



**Universität
Zürich** ^{UZH}

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit

Chancen und Risiken der Digitalisierung für den Klimaschutz in der Schweiz

Zusammenfassung

Lorenz M. Hilty, Jan C. T. Bieser

Institut für Informatik
Universität Zürich
Zürich, Schweiz

Oktober 2017



Impressum

Autoren

Prof. Dr. Lorenz M. Hilty, Universität Zürich und
Empa Materials Science and Technology
Jan C. T. Bieser, Universität Zürich

Unter Mitarbeit von

Miro Meyer de Stadelhofen, Universität Zürich

In Zusammenarbeit mit

Swisscom AG:
Res Witschi
Marius Schlegel
Mischa Kaspar
WWF Schweiz:
Sabine Lötscher
Nico Frey

Kontakt

Prof. Dr. Lorenz M. Hilty
hilty@ifi.uzh.ch
Institut für Informatik
Binzmühlestrasse 14
8050 Zurich

© Universität Zürich, Schweiz
Zürich, Oktober 2017

Die vollständige Fassung dieses Berichts im Umfang von 62 Seiten wird zeitgleich unter dem Titel „Opportunities and Risks of Digitalization for Climate Protection in Switzerland“ in englischer Sprache veröffentlicht. Massgeblich ist der Text der englischsprachigen Fassung.

Das Projekt, das diesem Bericht zugrunde liegt, wurde von der Swisscom AG und dem WWF im Rahmen ihrer langjährigen Partnerschaft mit dem Schwerpunkt Klimaschutz und Digitalisierung finanziell gefördert.

Zusammenfassung

Die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ist ein wichtiger Wegbereiter für eine kohlenstoffarme Wirtschaft in der Schweiz. Die IKT hat das Potenzial, im Jahr 2025 in der Schweiz bis zu 3,37-mal mehr Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu vermeiden, als IKT-Geräte und -Infrastrukturen durch deren Produktion, Betrieb und Entsorgung insgesamt verursachen werden. In absoluten Zahlen bedeutet dies, dass in 2025 in der Schweiz durch IKT bis zu 6,99 Mt CO₂-Äquivalente (CO₂-e) pro Jahr eingespart werden können, während die IKT selbst einen THG-Fussabdruck von 2,08 MT CO₂-e aufweist (siehe Abbildung 1).

Diese grosse Chance für den IKT-Sektor, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, kann jedoch nur unter optimistischen Annahmen realisiert werden. Insbesondere müssen die bestehenden technischen und wirtschaftlichen Potenziale durch ambitionierte und zielgerichtete Massnahmen systematisch ausgeschöpft werden. Besonders hohe Potenziale zur Senkung von THG-Emissionen durch IKT-basierte („smarte“) Lösungen liegen im Verkehrs-, Gebäude und Energiesektor. Gleichzeitig muss der THG-Ausstoss des IKT-Sektors selbst um 17% sinken, was durch Effizienzsteigerungen technisch und wirtschaftlich erreichbar ist.

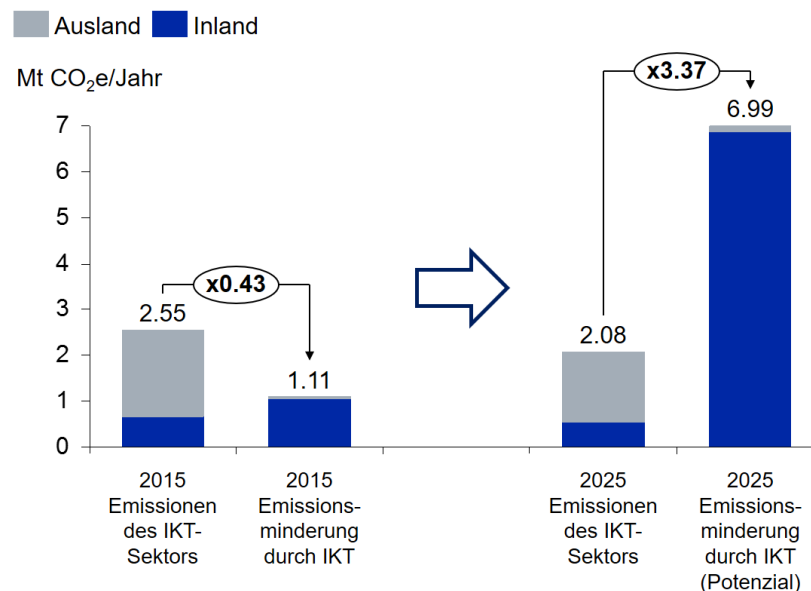


Abbildung 1: Der schweizerische IKT-Sektor verursacht THG-Emissionen sowohl im Inland als auch im Ausland. Gleichzeitig trägt die Anwendung von IKT in der Schweiz zur Minderung von THG in anderen Sektoren bei. Projektion von 2015 bis 2025.

Die Messungen und Projektionen des THG-Fussabdrucks des IKT-Sektors basieren auf einer verbrauchsorientierten Sicht. Das bedeutet, dass den in der Schweiz genutzten IKT-Geräten und -Dienstleistungen auch Emissionen zugerechnet werden,

welche bei der Produktion importierter IKT-Geräte in anderen Ländern entstehen („eingebettete Emissionen“). Für die Schätzung der durch IKT-Anwendungen ermöglichten THG-Minderung werden ebenfalls die Auswirkungen auf Emissionen im Ausland mitberücksichtigt. Wie Abbildung 1 zeigt, entfällt ein wesentlicher Teil der THG-Emissionen des IKT-Sektors auf das Ausland, während fast die gesamte durch IKT-Anwendungen ermöglichte THG-Minderung in der Schweiz stattfindet.

Die hier vorgelegte Studie hat die Chancen und Risiken der Digitalisierung für den Klimaschutz in der Schweiz untersucht und sich dabei auf zwei Aspekte konzentriert:

- den eigenen THG-Fussabdruck des IKT-Sektors (direkte Auswirkungen der IKT auf die THG-Emissionen) und
- das Potenzial der IKT zur Minderung von THG-Emissionen (indirekte Auswirkungen der IKT auf die THG-Emissionen).

Der eigene THG-Fussabdruck des IKT-Sektors:

Unsere Studie ergab, dass der grösste Teil der THG-Emissionen des IKT-Sektors von Endbenutzergeräten verursacht wird. Derzeit werden etwa $\frac{2}{3}$ der verbrauchsbedingten THG-Emissionen der IKT in der Schweiz durch Desktop-, Laptop- und Tablet-Computer, Smartphones und Drucker verursacht, während $\frac{1}{3}$ der Emissionen durch Betreiber von Telekommunikationsnetzen und Rechenzentren verursacht werden (Zahlen von 2015).

Abbildung 2 zeigt, wie sich die jährlichen Emissionen auf die einzelnen Gerätetypen verteilen. Der Ersatz von stationären Desktop-Computern („traditionelle PCs“) durch mobile Geräte (Laptops, Tablets, Smartphones), deren Gewicht und elektrische Leistungsaufnahme aus Komfortgründen begrenzt sind, bietet die Möglichkeit, sowohl die Emissionen der Nutzungs- als auch die der Herstellungsphase zu reduzieren. Mobile Geräte könnte man sogar als „energiesuffizient“ bezeichnen, da ihr Stromverbrauch auf einem niedrigen Niveau gehalten werden muss, um lange Laufzeiten mit kleinen und leichten Akkus zu erreichen. Mithin besteht die Möglichkeit, die durch IKT-Nutzung verursachten Pro-Kopf-Emissionen zu senken und gleichzeitig die Nutzerfreundlichkeit zu verbessern. Mit diesem Wandel hin zu leichten und energiesuffizienten mobilen Geräten nimmt der relative Anteil der Produktionsphase an den Emissionen zu. Das heisst, es wird für den IKT-Sektor zunehmend wichtig, die Lieferkette „grüner“ zu machen und „eingebettete Emissionen“ (Emissionen, die in jenen Ländern entstehen, in denen die Geräte hergestellt und die Rohstoffe dafür abgebaut werden) zu verringern. Entscheidend ist also, dass der Einsatz fossiler Energie über den *gesamten* Lebenszyklus der Produkte reduziert wird.

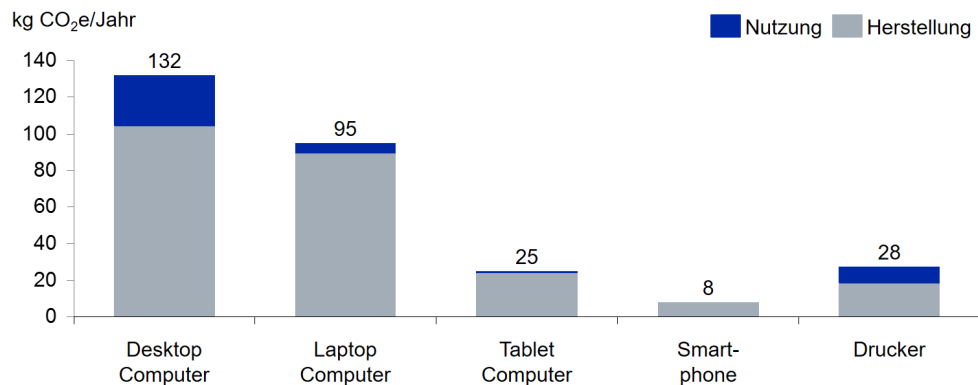


Abbildung 2: Durchschnittliche jährliche Treibhausgas-Emissionen pro Gerät während Produktion und Nutzung, nach Gerätetyp. Die jährlichen Werte der Produktionsemissionen (grau) basieren auf der aktuellen durchschnittlichen Nutzungsdauer der Geräte.

Das grösste Risiko für den zukünftigen THG-Fussabdruck des IKT-Sektors ist, dass dieser positive Trend durch eine wachsende Zahl von Geräten pro Kopf und geringere Nutzungsdauern der Geräte kompensiert oder gar überkompensiert wird. Im ungünstigsten Fall würde sich eine generelle Wergwerfmentalität für digitale Elektronik ausbreiten. Dies würde den THG-Fussabdruck des IKT-Sektors selbst unter den Bedingungen des etablierten Schweizer Recycling-Systems für Elektro- und Elektronikabfall erheblich vergrössern. Wenn sich eine gleichbleibende (oder sogar zunehmende) Menge von knappen Rohstoffen auf eine grössere Anzahl von immer kleineren Geräten verteilt, wird die Feinverteilung (und damit irreversible Nutzung) vieler seltener Metalle zunehmen. Ressourcenverknappung und der Aufwand, welcher für die Gewinnung und Rückgewinnung knapper Rohstoffe betrieben werden muss (auch in Form von Energieaufwand und resultierenden Emissionen), werden infolgedessen zunehmen. Ein zweites Risiko besteht darin, dass der Datenverkehr im Internet, insbesondere der Datenaustausch zwischen Maschinen, in Zukunft schneller wächst als die Energieeffizienz der Infrastruktur; dies würde zu steigenden Emissionen des dominierenden Teils des globalen Internets führen, der noch mit nicht-erneuerbaren Energien betrieben wird.

Das Potenzial der IKT zur THG-Minderung:

Im Rahmen unserer Studie haben wir zehn Anwendungsfälle untersucht, welche in der internationalen Literatur bereits diskutiert werden. Dabei haben wir jeweils zwei Parameter für die Schweiz neu abgeschätzt, die für unsere Projektion bis 2025 entscheidend sind: Die Adoptionsrate (Grad der Marktdurchdringung) und das Ausmass der THG-Minderung. Wir haben drei Szenarien berechnet, um sowohl der Datenunsicherheit als auch der Tatsache, dass die Zukunft noch beeinflusst werden kann, gerecht zu werden (Abbildung 3). Die dunkelblauen Abschnitte der Balken in Abbildung 3 zeigen die Ergebnisse für das pessimistische Szenario, welches zu

einem THG-Minderungspotenzial von 0,72 Mt CO₂-e pro Jahr führt. Beim optimistischen Szenario beträgt das Minderungspotenzial 6,99 Mt CO₂-e pro Jahr. Das Szenario, das wir unter „Business as usual“-Bedingungen erwarten, ergibt ein Minderungspotenzial von 2,79 Mt CO₂-e pro Jahr. Alle Szenarien basieren auf Anwendungsfällen, die mit bereits vorhandener Technik realisierbar sind und ihren Nutzern einen wirtschaftlichen Vorteil bieten.

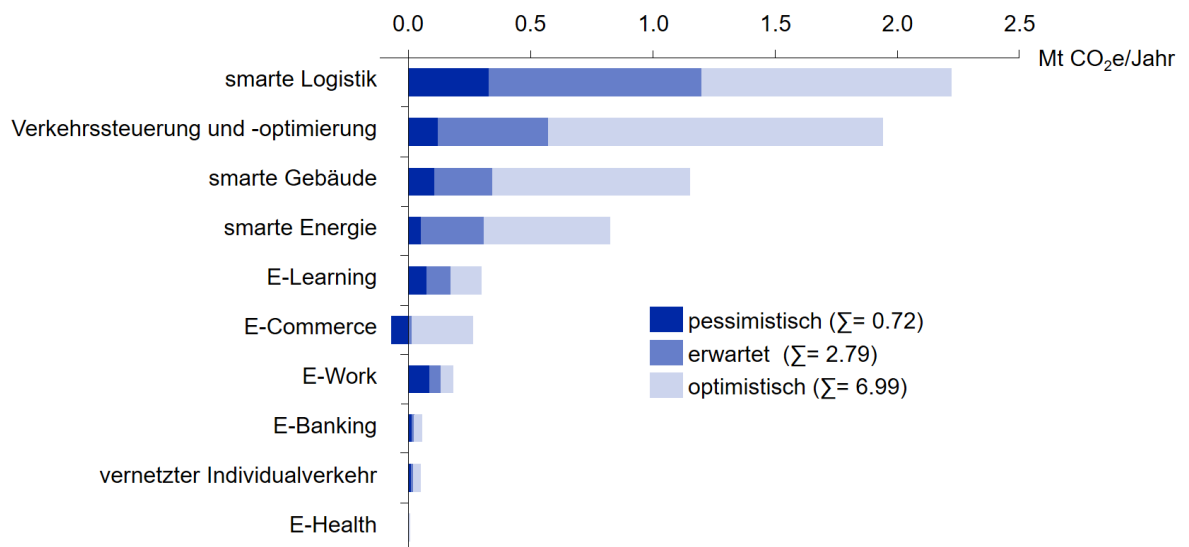


Abbildung 3: THG-Minderungspotenzial der Anwendungsfälle im Jahr 2025 in einem pessimistischen, einem erwarteten und einem optimistischen Szenario.

Es besteht die einmalige Chance, durch ambitionierte und zielgerichtete Massnahmen binnen weniger als einem Jahrzehnt IKT-basierte Lösungen umzusetzen, welche sowohl technisch als auch hinsichtlich ihrer Geschäftsmodelle zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft beitragen. Dies kann hauptsächlich durch die Weiterentwicklung intelligenter Lösungen in Logistik, Verkehrssteuerung und -optimierung sowie im Management von Gebäuden und elektrischer Energie geschehen. Die Freisetzung dieses THG-Minderungspotenzials würde einen wesentlichen Beitrag zu den THG-Reduktionszielen der Schweiz leisten.

Das Hauptrisiko für den Beitrag der IKT zum Klimaschutz ist, dass das beschriebene Minderungspotenzial nicht realisiert wird, weil die Lösungen von Unternehmen und Endverbrauchern nicht angenommen werden; dies entspricht dem pessimistischen Szenario. IKT-basierte („smarte“) Lösungen sind nur dann akzeptabel, wenn Unternehmen und Endverbraucher sie einfach und sicher verwenden können sowie Gewissheit haben, dass die enormen Datenmengen, die dabei generiert und verarbeitet werden, von niemandem gegen ihre Interessen verwendet werden, weder von staatlicher Seite noch von Konkurrenten oder Cyberkriminellen. Ein weiteres Risiko in einigen Anwendungsbereichen sind Rebound-Effekte (steigende

Nachfrage aufgrund geringerer Kosten), welche die THG-Minderung wieder kompensieren können.

Fallstudien zu vielversprechenden Anwendungsfällen:

Um das Verständnis von Treibern und Barrieren IKT-basierter THG-Minderung zu vertiefen, haben wir fünf Beispiele näher untersucht:

- Unternehmensübergreifende Logistik (Beispiel für smarte Logistik): Die IKT-basierte gemeinsame Nutzung logistischer Anlagegüter zwischen Unternehmen im Strassengüterverkehr kann die Auslastung der Anlagegüter verbessern und die THG-Emissionen pro Tonnenkilometer reduzieren. Der flexible Einsatz der Anlagegüter kann Teil der Vision „Industrie 4.0“ sein. Wirksame politische Massnahmen sind notwendig, um eine Erhöhung der Nachfrage nach Transportdienstleistungen als Reaktion auf niedrigere Kosten (Rebound-Effekt) zu vermeiden.
- Intelligente Heizsysteme (Beispiel für smarte Gebäude): Intelligente Heizsysteme können den Energieverbrauch von Haushalten deutlich reduzieren, ohne dass dies den Komfort der Bewohner beeinträchtigt. Für Gebäude, die vor 1980 gebaut wurden, und für Einfamilienhäuser gilt eine intelligente Heizung als die „low hanging fruit“ der Energieeinsparung. Die IKT- und die Heizungsbranche wie auch Versorgungsunternehmen sollten kooperieren, um den Einsatz intelligenter Heizungstechnik zu standardisieren und zu vereinfachen.
- Intelligentes Lastenmanagement (Demand-Side Management, DSM) beim Stromverbrauch (Beispiel für smarte Energieversorgung): DSM unterstützt die Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz und erhöht die Kapazitätsauslastung der bestehenden Infrastruktur. Zum Beispiel könnte das Einschalten eines Geschirrspülers auf einen Zeitpunkt verschoben werden, zu dem die Energienachfrage niedriger oder das Energieangebot höher ist. Um DSM flächendeckend einzusetzen, sind technische und regulatorische Standards erforderlich.
- Coworking (Beispiel für E-Work): IKT steigert nach und nach den Anteil an Arbeiten (v. a. Büroarbeit), welche ortsunabhängig ausgeführt werden können. Gleichzeitig ist die aktive Auslastung von Büroräumen im Durchschnitt niedrig, während die mit Bürogebäuden verbundenen THG-Emissionen hoch sind. Coworking-Spaces können die Auslastung von Büroflächen erhöhen, die benötigte Bürofläche reduzieren und Pendlerdistanzen senken. Darüber hinaus bieten sie Vorteile gegenüber dem Home-Office, wie z. B. die Möglichkeit, physische Meetings abzuhalten.
- Carsharing (Beispiel für vernetzten Individualverkehr): Die führende Rolle der Schweiz im Carsharing könnte als Ausgangspunkt für innovative Formen des Carsharings, wie z. B. „Free-Floating Carsharing“, genutzt werden. Um die Ab-

deckung innovativer Carsharing-Systeme zu verbessern, ist eine Kooperation zwischen Behörden, öffentlichen Verkehrsbetrieben und Carsharing-Anbietern erforderlich.

Unter der Voraussetzung, dass es für die Umstellung des Energiesystems auf 100% Strom aus erneuerbaren Quellen unerlässlich ist, bietet intelligentes Lastenmanagement ein hohes Potenzial zur THG-Minderung. Ebenfalls können die unternehmensübergreifende Logistik und intelligente Heizungssysteme einen wesentlichen Beitrag zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft leisten. Im direkten Vergleich sind die THG-Minderungspotenziale von Coworking und Carsharing deutlich geringer. Dennoch lohnt es sich, auch diese Möglichkeiten weiterzuverfolgen.

Systemgrenzen:

Die Studie konzentriert sich in ihren quantitativen Ergebnissen auf THG-Emissionen. Damit wurde einer von mehreren möglichen Umweltindikatoren ausgewählt (weitere wären z. B. die Verknappung von Ressourcen oder verschiedene Indikatoren für Toxizität). Wir konnten jedoch zeigen, dass sich die qualitativen Schlussfolgerungen der Studie auch bei Berücksichtigung weiterer wesentlicher Indikatoren nicht ändern würden.

Die Studie berücksichtigt keine Änderungen des Strommixes (ausser bei Anwendungsfällen, bei denen die Integration erneuerbarer Energien als Hebel für das THG-Minderungspotenzial dient). In unseren Projektionen haben wir einen konstanten Strommix verwendet, um die Auswirkungen der IKT deutlich abzugrenzen. Ein höherer Anteil erneuerbarer Energien im Schweizer Strommix hat unterschiedliche Auswirkungen auf unsere Ergebnisse. Insbesondere trägt ein THG-armer Strommix zur Senkung der Emissionen von in der Schweiz betriebenen Endnutzengeräten, Telekommunikationsnetzen und Rechenzentren bei. Allerdings hätte eine Umstellung auf kohlenstoffarme Energie in Ländern, in denen die IKT-Geräte produziert werden, einen noch grösseren Effekt.

Hinsichtlich des Effekts der IKT bei der Minderung von THG konzentriert sich diese Studie auf Anwendungsfälle, in denen ein THG-Minderungspotenzial zu erwarten ist. Es ist möglich, dass weitere Anwendungsfälle existieren, in denen IKT THG-intensive Aktivitäten ermöglicht oder fördert; in diesen Fällen spricht man von Induktionspotenzialen (im Gegensatz zu Minderungspotenzialen). Induktionspotenziale wurden im Rahmen der Studie nicht untersucht.

Einige Entwicklungen im IKT-Sektor konnten im Rahmen dieser Studie nicht vorhergesagt werden und wurden daher nicht einbezogen. Dazu gehören der allgemeine Trend zum „Internet der Dinge“ und bestimmte Anwendungen von Künstlicher Intelligenz wie z.B. selbstfahrende Autos und autonome Roboter.

Auch unter Berücksichtigung der aus diesen Einschränkungen resultierenden Unsicherheit können wir aus unseren Ergebnissen die folgenden Empfehlungen ableiten.

Empfehlungen:

- Schweizer Haushalte und Unternehmen können ihre direkten Umweltwirkungen verringern, indem sie alte stationäre Geräte durch mobile Geräte (Laptops, Tablets, Smartphones) ersetzen
- Schweizer Haushalte und Unternehmen sollten den Nutzen von IKT-basierten („smarten“) Lösungen im Einzelfall prüfen; speziell in Bereichen, in denen Investitionen ein erhebliches THG-Minderungspotenzial bieten. Insbesondere können das intelligente Lastenmanagement des Stromverbrauchs, intelligente Heizsysteme, Carsharing oder die gemeinsame Nutzung anderer Anlagegüter erhebliche positive Effekte haben; ihre tatsächlichen Auswirkungen sind jedoch kontextabhängig und müssen im Einzelfall beurteilt werden.
- Schweizer IKT-Unternehmen, wie Betreiber von Telekommunikationsnetzen, sollten ihre lokalen THG-Emissionen reduzieren sowie ihre Nachfragemacht nutzen, um die Lieferkette für importierte Geräte konsequent in Richtung grüner und fairer Beschaffung zu beeinflussen.
- Schweizer IKT-Unternehmen, wie Betreiber von Telekommunikationsnetzen, sollten in Bereichen mit hohem THG-Minderungspotenzial (Transportwesen, smarte Gebäude, smarte Energieversorgung) IKT-basierte kohlenstoffarme Lösungen entwickeln und diese ihren B2B- und B2C-Kunden anbieten.
- Politische Entscheidungsträger sollten Rahmenbedingungen schaffen, die sichere und datenschutzfreundliche IKT-Lösungen ermöglichen und fördern.
- Politische Entscheidungsträger sollten die Entwicklung offener technischer Standards fördern und Anreize für die Umsetzung IKT-basierter kohlenstoffarmer Lösungen schaffen, insbesondere in Bereichen mit hohem THG-Minderungspotenzial.