

Umweltauswirkungen der ICT- Branche in der Schweiz



Umweltauswirkungen der ICT-Branche in der Schweiz

E4S & Resilio Whitepaper

Louis Guégan, Louise Aubet, Léa Bitard (Resilio Ltd)

September 2025

© Enterprise for Society (E4S) Center, 2024 Enterprise for Society (E4S) ist ein Joint Venture der Universität Lausanne über ihre Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät (UNIL-HEC), des Institute for Management Development (IMD) und der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) unter der Leitung ihres College of Management of Technology, mit dem Ziel, den Übergang zu einer widerstandsfähigeren, nachhaltigen und integrativen Wirtschaft. E4S setzt sich dafür ein, die nächste Generation von Führungskräften auszubilden, den wirtschaftlichen und sozialen Wandel anzuregen und den Wandel zu fördern, indem Start-ups gestärkt und Innovationen gefördert werden.

Resilio unterstützt Unternehmen dabei, den ökologischen Fußabdruck ihrer digitalen Infrastrukturen oder Dienste zu reduzieren. Es handelt sich um ein privates Unternehmen, das nicht nach Gewinnmaximierung strebt, sondern von dem Wunsch getrieben ist, durch die Schaffung bedeutender positiver Auswirkungen etwas zu bewegen. Resilio hat ein einzigartiges Set von Werkzeugen und Methoden entwickelt, die eine einfachere, schnellere und genauere Ökobilanzierung (LCA) im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) mit aktuellen Daten ermöglichen. Das Lab-Team hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Grenzen des Wissens in diesem Bereich zu erweitern. Es führt Forschungen durch, einschließlich dieser Studie.

Den vollständigen Studienbericht und weitere Informationen finden Sie unter sustainableit.ch

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Zusammenfassung.....	4
1. Einleitung.....	5
2. Methodologie.....	6
2.1 Methode und Rahmenbedingungen.....	6
2.2 Funktionseinheit.....	6
2.3 Geltungsbereich	7
2.4 Vorgehensweise	7
2.5 Kategorien, Daten und Instrumente der Umweltauswirkungen	8
3. Ergebnisse	10
3.1 Globale Evaluierung	10
3.2 Aufteilung der Umweltauswirkungen	13
3.3 Prognosen im Jahr 2035	19
4. Empfehlungen	21
4.1 Globale Ziele.....	21
4.2 Empfehlungen pro Ziel, Ebene und Interessenträger	22
5. Schlussfolgerung.....	25
5.1 Wichtigste Ergebnisse	25
5.2 Grenzen der Studie.....	26
5.3 Danksagung	27

Zusammenfassung

Die Rolle menschlicher Aktivitäten bei Umweltkrisen ist heute unbestreitbar. 2016 hat die Schweiz zusammen mit 196 Staaten das Pariser Klimaabkommen unterzeichnet¹ und sich weitere **ambitionierte Ziele** gesetzt.

Die digitale Technologie spielt in Umweltfragen eine komplexe Rolle. Obwohl sie auf den ersten Blick unbedeutend erscheint, trägt sie doch erheblich zur **Umweltverschmutzung und Ressourcenerschöpfung bei**. Daher ist es entscheidend, die Umweltauswirkungen zu bewerten und zu verringern, um eine nachhaltigere Zukunft zu ermöglichen.

Um diesem Bedürfnis gerecht zu werden, haben viele Schweizer Organisationen und Institutionen eine Studie über **Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in der Schweiz durchgeführt**. Ziel dieser Studie ist es:

- Die **Hauptursachen** der Umweltauswirkungen zu **identifizieren**;
- **Politische** Entscheidungsträger zu informieren und zum Handeln zu **motivieren**;
- Sowie das **Bewusstsein** von Bürgerinnen, Bürgern und Unternehmen in der Schweiz zu **schärfen**.

Die Methodik der Studie basiert auf der **Ökobilanz** (LCA), die zur Bewertung der Umweltauswirkungen eines Systems über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg und unter Einbeziehung verschiedener Umweltaspekte dient. Der untersuchte Perimeter umfasst die Gesamtheit der **digitalen Geräte und Infrastrukturen**, die in der Schweiz für **den persönlichen und beruflichen Gebrauch im Jahr 2024 in Betrieb sind, sowie die Prognosen im Jahr 2035**.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass ICT-Infrastrukturen im Jahr 2024 einen Beitrag von **2% zu den gesamten verbrauchsabhängigen CO2-Emissionen der Schweiz** und **zu 12% des gesamten Stromverbrauchs** leisten. Darüber hinaus wird der **Fußabdruck bis 2035 rasant zunehmen**. Diese Trends sind auf das Bevölkerungswachstum und das Wachstum neuer Anwendungen (generative KI, virtuelle Realität usw.) zurückzuführen. **Die Nutzung von Metallen und Mineralien** spielt eine entscheidende Rolle. Besonders besorgniserregend ist die **steigende Nachfrage nach Elektronik**.

Die **Endnutzengeräte** stellen im Jahr **2024** die **Hauptquelle** der Umweltauswirkungen dar. Der Anteil der **Rechenzentren und Netzwerke** wird jedoch **stark zunehmen** und bis **2035** den größten Teil der Auswirkungen ausmachen.

Es ist wichtig, auf diese Schlussfolgerungen zu reagieren, um **die Nachhaltigkeit der digitalen Transformation zu gewährleisten**. Die in dieser Studie vorgestellten Empfehlungen sind um drei Ziele herum strukturiert:

1. **Verringerung des Bedarfs an der Herstellung neuer Geräte**: Vermeidung der Herstellung neuer Geräte, wann immer dies möglich ist, durch Verlängerung der Lebensdauer von Geräten;
2. **Entwicklung und Herstellung effizienterer Geräte und Infrastrukturen**: Herstellung weniger ressourcenintensiver Geräte durch Nüchternheit und Zirkularität;
3. **Vermittlung der digitalen Nutzung**: Bewertung und Steuerung des Einsatzes digitaler Technologien, um sicherzustellen, dass sie den tatsächlichen Bedürfnissen entsprechen und nicht übermäßig eingesetzt werden.

¹ <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

1. Einleitung

Die Rolle menschlicher Aktivitäten bei Umweltkrisen ist heute unbestreitbar, wie im sechsten Sachstandsbericht des Weltklimarats festgestellt wird². Die Expansion der Industrie, die Urbanisierung und die Abholzung von Wäldern verändern die Ökosysteme, bedrohen unzählige Arten und stören das empfindliche Gleichgewicht der Natur. Umweltverschmutzung, übermäßiger Ressourcenverbrauch und Klimawandel beschleunigen diesen Niedergang weiter und **verringern die Fähigkeit des Planeten, sich selbst zu regenerieren**.

Das 2016 unterzeichnete Pariser Abkommen, das von 196 Nationen, darunter die Schweiz, unterstützt wurde, zielt darauf ab, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen und den Anstieg auf 1,5 °C zu begrenzen³. Trotz eines Rekordwachstums bei den Installationen erneuerbarer Energien in der Schweiz⁴ deuten aktuelle Prognosen darauf hin, **dass dieses Ziel deutlich verfehlt werden kann. Es sind erhebliche Anstrengungen erforderlich, um diese Lücke zu schließen** und die Ziele des Übereinkommens von Paris zu erreichen.

In diesem Zusammenhang **spielt die digitale Technologie eine komplexe Rolle**. Was auf den ersten Blick unbedeutend erscheinen mag, ist tief in der Realität verwurzelt. Die Gewinnung von Rohstoffen, energieintensive Rechenzentren und das wachsende Volumen

an Elektroschrott tragen zu vielen Umweltverschmutzungen und Ressourcenerschöpfung bei. Im Jahr 2015 wurde in der Schweiz geschätzt, dass digitale Technologien für etwa 3% der gesamten Treibhausgasemissionen des Landes verantwortlich sind⁶.

Diese Technologien können zwar Lösungen für die Umweltüberwachung und die Energieeffizienz bieten, haben aber auch einen **erheblichen ökologischen Fußabdruck**, der nicht zu übersehen ist. Da der Einsatz digitaler Technologien weiter zunimmt, ist es unerlässlich, **ihre Umweltauswirkungen zu bewerten und zu mindern**, um eine nachhaltigere Zukunft zu gewährleisten.

Um diesem Bedarf gerecht zu werden, hat Resilio in Zusammenarbeit mit vielen Institutionen wie der Internationalen Fernmeldeunion (ITU), der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) und vielen anderen beschlossen, **eine Studie durchzuführen, die darauf abzielt, die Umweltauswirkungen digitaler Technologien in der Schweiz in den Jahren 2024 und 2035 zu bewerten**.

Die Zielgruppe dieser Studie ist die folgende:

- Schweizerinnen und Schweizer;
- Schweizer Politiker;
- Führende Unternehmen der digitalen Branche.

² AR6, IPCC, 2021,

<https://www.ipcc.ch/assessmentreport/ar6/>

³ Pariser Abkommen, Vereinte Nationen, 2015, https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

⁴ Die Schweiz installiert im Jahr 2024 1,78 GW PV, PV Magazin, <https://www.pv-magazine.com/2025/01/27/switzerland-installs-1-78-gw-of-pv-in-2024/>

⁵ "Les mesures adoptées par la Suisse sont insuffisantes pour limiter le réchauffement

climatique", actu-environnement.com,

<https://www.actu-environnement.com/ae/news/comite-ministres-decision-mesures-suisse-insuffisantes-limiter-rechauffement-climatique-45744.php4>

⁶ Hilty, Bieser, 2017, Chancen und Risiken der Digitalisierung für den Klimaschutz in der Schweiz. Universität Zürich, Swisscom, WWF

2. Methodologie

Ziel der Studie ist es, die neuesten Erkenntnisse über die **Umweltauswirkungen des Digitalsektors in der Schweiz zu liefern**. Zu diesem Zweck konzentriert sich diese Studie auf die **Geräte und Infrastrukturen im Zusammenhang mit digitalen Technologien, die** im Jahr 2024 in und von der Schweiz aus eingesetzt werden und wie sie sich voraussichtlich bis 2035 weiterentwickeln werden.

2.1 Methode und Rahmenbedingungen

Diese Studie basiert auf der Methodik der Ökobilanz (LCA), die darin besteht, die potenziellen Umweltauswirkungen eines Produkts oder einer Dienstleistung zu bewerten. Die wichtigsten Merkmale von LCA sind die folgenden:

- Ein **multikriterieller Ansatz**: In die Analyse fließen mehrere Umweltindikatoren ein: das Potenzial der globalen Erwärmung, die Erschöpfung der abiotischen Ressourcen, die Wasser-, Luft- und Bodenverschmutzung usw.



Abbildung 1 - Diagramm der Lebenszyklusphasen, die normalerweise in der Ökobilanz

- Eine **Lebenszyklusperspektive**: Berücksichtigung der Umweltauswirkungen aller Lebenszyklusphasen eines Systems, von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung. Dies ist in Abbildung 1 dargestellt.

Es gibt zwei Arten von Ökobilanzen:

- **Attributional**: Beschreibt die direkten Umweltauswirkungen, die mit einem Produkt oder einer Dienstleistung in seinem aktuellen Zustand verbunden sind
- **Konsequent**: Bewertet die Umweltfolgen einer Systemänderung (z. B. politische Änderung, Nachfrageschwankung, Innovation).

In dieser Studie wurde eine **vereinfachte attributionale Ökobilanz** (auf Geräteebene) durchgeführt, die **sich nur auf direkte Auswirkungen** konzentrierte. Die vereinfachte Methode wird unter Berücksichtigung des Umfangs und der Qualitätsanforderungen des Projekts bevorzugt.

2.2 Funktionseinheit

Die **Funktionseinheit** eines Produkts oder eines Systems ist eine quantifizierte Beschreibung seiner Leistungen, die als Bezugspunkt für alle Umweltverträglichkeitsberechnungen dient. Es ist recht schwierig, den Einsatz digitaler Technologien aufgrund der Vielzahl und Vielfalt der Anwendungen in verschiedene Funktionseinheiten einzuordnen. Daher wird die funktionale Einheit durch zwei deklarierte Einheiten ersetzt, eine auf globaler Ebene:

«Geräte und Infrastrukturen im Zusammenhang mit digitalen Technologien, die in der Schweiz über ein Jahr hinweg genutzt werden».

Und zwar auf individueller Ebene:

«Geräte und Infrastrukturen im Zusammenhang mit digitalen Technologien, die in der Schweiz über ein Jahr hinweg genutzt werden, **pro Einwohner**».

2.3 Geltungsbereich

Der Umfang dieser Studie umfasst drei verschiedene Kategorien von Geräten, die als "Tiers" bezeichnet werden und in folgende Kategorien eingeteilt werden können:

1. **Tier I - Endgeräte:** Alle Geräte, die direkt von den Endnutzern verwendet werden. Dazu gehören Geräte wie Smartphones, Laptops, Monitore oder vernetzte Gegenstände. Tier I ist in zwei Kategorien unterteilt:
 - **Tier I für den persönlichen Gebrauch:** Geräte, die direkt vom Benutzer für seinen persönlichen Gebrauch gekauft und verwendet werden;
 - **Tier I für den beruflichen Gebrauch:** Geräte, die von einem Unternehmen gekauft oder verliehen werden und von den Mitarbeitern in einem beruflichen Kontext verwendet werden.
2. **Tier II - Telekommunikationsnetze:** Diese Kategorie umfasst die Infrastrukturen, die für die Datenübertragung zwischen den Endnutzern und den Rechenzentren verantwortlich sind. Es besteht aus einem

Festnetz, einem Mobilfunknetz und einem Backbone-Netz.

3. **Tier III - Rechenzentren:** Diese Kategorie umfasst alle Geräte, die für das Hosting und die Verarbeitung von Daten bestimmt sind (Server, Router, Kühlgeräte usw.).

Unter Berücksichtigung des **geografischen** Geltungsbereichs werden alle in der Schweiz geografisch installierten und genutzten Geräte evaluiert und abgerechnet. Besonderes Augenmerk wird auf Tier-III-Rechenzentren gelegt. Einerseits bieten einige Einrichtungen mit Sitz in der Schweiz Cloud-Dienste für Nutzer im Ausland an und sind damit vom Anwendungsbereich ausgenommen. Auf der anderen Seite wird der Anteil der Cloud-Dienste, die von den Nutzern in der Schweiz konsumiert werden und in Rechenzentren außerhalb des Landes gehostet werden, in die Bewertung einbezogen. Dieser Ansatz zielt darauf ab, die Umweltauswirkungen der Schweizer Bevölkerung möglichst genau abzuschätzen.

Für diese Studie werden **zwei** zeitliche Perimeter ausgewählt:

- 2024: Bewertung des aktuellen ökologischen Fussabdrucks von ICT in der Schweiz,
- 2035: Abschätzung der zukünftigen Auswirkungen durch ein prospektives Szenario.

Da jeder zeitliche Geltungsbereich einen Zeitraum von einem Jahr abdeckt, werden die Umweltauswirkungen von Produkten mit einer Lebensdauer von mehr als einem Jahr **jährlich abgeschrieben** (d. h. ihre gesamten Auswirkungen auf den Lebenszyklus werden durch ihre jeweilige Lebensdauer dividiert).

Nähere Einzelheiten zur Methodik finden Sie im Studienbericht.

2.4 Vorgehensweise

Der nächste Schritt einer Ökobilanz ist nach der Definition des Umfangs und der Funktionseinheit die Erstellung des Lebenszyklusinventars. In dieser Studie bestand diese darin, Daten über ICT-Geräte in der Schweiz zu sammeln. Die gesammelten Daten sind wie folgt:

- **Anzahl der Geräte** jeder Kategorie (Smartphones, Server, 4G-Antennen usw.);
- Einheitlicher **Stromverbrauch**;
- **Lebensdauer**.

Die Daten zu den **Auswirkungen von IKT-Geräten** oder -flüssen, die in das untersuchte System gelangen, stammen hauptsächlich aus zwei Datenbanken: Resilio Database⁷ und NegaOctet⁸.

In Bezug auf das prospektive Szenario werden im Wesentlichen folgende Hypothesen aufgestellt:

- **Tier I:** Die Anzahl der Endgeräte wird unter Berücksichtigung des prognostizierten Bevölkerungswachstums geschätzt.
- **Tier II:** Das Modell der Mengen und des Stromverbrauchs von Netzen basiert auf der erwarteten Zunahme der Teilnehmer und der übertragenen Daten.
- **Tier III:** Der Anstieg des Stromverbrauchs basiert auf prospektiven Szenarien, und die Anzahl der Geräte von Rechenzentren wird entsprechend geändert.

2.5 Kategorien, Daten und Instrumente der Umweltauswirkungen

Diese Analyse basiert auf den 16 Umweltindikatoren, die von der Europäischen Kommission im Rahmen des Projekts Product Environmental Footprint (PEF) unter Verwendung der Version **PEF 3.0** vorgeschlagen wurden.

Um die Ergebnisse so verständlich wie möglich zu machen und sich auf die Schlüsselfragen zu konzentrieren, wird der gesamte Satz der Indikatoren auf die wichtigsten Wirkungskategorien reduziert, die in Tabelle 1 dargestellt sind.

Die Berechnung erfolgt mit **ResilioTech**⁹, einer von Resilio entwickelten Software zur Durchführung von Ökobilanzen digitaler Dienstleistungen.

Die kritische Überprüfung entspricht nicht der ISO oder einer anderen Norm; Sie wird von externen Prüfern durchgeführt, wie am Anfang des Dokuments erwähnt.

⁷ <https://db.resilio.tech/>

⁸ <https://codde.fr/nos-marques/negaocet/base-de-donnees>

⁹ <https://resilio-solutions.com/fr/services/tech>

Kategorie "Auswirkungen"	Akronym (Einheit)	Definition
Ressourcenverbrauch, Mineralien und Metalle	ADPe (kg Sb- Äq.)	Potenzielle Umweltauswirkungen im Zusammenhang mit der Gewinnung und Nutzung nicht erneuerbarer Mineral- und Metallressourcen, die aus der Erdkruste gewonnen werden, unter Berücksichtigung ihrer Knappheit und wirtschaftlichen Bedeutung
Ökotoxizität, Süßwasser	CTUe (CTUe)	Mögliche toxische Auswirkungen chemischer Emissionen auf Süßwasserökosysteme (Flüsse, Seen usw.), insbesondere ihre Toxizität für Wasserorganismen im Laufe der Zeit
Klimaveränderung	GWP (kg CO ₂ - Äq.)	Beitrag der Treibhausgasemissionen (THG) zur globalen Erwärmung über 100 Jahre.
Ressourcenverbrauch, Fossilien	ADPf (MJ)	Spiegelt die langfristige Verringerung der Verfügbarkeit nicht erneuerbarer fossiler Energieressourcen aufgrund ihrer Gewinnung und Nutzung wider
Feinstaub	PM (Krankheitsinzidenz)	Mögliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die durch die Emission von Feinstaub (PM) und seinen Vorläuferstoffen verursacht werden.
Eutrophierung, Süßwasser	Epf (kg P Äq.)	Beitrag zur Eutrophierung von Süßwassersystemen durch die übermäßige Belastung mit Nährstoffen, hauptsächlich Stickstoff (N) und Phosphor (P).

**Tabelle 1 - Liste der ausgewählten
Wirkungskategorien**

3. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des ökologischen Fußabdrucks für das Jahr 2024 vorgestellt, beginnend mit einem globalen Überblick und hin zu detaillierteren Analysen und den Ergebnissen der Umweltfußabdruck-Projektion für 2035.

3.1 Globale Evaluierung

3.1.1 Digitale Technologien in der Schweiz im Jahr 2024

Internetnutzer

Im 2. Trimester 2024 wird die Bevölkerung der Schweiz auf 9'002'763 Personen geschätzt¹⁰. In dieser Bevölkerung sind 99 % aktive Internetnutzer, die durchschnittlich 5 Stunden und 32 Minuten pro Tag im Internet verbringen¹¹, was die umfangreiche digitale Konnektivität des Landes widerspiegelt.

Im Dezember 2024 beläuft sich die Zahl der Erwerbstätigen in der Schweiz auf rund 5'521'429 Personen, wie aus Daten von CEIC Data hervorgeht¹².

Geräte und Infrastrukturen

Unter Berücksichtigung aller drei Ebenen des digitalen Ökosystems (Endgeräte, Rechenzentren und Netzwerke, ohne Industrial IoT) wird die Gesamtzahl der in der Schweiz im Jahr 2024 im Einsatz befindlichen ICT-Geräte auf **73'473'459 Einheiten** geschätzt. Das entspricht durchschnittlich **8,5 Geräten pro Einwohner**.

Davon entfallen etwa 94 % auf Endgeräte, 5,6 % auf Rechenzentrumsausrüstung und nur 0,4 % auf die Infrastruktur von Telekommunikationsnetzen. Die Anzahl der Telekommunikationsinfrastrukturgeräte ist naturgemäß geringer als die der Endbenutzergeräte, da die Infrastruktur von einer großen Anzahl von Benutzern gemeinsam genutzt wird. Diese gemeinsame Nutzung führt zu einer geringeren Geräteanzahl im Verhältnis zur bereitgestellten Population.

Der Gesamtstromverbrauch der Schweiz beträgt rund 57 TWh¹³, wobei **die digitalen Technologien zusammen rund 6,9 TWh verbrauchen**. Dies entspricht fast **12 % des gesamten Stromverbrauchs des Landes** und spiegelt die erhebliche Nachfrage aus dem digitalen Sektor wider.

Allein die Rechenzentren haben einen wesentlichen Anteil an diesem Verbrauch (fast 50 Prozent), der auf rund 6,1 Prozent des gesamten Stromverbrauchs der Schweiz geschätzt wird. In der Schweiz gibt es eine hohe Rechenzentrumsdichte pro Kopf. Diese Attraktivität lässt sich durch den strengen Datenschutz, die politische Stabilität des Landes, seinen kohlenstoffarmen Strommix und die geringen Umweltrisiken (z.B. seismische Aktivität) erklären.

¹⁰ <https://www.bfs.admin.ch/news/fr/2024-0538>

¹¹ Internetnutzer im Alter von 16 bis 64 Jahren, <https://datareportal.com/reports/digital-2024-switzerland>

¹² <https://www.ceicdata.com/en/indicator/switzerland/employed-persons>

¹³ https://www.news.admin.ch/en/newsb/iTP15U0PYP57z2h_7EXJO

3.1.2 Umweltauswirkungen auf der Ebene des Landes

Im Folgenden werden die Ergebnisse des globalen ökologischen Fussabdrucks von IKT-Technologien in der Schweiz im Jahr 2024 dargestellt.

Ressourcenverbrauch, Mineralien und Metalle (ADPe)



186 Tonnen Sb-Äq.

Klimawandel (GWP)



1,99 Millionen Tonnen CO₂-Äq.

Ökotoxizität, Süßwasser (CTUe)



65,038,535,926 CTUe

Die Auswirkungen auf die Nutzung von Metall- und Mineralressourcen (ADPe) entsprechen 40 % des gesamten Fußabdrucks und belaufen sich auf **186 Tonnen Sb-Äquivalente**, was wiederum **930 Millionen Tonnen** ausgehobenem **Erdreich** entspricht¹⁴. Dies entspricht zudem den in **62 Millionen Smartphones** enthaltenen **Metallen** und **Mineralien**.

Die Auswirkungen auf die Süßwasser-Ökotoxizität (CTUe) entsprechen **65.038.535.926 CTUe**. Dies ist vergleichbar mit den Auswirkungen der **jährlichen Produktion von rund 1,1 Milliarden Duschgelflaschen** – also genügend Flaschen, um den Verbrauch der gesamten Schweizer Bevölkerung für etwa 50 Jahre zu decken¹⁵.

¹⁴ Bei einem Clarke-Wert von 2,00E-04 kg eq. Sb pro Tonne ausgehobenem Bodens.

¹⁵ <https://www.ecetoc.org/wp-content/uploads/2021/10/ECETOC-TR-127-Freshwater-ecotoxicity-as-an-impact-category-in-life-cycle-assessment.pdf> und

Obwohl der Anteil am insgesamt quantifizierten Fußabdrucks – wie in Abbildung 2 dargestellt – bei 14 % liegt, bleibt der Klimawandel aufgrund seiner systemischen und langfristigen Folgen ein zentrales Umweltthema. Dieser Fußabdruck entspricht **fast 2 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten**. Zum Vergleich: Die konsumtionsbasierten CO₂-Emissionen in der Schweiz beliefen sich im Jahr 2023 auf 122 Millionen Tonnen CO₂¹⁶. Dies bedeutet, dass **digitale Technologien für fast 2% der gesamten konsumbasierten CO₂-Emissionen in der Schweiz verantwortlich sind**.

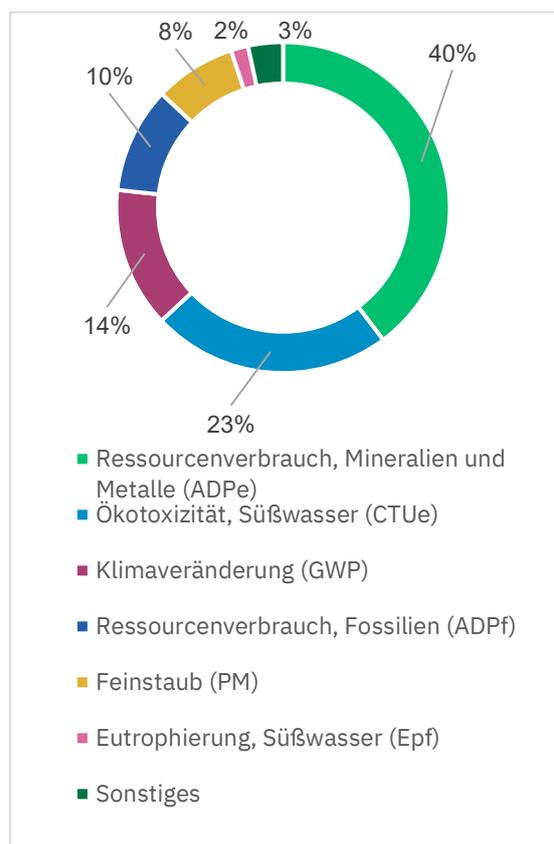


Abbildung 2 - Beitrag der Umweltindikatoren zum Fußabdruck

<https://www.planetoscope.com/hygiene-beaute/435-consommation-de-shampoings-en-france.html>

¹⁶<https://ourworldindata.org/co2/country/switzerland#consumption-based-accounting-how-do-emissions-compare-when-we-adjust-for-trade>

3.1.3 Umweltauswirkungen auf der individuellen Skala

Im Folgenden werden die Ergebnisse des ökologischen Fußabdrucks von IKT-Technologien pro Kopf vorgestellt.

Ressourcenverbrauch, Mineralien und Metalle (ADPe)



20.7 g Sb-Äq.

Gleichwertigkeit: 7 Smartphones gekauft pro Kopf in einem Jahr

Klimawandel (GWP)



221 kg CO₂-Äq.

Gleichwertigkeit: 524 km mit dem Auto pro Kopf in einem Jahr

Ökotoxizität, Süßwasser (CTUe)



7,224 CTUe

Gleichwertigkeit: 127 Flaschen Duschgel pro Kopf in einem Jahr

3.1.4 Vergleiche mit planetaren Grenzen

Planetare Grenzen beziehen sich auf kritische ökologische Schwellenwerte, die einen sicheren Handlungsraum für die Menschheit definieren. Diese Schwellenwerte zielen darauf ab, die Grenzen zu quantifizieren, innerhalb derer globale Umweltsysteme weiterhin stabil und nachhaltig funktionieren können. Es ist möglich, den ökologischen Fußabdruck digitaler Technologien pro Kopf mit den planetaren Grenzen zu vergleichen, um zu

bewerten, ob er innerhalb eines global nachhaltigen Niveaus bleibt.

Abbildung 3 veranschaulicht den Beitrag der Einschlüsse zu den planetaren Grenzen. Im Jahr 2024 verbrauchen digitale Technologien in der Schweiz 22 % des jährlichen pro-Kopf-Nachhaltigkeitsbudgets, das eingehalten werden müsste, um die globale Erwärmung unter 1 °C zu halten – dem planetaren Grenzwert für den Klimawandel. In ähnlicher Weise verbraucht es 65 % des jährlichen nachhaltigen Budgets in Bezug auf den Verbrauch von Mineral- und Metallressourcen, und fast 38 % des nachhaltigen Budgets des Planeten in Bezug auf die Ökotoxizität von Süßwasser.

Die Daten zeigen deutlich, dass die IKT-Branche in der Schweiz zwar noch keine

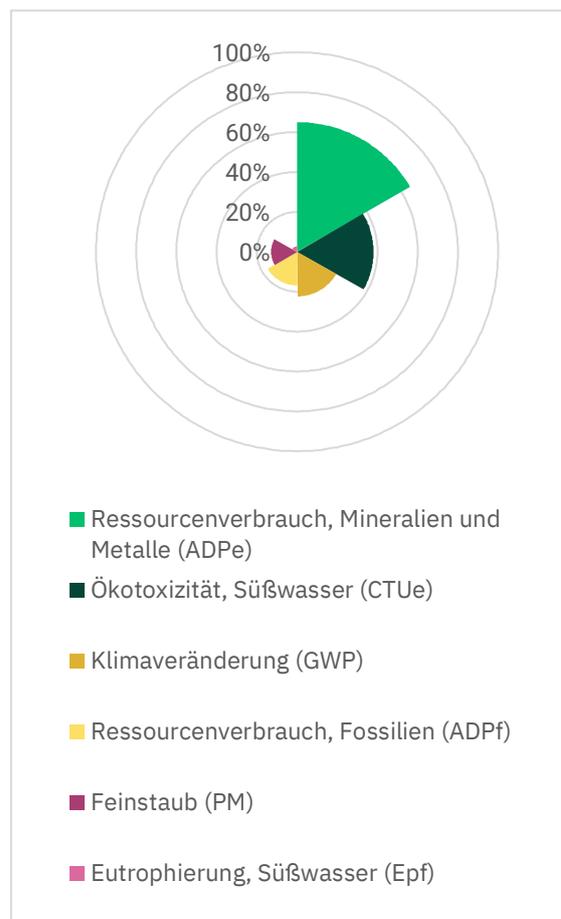


Abbildung 3 - Ergebnisse der planetaren Grenzen

planetaren Grenzen pro Kopf überschreitet, aber bereits heute substantielle Teile des sicheren Handlungsraums verbraucht – insbesondere für die Nutzung von Bodenschätzen, die Ökotoxizität von Süßgewässern und den Klimawandel.

3.2 Aufteilung der Umweltauswirkungen

3.2.1 Aufteilung der Ergebnisse pro Tier

Wie in Abbildung 4 dargestellt, **stellen persönliche Endgeräte** mit 51 % der **Auswirkungen auf den Klimawandel** den größten Anteil dar. **Professionelle Geräte** machen **25 %** des ökologischen Fußabdrucks aus. Die betroffenen Bevölkerungsgruppen unterscheiden sich in ihrer Größe: etwa 9 Millionen Einwohner gegenüber rund 5 Millionen Erwerbstätigen.

Insgesamt **entfallen 76 % der Gesamtauswirkungen auf die Kategorie der**

Endnutzer-Terminals. Rechenzentren tragen zu 20 % des gesamten Fußabdrucks digitaler Technologien bei. Schließlich **entfallen nur 4 % der gesamten Umweltbelastung auf Telekommunikationsnetze**. Trotz ihrer wesentlichen Rolle bei der Gewährleistung der digitalen Konnektivität im ganzen Land bleibt ihr relativer Fußabdruck bescheiden.

Diese Aufteilung auf die Kategorie der Auswirkungen des Klimawandels ist ähnlich wie die Aufteilung der anderen Auswirkungskategorien. Eine Auswirkungskategorie sticht hervor, die Eutrophierung von Süßwasser, auf die fast 50 % des gesamten Fußabdrucks der Rechenzentren entfallen. Um die Verteilung dieser Auswirkungen besser zu verstehen, ist es notwendig, sie nach dem Lebenszyklus zu untersuchen, der im nächsten Abschnitt ausführlich beschrieben wird.

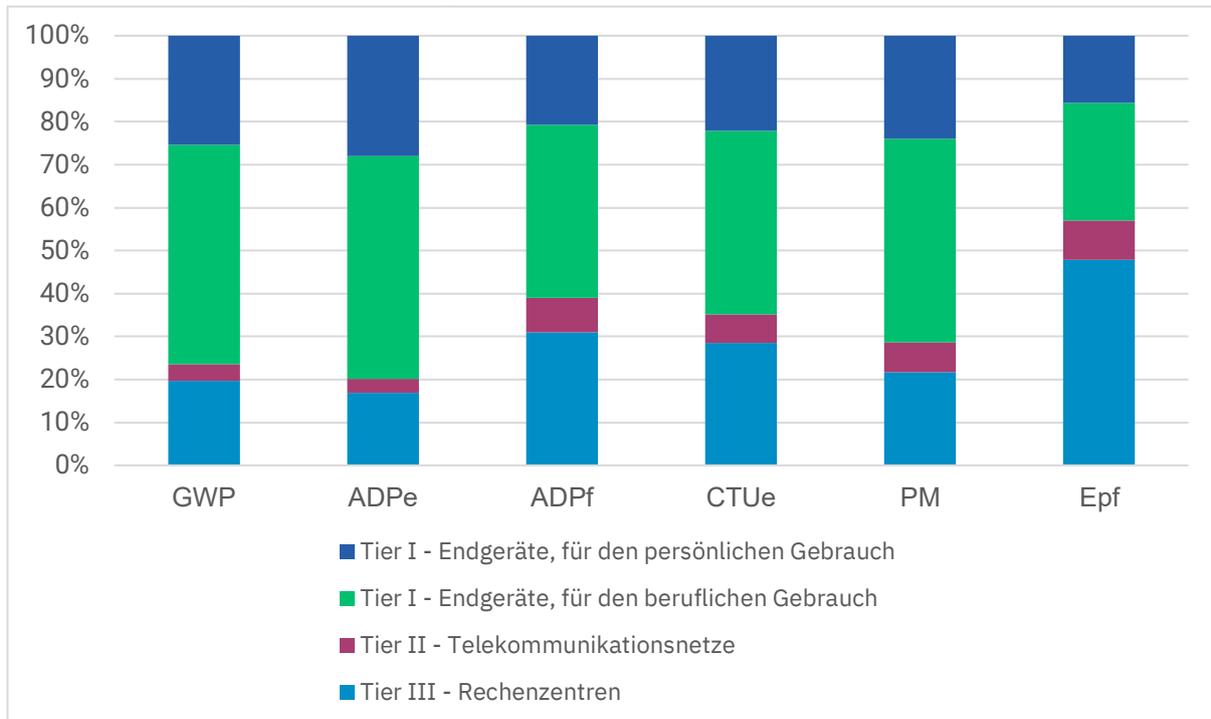


Abbildung 4 – Aufteilung des globalen ökologischen Fußabdrucks nach Stufe

3.2.2 Aufteilung der Ergebnisse nach Lebenszyklusphasen

Abbildung 5 veranschaulicht die Aufteilung des ökologischen Fußabdrucks nach Lebenszyklusphasen. Insgesamt lassen sich zwei wichtige Lebenszyklusphasen klar herauskristallisieren: Herstellung und Nutzung.

Die **Dominanz der Herstellungsphase** resultiert vor allem aus den Endverbraucheranlagen (Tier I), da die Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen mit einem hohen Ressourcen- und Energieaufwand verbunden ist. Dies ist in erster Linie auf die **hohe Anzahl von Endgeräten** im Umlauf und ihre relativ **kurze Lebensdauer** im Vergleich zu Netzwerk- und Rechenzentrumsgeräten zurückzuführen.

In der **Nutzungsphase** verteilen sich die Auswirkungen gleichmäßiger auf die **Endgeräte** und die **Rechenzentren**. Trotz der im Vergleich zu den Endgeräten relativ geringen Anzahl an Geräten, wird dadurch der

erhebliche Stromverbrauch der Rechenzentrumsinfrastruktur deutlich. Auf der anderen Seite gibt es sehr viele Endgeräte, aber ihr individueller Stromverbrauch ist viel geringer.

Die Nutzungsphase trägt weniger wesentlich zur Kategorie der Auswirkungen des Klimawandels bei. Der verbrauchte Strom stammt aus einem Strommix, der stark auf erneuerbaren Energiequellen (hauptsächlich Wasserkraft) basiert¹⁷, was die damit verbundene Umweltbelastung verringert. Da die Herstellung der Geräte und elektronischen Komponenten jedoch hauptsächlich in Südostasien stattfindet, hat der in dieser Phase verwendete Strom mehr Einfluss und erhöht die Wirkung der Herstellung.

Die **Nutzungsphase** ist der dominierende **Faktor für die Eutrophierung von Süßwasser**. Die Ursache dieser Auswirkungen liegt in der **Stromverteilung** über **Kupfernetze**. Lösliches Phosphat wird den sulfidischen Rückständen, die beim

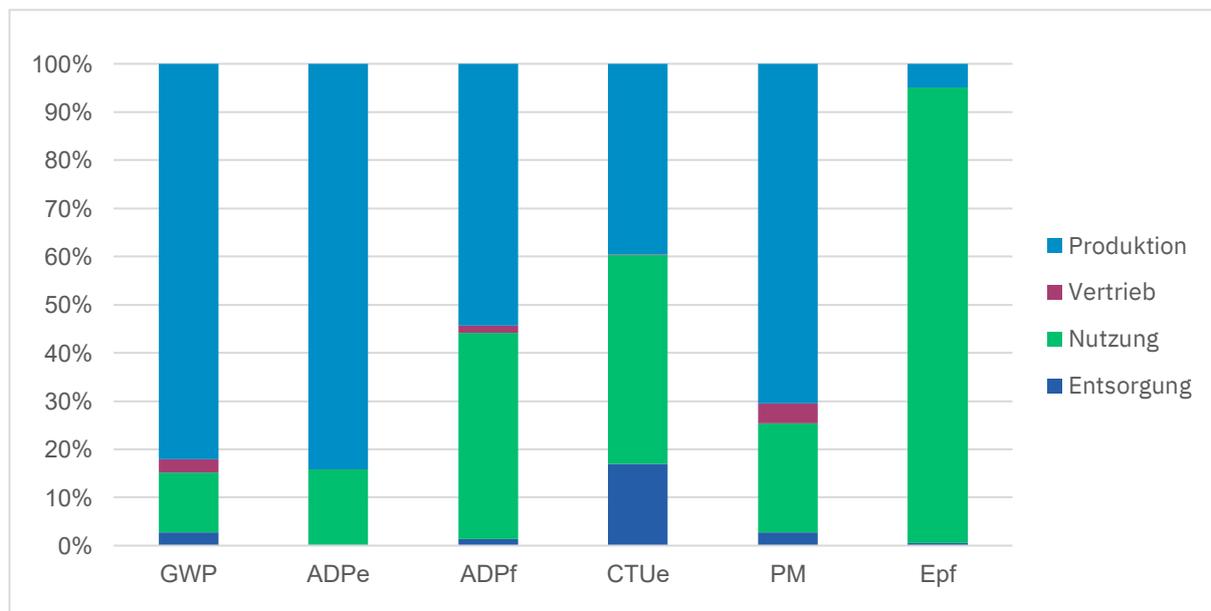


Abbildung 5 - Aufteilung des globalen ökologischen Fußabdrucks nach Lebenszyklusphasen

¹⁷ <https://www.news.admin.ch/fr/nsb?id=97643>

Kupferabbau anfallen, zugesetzt, um die akute Phytotoxizität zu mildern¹⁸.

Die **Vertriebsphase und die End-of-Life-Phase** haben **vernachlässigbare Auswirkungen auf die Umwelt**, mit Ausnahme der Ökotoxizität von Süßwasser, da das Ende der Lebensdauer etwa 15 % der Auswirkungen ausmacht. Dies ist auf die hohe Empfindlichkeit dieses Indikators gegenüber dem Austreten von giftigen Substanzen wie Schwermetallen und persistenten organischen Verbindungen in die Umwelt zurückzuführen. Dieses Phänomen ist besonders relevant bei der Entsorgung von elektronischen Geräten.

3.2.3 Fokus auf Tier I – Endgeräte

Zur Erinnerung: Endbenutzergeräte (Tier I) werden zwischen privatem und professionellem Gebrauch kategorisiert.

Abbildung 6 zeigt, dass **die Auswirkungen von ICT-Haushaltsgeräten** in der Schweiz auf die Umweltauswirkungen von **Smartphones** und **Fernsehern zurückzuführen sind**.

Smartphones sind für 25 % der Auswirkungen des Klimawandels (GWP) verantwortlich und Fernseher für 15 % und damit die größten Verursacher. Bildschirme (Fernseher und Computermonitore) machen 41 % der abiotischen Ressourcenerschöpfung (ADPe) und 33 % der Auswirkungen der Eutrophierung aus. Dies liegt vor allem an ihrer großen Anzahl.

Fernseher und Bildschirme tragen erheblich zum ökologischen Fußabdruck digitaler Geräte bei, insbesondere aufgrund ihrer Größe und ihres Energieverbrauchs. Rund 98 % des aktuellen Lagerbestands bestehen aus LCD-Bildschirmen mit einer durchschnittlichen Diagonale von 47 Zoll. OLED-Modelle – typischerweise um die 60

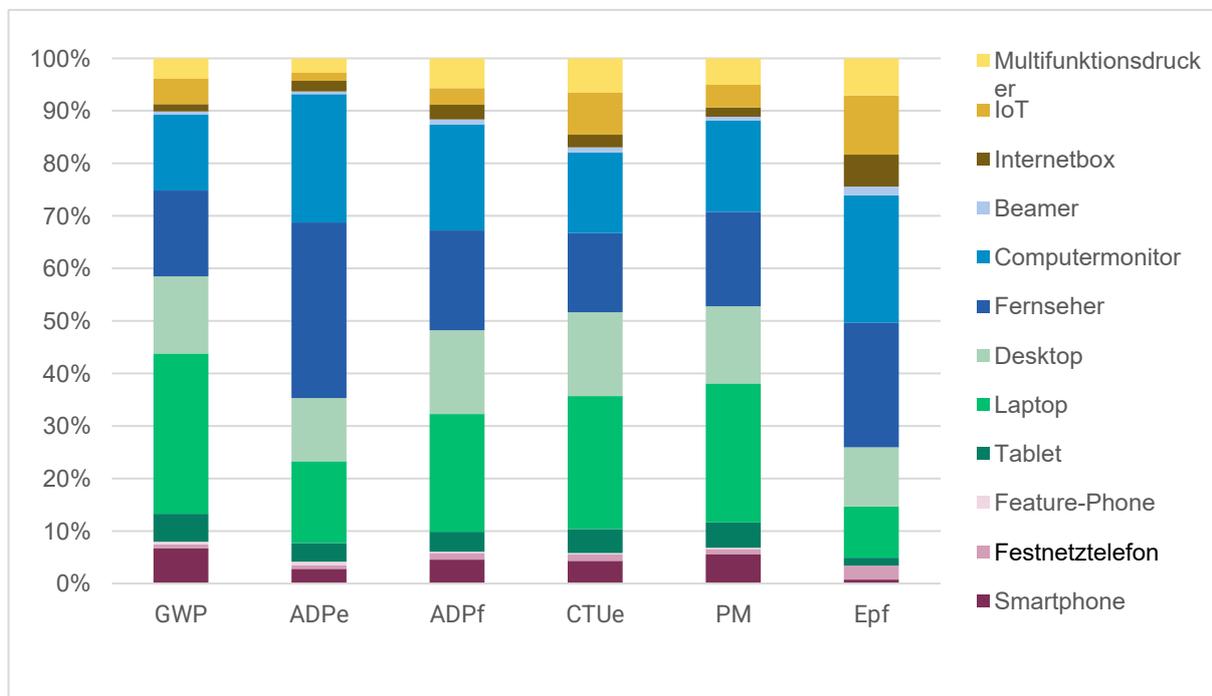


Abbildung 6 – Aufteilung des ökologischen Fussabdrucks von Endgeräten (Tier I) für den persönlichen Gebrauch nach Gerätekategorien in der

¹⁸<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119304920#:~:text=As%20a%2>

[Oresult%2C%20it%20is%20hypothesized%20that%20tailings%2C%20improving%20the%20success%20of%20tailings%20phytostabilization.](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119304920#:~:text=As%20a%2)

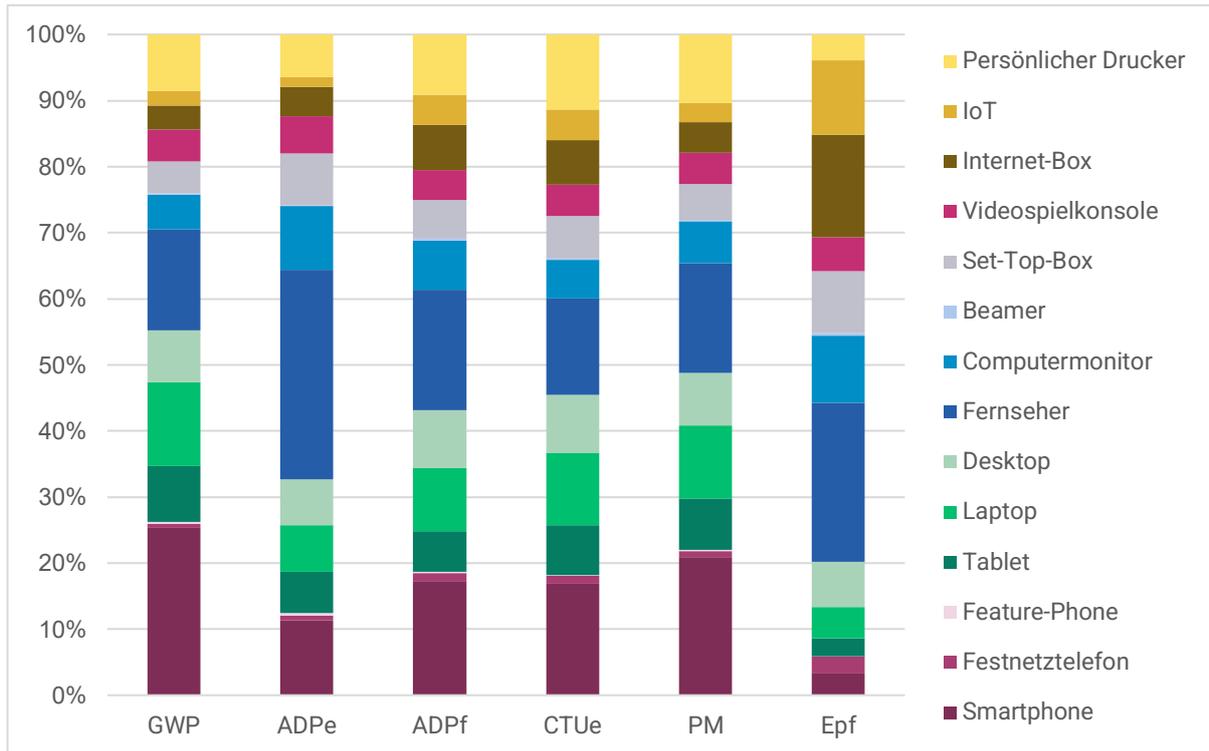


Abbildung 7 – Aufteilung des ökologischen Fussabdrucks von Endgeräten (Tier I) für den professionellen Gebrauch nach Gerätekategorien in der Schweiz im Jahr 2024

Zoll – werden zwar zunehmend verkauft, stellen aber immer noch einen kleinen Bruchteil des verbauten Bestands dar.

Laptops und Desktops tragen 13 % bzw. 8 % zum GWP bei, während kleinere Geräte wie Modems, Drucker und Set-Top-Boxen lokalere Auswirkungen haben, insbesondere in Bezug auf Eutrophierung (z. B. 19 % bei Modems) und Feinstaubemissionen (z. B. 11 % bei Laptops und Druckern). Obwohl IoT-Geräte, Projektoren und Festnetztelefone mit jeweils $\leq 2\%$ GWP nur geringe Auswirkungen haben, könnte die steigende Anzahl von IoT-Geräten langfristig zu einem größeren Fußabdruck führen.

Abbildung 7 zeigt, dass **Laptops** und **Computermonitore** bei professionellen Endnutzern in den meisten Kategorien die Hauptverursacher der Umweltauswirkungen sind. Laptops stechen hervor und sind für 27 % des Treibhauspotenzials (GWP), 21 % des Verbrauchs fossiler Ressourcen (ADPf) und 22

% der Toxizität für den Menschen (CTUe) verantwortlich. Computermonitore haben auch einen erheblichen ökologischen Fußabdruck, mit den höchsten Beiträgen zur Erschöpfung der mineralischen Ressourcen (39 % des ADPe) und der Eutrophierung des Süßwassers (36 % des Epf) sowie zu hohen Auswirkungen auf das Treibhauspotenzial (18 %) und die Feinstaubbildung (22 %). Denn gerade im Dienstleistungssektor sind sie heute ein unverzichtbarer Bestandteil der Arbeitsmittel der Mitarbeiter.

Smartphones sind ein weiterer wichtiger Verursacher, insbesondere bei den GWP- (18 %) und Feinstaubemissionen (15 %), was ihre unverhältnismäßigen Auswirkungen auf die Umwelt angesichts ihrer geringen Größe unterstreicht. Mit einem Beitrag von 15–19 % leisten Desktops über alle Indikatoren hinweg einen moderaten, aber konstanten Anteil. Dies entspricht dem Trend der letzten Jahre, in denen zunehmend Laptops anstelle von

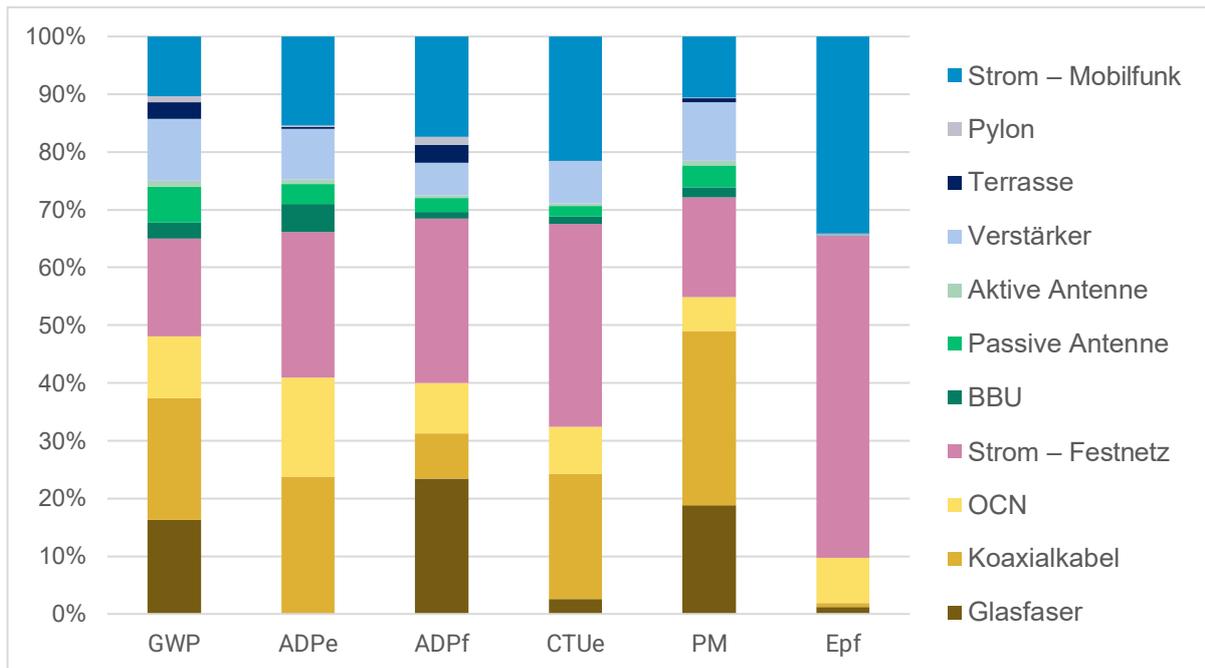


Abbildung 8 – Aufteilung des ökologischen Fußabdrucks von Telekommunikationsnetzen (Tier II) nach Geräteklasse in der Schweiz

Desktops – insbesondere in Unternehmen – genutzt werden.

3.2.4 Fokus auf Tier II – Netzwerke

Wie in Abbildung 8 zu sehen ist, ist der Stromverbrauch, insbesondere für Festnetze, mit bis zu 56 % der Eutrophierung und 43 % der Auswirkungen auf die Toxizität beim Menschen der Hauptgrund für Umweltauswirkungen in Tier II. Auch mobiler Strom spielt über alle Indikatoren hinweg eine große Rolle (14 bis 34 %).

Bei den Geräten sind die meisten Auswirkungen auch auf das Festnetz zurückzuführen. OCNs, Koaxialkabel und Glasfasern leisten insbesondere bei der globalen Erwärmung, dem Ressourcenverbrauch und der Feinstaubbildung einen erheblichen Beitrag.

Im Mobilfunknetz stellen Verstärker und passive Antennen die Hauptverursacher dar.

Es scheint, dass die meisten Auswirkungen auf das Festnetz zurückzuführen sind, wobei 60 % bis 70 % des gesamten Tier-II-Fußabdrucks vorhanden sind. Diese Aufteilung unterscheidet sich stark von dem, was in anderen Studien beobachtet werden kann, wie z. B. bei der Bewertung des ökologischen Fußabdrucks der Bereitstellung von Internetdiensten in Frankreich¹⁹. In dieser Studie konzentriert sich der Stromverbrauch stärker auf das Mobilfunknetz. Die Haupthypothese für diese Diskrepanz sind Unterschiede im betrachteten Umfang. Es ist möglich, dass kleine Rechenzentren von Internet Service Providern und PoPs (Points of Presence) einbezogen werden, obwohl sie in der anderen Studie nicht enthalten sind.

¹⁹ [https://bibliothèque.ademe.fr/industrie-et-production-durable/7111-evaluation-of-the-](https://bibliothèque.ademe.fr/industrie-et-production-durable/7111-evaluation-of-the-environmental-footprint-of-internet-service-provisioning-in-france.html)

[environmental-footprint-of-internet-service-provisioning-in-france.html](https://bibliothèque.ademe.fr/industrie-et-production-durable/7111-evaluation-of-the-environmental-footprint-of-internet-service-provisioning-in-france.html)

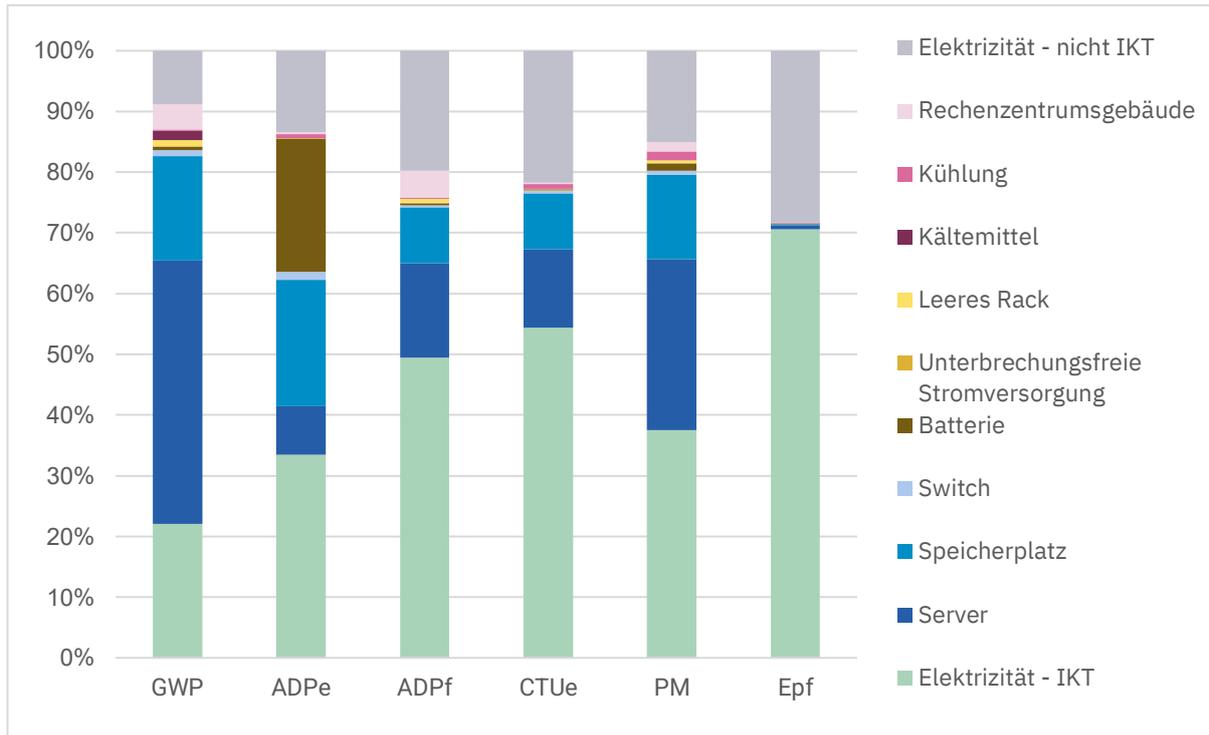


Abbildung 9 – Aufteilung des ökologischen Fußabdrucks von Rechenzentren (Tier III) nach Gerätekategorie in der Schweiz im Jahr 2024

3.2.5 Fokus auf Tier III – Rechenzentren

Abbildung 9 zeigt die Aufteilung des ökologischen Fußabdrucks von Rechenzentren auf die verschiedenen Gerätekategorien.

Der Stromverbrauch (für IKT- und Nicht-IKT-Geräte) dominiert die meisten Indikatoren, insbesondere die Eutrophierung von Süßwasser (98 % des Gesamtverbrauchs) und die Ökotoxizität von Süßwasser (76 % des Gesamtverbrauchs). Der Stromverbrauch wird getrennt in Strom für IKT-Geräte (Server, Speicherserver, Switches) und für Nicht-IKT-Geräte (Kühlung, Stromversorgung). Es ist ein Verhältnis von 2,4 zwischen Nicht-IKT- und IKT-Strom zu erkennen (entspricht einem PUE (Power Usage Effectiveness) von 1,4).

Die **IKT-Ausrüstung** und der damit verbundene Stromverbrauch machen zwischen 65 % und 85 % des Fußabdrucks

aus. Server und Storage-Server stehen nach dem Stromverbrauch an zweiter Stelle. Server sind der größte Verursacher des Treibhauspotenzials (43 % des GWP-Fußabdrucks), der durch energieintensive Herstellungsprozesse und betriebliche Anforderungen verursacht wird. Im Vergleich dazu ist der Stromverbrauch mit 22 % doppelt so wichtig. Diese Neupartitionierung unterscheidet sich deutlich von dem, was normalerweise bei Servern beobachtet werden kann. Da es sich um stromintensive Geräte handelt, ist die Nutzungsphase in der Regel auch für den GWP-Indikator am wirkungsvollsten. In dieser Studie hat der Strommix der Schweiz einen sehr geringen CO₂-Effekt: 34,6 g eq. CO₂/kWh von Ecoinvent.

Von allen Servern machen **Speicherserver** etwa 50 % der Gesamtauswirkungen von Servern aus. Midrange-Server sind aufgrund ihrer Anzahl die zweiteinflussreichste Kategorie. Ihre Auswirkungen sind 15-mal

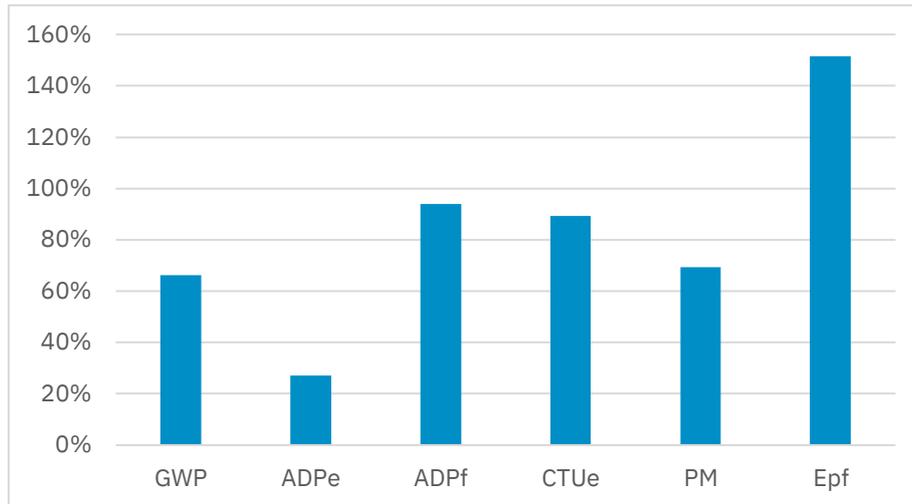


Abbildung 10 - Prozentuale Zunahme des Einflusses der Digitaltechnologie in der Schweiz zwischen 2024 und 2035

höher als bei KI-dedizierten Servern. KI-dedizierte Server sind die drittwichtigste Kategorie von Servern. Dies liegt an ihrer höheren einheitlichen Wirkung (aufgrund des Vorhandenseins einer GPU) und der Tatsache, dass sie etwas zahlreicher sind als High-Range-Server.

Die **technische Umgebung** (Gebäude, Kühlung, Stromversorgung und damit verbundener Stromverbrauch) **macht 15 bis 35 % des Fußabdrucks des Rechenzentrums aus**. Die Auswirkungen konzentrieren sich vor allem auf den Stromverbrauch. Der ADPe-Umweltindikator bildet eine Ausnahme, da Batterien den Großteil der Auswirkungen (31 %) ausmachen. Denn Bleibatterien benötigen für ihre Herstellung eine beträchtliche Menge an Mineralien und Metallen.

Die Aufteilung des Fußabdrucks zwischen den Lebenszyklusphasen zeigt ein ähnliches Muster wie bei Tier II. In der Nutzungsphase sind die beiden Flussmittel der Stromverbrauch und der Kältemittelverbrauch. Fast alle Auswirkungen entfallen auf den Stromverbrauch, die Auswirkungen des Kältemittels sind nahezu vernachlässigbar.

Der Rest der Auswirkungen hängt mit den Auswirkungen auf die Fertigung von IKT- und Nicht-IKT-Geräten zusammen. Die Verteilung und das Ende der Lebensdauer machen nur wenige Prozent der Gesamtauswirkungen aus.

3.3 Prognosen im Jahr 2035

Die Prognose der Umweltauswirkungen von IKT bis 2035 ist unerlässlich, um zukünftige Trends in der Digitalisierung, der Infrastrukturentwicklung und dem Nutzerverhalten zu antizipieren. Da die Nachfrage nach digitalen Diensten durch neue Anwendungen wie KI, IoT und 5G weiter steigt, wird das Verständnis der **langfristigen Umweltentwicklung** immer wichtiger. Es ermöglicht politischen Entscheidungsträgern, Unternehmen und Forschern, **kritische Wirkungsbereiche zu identifizieren, die Wirksamkeit von Minderungsstrategien zu bewerten und den Übergang zu nachhaltigeren digitalen Systemen zu unterstützen**.

3.3.1 Ergebnisse pro Kopf

Die Projektionen in Abbildung 10 für das Jahr 2035 zeigen über **alle Indikatoren hinweg eine deutliche Zunahme der**

Umweltauswirkungen digitaler Technologien in der Schweiz. Im Vergleich zum Basisjahr 2024 ist in jeder Umweltverträglichkeitskategorie ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen, der sowohl den Ausbau digitaler Infrastrukturen als auch die Intensivierung der Nutzung digitaler Dienste widerspiegelt.

Man kann feststellen, dass ADPe der Umweltindikator mit dem geringsten Anstieg ist, 27 % zwischen 2024 und 2035. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der größte Anstieg Rechenzentren betrifft, bei denen die Auswirkungen auf den Stromverbrauch im Vergleich zu den Auswirkungen auf die Hardware ausgeprägt sind.

3.3.2 Planetare Grenzen

Im Kontext der planetaren Grenzen sind die prognostizierten Umweltauswirkungen der IKT in der Schweiz bis 2035 Anlass zu grossen Bedenken. Dies ist in Abbildung 11 dargestellt. Am deutlichsten zeigt sich der alarmierende Trend in der **Ressourcennutzung (Mineralien und Metalle), die von 65 % der planetaren Pro-Kopf-Grenze im Jahr 2024 auf nahezu 83 % im Jahr 2035 ansteigt**. Dies deutet darauf hin, dass ohne Intervention allein der Schweizer Digitalsektor einen überproportionalen Anteil des jährlichen planetarischen Budgets der Einwohner des Landes verschlingen könnte. Auch die Ökotoxizität von Süßwasser nähert sich einer kritischen Schwelle und steigt von 39 % auf 72 % der planetaren Pro-Kopf-Grenze.

Andere Indikatoren, wenn auch weniger prominent, zeigen ähnlich besorgniserregende Trends: der Klimawandel steigt von 22 % auf 37 %, der Verbrauch fossiler Ressourcen steigt von 17 % auf 33 % und die Feinstaubemissionen steigen von 13 % auf 22 %, was den wachsenden Ressourcenbedarf

und die Produktionsintensität der digitalen Infrastruktur widerspiegelt.

Insgesamt verdeutlicht dieser Vergleich der planetaren Grenzen, dass sich der ökologische Fußabdruck der ICT in der Schweiz auf einem Pfad bewegt, der mit den **langfristigen globalen Nachhaltigkeitszielen unvereinbar** ist – insbesondere hinsichtlich des Materialverbrauchs und der Schadstoffemissionen. Sie spricht für gezielte Maßnahmen wie die Kreislaufwirtschaft von Geräten und einen zurückhaltenderen Ansatz für digitales Wachstum.

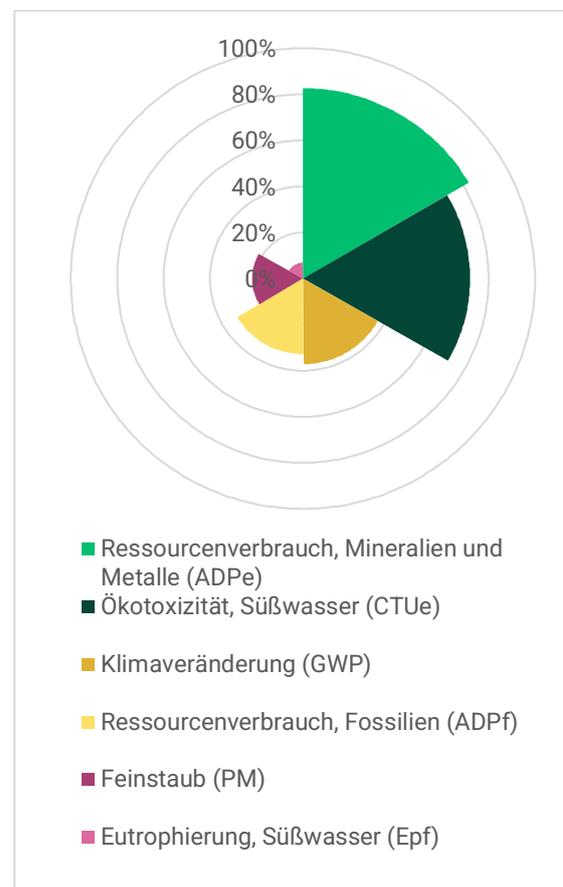


Abbildung 11 - Ergebnisse der planetaren Grenzen im Jahr 2035

4. Empfehlungen

Nach der quantitativen Untersuchung der Umweltauswirkungen der Digitaltechnologie in der Schweiz zwischen 2024 und 2035 ist es notwendig, die strukturellen Elemente des digitalen Fussabdrucks zu identifizieren. Ziel dieses Abschnitts ist es, aufzuzeigen, wie die am besten geeigneten Maßnahmen und Best Practices zur Reduzierung dieses ökologischen Fussabdrucks identifiziert werden können.

4.1 Globale Ziele

Digitale Technologien sind aus dem modernen Leben in der Schweiz nicht mehr wegzudenken und bieten branchenübergreifend zahlreiche Vorteile. In dieser Studie zeigen wir jedoch, dass ihre Auswirkungen auf die Umwelt erheblich sind und weiter zunehmen. Bemerkenswert ist, dass im Jahr 2024 ein erheblicher Teil dieser Auswirkungen von Endgeräten wie Smartphones und Fernsehern ausgeht. Die Herstellungsphase dieser Geräte ist besonders ressourcenintensiv und macht einen erheblichen Teil des Fussabdrucks aus.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse auch, dass die Umweltauswirkungen von Rechenzentren in den kommenden Jahren wahrscheinlich deutlich zunehmen werden, so dass Rechenzentren um 2035 herum die Stufe mit den größten Auswirkungen sein werden. Schließlich scheinen die Telekommunikationsnetze einen moderaten Einfluss zu haben, da sie nicht mehr als 10 % des gesamten Fussabdrucks ausmachen. Allerdings ist die Unsicherheit der Ergebnisse für dieses Tier sehr hoch und die Auswirkungen auf die Umwelt werden wahrscheinlich unterschätzt.

Trotz der erheblichen Auswirkungen, die mit den Geräten der Endverbraucher im Jahr

2024 verbunden sind, liegt die **Verantwortung für die Minderung der Umweltauswirkungen nicht allein bei den einzelnen Verbrauchern. Hersteller, politische Entscheidungsträger und Organisationen** müssen eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung nachhaltiger Praktiken und Richtlinien spielen. So können beispielsweise die Designentscheidungen der Hersteller die Haltbarkeit und Reparierbarkeit eines Geräts erheblich beeinflussen, während politische Entscheidungsträger Vorschriften erlassen können, die sowohl nachhaltige Designs und Produktion als auch Konsumgewohnheiten fördern.

Bei der Bewältigung der ökologischen Herausforderungen, die sich aus digitalen Technologien ergeben, **ist es von entscheidender Bedeutung, wirksame und erreichbare Maßnahmen** zu priorisieren. Die Empfehlungen sind um drei zentrale Ziele herum strukturiert, die im Folgenden dargestellt werden:

- **Ziel Nr. 1: Entwicklung und Herstellung effizienterer Ausrüstungen und Infrastrukturen:** Herstellung weniger ressourcenintensiver Ausrüstungen und Infrastrukturen durch Umsetzung von Konzepten der Nüchternheit und Kreislaufwirtschaft;
- **Ziel Nr. 2: Verringerung des Bedarfs an der Herstellung neuer Geräte:** Vermeidung der Herstellung neuer Geräte, wann immer dies möglich ist, durch Verlängerung der Lebensdauer der derzeit verwendeten Geräte und Verringerung ihrer Anzahl;
- **Ziel Nr. 3: Schlichtung der digitalen Nutzung:** Kritische Bewertung und Moderation des Einsatzes digitaler

Technologien, um sicherzustellen, dass sie den tatsächlichen

Bedürfnissen ohne Übermaß entsprechen.

4.2 Empfehlungen pro Ziel, Ebene und Interessenträger

Um die Umweltauswirkungen digitaler Technologien in der Schweiz zu reduzieren, ist es wichtig, Endgeräte, Telekommunikationsnetze und Rechenzentren zu untersuchen, da jedes Gerät unterschiedlich zum Gesamt Fussabdruck beiträgt. Die Analyse ihrer Lebenszyklen und Nutzungsmuster zeigt Möglichkeiten zur Steigerung der Nachhaltigkeit auf. Der Ansatz

muss alle Interessengruppen (Behörden, Unternehmen, Organisationen und Bürger) einbeziehen, die jeweils eine spezifische Rolle bei der Förderung des Wandels spielen. Maßgeschneiderte Empfehlungen für jede Gruppe können das gemeinsame Handeln für einen nachhaltigeren digitalen Sektor in der Schweiz fördern.

4.2.1 Ziel Nr. 1: Entwicklung und Herstellung effizienterer Ausrüstungen und Infrastrukturen

	Behörden	Bürger	Unternehmen und Organisationen
Tier I	<ul style="list-style-type: none"> Erstellen und demokratisieren Sie Standards und Labels für energieeffizientere Geräte. Bieten Sie systematische Ökodesign-Schulungen an Ingenieurschulen an. 		<ul style="list-style-type: none"> Anwendung von Ökodesign-Prinzipien in der Hardware-Designphase für robustere und reparierbarere Geräte Entwerfen Sie Endbenutzergeräte, die weniger ressourcenintensiv sind: weniger Strom verbrauchend, recycelbar, aus recyceltem Material usw.
Tier II			<ul style="list-style-type: none"> Verbessern Sie die Energieeffizienz neuer Netzwerkgeräte. Implementieren Sie intelligente Netzwerkmanagementsysteme, um den Energieverbrauch dynamisch zu optimieren.
Tier III	<ul style="list-style-type: none"> Regulieren Sie die Entwicklung neuer Rechenzentren, indem Sie energieeffizienten Lösungen wie der Wiederverwendung von Wärme Vorrang einräumen. 		<ul style="list-style-type: none"> Verbesserung der Energieeffizienz neuer Infrastrukturen und damit Verbesserung des PUE. Verbesserung der Energieeffizienz neuer IKT-Geräte. Anreize für die Nutzung von umweltoptimierten Rechenzentren schaffen, die mit erneuerbarer Energie betrieben werden und sich in Schweizer oder europäischen Ländern befinden
Alle Tiers	<ul style="list-style-type: none"> Sicherstellung der Rahmenbedingungen, die eine bessere Energieeffizienz ermöglichen 		

4.2.2 Ziel Nr. 2: Verringerung des Bedarfs an der Herstellung neuer Produkte

	Behörden	Bürger	Unternehmen und Organisationen
Tier I	<ul style="list-style-type: none"> Fördern Sie Praktiken, die die Lebensdauer von Geräten verlängern, wie z. B. regelmäßige Wartung, Reparaturen, Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Software-Updates, um programmierte Obsoleszenz zu vermeiden. 	<ul style="list-style-type: none"> Kaufen Sie gebrauchte Geräte, die einen hohen Reparierbarkeitsindex oder ein relevantes Etikett (z. B. TCO, EPEAT) aufweisen, zusammen mit Garantieverlängerungen. Schützen, reparieren und pflegen Sie die Geräte während der gesamten Lebensdauer. Verschenken oder verkaufen Sie unbenutzte Geräte, wenn sie wiederverwendbar sind. Andernfalls recyceln Sie sie, um dem Gerät, seinen Komponenten oder seinem Material ein zweites Leben zu geben. 	<ul style="list-style-type: none"> Tauschen Sie Geräte zwischen mehreren Benutzern aus. Förderung der Verwendung von weniger Geräten pro Person und Befürwortung von gemeinsam genutzten oder multifunktionalen Geräten. Teilen Sie Geräte für mehrere Zwecke: BYOD-Ansatz (Bring Your Own Device), um private und berufliche Nutzung zu kombinieren. Reduzieren Sie die Anzahl und Größe der Bildschirme.
Tier II	<ul style="list-style-type: none"> Optimieren Sie die Anzahl der Geräte: Koordinieren Sie die Zusammenarbeit zwischen den Betreibern, um unnötige Redundanz in den Netzwerkinfrastrukturen zu vermeiden und Geräte und Infrastrukturen gemeinsam zu nutzen, insbesondere in weniger dicht besiedelten Gebieten. 		
Tier III			
Alle Tiers	<ul style="list-style-type: none"> Verbesserung der Infrastruktur für die Sammlung von Elektroschrott und der Recyclingprogramme, um die ordnungsgemäße Entsorgung und Verwertung wertvoller Materialien aus veralteten elektronischen Geräten sicherzustellen. Stellen Sie die Rahmenbedingungen sicher, die eine längere Lebensdauer ermöglichen. 		<ul style="list-style-type: none"> Wahrung der Transparenz über die Umweltauswirkungen digitaler Infrastrukturen, Geräte und Dienste.

4.2.3 Ziel Nr. 3: Schlichtung der digitalen Nutzung

	Behörden	Bürger	Unternehmen und Organisationen
Tier I			
Tier II			
Tier III	<ul style="list-style-type: none"> Regulierung und Verlangsamung der Ausbreitung neuer Nutzungen, insbesondere des Einsatzes von KI. 		
Alle Tiers	<ul style="list-style-type: none"> Information und Konsultation der Bürgerinnen und Bürger über die Umweltfolgen digitaler Technologien und Förderung eines gemeinsamen Ansatzes für einen nachhaltigen digitalen Wandel. Implementieren Sie klare Umweltstandards und Nutzungsbeschränkungen, insbesondere in Bereichen mit hoher Auswirkung wie künstlicher Intelligenz, um die Auswirkungen auf die Umwelt zu verringern. 	<ul style="list-style-type: none"> Reflektieren Sie das persönliche digitale Konsumverhalten und suchen Sie Informationen über die Auswirkungen der digitalen Nutzung auf die Umwelt. 	<ul style="list-style-type: none"> Wandel hin zu Geschäftsmodellen, die die Abhängigkeit von der kontinuierlichen Produktion und dem Verkauf neuer elektronischer Geräte verringern
	<ul style="list-style-type: none"> Hinterfragen Sie die Umweltkosten und den erwarteten Nutzen neuer Technologien wie 6G, vernetzte Uhren, KI usw. 		

5. Schlussfolgerung

5.1 Wichtigste Ergebnisse

Diese Studie untersucht detailliert die Umweltauswirkungen des Sektors **der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) in der Schweiz** und zeigt eine Realität auf, die oft unterschätzt wird: Digitale Technologien haben erhebliche **Auswirkungen auf die Umwelt**. Der digitale Sektor ist weit davon entfernt, immateriell zu sein, sondern stark von physischen Ressourcen abhängig und produziert erhebliche Emissionen und Abfall.

Die erste Beobachtung ist, dass **die Schweiz stark digitalisiert ist**. Im Jahr 2024 greifen 99 % der Bevölkerung regelmäßig auf das Internet zu und jeder Einwohner besitzt durchschnittlich 6 digitale Geräte. Zudem verbrauchen ICT-Infrastrukturen 12% des Stromverbrauchs der Schweiz.

IKT verbrauchen erhebliche Teile des durch die planetaren Grenzen begrenzten sicheren Handlungsraums, insbesondere für die Nutzung mineralischer Ressourcen, die Ökotoxizität von Süßwasser und den Klimawandel. Sein **Fußabdruck nimmt rapide zu**, wobei je nach Umweltkategorie bis 2035 **ein Anstieg von 27 % bis 151 % erwartet** wird. Diese Trends sind auf das Wachstum der Bevölkerung und das Wachstum neuer Anwendungen (generative KI, Blockchain, virtuelle Realität usw.) zurückzuführen.

Darüber hinaus unterstreicht diese Studie die **entscheidende Rolle der Nutzung materieller Ressourcen**, insbesondere von Seltenen Erden und strategischen Metallen, bei der Umweltbelastung durch digitale Technologien. Digitale Technologien verbrauchen 65 % des jährlichen nachhaltigen Budgets, das durch die planetaren Grenzen in

Bezug auf den Verbrauch von Mineral- und Metallressourcen definiert ist. Es wird erwartet, dass es bis 2035 auf 83 % ansteigen wird. Dies ist angesichts der steigenden Nachfrage nach Elektronik besonders besorgniserregend.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass **die Ausrüstung der Endverbraucher im Jahr 2024 der Haupttreiber für die Umweltauswirkungen in der Schweiz ist**. Die Trends bis 2035 zeigen jedoch, dass die Zahl der Rechenzentren und Netzwerke zunimmt und **Rechenzentren bis 2035 die größten Auswirkungen haben werden**.

All diese Beobachtungen unterstreichen die Notwendigkeit **gezielter Minderungsstrategien** sowie eines breiteren Governance-Rahmens, um die Nachhaltigkeit der digitalen Transformation zu gewährleisten. Als hochgradig vernetzte und technologisch fortschrittliche Nation spielt die Schweiz eine zentrale Rolle, sowohl bei der Festlegung der nationalen Politik als auch bei der Beeinflussung der globalen Bemühungen um digitale Nachhaltigkeit.

Die Verantwortung für die Minderung der Umweltauswirkungen darf nicht allein bei den einzelnen Verbrauchern liegen.

Hersteller, politische Entscheidungsträger und Organisationen müssen eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung nachhaltiger Praktiken und Richtlinien spielen. Die drei Hauptziele, die die Empfehlungen strukturieren, sind:

- **Verringerung des Bedarfs an der Herstellung neuer Geräte;**
- **Entwicklung und Herstellung effizienterer Geräte und Infrastrukturen;**

- **Vermittlung der digitalen Nutzung.**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass **die digitale Nüchternheit**, weniger zu tun und es besser zu machen, im Zentrum der Schweizer Digitalpolitik stehen muss. Technische Effizienz allein wird nicht ausreichen. Eine nachhaltige IKT-Zukunft wird davon abhängen, die Nachfrage zu steuern, die Produktlebensdauer zu verlängern und digitale Dienste so umzugestalten, dass sie den gesellschaftlichen Bedürfnissen entsprechen, ohne die planetaren Grenzen zu überschreiten.

5.2 Grenzen der Studie

Die in dieser Studie vorgestellten Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen bieten zwar ein robustes und strukturiertes Verständnis der Umweltauswirkungen des ICT-Sektors in der Schweiz, müssen jedoch unter dem Hintergrund bestimmter **methodischer und datenbezogener Einschränkungen** betrachtet werden.

Diese Zwänge stellen nicht die allgemeine Gültigkeit der Ergebnisse in Frage, sondern verdeutlichen vielmehr, unter welchen Bedingungen sie zu interpretieren sind. Die transparente Auseinandersetzung mit diesen Aspekten ist unerlässlich, um eine kritische Lektüre der Studie zu unterstützen und Verbesserungen in zukünftigen Bewertungen zu ermöglichen.

5.2.1 Einschränkungen aufgrund des Studiumumfangs

Es müssen mehrere Einschränkungen im Zusammenhang mit dem Umfang der Analyse eingeräumt werden, da sie zu einer leichten Unterschätzung der Auswirkungen führen können:

- Einige Ausrüstungs- und Infrastrukturkategorien wurden **aufgrund unzureichender oder**

unzuverlässiger Daten nicht berücksichtigt, um die methodische Kohärenz der Analyse zu gewährleisten.

- Nicht alle Lebenszyklusphasen wurden vollständig berücksichtigt. **Wartung, Modernisierung** und Modernisierung wurden **trotz ihrer wachsenden Bedeutung in Kreislaufwirtschaftsmodellen** unterlassen;
- **Indirekte Auswirkungen**, wie z. B. das Pendeln der Mitarbeiter und die Gemeinkosten für die Infrastruktur, wurden ebenfalls nicht berücksichtigt.

5.2.2 Einschränkungen im Zusammenhang mit der Lebenszyklusinventur und der Datenerhebung

Die Studie stößt auf Einschränkungen im Zusammenhang mit den Daten des Lebenszyklusinventars (LCI) und den Modellierungsannahmen. Zu den wichtigsten Unsicherheiten gehören:

- **Verallgemeinerte Schätzungen** werden für technische Spezifikationen, den Energieverbrauch und die Produktlebensdauer verwendet und spiegeln möglicherweise nicht die Vielfalt der Geräte auf dem Schweizer Markt vollständig wider.
- **Projektionen bis 2035** stützen sich auf historische Trends und lineare Annahmen, die disruptive Veränderungen oder politische Veränderungen übersehen können, so dass diese Prognosen eher plausible Szenarien als präzise Vorhersagen sind.
- Verwendung eines **Schweizer Strommixes im Jahresdurchschnitt**, der saisonale Schwankungen nicht erfassen darf;
- Zu den weiteren Herausforderungen gehören begrenzte Daten über IoT-Geräte und nicht quantifizierte

Auswirkungen des internationalen Datenaustauschs.

5.2.3 Mögliche Verbesserungen

Obwohl diese Studie einen soliden Ausgangspunkt für die Bewertung der Umweltauswirkungen des Schweizer IKT-Sektors bietet, könnten künftige Analysen ein umfassenderes und differenzierteres Verständnis des gesamten Sektorfussabdrucks ermöglichen, etwa durch:

- Erweiterung des Anwendungsbereichs auf übersehene Technologien (wie bestimmte IoT-Geräte und industrielle Systeme);
- Präzisere Unterscheidungen zwischen persönlichen und beruflichen Infrastrukturen und Geräten vornehmen;
- Dynamischeren Ansatz für die prognostizierten Auswirkungen, der die sich im Laufe der Zeit entwickelnden Technologien und Verhaltensweisen widerspiegelt.

Dies wird dazu beitragen, **die Präzision und politische Relevanz zukünftiger Bewertungen zu erhöhen.**

5.3 Danksagung

Wir möchten uns bei allen, die zu dieser Studie beigetragen haben, herzlich bedanken.

In erster Linie möchten wir uns herzlich bei den Experten der Internationalen Fernmeldeunion (Auf Englisch, *International Telecommunication Union*, ITU-T Study Group 5, Q9) sowie bei den folgenden Personen bedanken, die aktiv teilgenommen und freundlicherweise ihre Zeit und Aufmerksamkeit zur Verfügung gestellt haben,

um die äußerste Strenge des Hauptstudienberichts zu gewährleisten:

- Dr. Thibault Simon, F&E-Ingenieur bei Resilio - PhD in Informatik
- Hon. Pr. Jean Pierre Danthine – Enterprise For Society Center, UNIL-HEC, IMD, EPFL
- Prof. Jan Bieser – Berner Fachhochschule (BFH), Universität Zürich (UZH)
- Prof. Michael Zwicky Hauschild – Technische Universität Dänemark (DTU)
- Frau Gudrun Gudmundsdottir – Technische Universität Dänemark (DTU)

Einen besonderen Dank möchten wir auch dem Enterprise for Society Center (E4S) und der Internationalen Fernmeldeunion (ITU) aussprechen, mit denen wir bei dieser Studie zusammengearbeitet haben und die uns dabei helfen, die Bedeutung der Bewertung der Auswirkungen digitaler Technologien bekannt zu machen.

Wir bedanken uns auch bei OpenCH und Barbara Dravec für die begeisterte Unterstützung mit der Schweizer Community von gleichgesinnten Akteuren.

Diese Studie wurde auch dank der Unterstützung von Swisscom, dem Kanton Waadt und all unseren Partnern ermöglicht, die bei der Datenerhebung mitgeholfen haben und mit denen es eine Freude war, eng zusammenzuarbeiten.

Schliesslich danken wir Exoscale, Hidora, Nexthink, OneTeam, Orange Business, SparkIT und dem Swiss Institute for Sustainable IT (ISIT-CH) für die finanzielle Unterstützung, die sie zur Unterstützung dieser Studie geleistet haben.

Partners:



**Centre Enterprise for Society
(E4S)**

e4s.center

info@e4s.center

Resilio

resilio-solutions.com

contact@resilio.tech

Entreprise for Society Center, Route de Blévallaire 16, 1024 Ecublens

Resilio SA - EPFL Innovation Park, Bâtiment C, 1015 Lausanne

Weißbuch - Umweltauswirkungen der ICT-Branche in der Schweiz

sustainableit.ch

