie.

Biyik, C. et al. (2021): Smart Parking Systems: Reviewing the Literature, Architecture and Ways Forward. In: Smart Cities, H.4.

Bieser, J. et al. (2020a). Next Generation Mobile Networks. Problem or Opportunity for Climate Protection. Studie für Swisscom AG und swisscleantech. Oktober 2020.

Bieser, J. et al. (2020b). Klimaschutz durch digitale Technologien – Chancen und Risiken. Kurzstudie im Auftrag von Bitkom.

Bitkom (2021): Klimaeffekte der Digitalisierung. Präsentation.

Bitkom (2022): Rechenzentren in Deutschland, Aktuelle Marktentwicklungen, Stand 2022.

Berg, H. et al. (2021): Unlocking the Potential of Industry 4.0 to Reduce the Environmental Impact of Production. Eionnet Report ETC/WMGE 2021/5.

BMEL (2017): Digitalisierung in der Landwirtschaft: Chancen und Risiken.

BMW (2020): Nachhaltige Produktion: Mit Industrie 4.0 die ökologische Transformation aktiv gestalten.

Bongiovanni, R./ DeBoer, J. (2004): Precision Agriculture and Sustainability. In: Precision Agriculture, August 2004.

Bovensiepen, G. et al. (2016): Smart Farming: Nachhaltigkeit und Effizienz durch den Einsatz digitaler Technologien.

Clausen, J. et al. (2022). Klimaschutz durch digitale Transformation: Realistische Perspektive oder Mythos? CliDiTrans Endbericht. Berlin: Borderstep Institut.

Degen, K. et al. (2013): Smart Metering, Beratung oder sozialer Vergleich: Was beeinflusst den Elektrizitätsverbrauch? Schlussbericht für das BFE.

Fahim, A. et al. (2021): Smart Parking Systems. In: Heliyon, H.7.

Fountas, S. et al. (2020): The Future of Digital Agriculture: Technologies and Opportunities. In: IT Professional.

Frondel, M. (2021): Digitalisierung und Nachhaltigkeit im Haushalts-, Gebäude- und Verkehrssektor: Ein kurzer Überblick. In: RWI Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, H. 143.

Hintemann, R. et al. (2020): Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market. Berlin, Vienna: Borderstep Institute & Environment Agency Austria.

Hintemann, R. et al. (2021): Studie zu Nachhaltigkeitspotenzialen in und durch Digitalisierung in Hessen, Herausgeber: Hessische Staatskanzlei, Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung.

Hintemann, R. (2021): Rechenzentren 2020. Cloud Computing profitiert von der Krise. Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an. Berlin: Borderstep Institut.

IEA - International Energy Agency (2019): Energy Efficiency and Digitalisation. Energy Efficiency is Changing, with New Digital Technologies enabling Greater Control, Optimisation and Analytics. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/articles/energy-efficiency-and-digitalization>.

Digitalisierung & Nachhaltigkeit

Verwendete Literatur

INRIX (2017): Die Folgen der Parkplatzproblematik in den Vereinigten Staaten, Großbritannien und Deutschland. INRIX Research Paper.

Jacyn, N./ Böhing, S. (2022): Smart Meter als IT-basierte Unterstützung für Nachhaltigkeit und Klimaschutz. Seminararbeit Universität Hamburg.

Luo, W. (2020): Research and Design of Intelligent Parking Systems Based on 5 G Technology. In: Journal of Physics, Conf. Ser. 1486.

Marscheider-Weidemann, F. et al. (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. DERA Rohstoffinformationen 50: 366 S., Berlin.

Masanet, E. et al. (2020): Recalibrating Global Data Center Energy-use Estimates, Science.

Müller, H. (2020): Digitalisierung und Vernetzung: das Agri-Food System im digitalen Wandel. In: Jahrbuch Agrartechnik 2020.

Obermann, K. (2020): Nachhaltigkeitsvergleich der Zugangsnetz-Technologien FTTC und FTTH, Technische Hochschule Mittelhessen.

PwC (2014): Industrie 4.0: Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Studienbericht.

Rohleder, B. / Krüskens, B. (2020): Digitalisierung in der Landwirtschaft 2020. Vortragsunterlagen.

Seifert, R. (2018): Hightech auf dem Feld: Digitale Transformation in der Landwirtschaft. atene KOM Fachartikel.

Taenzer, M. (2016): Rasante Digitalisierung im Stall und auf dem Acker.

Tiefenbeck, et al. (2019): Real-time Feedback Reduces Energy Consumption Among the Broader Public Without Financial Incentives. In: Nat Energy, 4.

Umweltbundesamt (2021): Abschlussbericht Green Cloud Computing, Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing.

Umweltbundesamt (2021a): Erkenntnisse zu Umweltwirkungen von Smart Metern. Ergebnisbericht.

Umweltbundesamt (2021b): Parkraummanagement für eine nachhaltige urbane Mobilität in der Stadt von Morgen. Broschüre.

Van Evert, F. et al. (2017): Can Precision Agriculture Increase the Profitability and Sustainability of the Production of Potatoes and Olives? In: Sustainability, H. 9.

vbw – Vereinigung der bayerischen Wirtschaft e.V. (2021): Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft, vbw Studie, erstellt von IW Consult GmbH, München / Köln.

Winter, S./ Goel, S. (2021): Smart Parking in Fast-Growing Cities: Challenges and Solutions. TU Wien Academic Press.

Weigel, P. (2018): Digitalisierung aus Nachhaltigkeitssicht: Beispiel Energiesektor. In: FVVE Themen.

Kontakt:

Cornelius Bähr, IW Consult

baehr@iwkoeln.de
iwconsult.de

Dr. Hilmar Klink, IW Consult

klink@iwkoeln.de

Dr. Thilo Schaefer, Institut der deutschen Wirtschaft

schaefer@iwkoeln.de

