

Smart und grün – digitale Wege zum Klimaziel

*Die Schweiz verschenkt Klimaschutzpotenzial
durch zu geringe Ambitionen in der Digitalisierung*



In Kollaboration veröffentlicht:

digital**switzerland** 



accenture

Agenda

- 1 Executive Summary
- 2 Ergebnisübersicht
- 3 Zielstellung und Methodik
- 4 CO₂eq-Einsparpotenziale digitaler Technologien
- 5 Fussabdruck digitaler Technologien
- 6 Projektlenkung und Projektteam
- 7 Anhang

Executive Summary



Die Schweiz hat sich ambitionierte Klimaziele gesetzt. Kann die Digitalisierung dabei helfen, sie zu erreichen?

Klimawandel – Die Schweiz ist stark betroffen:

Der Klimawandel ist weltweit nachweisbar, trifft die Schweiz als Alpenland aber besonders stark. So hat sich die Durchschnittstemperatur in der Schweiz seit der vorindustriellen Zeit um rund 2 Grad Celsius erhöht. Dies macht rund das Doppelte des globalen Durchschnitts aus.¹

Lücke von 16 Mt CO₂eq-Emissionen, die bis 2030 eingespart werden müssen:

Die Schweiz hat sich international zu Klimazielen verpflichtet, konkret müssen die Emissionen bis 2030 um 50% gegenüber 1990 reduziert werden – so schreibt es das Klimaabkommen von Paris vor. In der Schweiz entspricht dies einer Reduktion von 55 auf 28 Millionen Tonnen CO₂eq. Verglichen mit den heutigen (2023^a) Emissionen von 44 Mt CO₂eq, besteht noch eine Lücke von ~16 Mt CO₂eq.^{1,2,3}

Digitalisierung als Hebel zur Zielerreichung:

Die vorliegende Studie berechnet den Beitrag digitaler Technologien zum Schweizer Klimaziel 2030. Damit soll das Potenzial digitaler Technologien für den Klimaschutz benannt und so das Erreichen des Klimaziels 2030 unterstützt werden.

Vorgehen und Methodik:

Die Studie untersucht anhand von Sekundärliteratur und Expertenmeinungen ausgewählte digitale Technologien in den emissionsrelevantesten Sektoren Gebäude, Verkehr, Landwirtschaft, Industrie sowie dem für die Elektrifizierung aller Sektoren wichtigen Sektor Energie. Hierfür wird einerseits eine Quantifizierung der Einsparpotentiale durch Digitalisierung vorgenommen. Andererseits werden konkrete Anwendungsfälle aus der Praxis aufgezeigt.

Bei der Quantifizierung werden folgende Faktoren berücksichtigt:

- 1) Zwei verschiedene Digitalisierungsgeschwindigkeiten von Unternehmen, öffentlichen Institutionen und Privatpersonen werden berücksichtigt: „Standard“ vs. „Ambitioniert“.
- 2) Als Grundlage der Studie werden zwei, vom BFE erstellte, CO₂-Projektionen der Energieperspektiven 2050+⁴ herangezogen: „Weiter-wie-bisher“ (WWB) vs. „Zero Basis“.
- 3) Der CO₂-Fussabdruck der in der Studie betrachteten digitalen Technologien wird quantifiziert und von Bruttoeinsparungen abgezogen.

Jeder betrachtete Sektor umfasst zwei betrachtete Anwendungsfälle digitaler Technologien, die nach ihrem Reduktionspotenzial ausgewählt wurden:

Gebäude		Smart Homes
		Gebäudemanagementsysteme
Verkehr		Mobility-as-a-Service
		Echtzeit-Routenoptimierung
Landwirtschaft		Ortsspezifische Düngung
		Digitale Nutztierhaltung
Industrie		Automatisierung und Robotik
		Digitaler Zwilling und Simulation
Energie		Vorausschauende Instandhaltung
		Smart Grids

Die Digitalisierung ist ein grosser Hebel für den Klimaschutz – Die Schweiz nutzt ihn aber noch zu wenig

Ergebnis – Digitale Technologien tragen massgeblich zum Klimaziel 2030 bei:

Die untersuchten digitalen Technologien können zwischen 1,2 und 3,2 Mt CO₂eq an Einsparungen bis zum Jahr 2030 beitragen. Dies entspricht einer Einsparung von 7 bis 20% der Klimalücke (die von heute an bis 2030 zu reduzierenden Emissionen). Zum Vergleich: Der Kanton Thurgau emittierte im Jahr 2018 etwa 1,5 Mt CO₂eq.

Ambitioniert digitalisieren ist wichtig – CO₂eq-Einsparungen werden durch eine ambitionierte Digitalisierung verdoppelt:

Die Ergebnisse zeigen, dass Unterschiede zwischen einer Standard-Digitalisierung und ambitionierteren Digitalisierung weit auseinanderklaffen. In den untersuchten Anwendungsfällen können in der Schweiz mehr als doppelt so viele Emissionen durch ambitionierte Digitalisierung reduziert werden.

Verkehrssektor und Gebäudesektor bergen hohe Nettoeffekte durch Digitalisierung:

Unter den betrachteten Sektoren kann bei einer ambitionierten Digitalisierung der Verkehrssektor den grössten Beitrag zum Schliessen der Klimalücke 2030 leisten (2%–7% der Klimalücke). Der Gebäudesektor steuert mit 2–5% ebenfalls viel bei. Bei einer Standard-Digitalisierung zeigt der Gebäudesektor den höchsten Beitrag zum Schliessen der Klimalücke.

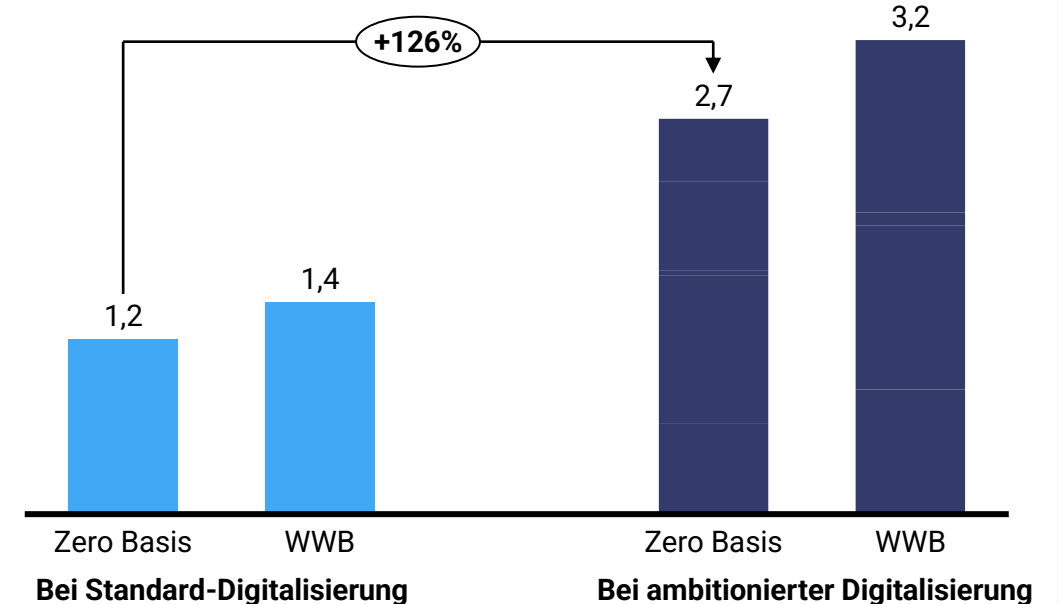
Landwirtschaft – Ein kleines Zahnrad mit grossem Potenzial:

Trotz des geringeren Beitrags zur Klimalücke (2–4%) hat der Sektor mit Betrachtung der eigenen Sektor-Emissionen ein hohes relatives Einsparpotenzial (6–11%).^a

Energiesektor ermöglicht Elektrifizierung der weiteren Sektoren:

Der Schweiz kommt ihr bereits heute fast klimaneutraler Strommix entgegen, dadurch weist der Energiesektor ein geringes CO₂eq-Einsparpotenzial von 0,1–0,5% der Klimalücke durch Digitalisierung auf. Dennoch wird seine wichtige Rolle gezeigt, um durch Stabilitätsverbesserungen und Effizienzsteigerungen die Elektrifizierung der anderen Sektoren zu ermöglichen.

Durch ambitionierte Digitalisierung können mehr als doppelt so viele Emissionen eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Fazit

Eine ambitionierte Digitalisierung in der Schweiz ist essenziell, um das volle CO₂eq-Einsparpotenzial digitaler Technologien zu entfalten. Wirtschaft und Politik sind aufgerufen, notwendige Rahmenbedingungen zu schaffen, damit dieser Hebel stärker genutzt werden kann.

Ergebnisübersicht



Die Schweiz hat sich ambitionierte Ziele gesetzt. Jetzt geht es darum, diese auch zu erreichen



+2 Grad

Klimawandel – Die Schweiz erlebt seine Auswirkungen:

Der Klimawandel ist weltweit nachweisbar, und die Schweiz ist als Alpenland besonders stark betroffen. So hat sich die Durchschnittstemperatur seit der vorindustriellen Zeit um rund 2 Grad Celsius erhöht. Dies macht rund das Doppelte des globalen Durchschnitts aus. Spürbare Folgen sind häufigere Hitzetage, heftigere Niederschläge, trockenere Sommer und schneearme Winter. Auch in den Gletschergebieten sind die Auswirkungen des Klimawandels immer deutlicher erkennbar.¹

Hoffnungsvoller Ausblick – Revision des CO₂-Gesetzes gelingt:

Das CO₂-Gesetz verankert die Klimaziele auf nationaler Ebene und stellt eine wichtige Grundlage dar für Massnahmen zur Emissionsreduktion, z. B. in Form einer CO₂-Abgabe, eines Gebäudeprogramms oder CO₂-Emissionsvorschriften für Fahrzeuge. Das Parlament hat eine neue Vorlage für Ziele und Massnahmen für den Zeitraum von 2025 bis 2030 verabschiedet. Vorgesehen sind vor allem Investitionen in den Bereichen Gebäude, Verkehr und Energie.⁴



CO₂-Gesetz

Internationale Verpflichtungen – Die Schweiz setzt sich ambitionierte Klimaziele:

Um das Fortschreiten des Klimawandels einzudämmen und ihre Zukunft zu sichern, hat sich die Schweiz international verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen zu senken. Konkret müssen die Emissionen bis 2030 um 50% gegenüber 1990 reduziert werden – so schreibt es das Übereinkommen von Paris vor. Dies entspricht einer Reduktion von 55 auf 28 Millionen Tonnen CO₂eq. Verglichen mit den heutigen (2023^a) Emissionen von 44 Mt CO₂eq, besteht in der Schweiz noch eine Klimalücke von ~16 Mt CO₂eq.^{1,2}



2003
Ratifizierung
Kyoto-Protokoll

2017
Ratifizierung
Übereinkommen
von Paris

Innovationsstandort Schweiz – Die Schweiz erkennt das Potenzial der Digitalisierung für den Klimaschutz:

Um das Klimaziel 2030 zu erreichen, muss die Schweiz nun jeden Hebel nutzen. Dazu zählt auch die Digitalisierung. Mit der „Strategie Digitale Schweiz“ setzt der Bundesrat die Leitlinien für die digitale Transformation der Schweiz. Auch in der Energiestrategie 2050 hat die Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz oberste Priorität. Darüber hinaus fördert der Bund mit dem Technologiefond – eine Massnahme des oben genannten CO₂-Gesetzes – technologische Innovationen, die Treibhausgase oder den Ressourcenverbrauch reduzieren, den Einsatz erneuerbarer Energien begünstigen und die Energieeffizienz erhöhen.⁶ Die Schweiz erkennt das Potenzial aber nutzt es noch zu wenig. Die Studie will mit einer Quantifizierung des Potenzials einen Impuls setzen, um das zu ändern.



Etappenziele 2020 (vs. 1990) ⁵	Tatsächliche Reduktion ⁵	
Gebäude: -40%	-39%	✗
Verkehr: -10%	-8%	✗
Industrie: -15%	-17%	✓
Übrige ^b : -10%	-2%	✗

Zwischenbilanz 2020 – Die sektoralen Etappenziele wurden knapp nicht erreicht:

Das Zwischenziel, eine Reduktion der insgesamten Schweizer Emissionen von 20% bis 2020 gegenüber 1990, wurde mit 19% knapp verpasst. Die Sektoren Gebäude, Verkehr sowie die übrigen Emissionen aus Landwirtschaft, Abfall und synthetischen Gasen haben ihre jeweiligen Etappenziele für das Jahr 2020 im Vergleich zu 1990 verfehlt. Einzig der Industriesektor hat sein Reduktionsziel erreicht (17% Reduktion inklusive KVA – ohne KVA erreichte der Sektor ~35% Reduktion vs. 1990). Die Zahlen für das Jahr 2020 wurden während der Corona-Pandemie erhoben. Im Jahr 2021 stiegen die Emissionen um 3% (von 44 Mt CO₂eq auf 45 Mt CO₂eq).^{3,a}

1: Klimawandel in der Schweiz (admin.ch); 2: Klimaziele - MeteoSchweiz (admin.ch), Treibhausgasemissionen der Schweiz 1990-2021; 3: Treibhausgasinventar der Schweiz (admin.ch); 4: Klimawandel in der Schweiz (admin.ch); 22.061 | CO₂-Gesetz für die Zeit nach 2024. Revision | Geschäft | Das Schweizer Parlament; Langfristige Klimastrategie der Schweiz: Digitale Schweiz - UVEK (admin.ch), Massnahmen der Schweiz zur Verminderung ihrer Treibhausgasemissionen (admin.ch); 5: BAFU (2022); 6: Energiestrategie 2050 – Digitalisierung als absolute Priorität – OBT.

a: Da das Treibhausgasinventar das Jahr 2023 noch nicht inkludiert, wird für 2023 der Mittelwert des Zero Basis- und des WWB-Szenarios aus den Energieperspektiven 2050+ angenommen. b: Landwirtschaft, Abfall und synthetische Gase

Was bedeuten die Studienergebnisse für die Schweiz?



Christoph Mäder
Präsident economiesuisse

«Digitale Innovation ist nicht nur eine Chance für unseren Wohlstand, sondern auch ein zentrales Instrument im Kampf gegen den Klimawandel. Die Studie zeigt: Digitalisierung hat das Potenzial, **bis zu einem Fünftel der Klimalücke zu schliessen, die sich bei den Klimazielen bis 2030 öffnet.**»



Stefan Metzger
CEO digitalswitzerland

«Unsere Studie hat gezeigt, dass die Schweiz das Potenzial hat, durch digitale Technologien, **zwischen 1 bis 3 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2030** einzusparen. Als Kontext: Das entspricht **ein- bzw. zweimal den Gesamtemissionen des Kantons Thurgaus** (im Jahr 2018) - eine grosse Chance für Unternehmen die Ambitionierten Ziele der Schweiz signifikant zu unterstützen»

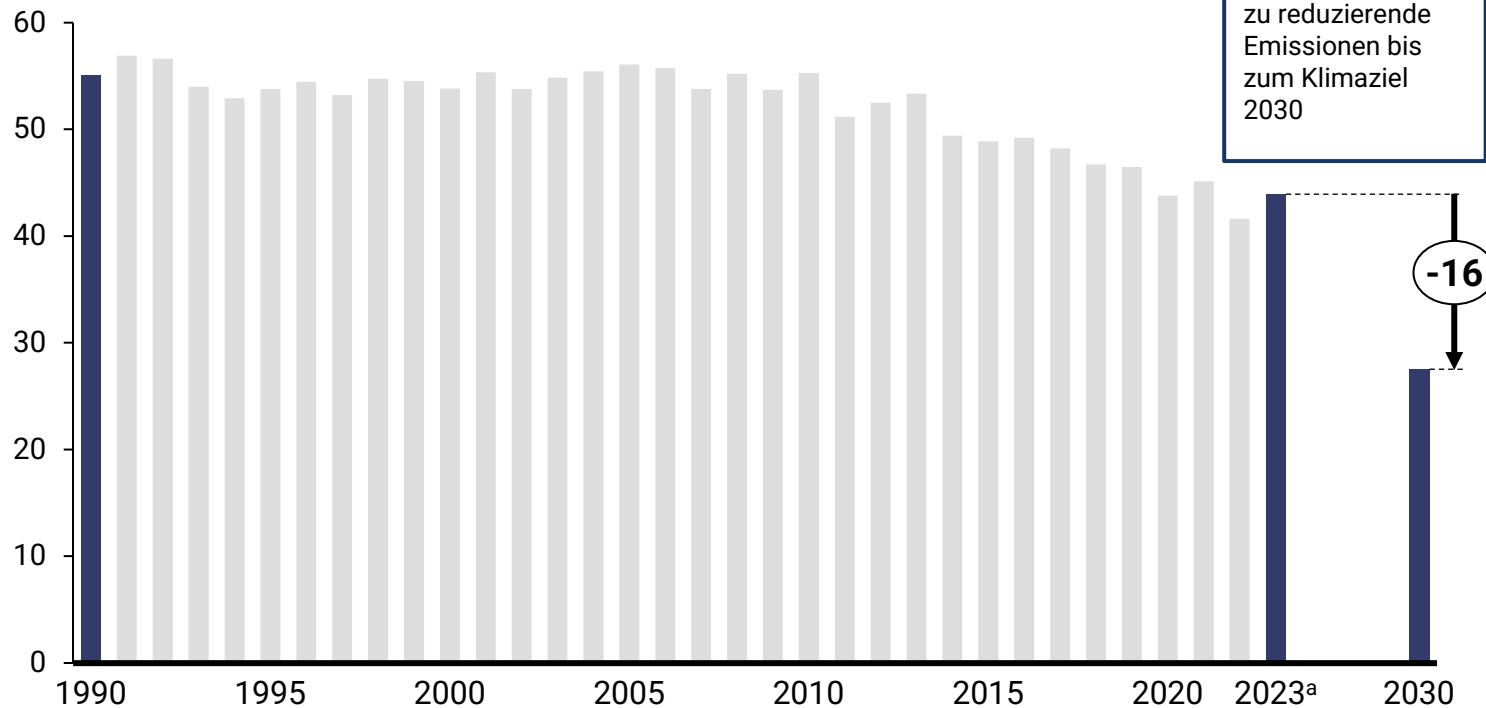


Marco Huwiler
Country Managing Director
Accenture Schweiz

«Eine Technologie ist immer dann gut, wenn sie nicht nur einen Nutzen hat, sondern auch wirtschaftlich Sinn macht. Wer in die Digitalisierung investiert, um Emissionen zu senken, reduziert nicht nur den eigenen CO₂-Fussabdruck, sondern legt auch den Grundstein für bessere Produkte und Services. **Weniger Emissionen, mehr Wettbewerbsfähigkeit** – das ist eine Win-Win-Situation.»

Ambitioniertes Klimaziel wird eine grosse Herausforderung für die Schweiz: Die CO₂eq-Emissionen müssen bis 2030 um 16 Mt CO₂eq sinken

Schweizer Emissionen sinken seit 1990, bis zum Zwischenziel in 2030 existiert noch eine Klimalücke von 16 Mt CO₂eq (in Mt CO₂eq)¹



Klimalücke: Noch zu reduzierende Emissionen bis zum Klimaziel 2030

-16

Klimaziele

Mit der Ratifizierung des Pariser Klimaabkommens im Jahr 2017 hat sich die Schweiz dazu verpflichtet, bis 2030 die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 zu halbieren. Dies entspricht einer Reduktion von 55 Mt CO₂eq im Jahr 1990 auf 28 Mt CO₂eq im Jahr 2030.

Rückblick

In den letzten 33 Jahren (1990–2023^a) hat die Schweiz ihre Emissionen von 55 Mt CO₂eq auf 44 Mt CO₂eq reduziert. Dies entspricht einer Reduktion von 11 Mt CO₂eq (20% Reduktion). Gleichzeitig ist das BIP zwischen 1990 und 2023 von rund 369 Mrd. CHF auf 781 Mrd. CHF angestiegen (112% Wachstum).² Vom Gesamtminderungsziel 1990–2030 wurden bis 2023 fast die Hälfte erreicht – das aber in 33 Jahren, die andere Hälfte muss in den nächsten 7 Jahren erreicht werden.

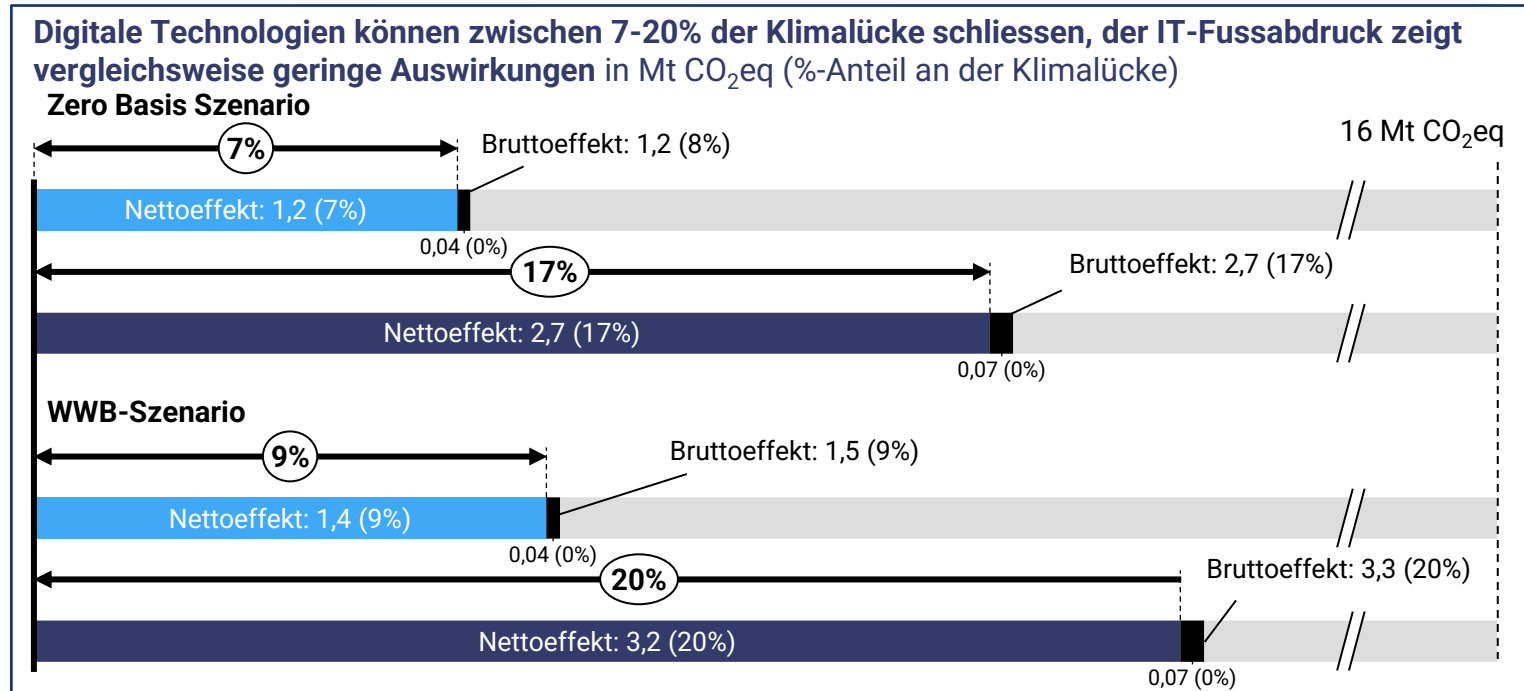
Klimalücke

Um das Klimaziel 2030 noch zu erreichen, müssen die Jahresemissionen im Jahr 2030 gegenüber 2023 um 16 Mt CO₂eq (37% Reduktion) verringert werden, definiert als Klimalücke. Um zu erschliessen, wie Digitalisierung dabei helfen kann, untersucht die Studie zwei Digitalisierungsgeschwindigkeiten – „Standard“ und „Ambitioniert“.

Quellen: 1: BAFU (2024); 2: Bruttoinlandprodukt, lange Serie - 1948-2022 | BfS (admin.ch)

Anmerkungen: a: Da das Treibhausgasinventar das Jahr 2023 bisher noch nicht inkludiert ist, wird der Mittelwert des Zero Basis- und des WWB-Szenarios aus den Energieperspektiven 2050+ für 2023 angenommen.

Digitalisierung als wichtiger Hebel: Digitale Technologien können 7 bis 20% zum Erreichen des Schweizer Klimaziels 2030 beitragen



Zwei gegenläufige Effekte

In dieser Studie wird zum einen das CO₂eq-Einsparpotenzial der Technologien im Jahr 2030 berechnet, zum anderen die Emissionen, die durch den CO₂eq-Fussabdruck der digitalen Technologien verursacht werden.

CO₂eq-Einsparpotenzial

Bei der Standard-Digitalisierung können digitale Technologien brutto ca. 1,2 bis 1,5 Mt CO₂eq zum aktuellen Minderungsziel beitragen, bei einer ambitionierten Digitalisierung 2,7 bis 3,3 Mt CO₂eq.

CO₂eq-Fussabdruck der digitalen Technologien

Jede der betrachteten digitalen Technologien erzeugt eine spezifische Menge an CO₂eq als ihren Fussabdruck: bei einer Standard-Digitalisierung etwa 0,04 Mt CO₂eq und bei einer ambitionierten Digitalisierung etwa 0,07 Mt CO₂eq.

CO₂eq-Nettoeffekt

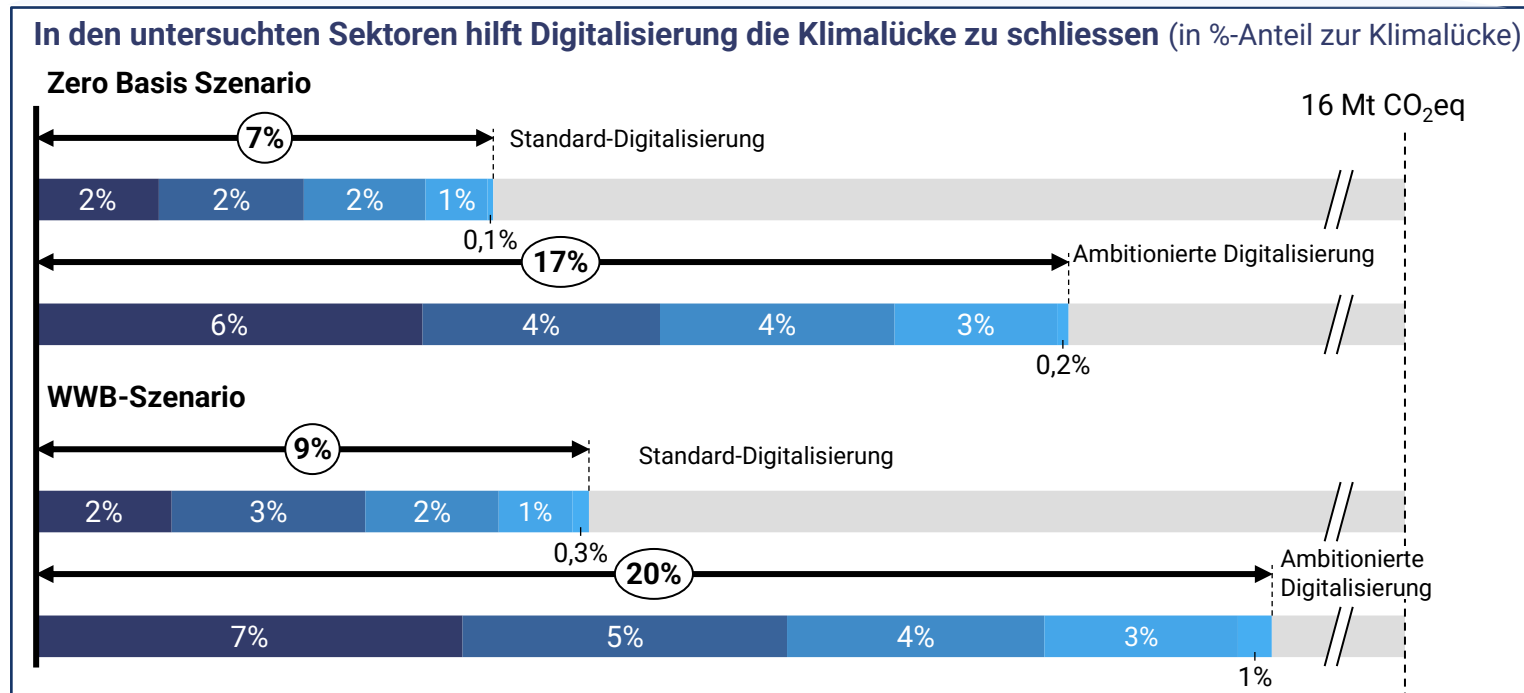
Das Einsparpotenzial für 2030, abzüglich des Fussabdrucks, ergibt die Netto-CO₂eq-Reduktion:

$$CO_2eq\text{-Nettoeffekt} =$$

$$CO_2eq\text{-Einsparpotenzial} - CO_2eq\text{-Fussabdruck}$$

Dieser beträgt 1,2 bis 1,4 Mt CO₂eq bei Standard-Digitalisierung und 2,7 bis 3,2 Mt CO₂eq bei ambitionierter Digitalisierung.

Digitale Technologien können in jedem Sektor einen signifikanten Beitrag leisten – besonders in den Sektoren Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft



Reduktionsbeitrag in den Sektoren

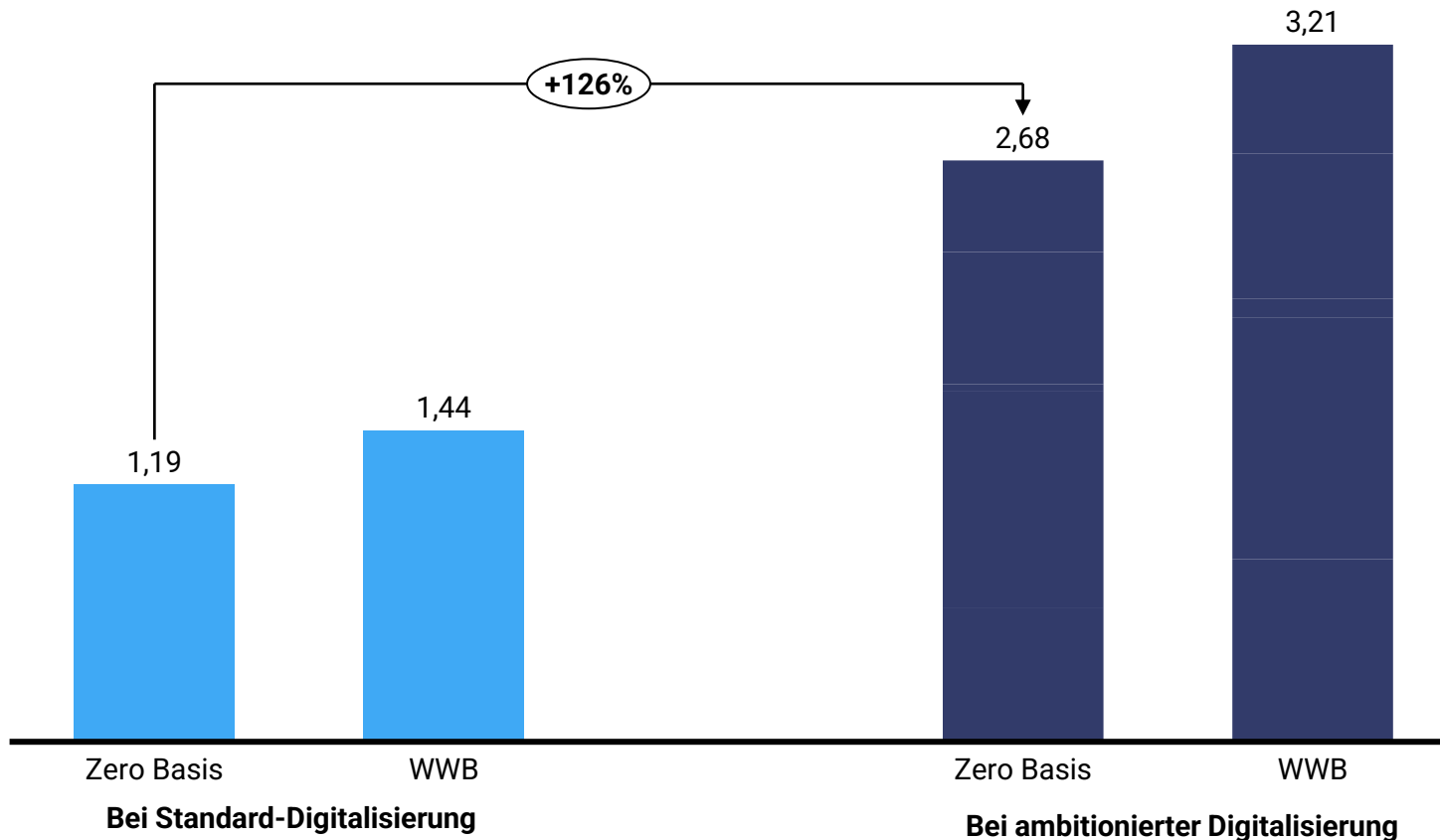
Eine fortschreitende Digitalisierung wird zunehmend als entscheidender Faktor für die Erreichung von Klimazielen anerkannt. In der Schweiz könnte sie im Jahr 2030 einen Beitrag von 7% bis 9% bei einer Standard-Digitalisierung und von 17% bis zu 20% bei ambitionierter Digitalisierung zur Schliessung der Klimalücke leisten.

Besonders in den Bereichen Verkehr (2–7%), Gebäude (2–5%) und Landwirtschaft (2–4%) verspricht Digitalisierung einen wichtigen Beitrag zur Verkleinerung der Klimalücke durch Dekarbonisierung zu leisten. Auch in der Industrie bietet Digitalisierung Chancen.

Während der Energiebereich aufgrund des bereits hohen Anteils erneuerbarer Energien im Schweizer Strommix weniger Potenzial für CO₂eq-Einsparungen bietet, ist die Digitalisierung dennoch essenziell, um die Voraussetzungen für eine weiterführende Elektrifizierung in den anderen Sektoren zu schaffen, die steigende Nachfrage intelligent zu bedienen und die Systemintegration von immer mehr dezentraler erneuerbarer Energieproduktion zu meistern.

Durch eine ambitionierte Digitalisierung verdoppeln sich die Einsparpotenziale durch digitale Technologien in 2030

Durch ambitionierte Digitalisierung können mehr als doppelt so viele Emissionen eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Digitalisierungsgeschwindigkeiten

In der Studie werden zwei verschiedene Digitalisierungsgeschwindigkeiten untersucht, eine Standard-Digitalisierung und eine ambitionierte Digitalisierung. Diese definieren sich durch die Marktdurchdringung der Anwendungsfälle im Jahr 2030 vs. der Marktdurchdringung im Jahr 2023.

Standard-Digitalisierung

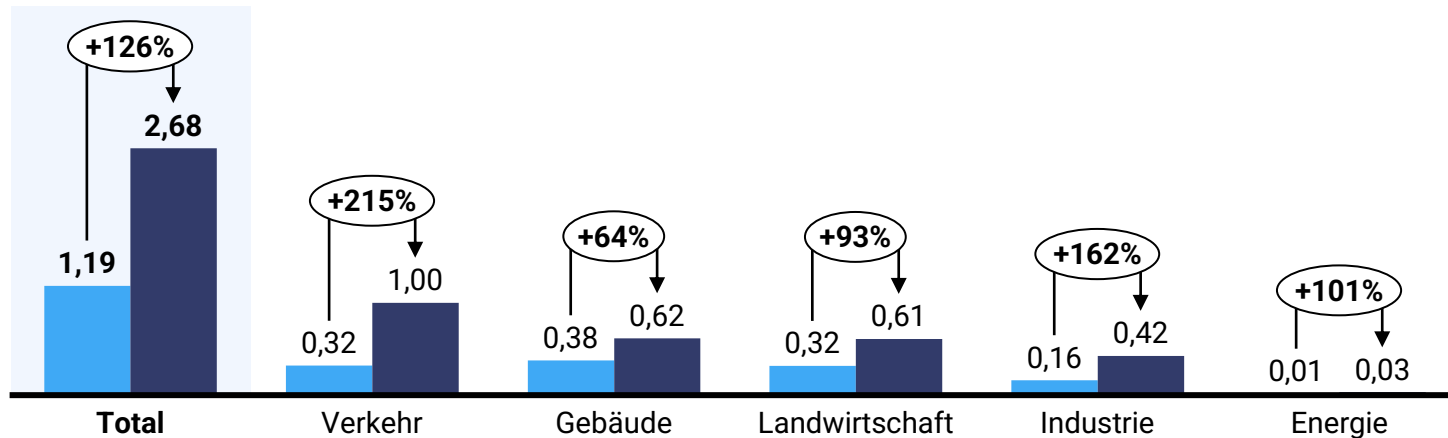
Eine Standard-Digitalisierung setzt voraus, dass in den untersuchten Anwendungsfällen weiter wie in bisherigen Trends und Erwartungen digitalisiert wird. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass bei einer Standard-Digitalisierung im Zero Basis- Szenario im Jahr 2030 1,19 Mt CO₂eq eingespart werden können.

Ambitionierte Digitalisierung

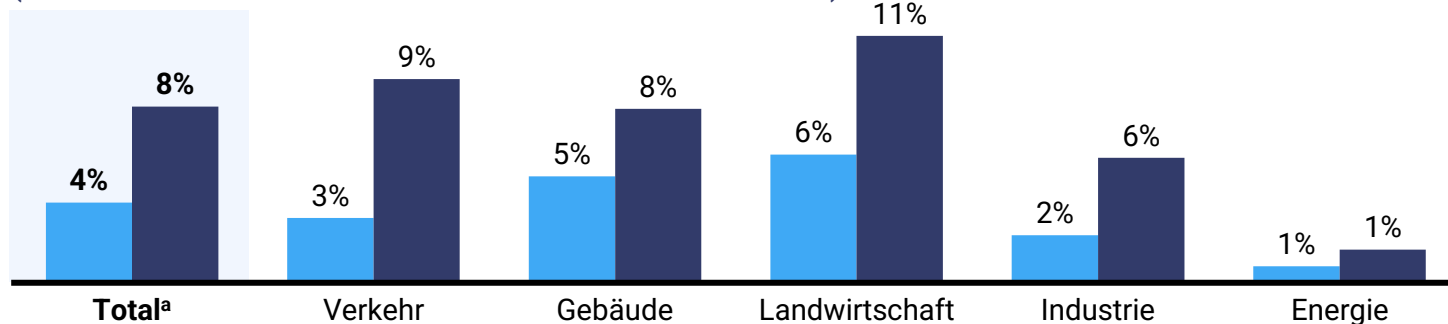
Die Studie berechnet für eine ambitionierte Digitalisierung bis 2030 ein Szenario, in dem sich einige Anwendungsfälle an erfolgreichen Vorbildern orientieren, während andere ihre Nutzerpotenziale vollständig ausschöpfen. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass bei einer ambitionierten Digitalisierung im Zero Basis Szenario im Jahr 2030 2,68 Mt CO₂eq eingespart werden können. Somit steigen in diesem Szenario durch ambitionierte Digitalisierung die potenziellen Einsparungen um 126%.

Zwischen 4 und 8% der gesamten Schweizer Emissionen im Jahr 2030 können im Zero Basis Szenario durch digitale Technologien reduziert werden

Das absolute CO₂eq-Einsparpotenzial zeigt, der Verkehrssektor kann die meisten Emissionen einsparen (im Zero Basis Szenario in Mt CO₂eq)



Das relative CO₂eq-Einsparpotenzial zeigt den Einfluss auf die Sektor-eigenen Emissionen (im Zero Basis Szenario in Prozent der Sektor-Emissionen)



Standard Digitalisierung Ambitionierte Digitalisierung

Absolutes CO₂eq-Einsparpotenzial

Im Zero Basis Szenario können von den gesamten Schweizer Emissionen zwischen 1,19 und 2,68 Mt CO₂eq reduziert werden, was die Bedeutung einer ambitionierten Digitalisierung unterstreicht.

Besonders hervorzuheben sind dabei einige Sektoren:

Der Verkehrssektor könnte seine CO₂eq-Einsparungen um 215% und die Industrie um 162% steigern, wenn die Digitalisierung ambitioniert ausgebaut wird. Insgesamt ist die Digitalisierung für alle Sektoren von grosser Wichtigkeit.

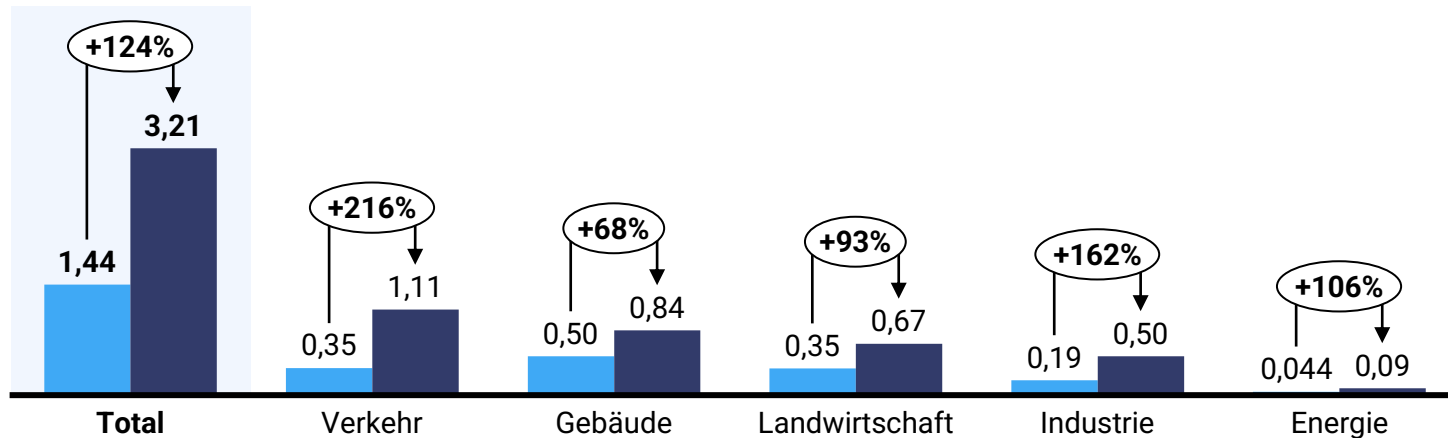
Relatives CO₂eq-Einsparpotenzial

Die Landwirtschaft zeigt das grösste relative Potenzial zur Reduktion ihrer eigenen CO₂eq-Emissionen durch Digitalisierung. Bei einer Standard-Digitalisierung können 6% und bei einer ambitionierten Digitalisierung sogar 11% eingespart werden. Auch die Sektoren Verkehr und Gebäude weisen beachtliche relative Einsparpotenziale auf. Der Verkehrssektor könnte zwischen 3% und 9%, der Gebäudesektor zwischen 5% und 8% seiner Emissionen durch Digitalisierungsmassnahmen reduzieren.

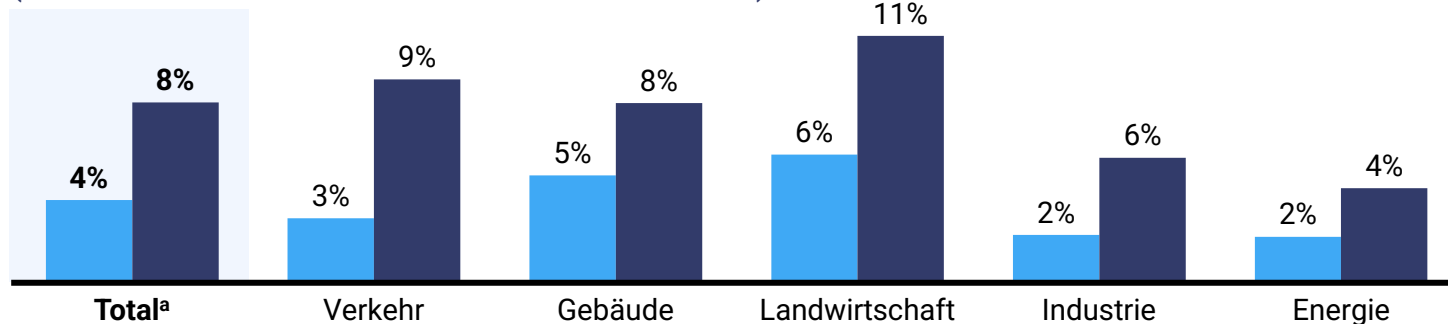
Anmerkungen: Abweichungen in den Prozentangaben können aus Rundungen resultieren. a: Das angegebene relative Einsparpotenzial für die totalen Emissionen steht zu den anrechenbaren Emissionen aller Sektoren.

Im Vergleich zu Zero Basis Szenario bestehen im WWB ähnliche relative Einsparpotenziale, allerdings höhere absolute Einsparpotenziale von bis zu 3,2 Mt CO₂eq

Das absolute CO₂eq-Einsparpotenzial zeigt, der Verkehrssektor kann die meisten Emissionen einsparen (im WWB-Szenario in Mt CO₂eq)



Das relative CO₂eq-Einsparpotenzial zeigt den Einfluss auf die Sektor-eigenen Emissionen (im WWB-Szenario in Prozent der Sektor-Emissionen)



Standard Digitalisierung Ambitionierte Digitalisierung

Absolutes CO₂eq-Einsparpotenzial

Im WWB-Szenario («Weiter-wie-bisher») können von den gesamten Schweizer Emissionen zwischen 1,44 und 3,21 Mt CO₂eq reduziert werden, was die Bedeutung einer ambitionierten Digitalisierung unterstreicht.

Besonders hervorzuheben sind dabei einige Sektoren:

Der Verkehrssektor könnte seine CO₂eq-Einsparungen um 216% und die Industrie um 162% steigern, wenn die Digitalisierung ambitioniert ausgebaut würde. Insgesamt ist die Digitalisierung für alle Sektoren von grosser Wichtigkeit.

Relatives CO₂eq-Einsparpotenzial

Die Landwirtschaft zeigt das grösste relative Potenzial zur Reduktion ihrer eigenen CO₂eq-Emissionen durch Digitalisierung. Bei einer Standard-Digitalisierung können 6% und bei einer ambitionierten Digitalisierung sogar 11% eingespart werden. Auch die Sektoren Verkehr und Gebäude weisen beachtliche relative Einsparpotenziale auf. Der Verkehrssektor könnte zwischen 3% und 9%, der Gebäudesektor zwischen 5% und 8% seiner Emissionen durch Digitalisierungsmassnahmen reduzieren.

Anmerkungen: Abweichungen in den Prozentangaben können aus Rundungen resultieren. a: Das angegebene relative Einsparpotenzial für die totalen Emissionen steht zu den anrechenbaren Emissionen aller Sektoren.

Wir müssen heute handeln und die richtigen Voraussetzungen für digitale Technologien in allen Schweizer Sektoren schaffen

Wir müssen heute handeln

Die Studie untersucht den Zeitraum bis zum Jahr 2030, in dem die Schweiz wichtige Zwischenziele erreichen muss. Es wird gezeigt, dass digitale Technologien einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung dieser Ziele leisten können. Klimaschutz hört damit aber nicht auf: Die Schweiz muss bis 2050 CO₂-neutral sein. Deshalb wird es auch nach 2030 notwendig sein, noch grössere Potenziale zu erschliessen.

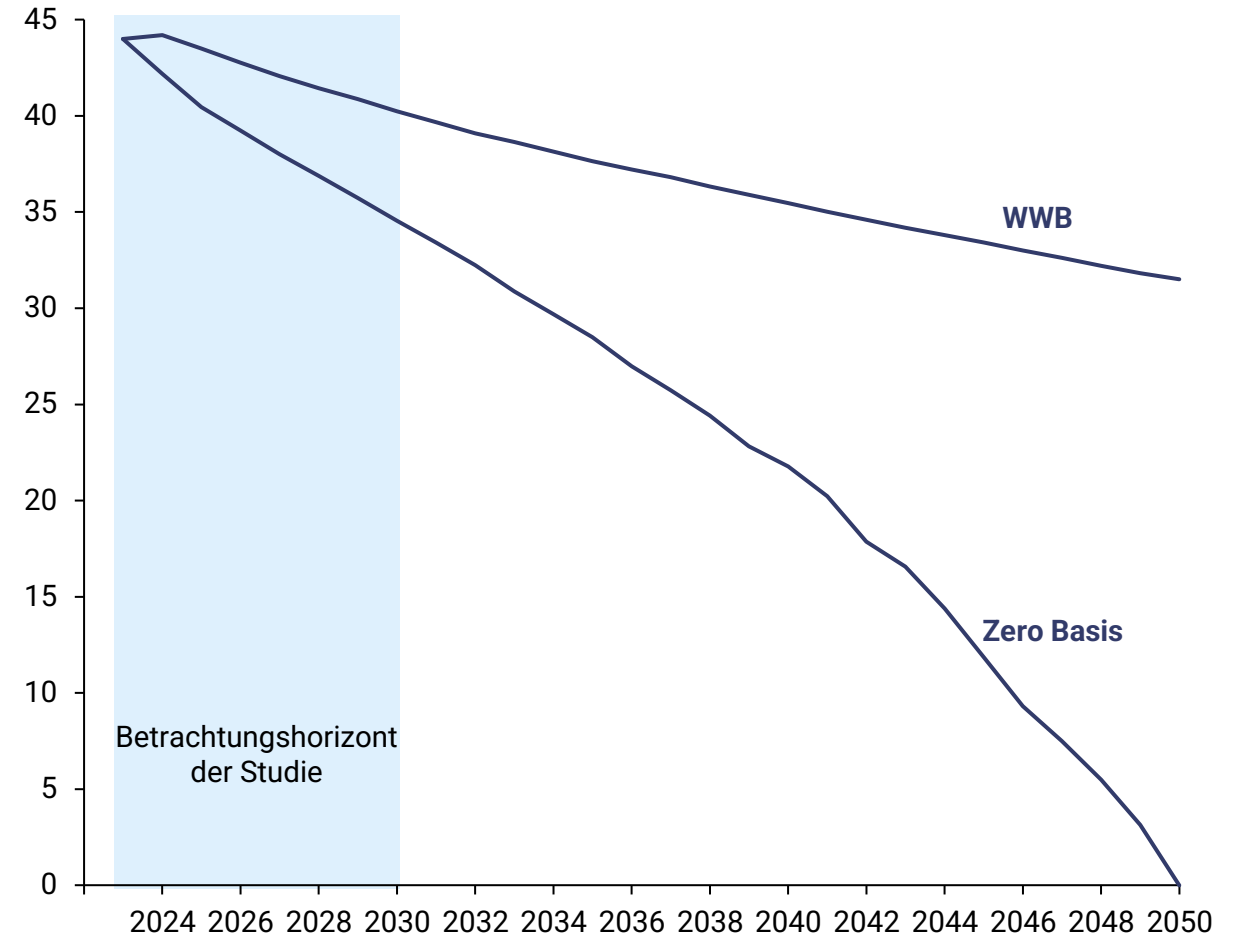
Voraussetzungen müssen geschaffen werden

Die Herausforderungen, denen wir uns bis 2030 und darüber hinaus bis 2050 gegenübersehen, sowie die deutlich demonstrierten Einsparpotenziale unterstreichen die Dringlichkeit einer beschleunigten Digitalisierung als Imperativ für den Klimaschutz. Es wäre fahrlässig, dieses mächtige Instrument weiterhin zu vernachlässigen.

Effektive Wirtschaftspolitik geht Hand in Hand mit fortschrittlicher Digitalpolitik. Der Zugang zu Kapital und qualifizierten Fachkräften muss so unkompliziert wie möglich gestaltet werden. Regulatorische und bürokratische Barrieren müssen minimiert werden, um eine reibungslose Übertragung von Forschungsergebnissen in die Praxis zu gewährleisten. Zudem ist es essentiell, bestehende Skepsis gegenüber der Digitalisierung sowohl in der Politik als auch in der Bevölkerung aktiv zu adressieren.

Eine politische und regulatorische Umgebung, die Innovation fördert und bürokratische Hürden abbaut, ist unerlässlich. Unterstützung für den Einsatz alternativer Brennstoffe sowie die Förderung von Partnerschaften zwischen Unternehmen, der öffentlichen Hand und Bildungseinrichtungen werden die Forschung und Entwicklung beschleunigen und so ein robustes Ökosystem schaffen, das die Digitalisierung wirtschaftlich nachhaltig vorantreibt.

Auch nach 2030 steht die Schweiz vor grossen Herausforderungen^{1,a} (in Mt CO₂eq)



Zielstellung und Methodik



Diese Studie untersucht den potenziellen Beitrag digitaler Technologien zum Erreichen des Schweizer Klimaziels 2030

Ziel und Gegenstand der Studie

Diese Studie analysiert, wie die Digitalisierung dazu beitragen kann, die Klimaziele der Schweiz für das Jahr 2030 zu erreichen. Im Fokus steht die Bewertung, inwiefern Investitionen von Unternehmen, Privatpersonen und der öffentlichen Hand in digitale Technologien die Reduktion von CO₂eq-Emissionen fördern können. Es wird das Einsparpotenzial spezifischer Technologien in den Bereichen Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Industrie und Energie untersucht. Ziel ist es, eine solide Basis für Diskussionen zu schaffen, die die Verbindung zwischen Klimaschutz und Digitalisierung in der Schweiz beleuchten.

Umfang der Studie

Diese Studie konzentriert sich auf die Analyse der theoretisch erreichbaren CO₂eq-Einsparungen durch den Einsatz ausgewählter digitaler Technologien in fünf verschiedenen Sektoren für das Jahr 2030. Es wurden zehn spezifische Anwendungsfälle betrachtet. Bei der Ermittlung des Einsparpotenzials wurde auch der CO₂-Fussabdruck der eingesetzten digitalen Technologien berücksichtigt. Allerdings wurden die notwendigen, vollumfänglichen Voraussetzungen für die Umsetzung und Aufrechterhaltung des Einsparpotenzials sowie mögliche Rebound-Effekte in dieser Analyse nicht einbezogen.^a Die Systemgrenzen der Studie orientieren sich am CO₂-Gesetz, der Klimarahmenkonvention und des Pariser Klimaabkommens. Dabei bleiben Emissionen, die ausserhalb der Schweizer Grenzen entstehen, unberücksichtigt.

Vorgehen und Methodik

Die Studie untersucht anhand von Sekundärliteratur^b und Expertenmeinungen ausgewählte digitale Technologien in den emissionsrelevantesten Sektoren Gebäude, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft sowie dem für die Elektrifizierung aller Sektoren wichtigen Sektor Energie.

Bei der Quantifizierung werden folgende Faktoren berücksichtigt:

1. Zwei verschiedene Digitalisierungsgeschwindigkeiten von Unternehmen, öffentlichen Institutionen und Privatpersonen werden berücksichtigt: «Standard» und «Ambitioniert». Diese werden durch die Marktdurchdringungen der Digitalen Technologien bestimmt.
2. Als Grundlage der Studie wird auf zwei vom Bundesamt für Energie erstellten CO₂-Projektionen der Energieperspektiven 2050+¹ gerechnet: «Weiter-wie-bisher» (WWB) vs. «Zero Basis».
3. Der CO₂-Fussabdruck der in der Studie betrachteten digitalen Technologien wird quantifiziert und von Bruttoeinsparungen abgezogen.

Neben der Quantifizierung der Digitalen Technologien wurden im Rahmen der Studie für jeden Sektor Interviews mit führenden Unternehmen und Verbänden geführt, um zusätzliche Einblicke liefern zu können. Die Interviewpartner haben dabei weder Stellung zu den Ergebnissen der Studie genommen noch die Studie geprüft.



Quelle: 1: [Energieperspektiven 2050+](#)

Anmerkungen: a: Für eine genauere Erläuterung siehe [Anhang: Rebound-Effekte](#); b: Sekundärliteratur wurde, wo möglich, nach ihrer Relevanz (z.B. geographische Lage, Aktualität,...) ausgewählt und in der Berechnung gewichtet

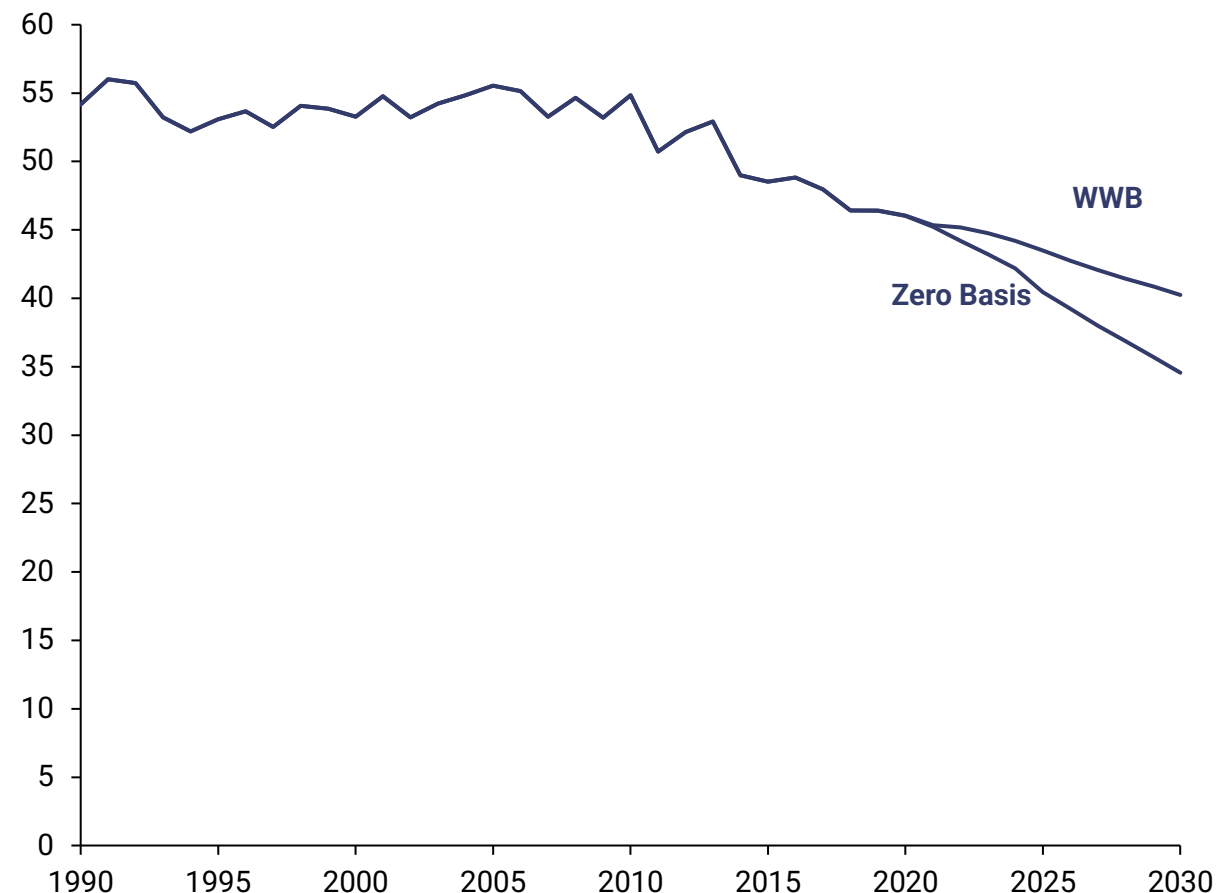
Die Studie orientiert sich an den Szenarien WWB und Zero Basis aus den vom BFE veröffentlichten Energieperspektiven 2050+

Wahl der Szenarien

Die Systemgrenzen der Studie orientieren sich am CO₂-Gesetz, der Klimarahmenkonvention und des Pariser Klimaabkommens. Dabei bleiben Emissionen, die ausserhalb der Schweizer Grenzen entstehen, unberücksichtigt.^a Die als Berechnungsgrundlage dienenden Szenarien wurden den «Energieperspektiven 2050+», die vom Bundesamt für Energie (BFE) entwickelt wurden, entnommen. Diese zeigen auf, wie sich das Schweizer Energiesystem und der Treibhausgasausstoss in der Schweiz entwickeln werden.¹ Es wurden zwei Szenarien ausgewählt:^b

- 1. Zero Basis:** Das Zero Basis Szenario setzt auf die Fortsetzung gegenwärtiger technologischer Trends und strebt eine erhebliche und frühzeitige Steigerung der Energieeffizienz an. Dieses Szenario sieht eine starke Elektrifizierung vor und betont die Bedeutung von Wärmenetzen in städtischen Gebieten. Synthetische Brennstoffe und Wasserstoff spielen nur eine untergeordnete Rolle, was den Fokus auf andere nachhaltige Technologien und auf Effizienzsteigerungen lenkt.
- 2. Weiter-wie-bisher (WWB):** Das «Weiter-wie-bisher»-Szenario (WWB) reflektiert die bestehenden Energie- und Klimapolitiken sowie die aktuellen Markt- und Rahmenbedingungen im Strommarkt. Es geht von einem autonomen technischen Fortschritt aus, ohne jedoch noch nicht verabschiedete politische Massnahmen zu berücksichtigen. Dieses Szenario bildet die Fortführung der aktuellen Situation ab und schliesst neuere, noch nicht implementierte Strategien aus.

Das Zero Basis Szenario beschreibt eine schnellere Reduktion von Emissionen zum Erreichen der Klimaziele in 2050¹ (in MtCO₂eq)

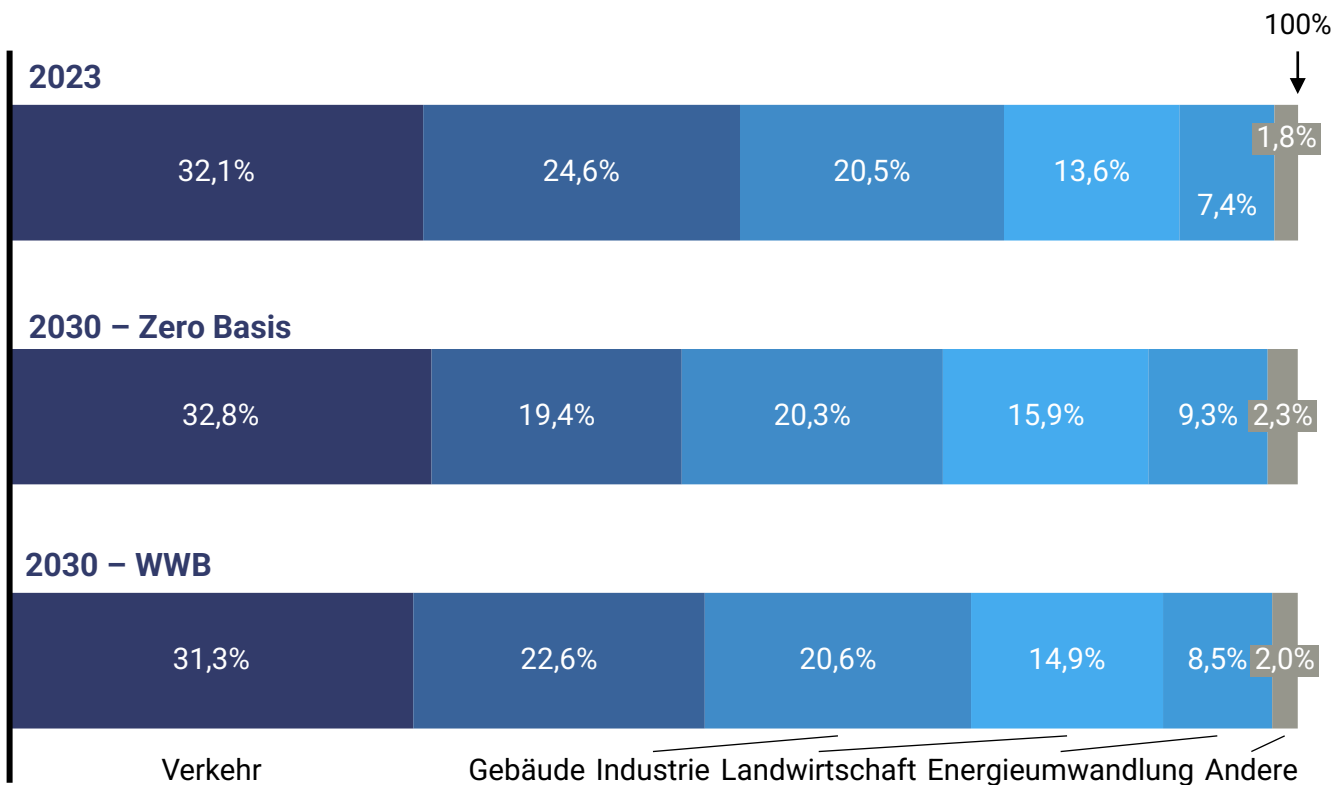


Quelle: 1: [Energieperspektiven 2050+](#)

Anmerkungen: a: mit Ausnahme von Emissionen aus Importstrom, die nach Herkunftsnachweisen berechnet werden; b: Mit dem Ausstieg aus der Atomkraft werden in Zukunft alle Kernkraftwerke in der Schweiz abgestellt werden. In der Studie wurden alle Berechnungen mit der Annahme eines Atomausstiegs 2050 gerechnet.

Über 95% der Schweizer Treibhausgase werden von der Studie durch die Untersuchung von fünf Sektoren abgedeckt

Mit der Betrachtung von fünf Sektoren können über 95% der Emissionen abgedeckt werden¹
(in %-Anteil der jährlichen Emissionen)



Sektorauswahl

Die Studie untersucht fünf Sektoren – Gebäude^a, Verkehr, Landwirtschaft, Industrie und Energie – basierend auf ihrem erheblichen Beitrag zum Gesamtausstoss von Treibhausgasen in der Schweiz.

Vier hoch emittierende Nachfragesektoren

Diese Sektoren repräsentieren zusammen einen signifikanten Prozentsatz von >90% der nationalen Emissionen, sowohl im Jahr 2023 als auch in den Projektionen für 2030. Die spezifische Fokussierung auf diese Bereiche ermöglicht eine tiefgehende Analyse der Hauptquellen von Treibhausgasemissionen und bietet somit eine solide Basis für die Entwicklung gezielter Strategien zur Emissionsreduktion. Emissionstreiber, wie z. B. Abfall, die unter «Andere» aufgezeigt sind, wurden in der Studie nicht betrachtet.

Energiesektor als «Enabler»

Der Sektor Energie wird in dieser Studie gesondert betrachtet und bezieht sich auf die Emissionen verbunden mit der Stromproduktion, während andere Kategorien der Energieumwandlung, wie z.B. Fernwärme, ihren jeweiligen Verbrauchersektoren zugeordnet sind. Der Stromsektor ist in der Schweiz heute fast vollständig emissionsfrei. Rund 95 Prozent des erzeugten Stroms wird aus Wasserkraft, Kernkraft, Photovoltaik und Windkraft bezogen. Jedoch wird für die Dekarbonisierung der anderen vier Sektoren bis 2030 mehr Strom als bisher benötigt. Um diese Nachfragesteigerung zu decken, muss die Energiewirtschaft ihre Kapazitäten ausbauen. Der Energiesektor ist also ein «Enabler» der Dekarbonisierung und Elektrifizierung.

Quelle: 1: [Energieperspektiven 2050+](#)







Anmerkung: a: Der Sektor Gebäude setzt sich aus den Haushalten und den Dienstleistungen zusammen.

In jedem Sektor wurden die Emissionseinsparpotenziale von zwei Anwendungsfällen untersucht und berechnet

Anwendungsfälle

Um die Digitalisierung in den fünf Sektoren möglichst genau abzudecken, wurden pro Sektor zwei digitale Anwendungsfälle gewählt, die ein hohes CO₂eq-Einsparpotenzial versprechen und den Sektor möglichst weit abdecken.

Die Einsparungen wurden jeweils nur für die Anwendungsfälle berechnet.^a Für die Einsparpotenziale auf Sektor-Ebene wurden die Einsparpotenziale der Anwendungsfälle addiert.

Gebäude	 Smart Homes Anwendung intelligenter Messgeräte und Gebäudeautomation in Wohngebäuden
	 Gebäudemanagementsysteme Anwendung intelligenter Messgeräte und Gebäudeautomation in Nicht-Wohngebäuden
Verkehr	 Mobility-as-a-Service Integration verschiedener Verkehrsdienstleistungen und -anbieter, um eine nahtlose und ganzheitliche Mobilitätslösung anzubieten
	 Echtzeit-Routenoptimierung Strategische Echtzeitplanung und -auswahl effizienter Transportrouten
Landwirtschaft	 Ortsspezifische Düngung Digitale Technologien, die eine effiziente und gezielte Düngung und Kalkung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ermöglicht
	 Digitale Nutztierhaltung Digitale Technologien zur Beobachtung und gezielten Fütterung von Nutztieren
Industrie	 Automatisierung und Robotik Gezielter Einsatz von Automatisierungs- und Robotiktechnologien, um Fertigungsprozesse effizienter zu gestalten
	 Digitaler Zwilling und Simulation Nutzung von fortschrittlichen Technologielösungen, um physische Objekte und Prozesse zu simulieren
Energie	 Vorausschauende Instandhaltung Verwendung von Datenanalytik und maschinellem Lernen, um den Ausfall von Anlagen vorherzusagen, bevor es zu Ausfällen kommt
	 Smart Grids Fortschrittliche Stromnetzwerke, die digitale Kommunikations- und Sensortechnologien zur effizienten Steuerung integrieren

Das Einsparpotenzial für 2030 ermittelt sich aus den adressierten Emissionen, dem Reduktionspotenzial und der Marktdurchdringung

Berechnungslogik des Einsparpotenzials pro Anwendungsfall^a

$$\text{Absolutes Netto-CO}_2\text{eq-Einsparpotenzial} = \text{Absolutes Brutto-CO}_2\text{eq-Einsparpotenzial} - \text{IT-Fussabdruck}$$

Berechnungslogik des Einsparpotenzials pro Anwendungsfall

$$\text{Absolutes Brutto-CO}_2\text{eq-Einsparpotenzial} = \text{Adressierte Emissionen} \times \text{Spezifisches Reduktionspotenzial} \times \text{Steigerung der Marktdurchdringung}$$

im Jahr 2030 gemäss Zero Basis- oder WWB-Szenario [in Mt CO₂eq]

der digitalen Lösungen (in Prozent)

der digitalen Lösungen bis 2030 (in Prozent)

Beispiel Digitale Nutztierhaltung (im Zero Basis Szenario und bei ambitionierter Digitalisierung)

$$0,5 \text{ Mt CO}_2\text{eq} = 4,0 \text{ Mt CO}_2\text{eq} \times 25\% \times (79\% - 29\%)$$

Im Zero Basis Szenario werden für das Jahr 2030 Emissionen von 4,0 Mt CO₂eq durch die Nutztierhaltung erwartet.

Digitale Technologien wie Sensoren und Big Data ermöglichen eine Reduktion bei den Nutztieremissionen von 25% pro Tier.

Es wird erwartet, dass die Marktdurchdringung bei ambitionierter Digitalisierung von heute 29% auf 79% im Jahr 2030 steigen wird.

Berechnungsfaktoren

IT-Fussabdruck: Jede der betrachteten digitalen Technologien erzeugt eine spezifische Menge an CO₂eq als ihren Fussabdruck.

Adressierte Emissionen: Die Emissionen, die im Jahr 2030 im entsprechenden Sektor ausgestossen und durch den Einsatz digitaler Technologien adressiert werden.

Spezifisches Reduktionspotenzial: Der durchschnittliche Anteil an Emissionen, der durch den Einsatz der spezifischen digitalen Technologie je Einheit reduziert werden kann.

Steigerung der Marktdurchdringung: Die erwartete zusätzliche Marktdurchdringung des Anwendungsfalls zwischen 2023 und 2030, differenziert nach zwei Digitalisierungsgeschwindigkeiten.

Digitalisierungsgeschwindigkeiten^b

Standard-Digitalisierung

Eine Standard-Digitalisierung setzt voraus, dass in den untersuchten Anwendungsfällen weiter wie in den bisherigen Trends und Erwartungen digitalisiert wird.

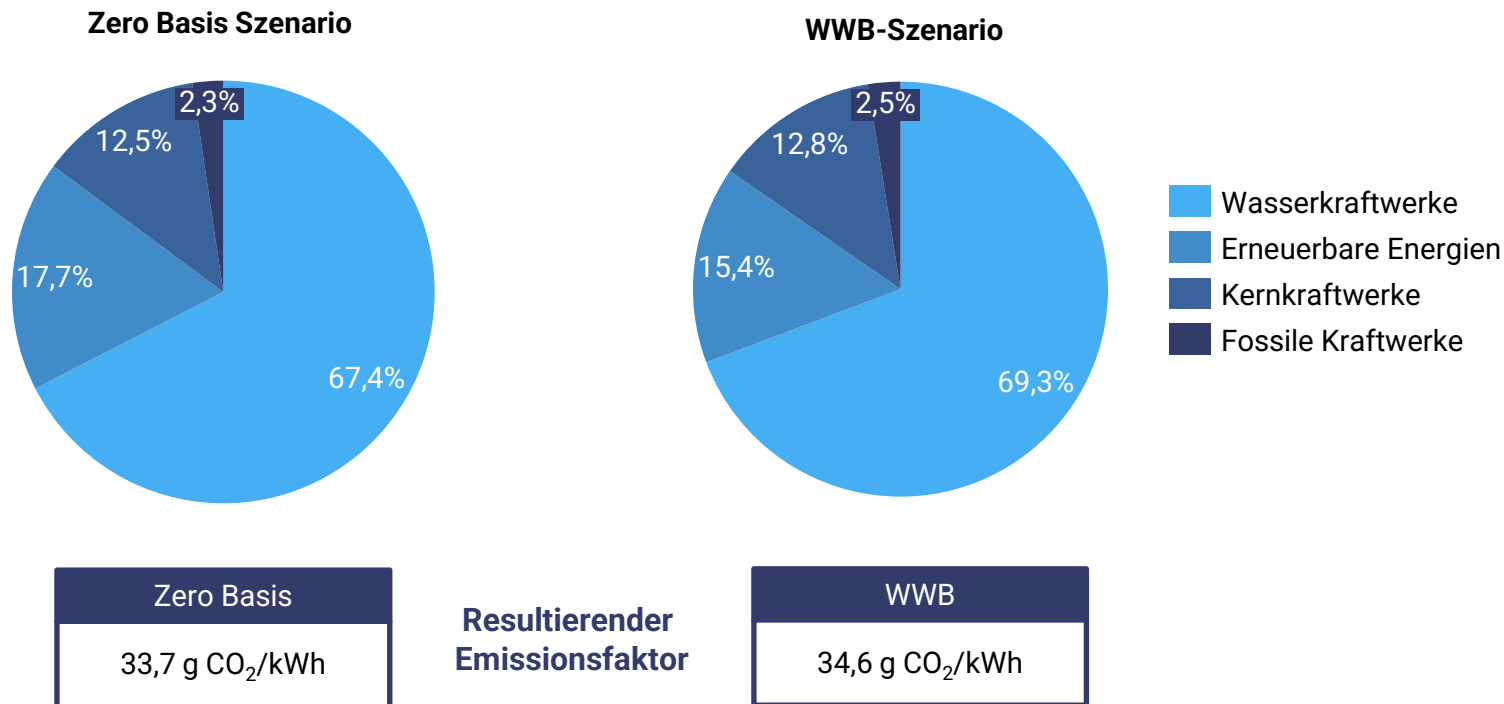
Ambitionierte Digitalisierung

Die Studie berechnet für eine ambitionierte Digitalisierung bis 2030 ein Szenario, in dem sich einige Anwendungsfälle an erfolgreichen Vorbildern orientieren, während andere ihre Nutzerpotenziale vollständig ausschöpfen.

Anmerkungen: a: Berechnungslogik im Sektor Energie weicht von der hier gezeigten Logik ab siehe [Anhang: Energie](#); b: In der Bestimmung der Digitalisierungsgeschwindigkeiten bzw. Marktdurchdringungen wurden wichtige Grundvoraussetzungen für die Anwendungsfälle berücksichtigt, sowie deren Erfüllungsgrad im Jahr 2023 oder 2030 (z.B. für Smart Grids, wie viele Anwender dynamische Stromtarife besitzen).

Die Emissionsfaktoren für den Stromverbrauch im Jahr 2030 berechnen sich nach Herkunftsnachweisen auf 33,7 bis 34,6 g CO₂/kWh

Der Strommix nach Herkunftsnachweisen wird durch hohe Anteile an Wasserkraft dominiert (inklusive importiertem Strom)



Emissionsfaktoren

Um die Emissionen, die mit dem Schweizer Strom verbunden sind, beurteilen zu können, wurden Stromemissionsfaktoren für das Jahr 2030 in den Szenarien «Zero Basis» und «Weiter wie bisher» (WWB) berechnet. Diese Emissionsfaktoren basieren auf dem Lieferantenmix nach Herkunftsnachweisen, was bedeutet, dass sowohl die inländische Stromproduktion als auch der importierte Strom berücksichtigt werden.

Berechnungslogik

Die Emissionsfaktoren ergeben sich aus dem prognostizierten Strommix der jeweiligen Szenarien (Zero Basis und WWB), multipliziert mit den Emissionsfaktoren des IPCC für jede Kategorie.^a

Importstrom

Um in der Berechnung eine Veränderung des Importstrommixes von heute bis 2030 einzubeziehen, erfolgt die Berechnung gesondert. Sie basiert auf dem Importstrommix des Jahres 2022¹ multipliziert mit einer Veränderungsquote in den Ländern DE, FR, IT, AT. Diese Quote spiegelt die Veränderung der einzelnen Produktionsarten zwischen dem Strommix von 2022 und der Prognose für 2030^{2,3} wider. Anschliessend erfolgt eine Normierung auf 100% und die Gewichtung der einzelnen Emissionsfaktoren.

Quellen: 1: Pronovo 2022; 2: ENTSO-E Szenarien; 3: EU-Referenz Szenario.

Anmerkungen: a: Für Kategorien, die in den Energieszenarien nicht granular genug für 2030 prognostiziert werden, werden die IPCC-Emissionsfaktoren im Durchschnitt gerechnet, mit Gewichtung gemäss dem 2022 Strommix); Annahme: Aufteilung von Unterkategorien, z. B. Wasserkraft unterteilt in Laufwasser, Kleinwasserkraftwerke, etc., verändert sich bis 2030 nicht im Vergleich zu 2022.

CO₂eq-Einsparpotenziale digitaler Technologien



Gebäude

4.1

Gebäudesektor

Der Sektor in Zahlen

~1,8 Millionen Gebäude mit Wohnnutzung¹

~0,7 Millionen Nicht-Wohngebäude²

~1,5 Millionen Gebäude energetisch sanierungsbedürftig²

~45% des Schweizer Energieverbrauchs kommen aus dem Gebäudesektor³

Emissionen aus dem Gebäudesektor³

Die direkten Emissionen des Gebäudesektors in der Schweiz entstehen durch CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe für Gebäudeheizung und Aufbereitung von Warmwasser. Diese machen heute^a etwa 25% der Schweizer CO₂eq-Emissionen aus. Sie werden aufgeteilt auf Privathaushalte (Wohngebäude) und Dienstleistungen (Geschäftsgebäude). 85% und damit der grösste Anteil der Emissionen bei den privaten Haushalten entsteht durch Raumwärme. Im Bereich Dienstleistungen entfallen etwa 90% der Emissionen auf Raumwärme.

Quellen: 1: Bundesamt für Statistik (2023); 2: Energie-gedanken); 3: Energieperspektiven 2050+

Anmerkung a: Da das Treibhausgasinventar das Jahr 2023 bisher noch nicht inkludiert ist, wird der Mittelwert des Zero Basis- und des WWB-Szenarios aus den Energieperspektiven 2050+ für 2023 angenommen.



Günstige Rahmenbedingungen für energetische Sanierungen werden benötigt, um die Digitalisierungsgeschwindigkeit zu erhöhen

Herausforderungen

Energieeffizienz und Nachhaltigkeit:

Sowohl bei Wohn- als auch bei Nicht-Wohngebäuden besteht die Herausforderung darin, energieeffizientere Gebäude zu entwickeln und bestehende Gebäude zu modernisieren, um den Energieverbrauch zu reduzieren und die Umweltauswirkungen zu minimieren.

Renovierung von Bestandsgebäuden:

Viele bestehende Gebäude in der Schweiz sind nicht auf dem neuesten Stand der Technik und entsprechen nicht den aktuellen Nachhaltigkeitsstandards. Diese Gebäude, energieeffizienter und umweltfreundlicher zu gestalten, kann eine Herausforderung darstellen, insbesondere wenn es um die Finanzierung und die Einhaltung von Vorschriften geht.

Diese Herausforderungen bieten gleichzeitig eine Chance in der Schweiz, digitale Lösungen während der Renovierungsarbeiten zu berücksichtigen und Energieeinsparungen zu maximieren.

Auswahl Schweizer Initiativen und Gesetze

Klimaschutz und Innovationsgesetz:¹ 2 Mrd. CHF Fördergelder zum Ersatz von Öl-, Gas-, und Elektroheizungen

Gebäudeprogramm:² 425 Millionen Franken Fördergelder für energetische Sanierungen bis 2022 ausbezahlt

Stromversorgungsgesetz:³ 80% der verbauten Stromzähler müssen bis 2027 Smart Meter sein

Perspektive aus der Praxis



Langfristige Investitionen und Entscheidungen im Bereich der Gebäudesanierung sind unter anderem auch aufgrund der langen Lebenszyklen der Gebäude eine komplexe Angelegenheit. Zusätzlich verändern sich die Anforderungen an Gebäude aufgrund des Klimawandels. Früher wurden Gebäude so konstruiert, dass die Wärme im Inneren gehalten wurde. Heutzutage will man die Hitze draussen halten und die Gebäude müssen zunehmend gekühlt werden.

Tommy Clausen
Head of Climatch Switzerland



Effektive politische Massnahmen sollten sich weniger auf Subventionen und mehr auf die Förderung von Ausbildung und Fachkräften konzentrieren. Zum Beispiel könnte man vorschlagen, professionelle Recruiting-Prozesse zu etablieren und Ausbildungsplätze zu fördern, um die benötigten Fachkräfte zu finden.

Lars van der Haegen
CEO Belimo Holding AG

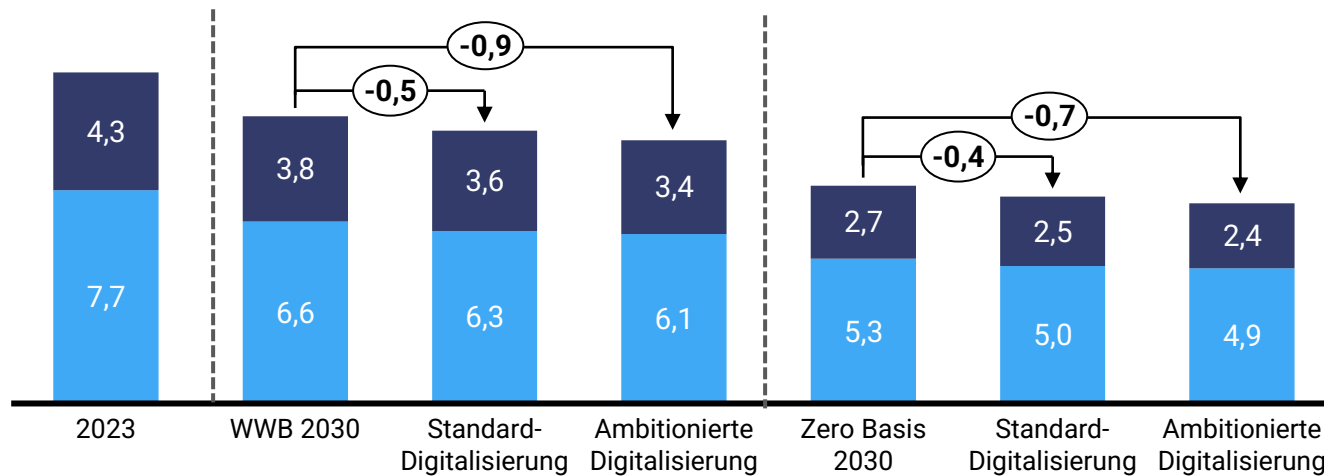
Bis zu 0,9 Mt CO₂eq lassen sich im Gebäudesektor im Jahr 2030 durch digitale Technologien einsparen

Analysierte Anwendungsfälle

Smart Homes: Die Anwendung intelligenter Messgeräte, wie intelligenten Thermostaten, Smart Meter, sowie intelligenter Beleuchtung und Gebäudeautomation in Wohngebäuden führt zu einer erhöhten Effizienz bei Raumtemperatur, Stromverbrauch und Warmwasseraufbereitung.

Gebäudemanagementsysteme: Die Anwendung intelligenter Messgeräte wie thermische und elektrische Regelsysteme sowie intelligenter Beleuchtung und Gebäudeautomation in Nicht-Wohngebäuden führt zu einer erhöhten Effizienz bei Raumtemperatur, Stromverbrauch und Warmwasseraufbereitung.

Im Gebäudesektor können bis zu 0,9 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



■ Smart Homes ■ Gebäudemanagementsysteme

Quelle: 1: BAFU Kantonale Berichterstattung (2023).

Anmerkungen: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren. a: Die Marktdurchdringung wird gewichtet nach anwendbaren CO₂-Projektionen angegeben. In der Berechnung werden für Smarte Thermostate, Smart Meter etc. verschiedene Marktdurchdringungen verwendet, siehe [Anhang Gebäude](#).

Wichtigste Erkenntnisse


Zwischen **4,8%** und **8,1%** (0,4–0,9 Mt CO₂eq) der Gebäudeemissionen können durch die Anwendungsfälle reduziert werden.

Smart Homes

 **3,2%–4,3%** Emissionsreduktion

Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung^a von **10% heute** auf **45% im Jahr 2030** können bei einer Standard-Digitalisierung bis zu 3,2% (0,3 Mt CO₂eq) der Gebäudeemissionen eingespart werden – in etwa die jährlichen Gebäudeemissionen des Kantons Uri.¹ Bei der ambitionierten Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung^a von **56%** erreicht werden und somit bis zu 4,3% (0,5 Mt CO₂eq) oder ca. die Gebäudeemissionen des Kantons Nidwalden,¹ eingespart werden.

Gebäudemanagementsysteme

 **1,7%–3,9%** Emissionsreduktion

Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung^a von **31% heute** auf **58% im Jahr 2030** können bei einer Standard-Digitalisierung bis zu 1,7% (0,2 Mt CO₂eq) der Gebäudeemissionen eingespart werden – oder Gebäudeemissionen des Kantons Appenzell-Innerrhoden.¹ Bei der ambitionierten Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung^a von **84%** erreicht werden, und somit bis zu 3,9% (0,4 Mt CO₂eq) oder ca. die Gebäudeemissionen des Kantons Nidwalden¹ eingespart werden.



Lars van der Haegen
CEO Belimo Holding AG



Was sind die dringlichsten Herausforderungen, die der Gebäudesektor in der Schweiz im Klimawandel bewältigen muss?

Die grössten Herausforderungen liegen in der Effizienzsteigerung bestehender Gebäude, die einen erheblichen Teil des CO₂-Ausstosses verursachen. Zudem besteht ein erheblicher Fachkräftemangel in der Planung und Ausführung solcher Projekte.

Wie wird der neueste Stand der Technik in neuen versus in bestehenden Gebäuden implementiert?

Bei Neubauten wird standardmässig der neueste Stand der Technik eingesetzt. Bestehende Gebäude stellen grössere Herausforderungen dar, da sie anspruchsvoller in der Nachrüstung sind und qualifiziertere Fachkräfte erfordern.

Welche Rolle spielen smarte Technologien und Automatisierung bei der Steigerung der Energieeffizienz?

Smarte Technologien, wie Sensoren und Aktoren, sind entscheidend für die Verbesserung der Energieeffizienz in Gebäuden. Diese Technologien ermöglichen durch zentrale Regelungssysteme eine präzise Kontrolle und Anpassung des Energieverbrauchs. Ein kritischer Aspekt dabei ist die Transparenz der Verbrauchsdaten. Viele Gebäude, insbesondere Neubauten, verfügen nicht über adäquate Messkonzepte, die eine detaillierte Verbrauchserfassung erlauben. Dies führt dazu, dass die tatsächlichen Energieverbräuche oft unbekannt sind. Die Kombination aus smarten Technologien und einer durchdachten Digitalisierung bietet daher nicht nur die Möglichkeit zur Betriebsoptimierung, sondern auch zur Anpassung der Systeme an die tatsächlichen Bedürfnisse der Nutzer, was den Energieverbrauch signifikant reduziert.

Wie schätzen Sie die aktuellen Fortschritte und Herausforderungen im Bereich der Bürogebäude bis 2030 ein?

Die Renovierungsrate bei Bürogebäuden ist aktuell zu niedrig, um die Klimaziele zu erreichen. Es wird geschätzt, dass die Renovierungsrate etwa dreimal höher sein müsste als derzeit. Dies

erfordert nicht nur eine Steigerung der Bautätigkeit, sondern auch eine deutliche Zunahme qualifizierter Fachkräfte. Finanzielle Anreize oder Subventionen sind dabei weniger das Problem, da die meisten Massnahmen ökonomisch bereits attraktiv sind. Der Hauptengpass liegt vielmehr im Fachkräftemangel, der eine Beschleunigung der Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten behindert.

Und gibt es in dem Bereich Vorreiter, die besonders viel digital ausbauen und sanieren?

In der Schweiz wird schon auch viel gemacht grundsätzlich. Es gibt gewisse Städte, wo sehr viel gemacht wird in den USA, New York, Boston, wo es auch Bussen gibt, wenn man gewisse Klimaziele nicht erreicht, wodurch der Prozess erheblich beschleunigt wird.

Wie könnte die Politik in der Schweiz den Weg für eine Dekarbonisierung im Gebäudesektor ebnen?

Effektive politische Massnahmen sollten weniger auf Subventionen und mehr auf die Förderung von Ausbildung und Fachkräften konzentrieren. Zum Beispiel könnte man vorschlagen, professionelle Recruiting-Prozesse zu etablieren und Ausbildungsplätze zu fördern, um die benötigten Fachkräfte zu sichern.

Fehlt es in der öffentlichen Diskussion an Bewusstsein für die Bedeutung von Betriebsoptimierungen?

Ja, es fehlt oft an Bewusstsein für die Vorteile von Betriebsoptimierungen. Politische Entscheidungsträger konzentrieren sich häufig auf einfache zu vermittelnde Massnahmen wie den Kauf von Elektroautos, während komplexere, aber effektivere Massnahmen wie Betriebsoptimierungen weniger Aufmerksamkeit erhalten.



Tommy Clausen

Head of Climatch Switzerland
Teil von Swiss Life Asset Managers



Daniela Sauter-Kohler

Head of Solution Design & Products Climatch Switzerland
Teil von Swiss Life Asset Managers



In welcher Verbindung steht die Climatch AG zu Swiss Life?

Die Climatch AG ist Teil von Swiss Life Asset Managers. Zweck der Gesellschaft sind technische und kommerzielle Energieberatungsdienstleistungen, insbesondere betreffend Energieeffizienz und Dekarbonisierung von Immobilien, sowie deren Umsetzung.

Was sind aus Ihrer Sicht die grössten Herausforderungen im Gebäudesektor, in Bezug auf den Klimawandel?

Langfristige Investitionen und Entscheidungen im Bereich der Gebäudesanierung sind unter anderem auch aufgrund der langen Lebenszyklen der Gebäude eine komplexe Angelegenheit. Es besteht ein Bedarf, die Gebäudehülle zu verbessern und fossilfreie Heizsysteme einzuführen, wobei die Planung oft von Budget und Gebäudestrategie abhängt. Ein weiteres Problem, das sich in Zukunft verstärken wird, stellt der Mangel an Fachkräften dar, der es schwierig macht, die notwendigen Massnahmen umzusetzen. Zusätzlich verändern sich die Anforderungen an Gebäude aufgrund des Klimawandels. Früher wurden Gebäude so konstruiert, dass die Wärme im Inneren gehalten wurde. Heutzutage will man die Hitze draussen halten und die Gebäude müssen zunehmend gekühlt werden.

Sind digitale Gebäudetechnologien eine kurzfristige Lösung, Effizienz zu gewinnen, ohne grosse Sanierungen zu betreiben?

Digitale Technologien bieten Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung. Sie ermöglichen eine bessere Steuerung von Heizungssystemen durch Einbeziehung von Aussentemperaturen und Wettervorhersagen, was den Energieverbrauch senken kann. Es gibt allerdings Herausforderungen in Bezug auf Datenschutz und bei der Umsetzung auf Ebene der einzelnen Wohneinheiten, wo der Wohnkomfort natürlich nicht eingeschränkt werden darf. Bei Bestandsanlagen helfen oft zentrale Lösungen, um Energie und damit CO2 einzusparen.

Wie weit sind die Entwicklungen und Implementierung von Smart Homes fortgeschritten?

Die Umsetzung von Smart-Building-Systemen und die Integration erneuerbarer Energien sind im Neubau heutzutage selbstverständlich. Hinzu kommt, dass es im Neubau flexibel erweitert werden kann, um entweder Smart Office-Lösungen für Geschäftsräume oder Smart Home-Technologien für Wohngebäude zu gewährleisten. Im Bestandsbau sind die Möglichkeiten durch technische und finanzielle Einschränkungen begrenzt, jedoch wird überall versucht, den Energieverbrauch systematisch zu überwachen und zu optimieren.

Kann sich die gesamte Schweiz darauf einrichten, 2030 bereits in Smart Homes zu leben?

Es ist unrealistisch, dass bis 2030 alle Gebäude in der Schweiz mit Smart-Home-Technologien ausgestattet sind, besonders angesichts der langen Lebenszyklen bestehender Bauten und der hohen Anzahl an Liegenschaften. Vollständige Implementierungen in der Digitalisierung und smarten Technologien werden primär bei Neubauten erwartet, während umfassende Upgrades in allen Bestandsgebäuden weniger wahrscheinlich sind.

Gibt es Unterschiede in der Umsetzung von Smart Homes zwischen der Schweiz und anderen Ländern?

Im nahen europäischen Umland gibt es keine Länder, die viel weiter wären als die Schweiz. In den nordischen Ländern scheint es grössere Anstrengungen zu geben. Aber für alle gilt, dass der Fachkräftemangel und politische Unterstützung entscheidend sind für die Umsetzung digitaler Lösungen.

Smart Homes




4.1.1

Smart Homes reduzieren durch intelligente Steuerung und Automatisierung Emissionen durch Raumwärme, Warmwasser-Erzeugung und Stromverbrauch



Digitale Technologien bieten Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung. Sie ermöglichen eine bessere Steuerung von Heizungssystemen durch Einbeziehung von Aussentemperaturen und Wettervorhersagen.

 Daniela Sauter-Kohler,
Head of Solution Design
& Products
Climatch Switzerland

Smart Homes

Ein Smart Home ist ein Konzept für Wohngebäude, bei dem Geräte wie Thermostate oder Sensoren mit Steuerungssystemen verbunden sind. Diese Vernetzung ermöglicht die digitale Erfassung des Energieverbrauchs und dessen effiziente Regelung durch Automatisierung. Zwei Hauptansatzpunkte mit verschiedenen Anwendungen sind typisch für Smart Homes:

- Zum einen das Gebäude- und Energiemanagement, das die Potenziale intelligenter Technologien untersucht
- Zum anderen Gebäudeautomationssysteme, welche die Steuerung, Regelung, Überwachung und Optimierung von Gebäudefunktionen umfasst

Emissionsübersicht

Die Emissionstypen, die im Privathaushaltssektor besonders wichtig sind, sind hauptsächlich mit der Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser verbunden. Dies liegt daran, dass viele Haushalte für die Beheizung ihrer Räumlichkeiten und die Bereitstellung von Warmwasser auf fossile Brennstoffe, wie Erdgas und Heizöl, angewiesen sind. Die Verbrennung dieser Brennstoffe führt zur Freisetzung von CO₂ und anderen Treibhausgasen, die zur globalen Erwärmung beitragen.

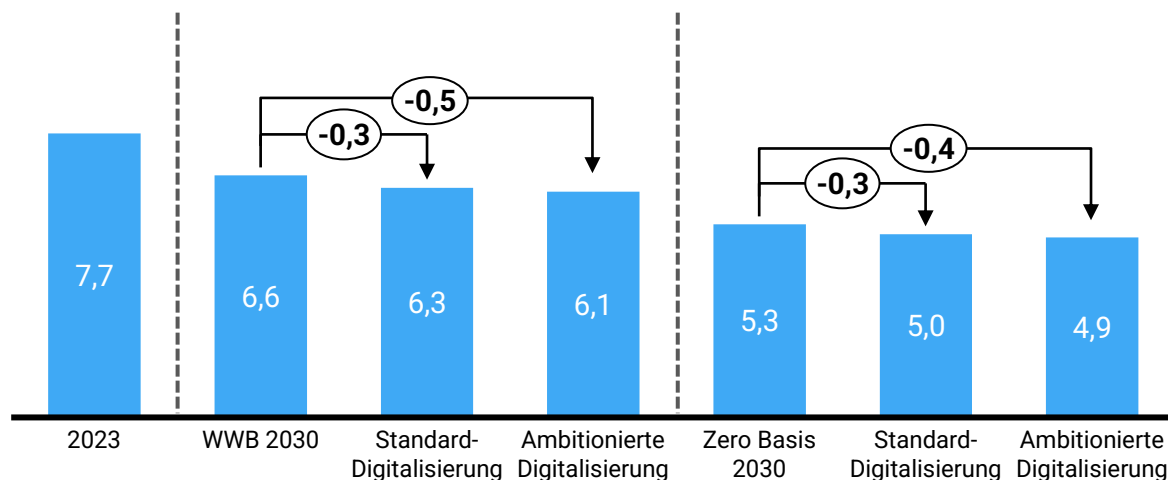
Angewandte Technologien¹

- **Intelligente Thermostate:** Vernetzte Geräte, die das Heizen und Kühlen von Gebäuden automatisieren und optimieren, indem sie lernen, die Temperaturpräferenzen der Bewohnerinnen und Bewohner anzunehmen und den Energieverbrauch effizient zu reduzieren.
- **Intelligente Beleuchtung:** Durch den Einsatz intelligenter LEDs, Sensoren und Bewegungsmelder kann die Beleuchtung und ihre Helligkeit an das Verhalten der Bewohner angepasst werden, um den Stromverbrauch zu senken.
- **Intelligente Stromzähler:** Diese Geräte erfassen den Energieverbrauch in Echtzeit und ermöglichen eine detaillierte Analyse des Verbrauchsverhaltens. Durch die Integration von intelligenten Stromzählern können Bewohner den Energieverbrauch besser verstehen und optimieren, indem sie Verbrauchsmuster identifizieren und darauf reagieren.
- **Gebäudeautomation:** Hierbei handelt es sich um die automatische Steuerung, Regelung und Überwachung von Gebäudefunktionen, wie Heizung, Lüftung und Beleuchtung. Die Vernetzung von Sensoren, Aktoren, Bedienelementen und anderen technischen Einheiten ermöglicht ein intelligentes und optimiertes Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten.
- **Internet of Things (IoT):** Das IoT ermöglicht die Vernetzung von Maschinen und Geräten, um Echtzeitdaten aus den Gebäuden zu sammeln und zu analysieren, beispielsweise durch Smart-Home-Hubs.
- **Maschinelles Lernen (ML)^a:** ML nutzt fortschrittliche Algorithmen, um eine individuelle Steuerung der Gebäude zu ermöglichen, beispielsweise durch die Vorhersage des Nutzerverhaltens.



Durch Smart Homes können im Jahr 2030 Einsparungspotenziale von bis zu 0,5 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch Smart Homes können bis zu 0,5 Mt CO₂eq eingespart werden^a (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

Smart Homes verbessern den Komfort und die Lebensqualität durch die Automatisierung von Alltagsaufgaben, wie dem Regulieren der Raumtemperatur und dem Steuern der Beleuchtung entsprechend der Tageszeit oder Anwesenheit der Bewohner. Sie ermöglichen auch eine bessere Kontrolle und Überwachung des Energieverbrauchs, was zu erheblichen Kosteneinsparungen führen kann. Zudem erhöht die Integration von Smart Metern und intelligenten Thermostaten die Sicherheit, da sie ungewöhnliche Muster im Energieverbrauch erkennen und auf potenzielle Probleme oder Gefahren hinweisen können.

Berechnung der Emissionsreduktion^a



Emissionsszenarien für das Jahr 2030

Zwei Szenarien der Emissionen im Jahr 2030 wurden betrachtet. Im WWB-Szenario werden Haushaltsemissionen von 6,6 Mt CO₂eq und im Zero Basis Szenario von 5,3 Mt CO₂eq im Jahr 2030 erwartet.^c



Reduktionspotenzial

Der Einsatz von Smart Homes ermöglicht eine Emissionsreduktion von 3 bis 27%.^b



Marktdurchdringung

Die **heutige Marktdurchdringung** der untersuchten Technologien liegt zwischen 4 und 20%.^b Bei einer **Standard-Digitalisierung** kann sie auf 25 bis 90%^b anwachsen. Bei einer **Ambitionierten Digitalisierung** kann die Marktdurchdringung auf 56 bis 100%^b anwachsen. Diese wäre z. B. bei Smart Metern begründet durch die Annahme, dass Energieunternehmen – nachdem sie in 2027 die gesetzlich verpflichtenden 80% Smart Meter erreicht haben – die restlichen 20% mit gleicher Geschwindigkeit bis 2030 ersetzen.

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde pro Technologie, pro Szenario und pro Marktdurchdringungsgeschwindigkeit wie folgt kalkuliert: Die erwarteten Emissionen im Jahr 2030 wurden mit dem Reduktionspotenzial sowie dem Unterschied zwischen der heutigen und der Marktdurchdringung im Jahr 2030 multipliziert.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario für Smarte Thermostate:

$$\text{Emissionsreduktion} = \text{Bar chart icon} \times \text{Arrow icon} \times \text{Percentage icon}$$

$$0,2 \text{ Mt} = 5,3 \text{ Mt} \times 7,8\% \times (72\% - 16\%)$$

Anmerkungen: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren.; a: Die Berechnungen wurden separat für die Technologien Smart Thermometer, Smart Meter, Smarte Beleuchtung und Gebäudeautomation durchgeführt. Überlappungen von Emissionsreduktionen wurden in der Berechnung betrachtet und subtrahiert; b: Siehe [Anhang Gebäude](#) für eine Erläuterung der einzelnen Technologien; c: Dies beinhaltet die indirekten Emissionen aus dem Elektrizitätsverbrauch.

Durch den Einsatz intelligenter Beleuchtungsanlagen konnte in der Wohnsiedlung Rütihof in Zürich der Energieverbrauch um 95% reduziert werden

Fallstudie: Smart Homes

Ausgangslage

Die «Lichtvereinbarung von Davos» setzt sich zum Ziel, den Stromverbrauch für Licht in der Schweiz von 2017 bis 2025 zu halbieren.¹ Ein gemeinsames Projekt namens «Sensolight», initiiert von der Schweizer Licht Gesellschaft (SLG) und verschiedenen Unternehmen, wurde ins Leben gerufen, um das Einsparpotenzial durch intelligente Beleuchtung in sechs Fallstudien zu demonstrieren und messtechnisch zu bestätigen.² Die Fallstudie der Wohnsiedlung Rütihof^{3,5} in Zürich ermöglichte dabei den direkten Vergleich von intelligenten Beleuchtungsanlagen mit konventionellen Beleuchtungen und herkömmlicher Sensorik. Partnerunternehmen in dieser Fallstudie sind die Nevalux AG und die Steinel AG.^{4,6}

Digitale Technologien

Intelligente, vernetzte LED-Leuchten wurden in den Gemeinschaftsbereichen von 17 Gebäuden mit insgesamt 131 Wohneinheiten der Wohnsiedlung Rütihof, Zürich, installiert. Diese Leuchten wurden mit integrierten Sensoren ausgestattet, darunter Tageslicht- und Präsenzmelder, und mit intelligenten Lichtregelungen kombiniert. Dadurch konnten die herkömmlichen Beleuchtungsanlagen in den betreffenden Bereichen ersetzt werden.^{5,6}

Reduktionspotenzial

Das Reduktionspotenzial wurde mittels detaillierter Vergleichsmessungen zwischen den konventionellen und den intelligenten Beleuchtungssystemen ermittelt. Die Implementierung intelligenter LED-Leuchten und Lichtregelungen in den 17 Wohngebäuden führte insgesamt zu einer beeindruckenden Energieeinsparung von 95%.^{4,5} Diese Einsparungen setzen sich ungefähr zu 53% aus der effektiven Beleuchtungssteuerung und zu etwa 42% aus dem Einsatz energieeffizienter LED-Leuchten zusammen. Dies entspricht einer Gesamtersparnis von 26,7 MWh pro Jahr für alle 17 Gebäude.^{5,6}



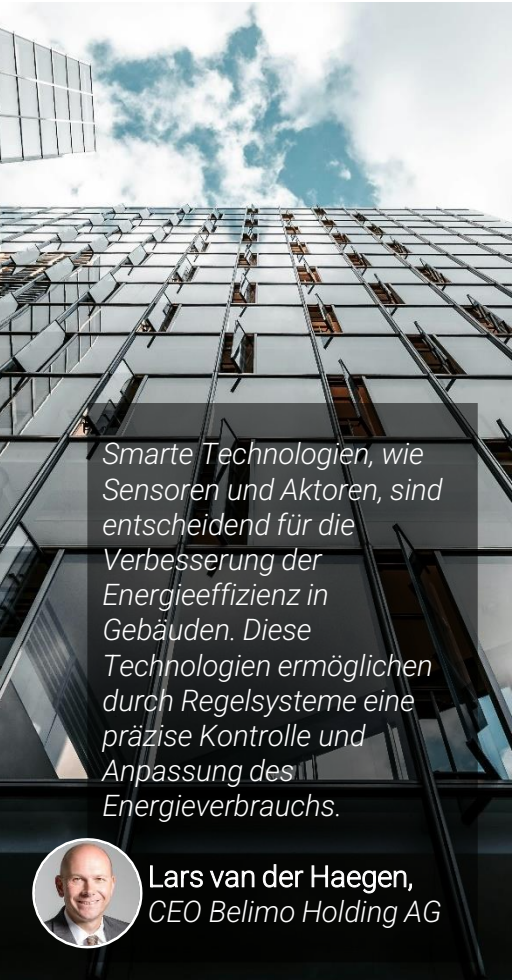
Gebäude- managementsysteme



4.1.2



Gebäudemanagementsysteme können durch automatisierte Steuerung von Geschäftsgebäuden Effizienz aufzeigen



Smarte Technologien, wie Sensoren und Aktoren, sind entscheidend für die Verbesserung der Energieeffizienz in Gebäuden. Diese Technologien ermöglichen durch Regelsysteme eine präzise Kontrolle und Anpassung des Energieverbrauchs.



Lars van der Haegen,
CEO Belimo Holding AG

Gebäudemanagementsysteme

Gebäudemanagementsysteme bezeichnen den Einsatz digitaler Technologien zur Kontrolle und Automatisierung von Funktionen in Nicht-Wohngebäuden wie Bürokomplexen, vor allem von Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Warmwasseraufbereitung. Ziel ist die Steigerung der Effizienz dieser Gebäude. Zwei Hauptansätze werden betrachtet:

Die Messung der Luftqualität und Energieströme im Gebäude, sowie die Auswertung der Messwerte und konsequente Regelung und Optimierung der Gebäudefunktion.

Diese Kombination erhöht die Effizienz von Nicht-Wohngebäuden durch den Einsatz intelligenter Technologien und Automatisierung, was zur Verringerung der Umweltbelastung beiträgt.

Emissionsübersicht

Die Emissionsarten, die in Geschäftsgebäuden besonders relevant sind, sind hauptsächlich mit der Raumklimatisierung und der Warmwasserversorgung verbunden. Dies liegt daran, dass viele Geschäftsgebäude zur Regulierung der Innenraumtemperatur und zur Bereitstellung von Warmwasser auf fossile Brennstoffe wie Erdgas und Heizöl angewiesen sind. Die Verbrennung dieser Brennstoffe führt zur Freisetzung von CO₂ und anderen Treibhausgasen, die zur globalen Erwärmung beitragen.

Angewandte Technologien¹

- **Vernetzte Regelsysteme:** Sensoren zur Messung von Temperatur, Feuchtigkeit und CO₂, die Daten für zentrale und dezentrale Regelgeräte zur effizienten und adaptiven Steuerung des Gebäudes bereitstellen.
- **Energiezähler:** Thermische und elektrische Energiezähler zur Erfassung der Leistungsdaten und Energieströme in Gebäuden.
- **Intelligente Beleuchtung:** Durch die automatisierte Steuerung von Helligkeit und Dauer der Beleuchtung, basierend auf Bewegungs- oder Lichtsensoren in Verbindung mit Tageslicht- und Belegungsdaten, können die Stromverbräuche reduziert werden.
- **Automatisierte Steuerungssysteme:** Diese Systeme nutzen Algorithmen, um Heizung, Lüftung, Klimaanlage (HLK), Beleuchtung und andere Gebäudesysteme automatisch zu regulieren, basierend auf den aktuellen Bedingungen und vordefinierten Einstellungen.
- **Internet of Things (IoT):** Diese Technologie ermöglicht die Vernetzung von Maschinen und Geräten, um Echtzeitdaten der Gebäude zu sammeln und zu analysieren.
- **Maschinelles Lernen (ML)^a:** ML nutzt fortschrittliche Algorithmen, um das Gebäudemanagement in der Automatisierung zu verfeinern. Anhand von Anwesenheit, Wetterdaten und Raumfeuchte wird beispielsweise die Raumtemperatur und Beleuchtung entsprechend angepasst.

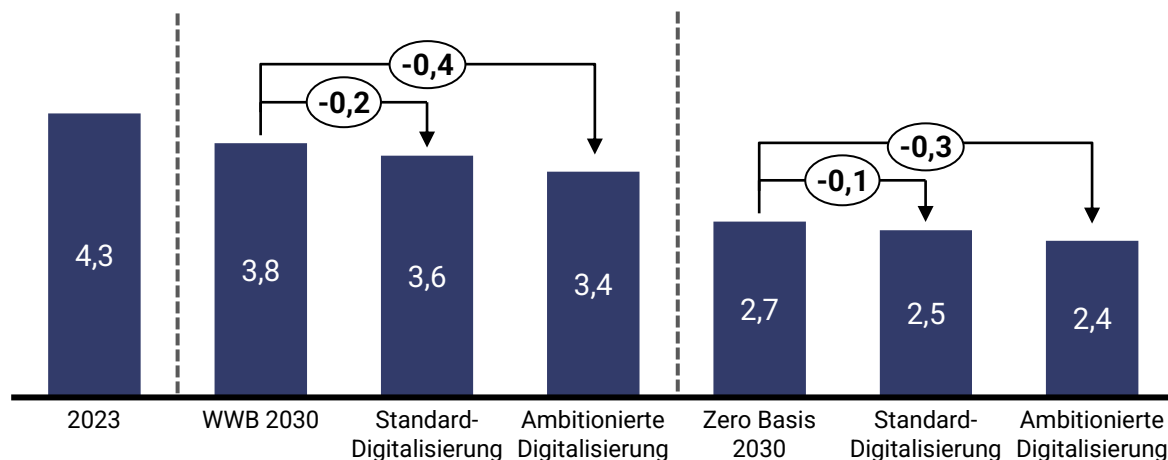
Quellen: 1: Gøthesen, S., et al. (2023).

Anmerkungen: a: Die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellt ebenfalls eine wichtige angewandte Technologie dar, dessen Ausmass in der Studie nicht spezifisch untersucht wurde.



Durch Gebäudemanagementsysteme können im Jahr 2030 Einsparungspotenziale von bis zu 0,4 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch Gebäudemanagementsysteme können bis zu 0,4 Mt CO₂eq eingespart werden^a (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

Gebäudemanagementsysteme erhöhen die Effizienz und senken Betriebskosten durch optimierte Energieverwendung. Intelligente Systeme passen die Nutzung von Ressourcen wie Heizung, Kühlung und Beleuchtung dynamisch an, was nicht nur Kosten spart, sondern auch die Lebensdauer von Anlagen verlängert. Zudem ermöglichen sie ein verbessertes Raumklima, was zu gesteigerter Produktivität und Wohlbefinden der Nutzer führt. Fernüberwachung und -steuerung erlauben schnelle Anpassungen und reduzieren Wartungsaufwand. Sicherheitsaspekte werden durch automatisierte Reaktionen auf Notfälle verbessert.

Berechnung der Emissionsreduktion^a



Emissionsszenarien für das Jahr 2030

Zwei Szenarien der Emissionen im Jahr 2030 wurden betrachtet. Im WWB-Szenario werden Dienstleistungsemissionen von 3,8 Mt CO₂eq und im Zero Basis Szenario 2,7 Mt CO₂eq im Jahr 2030 erwartet.^c



Reduktionspotenzial

Gebäudemanagementsysteme erbringen eine Emissionsreduktion von 1 bis 40%.^b



Marktdurchdringung

Die **heutige Marktdurchdringung** der untersuchten Technologien liegt zwischen 30 bis 33%.^b Bei einer **Standard-Digitalisierung** kann sie auf 44 bis 90%^b wachsen. Bei einer **Ambitionierten Digitalisierung** kann die Marktdurchdringung auf 80 bis 100%^b wachsen. Diese wäre z. B. bei Smart Metern begründet durch die Annahme, dass Energieunternehmen – nachdem sie die gesetzlich verpflichtenden 80% Smart Meter erreicht haben – die restlichen 20% mit gleicher Geschwindigkeit bis 2030 ersetzen.

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde pro Technologie, pro Szenario und pro Marktdurchdringungsgeschwindigkeit wie folgt kalkuliert: Die erwarteten Emissionen im Jahr 2030 wurden mit dem Reduktionspotenzial sowie dem Unterschied zwischen der heutigen und der Marktdurchdringung im Jahr 2030 multipliziert.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario für Thermische Regelsysteme:

$$\text{Emissionsreduktion} = \text{Bar Chart Icon} \times \text{Down Arrow Icon} \times \text{Percentage Icon}$$

$$0,1 \text{ Mt} = 2,7 \text{ Mt} \times 8,6\% \times (80\% - 30\%)$$



Durch Gebäudemanagementsysteme spart Siemens am klimaneutralen Campus Zug Energie und Emissionen ein

Fallstudie: Gebäudemanagementsysteme¹

Ausgangslage

Im Rahmen des Engagements für nachhaltige Entwicklung und Energieeffizienz hat Siemens seinen Campus in Zug mit fortschrittlichen Technologien ausgestattet, um die Betriebsemissionen zu reduzieren. Die Massnahmen führen nicht nur dazu, dass der Campus in Zug schon heute klimaneutral ist. Siemens leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Erreichung des globalen Siemens-Ziels von Netto-Null-Emissionen im Geschäftsbetrieb bis 2030. Zusätzlich dazu, unterstützt das Projekt die Ambition von Siemens, eine Vorreiterrolle in der digitalen Transformation der Gebäudetechnik einzunehmen.

Digitale Technologien

Die Digitalisierung der Gebäudetechnik ermöglicht die Verbindung der realen mit der digitalen Welt und eine intelligente Anbindung der Gebäudetechnik an das Internet der Dinge (IoT).

Der Campus nutzt – neben vielen weiteren Technologien – Desigo CC, Teil von Siemens Xcelerator. Das integrierte Gebäudemanagementsystem gewährleistet eine optimale Raumklimatisierung sowie Energieeffizienz und sorgt zusammen mit einer energieeffizienten LED-Beleuchtung für optimalen Raumkomfort.

Siemens baut die IoT-Integrationen mit Building X weiter aus. Building X ist die skalierbare digitale Gebäudeplattform von Siemens und ebenfalls Teil des Xcelerator-Portfolios. Der Gebäudekomplex verwandelt sich so in ein smartes Netzwerk, das nicht nur Energie- und Ressourceneffizienz bietet, sondern auch den Komfort und das Nutzererlebnis verbessert sowie Arbeitsabläufe optimiert. Dadurch wird ein umweltfreundlicher Betrieb unterstützt und die Nachhaltigkeit auf dem Campus zusätzlich verstärkt.

Reduktionspotenzial

Die intelligente Integration von Mess-, Steuerungs- und Automationstechnik, sowie die Möglichkeit die Gebäudesysteme dem tatsächlichen Bedarf präzise anzupassen und zu steuern, haben nicht nur die Energieeffizienz verbessert. Der Campus in Zug verzichtet im Betrieb auch auf fossile Energieträger und verursacht somit keine CO₂-Emissionen.



Bei Siemens setzen wir konsequent auf fortschrittliche Technologien, um den Betrieb unserer Gebäude nachhaltiger zu gestalten. Der Siemens-Campus in Zug steht exemplarisch dafür, wie integrierte digitale Lösungen dabei helfen können, unseren ökologischen Fussabdruck signifikant zu reduzieren.



Daniel Riesterer,
Head of Real Estate
Switzerland, Siemens
Schweiz AG

Verkehr

4.2

Verkehrssektor

Der Sektor in Zahlen¹

122,7 Milliarden gereiste Personenkilometer

4,8 Millionen Personenwagen im Schweizer Bestand

92,5 Milliarden CHF Kosten verbunden mit Verkehr^a

21% des privaten Verkehrs ist mit öffentlichen Verkehrsmitteln^b

Emissionen aus dem Verkehrssektor²

Der Sektor Verkehr trägt derzeit^c 32% zu den gesamten Treibhausgasemissionen in der Schweiz bei. Diese Emissionen bestehen grösstenteils aus CO₂-Emissionen aus der Verwendung von Treibstoffen, wie Diesel und Benzin, sowie in geringerem Mass auch Erdgas und Flugpetrol. Der grösste Emissionsverursacher im Verkehrssektor ist der private Personenverkehr mit ~75%, gefolgt von dem Güterverkehr mit ~21%. Weitere Emissionen werden vom Flugverkehr verursacht, wobei die Studie nur den nationalen Flugverkehr betrachtet. Der Verkehrssektor verursacht zusätzlich viele Emissionen in seiner Wertschöpfungskette (Scope-3), die in der Studie nicht betrachtet werden.

Quellen: 1: [Bundesamt für Statistik](#); 2: [BAFU](#)

Anmerkungen: a: Inklusive immaterieller Kosten; b: Anteil des öffentlichen Verkehrs (Schiene, Strasse und Seilbahnen) an den zurückgelegten Personenkilometern. c: Da das Treibhausgasinventar das Jahr 2023 bisher noch nicht inkludiert ist, wird der Mittelwert des Zero Basis- und des WWB-Szenarios aus den Energieperspektiven 2050+ für 2023 angenommen.



In der Schweiz müssen wichtige Entscheidungen getroffen werden, um das steigende Verkehrsaufkommen mit modernen Mobilitätskonzepten zu bewältigen

Herausforderungen¹

Zunehmendes Verkehrsaufkommen:

Die steigende Anzahl von Fahrzeugen und die damit verbundene Zunahme des Verkehrs auf den Strassen der Schweiz stellen eine Herausforderung dar, da dieser Anstieg des Verkehrsaufkommens zu längeren Staus, einer ineffizienteren Nutzung von Verkehrswegen und einem erhöhten Energieverbrauch führen kann. Dadurch werden durch den Verkehrssektor sowohl im Personenverkehr als auch im Güterverkehr die Umweltbelastung und Emissionen erhöht.

Einführung neuer Technologien und Mobilitätskonzepte:

Die Einführung neuer Technologien und Mobilitätskonzepte im Verkehrssektor, wie z. B. Elektrofahrzeuge, autonome Fahrzeuge und Shared Mobility-Dienste, birgt sowohl Chancen als auch Risiken. Während diese Innovationen das Potenzial haben, die Luftqualität zu verbessern und die Effizienz des Verkehrs zu steigern, müssen sie effektiv in die bestehende Verkehrsinfrastruktur integriert werden. Die Förderung dieser neuen Technologien erfordert Investitionen in die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge, intelligente Verkehrsmanagementsysteme und die Schaffung eines regulatorischen Umfelds, das Innovationen unterstützt und nachhaltige Mobilitätslösungen fördert.

Auswahl Schweizer Initiativen und Gesetze

Bundesgesetz über die Mobilitätsdateninfrastruktur:²

Aufbau einer Mobilitätsdateninfrastruktur, um einen effizienteren Informationsfluss zwischen Infrastrukturbetreibern, Verkehrsunternehmen, privaten Anbietern und Verkehrsteilnehmern zu ermöglichen.

Bundesgesetz über den unterirdischen Gütertransport:³

Rechtliche Grundlage für «Cargo sous terrain», ein autonomes unterirdisches Gütertransportsystem zwischen Logistikzentren im Mittelland und in der Nordwestschweiz, das den Warentransport erleichtern soll.

Änderung Strassenverkehrsgesetz:⁴

Revision des Strassenverkehrsgesetzes unterstützt Digitalisierung und Klimaschutz, indem emissionsarme Fahrzeuge und digitale Verkehrstechnologien, wie automatisiertes Fahren, gefördert werden.

Perspektive aus der Praxis



Die wichtigsten Herausforderungen sind die effiziente Nutzung des Strassennetzes und die Offenheit für neue Technologien, wie Konnektivität und Autonomie. Es geht darum, die besten Lösungen zu nutzen, ohne zwischen öffentlichem Verkehr und Individualverkehr zu unterscheiden. Spezifisch bei Mobility-as-a-Service gibt es Schwierigkeiten, mit solchen Modellen Geld zu verdienen.

Philipp Wetzel,
MD AMAG Innovation & Venture LAB Teil der AMAG Group

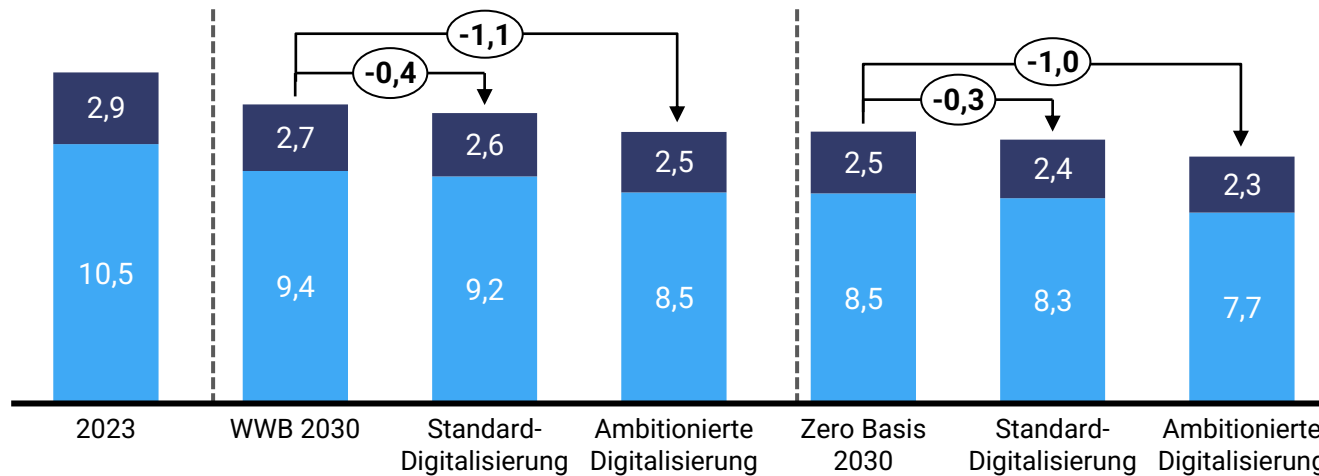
Bis zu 1,1 Mt CO₂eq lassen sich im Verkehrssektor im Jahr 2030 durch digitale Technologien einsparen

Analysierte Anwendungsfälle

Mobility-as-a-Service: Ein Konzept, das verschiedene Verkehrsdienstleistungen und -anbieter integriert, um den Nutzern eine nahtlose und ganzheitliche Mobilitätslösung anzubieten, die auf ihre individuellen Bedürfnisse zugeschnitten ist.

Echtzeit-Routenoptimierung: Die strategische Echtzeitplanung und -auswahl von effizienten Transportrouten, um Zeit-, Kosten- und Ressourceneinsparungen zu maximieren und gleichzeitig pünktlichere und zuverlässigere Lieferungen zu erreichen.

Im Verkehrssektor können bis zu 1,1 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



■ Mobility-as-a-Service ■ Echtzeit-Routenoptimierung

Quelle: 1:Carbon Care Emissions-Rechner.

Anmerkungen: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren; a: Das Reduktionspotenzial wurde aus dem Vergleich der Personenkilometer mit Nutzung von MaaS vs. der Personenkilometer vor der Nutzung von MaaS bestimmt und inkludiert somit auch, dass Nutzerinnen und Nutzer eventuell weiterhin ein Auto besitzen und für bestimmte Strecken verwenden. Darauf beziehen sich auch die berechneten Marktdurchdringungen.

Wichtigste Erkenntnisse

Zwischen **2,9%** und **8,3%** (0,3–0,9 Mt CO₂eq) der Verkehrsemissionen können durch die Anwendung digitaler Technologien reduziert werden.

Mobility-as-a-Service^a



1,8%–7,1% Emissionsreduktion

Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung von **2% heute** auf **11% im Jahr 2030** bei einer Standard-Digitalisierung können 1,8% (0,2 Mt CO₂eq) der Sektor-Emissionen eingespart werden. Dies entspricht dem CO₂-Ausstoss beim Transport von 32 Mio. Tonnen Gütern per LKW von Zürich nach Bern.¹ Bei der ambitionierten Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung von **37%** erreicht werden. Dies entspricht Einsparungen von 7,1% (0,9 Mt CO₂eq) der Sektor-Emissionen oder 131 Mio. Tonnen Güter.

Echtzeit-Routenoptimierung



1,2%–2,1% Emissionsreduktion

Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung von **38% heute** auf **63% im Jahr 2030** bei einer Standard-Digitalisierung können 1,2% (0,1 Mt CO₂eq) der Sektor-Emissionen eingespart werden. Bei der ambitionierten Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung von **83%** erreicht werden, und somit 2,1% der Sektor-Emissionen eingespart werden. Dies entspricht einem Wert von 0,2 Mt CO₂eq – das ist so viel, wie beim Transport von 39 Mio. Tonnen Güter von Zürich nach Bern freigesetzt werden.¹



Philipp Wetzel,
MD AMAG Innovation & Venture LAB Teil
der AMAG Group

Was sind aus Ihrer Sicht die grössten und dringlichsten Herausforderungen, die der Personenverkehr im Klimawandel lösen muss?

Die wichtigsten Herausforderungen sind die effiziente Nutzung des Strassennetzes und die Technologieoffenheit für neue Lösungen wie Konnektivität und Autonomie. Es geht darum, ergebnisoffen die besten Lösungen zu nutzen, ohne bereits zu früh in eine dogmatische Diskussion zwischen öffentlichem Verkehr und Individualverkehr zu verfallen. Spezifisch bei Mobility-as-a-Service (MaaS) gibt es Schwierigkeiten, mit solchen Modellen Geld zu verdienen. Wir haben uns entschieden, MaaS-Modelle nur noch im B2B-Modus anzubieten, da wir nicht glauben, dass wir derzeit über B2C Geld verdienen könnten.

Wie integriert sich das AMAG Innovation Lab in MaaS und in die Zukunft dieses Bereichs?

Wir konzentrieren uns auf MaaS, connected und autonomes Fahren sowie Smart City-Lösungen. Unsere Aufgabe ist es, diese innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre profitabel zu entwickeln und diese dann in unsere Geschäftseinheiten zu übertragen.

Kristallisiert sich aus den dreien ein Konzept heraus, das besonders stark ist und besonders viel im Sinne von Nachhaltigkeit weiterhelfen kann?

Elektromobilität gekoppelt mit Grünstrom bietet den schnellsten und stärksten Impact. Für Eigentümer eigener Immobilien ist es einfacher, Solarenergie zu nutzen und Elektrofahrzeuge zu laden, während Mieterinnen und Mieter oft weniger Möglichkeiten haben.

Teil Ihres MaaS-Projekt allride sind vor allem Lösungen, die mit dem Vier- oder Zweirad involviert sind. Da ist der ÖV bisher nicht inkludiert?

Wir sind daran, den ÖV in unsere Lösung zu inkludieren und sollten damit Ende des 2. Quartals 2024 live gehen, so dass die ersten Kundinnen und Kunden dann aus der App heraus die Möglichkeit haben, verschiedene Lösungen zu buchen. Firmenkunden haben sich schon bereiterklärt, dafür Lizenzgebühren abzuführen.

Hat allride bereits Analysen gemacht, wie viele Emissionen eine Verlagerung von Verkehrsmodi einsparen kann, wenn MaaS angewendet wird?

Spezifisch kann ich keine Zahlen liefern, aber wir binden bei uns nur Elektrofahrzeuge ein. Zusätzlich bieten wir Ladelösungen und Photovoltaik an, um unseren Kundinnen und Kunden zu helfen, nachhaltiger zu werden. Desweiteren verbessern wir durch die gemeinsame Nutzung der Flotte die Auslastung und reduzieren so den Bedarf an einer grossen starren Flotte. Und zusätzlich, wenn die Leute die Wahl haben, wie sie sich von A nach B bewegen und dann auch mal auf den ÖV umsteigen, auch aufgrund der Convenience, gibt es eine Verschiebung.

Haben Sie eine Veränderung gesehen zum Reiseverhalten, dass Nutzer von MaaS sich tendenziell mehr fortbewegen?

Es gibt keine signifikanten Änderungen im Mobilitätsverhalten. Die Leute hatten bereits Zugang zu Mobilitätslösungen, die sie über Spesen abrechnen konnten. Bei den Privaten stellt entweder die Kommune oder die Stockwerkeigentümerschaft oder der Vermieter das Angebot und verrechnet indirekt den Aufwand je nach Zeit oder Kilometer. Die Lage, Verkehrsanbindung etc. der Wohnüberbauung spielt dabei eine grosse Rolle für die Nutzung verschiedener Verkehrsmodi.

Und wie sehen Sie zurzeit die Entwicklung von MaaS? Ab wann werden Unternehmen flächendeckend ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter MaaS-Programme anbieten?

Das hängt sehr stark vom Regulator ab, was in der Zukunft erlaubt sein wird und was nicht. MaaS unterliegt Trends und regulatorischen Anforderungen. Vor ein paar Jahren lag der Fokus stark auf Nachhaltigkeit, momentan sind andere politische und ökonomische Themen vorrangig. Meine Erfahrung mit Sharing zeigen: Alle sprechen darüber, alle finden es toll, aber es werden nach wie vor keine grossen Nutzerzahlen erzielt. Aber auch hier, glaube ich, hängt das sehr stark mit dem Regulator zusammen, was in der Zukunft erlaubt sein wird und was nicht.



Franciska Tschanz,
Leiterin Tourenplanung, Algorithmus und KI
Planzer Transport AG

PLANZER

Wie betrachtet Planzer die Bedeutung der intelligenten Routenoptimierung im Kontext der Reduzierung von Emissionen im Strassengüterverkehr?

Durch die effiziente Planung und Nutzung von Routen können wir nicht nur die Fahrzeugkilometer reduzieren, sondern auch Staus vermeiden und den Treibstoffverbrauch optimieren. Dies trägt nicht nur zur Verringerung der Umweltbelastung bei, sondern führt auch zu Kosteneinsparungen und einer insgesamt nachhaltigeren Betriebsweise.

Welche konkreten Initiativen wurden bisher unternommen, um intelligente Routenoptimierungslösungen zu entwickeln oder zu integrieren, und welche Herausforderungen wurden dabei identifiziert?

Wir haben verschiedene Initiativen ergriffen, um intelligente Routenoptimierungslösungen zu entwickeln und zu integrieren. Dazu gehören Investitionen in fortschrittliche Technologien zur Datenanalyse, die Zusammenarbeit mit Experten im Bereich der Logistiksoftware und die Entwicklung massgeschneiderter Algorithmen für unsere spezifischen Anforderungen. Während dieses Prozesses wurden einige Herausforderungen identifiziert, wie beispielsweise die Integration verschiedener Datenquellen, die Sicherstellung von Echtzeitinformationen und Anpassungen an sich ändernde Verkehrsmuster. Wir sind zuversichtlich, dass unsere fortlaufenden Bemühungen zur intelligenten Routenoptimierung dazu beitragen, unsere Effizienz zu steigern und gleichzeitig unsere ökologischen Auswirkungen zu minimieren.

Inwiefern erwartet Sie, dass intelligente Routenoptimierung die Emissionen im Strassengüterverkehr reduzieren kann, und gibt es bereits konkrete Beispiele oder Ergebnisse, die Sie teilen können?

Wir erwarten, dass intelligente Routenoptimierung einen signifikanten Beitrag zur Reduzierung der Emissionen im Strassengüterverkehr leisten kann. Durch die Optimierung von Routen und Fahrzeugauslastung können wir nicht nur die Fahrstrecken reduzieren, sondern auch Staus vermeiden und den Treibstoffverbrauch optimieren.

Obschon wir noch keine konkreten Ergebnisse teilen können, befinden wir uns in fortlaufenden

Testphasen und haben bereits positive Anzeichen dafür, dass unsere Initiativen zur intelligenten Routenoptimierung dazu beitragen, unsere ökologischen Auswirkungen zu minimieren - besonders in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch. Wir sind zuversichtlich, dass diese Bemühungen langfristige positive Effekte auf die Umwelt haben werden.

Welche Hindernisse oder Hemmnisse sieht Planzer bei der Skalierung von intelligenten Routenoptimierungsinitiativen und wie planen Sie diese zu überwinden?

Hindernisse, die wir sehen sind die Komplexität der Datenintegration, die Anpassung an sich ändernde Verkehrsbedingungen und die Implementierung neuer Technologien. Um diese zu überwinden, setzen wir auf eine schrittweise und umfassende Herangehensweise, in enger Zusammenarbeit mit unseren Teams aus IT-Experten, Logistikfachleuten und externen Partnern. Wir investieren kontinuierlich in Schulungen und Ressourcen, um sicherzustellen, dass unsere Mitarbeiter über das erforderliche Fachwissen verfügen, und wir halten engen Kontakt zu Branchenexperten, um Best Practices zu identifizieren und zu implementieren. Durch diese strategische Herangehensweise sind wir zuversichtlich, dass wir die Hindernisse bei der Skalierung überwinden und unsere intelligenten Routenoptimierungsinitiativen erfolgreich ausbauen können.

Wie schätzt Ihr Unternehmen die Zukunft der intelligenten Routenoptimierung im Strassengüterverkehr ein und welche Massnahmen werden ergriffen, um eine breitere Akzeptanz und Anwendung zu fördern?

Unser Unternehmen sieht eine vielversprechende Zukunft für intelligente Routenoptimierung im Strassengüterverkehr, da sie Emissionen reduziert, die Effizienz steigert und die Kundenerfahrung verbessert. Wir investieren in Forschung, Partnerschaften und Schulungen, um ihre breitere Akzeptanz zu fördern und die Zukunft des Strassengüterverkehrs nachhaltiger zu gestalten.

Mobility-as-a-Service



4.2.1



Mobility-as-a-Service vereinfacht den Umgang mit und Wechsel auf nachhaltige Transportmodi



Mobility-as-a-Service

Mobility-as-a-Service (MaaS) revolutioniert den Verkehrssektor, indem es eine integrierte Plattform für verschiedene Verkehrsmittel bereitstellt und so die Effizienz und Nachhaltigkeit im Personenverkehr verbessert. Diese Lösung kombiniert öffentliche Verkehrsmittel, Velos, Carsharing und Fahrdienste zu einer benutzerfreundlichen Lösung. Nutzerinnen und Nutzer können über mobile Apps bequem ihre Reisen planen, buchen und bezahlen. Im Idealfall bieten sie eine Abonnement-Lösung an, um intermodales Reisen so einfach wie möglich zu gestalten. MaaS reduziert Fahrzeugbesitz, optimiert Verkehrsinfrastrukturen und fördert umweltfreundliche Verkehrsmittel. Die Integration in städtische Verkehrsplanungssysteme verbessert die Mobilität und trägt zur nachhaltigeren Nutzung der Verkehrsinfrastruktur bei.

Emissionsübersicht

Personenkraftwagen (PKWs) machen heute mit 10,5 Mt CO₂eq etwa 70% der Emissionen im Verkehrssektor aus.¹ Diese Emissionen entstehen durch den Betrieb von Autos, insbesondere durch den Verbrennungsmotor und den damit verbundenen Treibstoffverbrauch.

Angewandte Technologien²

MaaS kann durch die Anwendung folgender Technologien ermöglicht werden:

- **APIs und Datenintegration:** Die nahtlose Integration von Daten und Diensten verschiedener Verkehrsanbieter erfordert APIs (Application Programming Interfaces) und Datenintegrationstechnologien, um einen reibungslosen Informationsaustausch zu gewährleisten.
- **Internet of Things (IoT):** IoT bildet das Rückgrat von MaaS-Lösungen, indem es verschiedene Mobilitätssysteme und -lösungen nahtlos integriert und Tarife sowie Nutzungsregeln vereinheitlicht. Es ermöglicht Echtzeit-Tracking, Datenaggregation und die Entwicklung von Reise- und Planungslösungen.
- **Blockchain-Technologie:** Blockchain-Technologie kann entscheidend für die Aufzeichnung und Validierung von Transaktionen im Verkehrssektor sein, wodurch Zuverlässigkeit gewährleistet wird. Sie fördert auch die Entwicklung von Smart Contracts (digitale Verträge, die auf einer Blockchain ausgeführt werden und automatisch Bedingungen erfüllen oder Transaktionen durchführen, wenn vordefinierte Regeln erfüllt sind) und verbessert das Vertragsmanagement in städtischen Umgebungen.
- **Maschinelles Lernen (ML)^a:** Maschinelles Lernen verbessert Mobility-as-a-Service (MaaS) durch die Analyse und Prognose von Mobilitätsdaten, was zu effizienteren und personalisierten Verkehrsdiensten führt.

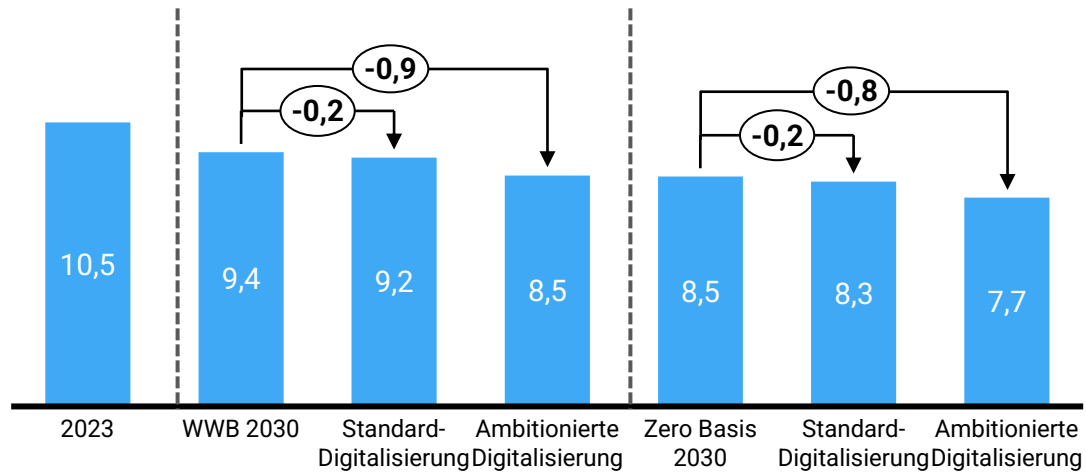
Quellen: 1: [Energieperspektiven 2050+](#), 2: [Eby, D. W., et al. \(2019\)](#)

Anmerkungen: a: Die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellt ebenfalls eine wichtige angewandte Technologie dar, dessen Ausmass in der Studie nicht spezifisch untersucht wurde.



Durch Mobility-as-a-Service können im Jahr 2030 Einsparungspotenziale von bis zu 0,9 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch MaaS können bis zu 0,9 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

MaaS bietet neben der Reduzierung von Autoverkehrsemissionen zahlreiche weitere Vorteile. Dazu gehören die Förderung von umweltfreundlichen Verkehrsmitteln wie öffentlichen Verkehrsmitteln und Velos, die Verringerung von Verkehrsstaus und Reisezeiten, die Senkung der individuellen Kosten¹ für Mobilität, und die Verbesserung der städtischen Lebensqualität durch eine nachhaltigere und effizientere Nutzung der Verkehrsinfrastruktur und eine Optimierung der Parkraumnutzung.

Quellen: 1: Mitropoulos, L., et al. (2023), 2: BAFU (2023);

Anmerkungen: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren; a: Das Reduktionspotenzial wurde aus dem Vergleich der Personenkilometer mit Nutzung von MaaS vs. der Personenkilometer vor der Nutzung von MaaS bestimmt und inkludiert somit auch, dass Nutzerinnen und Nutzer eventuell weiterhin ein Auto besitzen und für bestimmte Strecken verwenden. Darauf beziehen sich auch die berechneten Marktdurchdringungen.

Berechnung der Emissionsreduktion

Emissionsszenarien für das Jahr 2030

Zwei Szenarien der Emissionen im Jahr 2030 wurden betrachtet. Im Szenario „Weiter wie bisher“ (WWB) werden Emissionen durch PKWs von 9,4 Mt CO₂eq und im Zero Basis-Szenario von 8,5 Mt CO₂eq im Jahr 2030 erwartet.²

Reduktionspotenzial^a

Der Einsatz von MaaS ermöglicht eine zusätzliche CO₂eq-Reduktion von bis zu 26% pro Personenkilometer, der von Personen mit MaaS im Jahre 2030 gereist wird.

Marktdurchdringung

Die heutige Marktdurchdringung der Lösung liegt bei etwa 2%. Es wird erwartet, dass die Durchdringung bis 2030 auf 11% ansteigen wird. Bei der ambitionierten Digitalisierung kann dieser Wert auf bis zu 37% ansteigen. Dieser Wert basiert auf Umfragewerten in Zürich zur «wahrscheinlichen» oder «sehr wahrscheinlichen» Nutzung eines MaaS-Service mit Abo, sowie dem Ausschluss von stark ländlichen Märkten.



[Die Marktdurchdringung in der Zukunft] hängt sehr stark davon ab, was der Regulator in der Zukunft erlaubt und was nicht.

Philipp Wetzel,

MD AMAG Innovation & Venture LAB Teil der AMAG Group

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde wie folgt kalkuliert: Die erwarteten Emissionen im Jahr 2030 wurden multipliziert mit dem Reduktionspotenzial sowie dem Delta zwischen der Marktdurchdringung heute und im Jahr 2030.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario:

$$\text{Emissionsreduktion} = 8,5 \text{ Mt} \times 26\% \times (37\% - 2\%) = 0,8 \text{ Mt}$$



Die Städte Zürich, Basel und Bern zeigen Potenzial für modale Verschiebungen durch Abo-Lösungen in Mobility-as-a-Service

Fallstudie: Mobility-as-a-Service^{1,2}

Ausgangslage

Im Jahr 2020 startete das zeitlich begrenzte Pilotprojekt yumuv in der Schweiz, um ein attraktives, einfaches, multimodales Mobilitätsangebot zu entwickeln, das Nutzerinnen und Nutzern das häufigere Stehenlassen oder Verzichtens auf das eigene Auto ermöglichen soll. Dazu wurden verschiedene Mobilitätsabonnements explorativ entwickelt und getestet. In Zusammenarbeit mit lokalen Verkehrsbetrieben (wie der SBB), Mobilitätspartnern (wie Mobility), Softwareanbietern (wie Trafi), und mit der Forschungsbegleitung durch die ETH Zürich richtete sich das Projekt an potenzielle Nutzerinnen und Nutzer in den Grosstädten Zürich, Basel und Bern, die täglich mit Mobilitätsfragen konfrontiert waren.

Digitale Technologien

Das yumuv-Pilotprojekt setzte auf eine innovative App, die es den Teilnehmerinnen und Teilnehmern ermöglichte, ihre Pendelrouten zu planen, öffentliche Verkehrsmittel zu buchen und Informationen über alternative Mobilitätsdienste zu erhalten. Die App verzeichnete eine Abo-Auslastung – den Anteil der Nutzerinnen und Nutzer, die das Abo vollständig ausnutzten – von 65%. 51% der Abonnements wurden nach dem ersten Monat verlängert.

Reduktionspotenzial

Die Learnings von yumuv beschreiben, dass Kundinnen und Kunden mit einem yumuv-Abo ihr Privatauto weniger nutzen würden, insbesondere wenn yumuv ein Flatrate-Abo anbieten würde. Dies deutet auf ein erhebliches Potenzial hin, den individuellen Autoverkehr zu reduzieren und die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel zu fördern.



Echtzeit- Routenoptimierung



4.2.2



Echtzeit-Routenoptimierung ermöglicht geringeren Ausstoss von Emissionen im Strassengüterverkehr



Durch die effiziente Planung und Nutzung von Routen können wir nicht nur die Fahrzeugkilometer reduzieren, sondern auch Staus vermeiden und den Treibstoffverbrauch optimieren.

Franciska Tschanz,
Leiterin Tourenplanung,
Algorithmus und KI
Planzer Transport AG

Echtzeit-Routenoptimierung

Die digitale optimierte Echtzeit-Routenplanung im Güterverkehr auf der Strasse nutzt digitale Technologien, um effiziente und umweltfreundliche Verkehrsrouten in Echtzeit zu planen. Diese Technologien ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung von Transporten und Verkehrslage, wodurch Engpässe vermieden und alternative Routen berechnet werden können. Durch die Echtzeitüberwachung können Fahrzeugbewegungen optimiert werden, um den Treibstoffverbrauch zu minimieren und Emissionen zu reduzieren. Die präzise Routenführung ermöglicht eine effiziente Nutzung von Ressourcen und verringert somit die Umweltauswirkungen des Gütertransports auf der Strasse.

Emissionsübersicht

Emissionen im Strassengüterverkehr entstehen hauptsächlich durch den Verbrennungsmotor von Lastkraft- und Lieferwagen. Fossile Kraftstoffe werden verbrannt, wodurch Kohlendioxid (CO₂), Stickoxide (NO_x), Partikel und andere Schadstoffe freigesetzt werden. Darüber hinaus tragen Staus und Stop-and-Go-Verkehr zur erhöhten Emission von Schadstoffen bei. Zusätzliche Faktoren sind der Abrieb der Reifen und Bremsen sowie die Aerodynamik der Fahrzeuge.

Angewandte Technologien

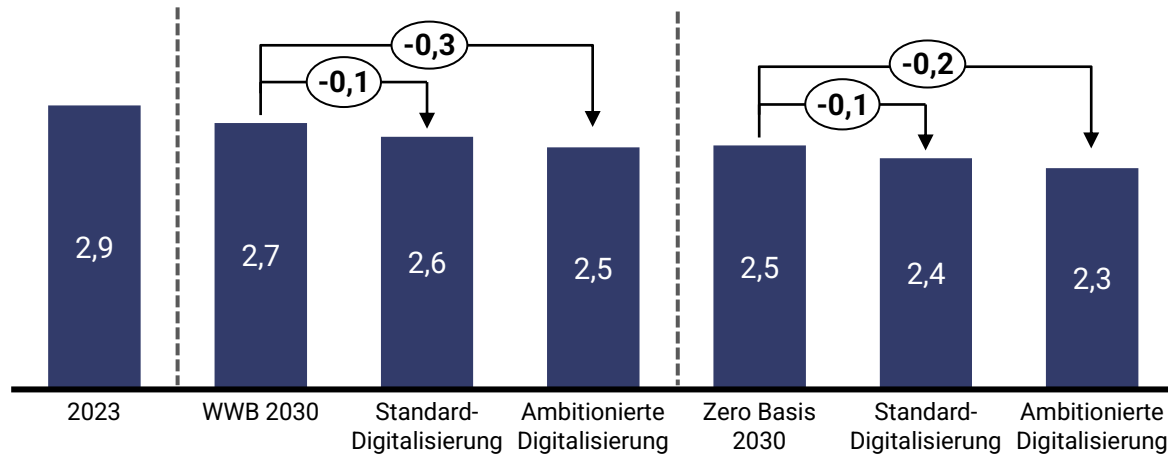
Echtzeit-Routenoptimierung kann durch die Anwendung folgender Technologien ermöglicht werden:

- **GPS-Technologie:** Globale Positionierungssysteme (GPS) ermöglichen die genaue Ortung von Fahrzeugen in Echtzeit. Durch die Integration von GPS in Routenplanungssoftware können Unternehmen den Standort ihrer Fahrzeuge verfolgen und optimale Routen basierend auf aktuellen Verkehrsbedingungen planen.¹
- **Telematiksysteme:** Telematiksysteme erfassen und übertragen Daten zu Fahrzeugleistung, Treibstoffverbrauch, Fahrverhalten und Standort in Echtzeit. Diese Daten werden verwendet, um Fahrzeugbewegungen zu überwachen, Leistungsanalysen durchzuführen und Routen zur Maximierung der Effizienz anzupassen.^{1,2}
- **Verkehrsdatenanalyse:** Durch die Analyse von Verkehrsdaten aus verschiedenen Quellen wie Verkehrsleitsystemen, Sensoren und historischen Verkehrsdatenbanken können Unternehmen Verkehrsmuster identifizieren und Engpässe voraussehen.²
- **Cloud-basierte Logistikplattformen:** Cloud-basierte Logistikplattformen bieten eine zentrale Datenbank für die Speicherung und Analyse von Logistikdaten. Sie ermöglichen Echtzeitkommunikation zwischen Fahrern, Disponenten und anderen Akteuren entlang der Lieferkette.³



Durch Echtzeit-Routenoptimierung können im Jahr 2030 Einsparungspotenziale von bis zu 0,3 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch Echtzeit-Routenoptimierung können bis zu 0,3 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

Durch Echtzeit-Routenoptimierung profitieren Unternehmen von Kosteneinsparungen durch reduzierten Treibstoffverbrauch und Betriebskosten. Schnellere Lieferungen und verbesserte Kundenbindung können aus den Zeiteinsparungen durch optimierte Routen resultieren.¹ Die präzise Planung führt zu einer besseren Auslastung der Fahrzeuge und minimiert Leerfahrten. Zudem ermöglicht die Echtzeitüberwachung eine flexible Reaktion auf unvorhergesehene Ereignisse. Insgesamt steigert die digitale Optimierung die Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Güterlogistik auf der Strasse.

Berechnung der Emissionsreduktion

Emissionsszenarien für das Jahr 2030

Zwei Szenarien der Emissionen für den Strassengüterverkehr im Jahr 2030 wurden betrachtet. Im Szenario «Weiter-wie-bisher» (WWB) werden Emissionen von 2,72 Mt CO₂eq und im Zero Basis Szenario 2,49 Mt CO₂eq im Jahr 2030 erwartet.²

Reduktionspotenzial

Der Einsatz von optimierter Routenführung ermöglicht eine zusätzliche CO₂eq-Reduktion von bis zu 21% im Jahre 2030.

Marktdurchdringung

Die heutige Marktdurchdringung der Technologien liegt bei etwa 38%. Es wird erwartet, dass die Durchdringung bis 2030 auf 63% ansteigen wird. Bei der ambitionierten Digitalisierung kann dieser Wert auf bis zu 83% ansteigen, was auf dem Marktwachstum von Connected Logistics basiert.

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde wie folgt kalkuliert: Die erwarteten Emissionen im Jahr 2030 wurde mit dem Reduktionspotenzial sowie dem Unterschied zwischen der heutigen und der Marktdurchdringung im Jahr 2030 multipliziert.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario:

$$\text{Emissionsreduktion} = \text{Barren} \times \text{Pfeil} \times \text{Prozent}$$

$$0,2 \text{ Mt} = 2,5 \text{ Mt} \times 21\% \times (83\% - 38\%)$$



Das Schweizer Logistikunternehmen Krummen Kerzers AG plant eine Reduktion von Verkehrsemissionen um mehr als 24% durch Echtzeit-Routenoptimierung

Fallstudie: Echtzeit-Routenoptimierung

Ausgangslage

Krummen Kerzers AG, ein führendes Logistikunternehmen mit Schwerpunkt auf europaweite Lebensmittel- und Pharmatransporte, erkannte die Notwendigkeit ihre Transportabläufe zu optimieren, um unnötige Emissionen zu reduzieren und gleichzeitig ihre Effizienz zu steigern. Angesichts der wachsenden Anforderungen an Logistiklösungen entschied das Unternehmen, seine Dispositionssoftware zu modernisieren und neue Technologien einzusetzen, um nachhaltigere und effektivere Transporte zu ermöglichen.

Digitale Technologien

Krummen Kerzers wählte das bewährte Transport-Managementsystem WinSped, das eine Vielzahl von Funktionen für die effiziente Tourenplanung und Auftragsabwicklung bietet. Mit WinSped konnten Touren einfach und automatisch unter Berücksichtigung der Fahrzeugstammdaten zusammengestellt werden. Die Software ermöglichte eine Echtzeitverfolgung von Sendungen und Transporten sowie die Berechnung der voraussichtlichen Ankunftszeit. Diese Funktionen erlaubten eine präzise Routenplanung in Echtzeit und minimierte Wartezeiten für Kunden.¹

Reduktionspotenzial

Das Unternehmen, das an vier Standorten mit insgesamt 100 LKWs arbeitet und jährlich rund 150'000 Aufträge abwickelt, plant durch die Integration von WinSped und die optimierte Routenplanung, eine signifikante Reduktion der Emissionen zu erreichen. Konkret heisst das: mehr als 24% der Emissionen sollen durch optimierte Routenplanung reduziert werden.² Darüber hinaus profitierte Krummen Kerzers von der verbesserten Tourenplanung durch kürzere Fahrzeiten und reduzierte Wartezeiten.³ Dies steigerte nicht nur die Kundenzufriedenheit, sondern senkte auch die Kosten und trug zur nachhaltigeren Geschäftstätigkeit bei.



Landwirtschaft

4.3

Landwirtschaftssektor

Der Sektor in Zahlen

~48 Tausend Betriebe mit einer Durchschnittsgrösse von 22 Hektar¹

~1 Million Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche²

~16 Millionen Tiere (82,2% Geflügel, 9,5% Rinder, 8,3% Schweine)²

~83,3% der Schweizer Methanemissionen kommen aus der Landwirtschaft³

Emissionen aus dem Landwirtschaftssektor

Die Emissionen des Landwirtschaftssektors in der Schweiz stammen aus dem Pflanzenanbau und der Nutztierhaltung. Emissionen aus dem Pflanzenanbau kommen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie aus der Kalk- und Harnstoffdüngung.

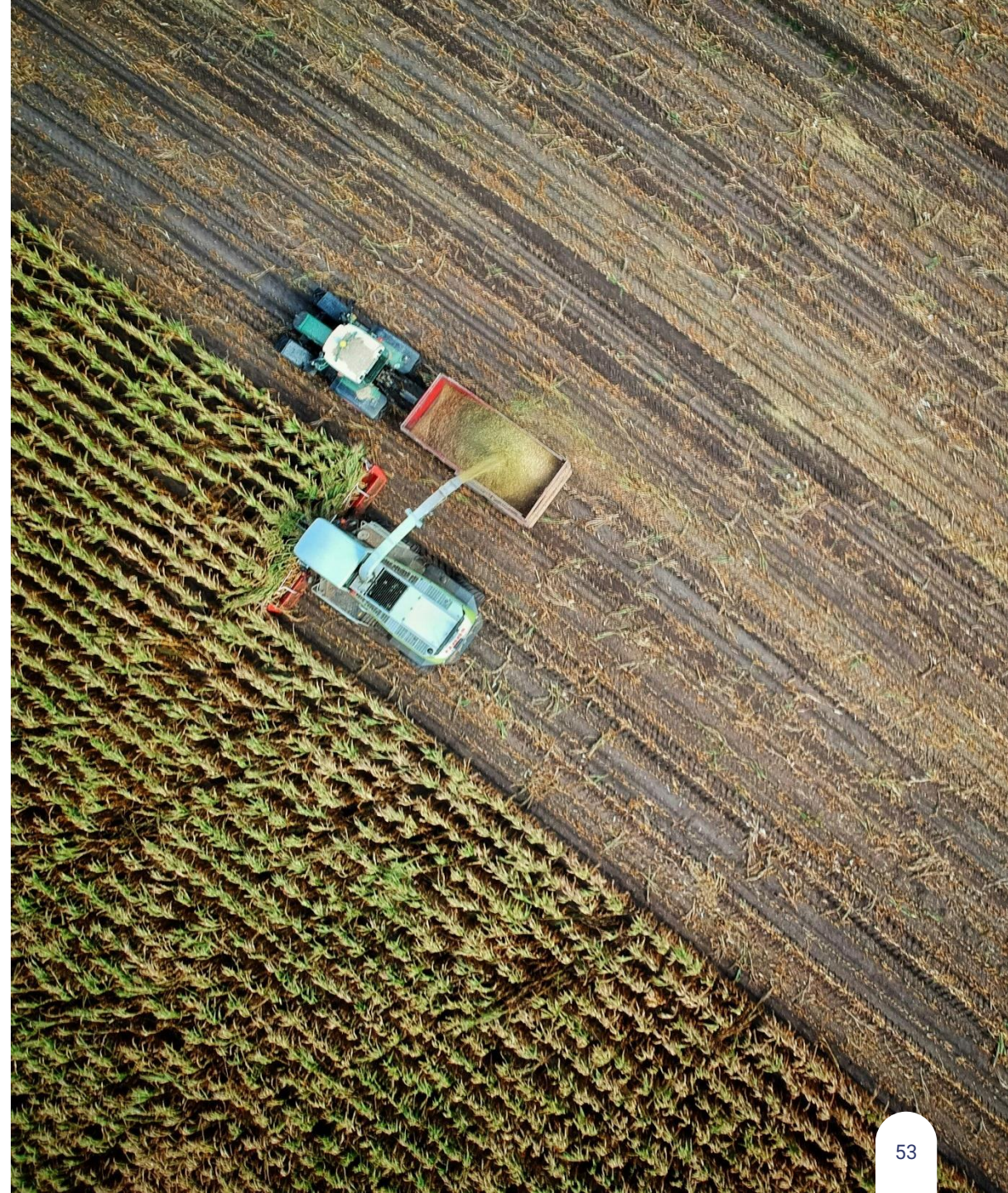
Nutztierhaltungsemissionen entstehen aus den Verdauungsprozessen der Tiere (auch enterische Fermentation genannt) und aus der Hofdüngerbewirtschaftung.^{4,5,a}

Die Landwirtschaft trägt heute^b etwa zu 14% der Schweizer Gesamtemissionen bei und ist dabei für 83,3% der Schweizer Methan- und 56,5% der Lachgas-Emissionen verantwortlich.⁴

Quellen: 1: EDA Schweiz (2023); 2: Bundesamt für Statistik (2024); 3: Bundesamt für Umwelt (2023); 4: Bundesamt für Umwelt (2023); 5: IPCC-Guidelines for National GHG Inventories

Anmerkungen: a: Landwirtschaftliche Emissionen basieren auf der Sektordefinition der «IPCC-Guidelines for National GHG Inventories». Somit sind CO₂-Emissionen aus der Energienutzung in der Landwirtschaft nicht inkludiert.

b: Da das Treibhausgasinventar das Jahr 2023 bisher noch nicht inkludiert ist, wird der Mittelwert des Zero Basis- und des WWB-Szenarios aus den Energieperspektiven 2050+ für 2023 angenommen.



Der Landwirtschaftssektor wird stark vom Klimawandel beeinflusst, hat jedoch gleichzeitig das Potenzial, zur Minderung des Klimawandels beizutragen

Herausforderungen

Starke Auswirkungen des Klimawandels:

Die Schweizer Landwirtschaft ist nicht nur Mitverursacher des Klimawandels (14% der Schweizer CO₂eq-Emissionen stammen aus der Landwirtschaft¹), sondern wird auch stark von den Konsequenzen des Klimawandels, wie zum Beispiel extremen Trockenzeiten oder Starkniederschlägen, beeinflusst.² Somit muss der Sektor nicht nur seine Emissionen reduzieren, um die nationalen Emissionsreduktionsziele zu erreichen, sondern sich auch an die Konsequenzen des Klimawandels anpassen.³

Erhöhter Selbstversorgungsgrad:

Die Schweizer Regierung hat die «Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung 2050» entwickelt, um unter anderem bei der Anpassung an die Klimaveränderungen zu unterstützen und zudem einen Selbstversorgungsgrad von mindestens 50% bis 2050 zu erreichen.³ Im Jahr 2021 lag der Netto-Selbstversorgungsgrad bei 45%.⁴

Somit brauchen Schweizer Landwirtinnen und Landwirte Lösungen, die die Anpassung an den Klimawandel ermöglichen, die Emissionen des Sektors reduzieren und die Nahrungsmittelproduktion erhöhen.

Auswahl Schweizer Initiativen und Gesetze

Klimastrategie Landwirtschaft und Ernährung 2050³:

Vom Bund entwickelte Strategie zur Reduktion der Emissionen aus Landwirtschaft und Ernährung.

Charta zur Digitalisierung der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft⁵: Charta mit dem Ziel, den Austausch von Agrardaten und der Zusammenarbeit zwischen Akteuren der Land- und Ernährungswirtschaft zu fördern.

Strategie Strukturverbesserungen 2030+⁶:

Finanzhilfen von Bund und Kantonen, u. a. zur Förderung einer tier- und umweltfreundlichen Produktion und durch Nutzung der Chancen der Digitalisierung.

Perspektive aus der Praxis



Die Landwirtschaft steht vor Herausforderungen wie dem Tierwohl, dem Klimaschutz, dem Absenkpfad und der Transparenz in der Wertschöpfungskette. Diese Herausforderungen erfordern drei Dinge: Sie schaffen neue Regelwerke / Auflagen, neue Dokumentationspflichten und neue Informationspflichten. Die Digitalisierung hilft Landwirtinnen und Landwirten dabei die Komplexität überhaupt beherrschbar zu machen.

Marco Mattmann,
Leiter Smart Farming fenaco

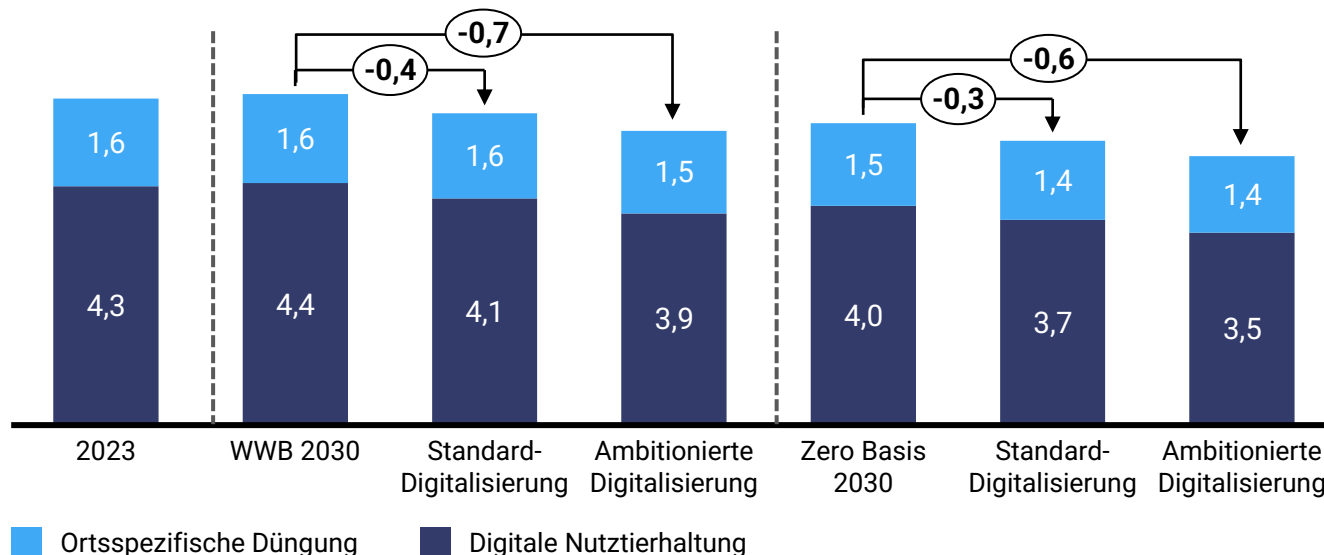
Bis zu 0,7 Mt CO₂eq lassen sich im Landwirtschaftssektor im Jahr 2030 durch digitale Technologien einsparen

Analysierte Anwendungsfälle

Ortsspezifische Düngung: Digitale Technologien, die eine effiziente und gezielte Düngung und Kalkung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ermöglichen und somit die damit verbundenen Emissionen reduzieren.

Digitale Nutztierhaltung: Digitale Technologien zur Beobachtung und gezielten Fütterung von Nutztieren.

Im Landwirtschaftssektor können bis zu 0,7 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Wichtigste Erkenntnisse

Zwischen **5,8%** und **11,1%** (0,4–0,7 Mt CO₂eq) der Landwirtschaftsemissionen können durch die Anwendungsfälle reduziert werden.

Ortsspezifische Düngung

 **1,1%–2,0%** Emissionsreduktion

Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung von **19% heute** auf **30% im Jahr 2030** bei einer Standard-Digitalisierung können bis zu 1,1% (0,07 Mt CO₂eq) der Landwirtschaftsemissionen eingespart werden. Dies entspricht den jährlichen Treibhausgasemissionen der Durchschnittsnutzung von rund 24'500 Traktoren.¹ Bei ambitionierter Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung von **40%** erreicht werden und somit bis zu 2,0% (0,12 Mt CO₂eq) oder die Emissionen von 42'000 Traktoren¹ eingespart werden.

Digitale Nutztierhaltung

 **4,7%–9,1%** Emissionsreduktion

Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung von **29% heute** auf **55% im Jahr 2030** bei einer Standard-Digitalisierung können bis zu 4,7% (0,3 Mt CO₂eq) der Landwirtschaftsemissionen eingespart werden. Dies entspricht der Jahresemission von rund 100'000 Kühen.² Bei der ambitionierten Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung von **79%** erreicht werden und somit bis zu 9,1% (0,5 Mt CO₂eq) oder die Jahresemissionen von rund 200'000 Kühen² eingespart werden.

Quellen: 1: Fahrzeuge der Landwirtschaft und Maschinen als Luftschadstoffquellen (admin.ch); 2: Klimakiller Kuh.
Anmerkungen: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren



Marco Mattmann,
Leiter Smart Farming
fenaco

Wie digitalisiert ist die Schweizer Landwirtschaft heute? Wie wird sie sich bis 2030 entwickeln?

Wir schätzen, dass sich heute ein Grossteil der landwirtschaftlichen Betriebe mit diversen digitalen Werkzeugen beschäftigt. Die Nutzung dieser Werkzeuge ist jedoch sehr unterschiedlich, je nach Betriebszweig. Ein reiner Grünlandbetrieb hat eine andere Organisation und andere Anforderungen als ein Gemüseproduzent. Die Nutzung variiert auch je nachdem, ob es sich um die Innen- oder Aussenwirtschaft handelt. In der Innenwirtschaft sind Melkroboter und Fütterungsanlagen heute gängige Praxis. In der Aussenwirtschaft, insbesondere in Ackerbaubetrieben, setzen viele auf Technologien wie beispielsweise die Spurhaltung. Mit zunehmender Regulierung und Komplexität wird die Digitalisierung weiter voranschreiten, insbesondere im Hinblick auf den Klimaschutz sowie die Reduzierung von Pflanzenschutzmitteln und Nährstoffen.

Wie können digitale Technologien dazu beitragen, diese Herausforderung zu überwinden?

Die vielen Herausforderungen wie Tierwohl, Klimaschutz und Transparenz in der Wertschöpfungskette fordern drei Dinge: Sie schaffen neue Regelwerke / Auflagen, neue Dokumentationspflichten und neue Informationspflichten. Als Betriebsleiter muss ich sicherstellen, dass ich diese einhalte und nachweise. Die Digitalisierung kann hierzu massgeblich beitragen, indem sie mir bei der Planung hilft und sagt, was erlaubt oder nicht erlaubt ist, und indem sie es mir ermöglicht, meine Aktivitäten medienbruchfrei zu dokumentieren und weiterzugeben.

Welche „Smart Farming“ Projekte (z.B., Ortspezifische Düngung; Präzisionsfütterung) unterstützen Sie bei fenaco? Was für Erkenntnisse gibt es aus diesen Projekten?

Wir haben zum Beispiel eine Kooperation mit Ecorobotix, einem Start-up der EPFL, um ihr Produkt auf dem Feld einzusetzen. Es handelt sich um eine smarte Feldspritze, die mit Infrarotkameras Blacken erkennt und diese gezielt mit über 90 Prozent weniger Pflanzenschutzmittel behandelt. Institute wie die EPFL erforschen solche Technologien, und wir übernehmen die Aufgabe, sie auf

das Feld zu bringen – denn dies sind unterschiedliche Disziplinen.

Ortspezifische Düngung: Was sind die wichtigsten Vorteile der Teilflächenspezifischen Ausbringung von Pflanzenschutz und Düngermittel?

Als Landwirt möchte ich Nahrungsmittel produzieren und dabei den Input minimieren. Es wäre vorteilhaft, mit weniger Nährstoffen den gleichen oder sogar höheren Ertrag zu erzielen. Dies kann besonders auf heterogenen Feldern einen grossen Mehrwert bringen. Ein Beispiel ist das Projekt Smart-N in der Ostschweiz, wo man im Labor und auf den Feldern herausgefunden hat, dass man durch gezielte Massnahmen bis zu 25% Stickstoff einsparen kann. Und dieser Nutzen zahlt auch auf den Klimaschutz ein. Trotzdem ist es wichtig, dass wir den Ertrag halten, weil wir einen politischen Willen haben, den Selbstversorgungsgrad zu halten. Also in diesem Spagat müssen wir uns da aufhalten – Wir müssen die Anwendung von Nährstoffen reduzieren, den Selbstversorgungsgrad erhalten und sicherstellen, dass es für den Landwirt wirtschaftlich ist. Ob die Technologie wirtschaftlich sein wird, ist besonders wichtig bei der Entscheidung, ob Landwirte in diese Technologien investieren. Die Politik müsste hierbei helfen, Anreize zu schaffen, da diese Investitionen allein über den Markt möglicherweise nicht realisierbar sind.

Präzisionsfütterung: Wie kann die individualisierte Fütterung von Nutztieren zur Reduktion der Emissionen aus der Tierhaltung führen?

Digitale Technologien ermöglichen die Erstellung von Fütterungsplänen basierend auf der effektiven Milchleistung und der Milchqualität. Somit ein angepasster und effizienter Einsatz von Energie- sowie Proteinfuttermitteln. Dies ermöglicht eine schnelle Reaktion bei Veränderungen der Inhaltsstoffe in der Milch durch eine automatische Auswertung. Gesunde Tiere erfordern weniger Remontierung was in weniger Emissionen resultiert, die durch die Aufzucht entstehen würden. Heute können Daten eingelesen, automatisch ausgewertet, sowie bei Überschreitung von Schwellenwerten ein Alarm abgesetzt und Anpassungsvorschläge aufgezeigt werden. Zusätzlich können Berechnungen mit den Realwerten z.B. der Milchleistungsprüfung in Relation gesetzt und so die Ration weiter verfeinert und angepasst werden.

Ortsspezifische Düngung



4.3.1



Die ortsspezifische Düngung reduziert die Anwendung von Dünger und die damit verbundenen Emissionen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen



Ortsspezifische Düngung

Die ortsspezifische Düngung nutzt digitale Technologien, um auf Basis des Pflanzenbedarfs präzise und effizient zu düngen und zu kalken, um somit die damit verbundenen Emissionen zu reduzieren.¹

Digitale Technologien ermöglichen eine standortgerechte, automatisierte Dünger- und Kalkanwendung basierend auf detaillierten Boden- und Pflanzendaten. Solche Daten werden erfasst und analysiert, um den spezifischen Bedarf jeder Parzelle zu bestimmen. Anschliessend passen automatische Düngemittelverteiler die Ausbringungsmengen an diese Bedürfnisse an. Dieser Prozess reduziert die Überdosierung, sowie den Dünger- und Kalkverbrauch und die damit einhergehenden CO₂eq-Emissionen.²

Emissionsübersicht

Die Emissionstypen, die im Pflanzenanbau besonders wichtig sind, sind Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden, die Kalkdüngung und die Harnstoffdüngung. Diese machen circa 22% der Sektor-Emissionen aus. Durch die Düngung und Kalkung werden Emissionen freigesetzt.³ Diese werden entweder von den Böden freigesetzt, auf die der Dünger aufgebracht wird oder wenn Dünger auswäscht oder abfließt.⁴ Durch die ortsspezifische Düngung werden diese Emissionen reduziert.

Angewandte Technologien¹

Die ortsspezifische Düngung kann durch eine Auswahl der folgenden Technologien implementiert werden:

- **Sensortechnik:** Sensoren erfassen Parameter wie Feuchtigkeit, Säuregrad, Nährstoffkonzentration und Temperatur. Sensoren, die auf Blattfeuchtigkeit und das Wachstum von Pflanzen spezialisiert sind, überwachen kontinuierlich den Zustand und die Fortentwicklung der angebauten Pflanzenarten.⁵
- **Satellitenbildauswertung:** Der Einsatz von Satellitenbildern ermöglicht die Überwachung von Anbauflächen aus der Ferne, das Erkennen von Mustern im Pflanzenwachstum und das frühzeitige Identifizieren von problematischen Bereichen.⁵
- **Drohentechnologie:** Drohnen bieten eine hochauflösende, flexible Möglichkeit zur Erfassung von Daten über die Struktur der Vegetation, die Höhe der Pflanzen und die Bodenfeuchte, was eine präzise Analyse des Zustands der Felder ermöglicht.⁵
- **Big-Data-Analytik:** Durch die Analyse grosser Datenmengen, die aus vielfältigen Quellen gesammelt wurden, unterstützen Big-Data-Analysen die präzise Planung und fundierte Entscheidungsfindung in der Landwirtschaft.⁶
- **Maschinelles Lernen^a:** Diese Technik nutzt Algorithmen, um Daten zu analysieren, Muster zu erkennen und Vorhersagen zu treffen, wie etwa die Identifizierung von Pflanzenkrankheiten oder die Optimierung von Saat- und Erntemethoden, die zur Effizienzsteigerung beitragen können.⁷
- **Managementsoftware und Apps:** Landwirtschaftliche Managementsysteme und mobile Anwendungen visualisieren Daten und Trends und unterstützen bei der Planung und Entscheidungsfindung.⁵

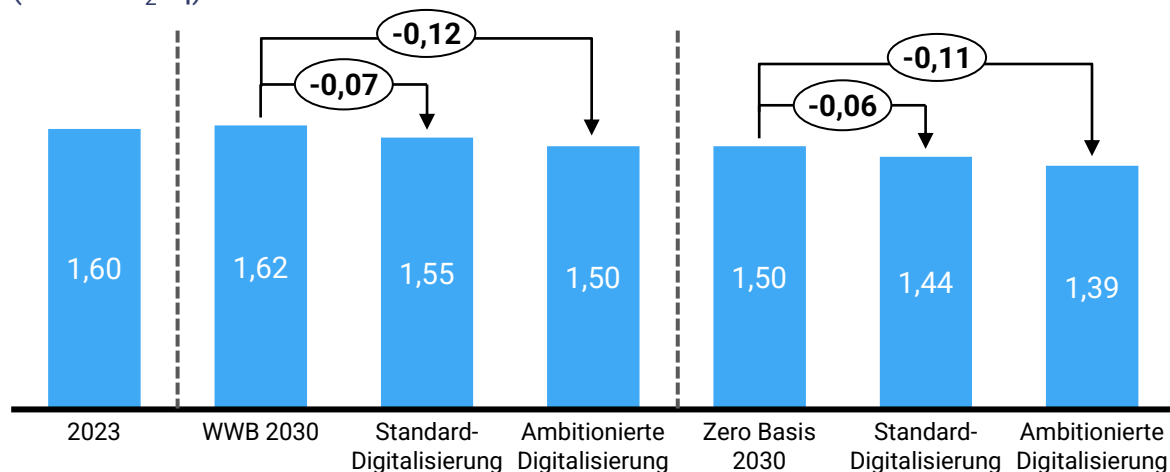
Quellen: 1: Soto et al. (2019); 2: Agroscope (2024); 3: Bundesamt für Umwelt (2023); 4: Hergoualc'h et al. (2019); 5: Agroscope (2022); 6: Bankbarn (2023); 7: Farooque et al. (2023).

Anmerkungen: a: Die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellt ebenfalls eine wichtige angewandte Technologie dar, dessen Ausmass in der Studie nicht spezifisch untersucht wurde.



Durch ortsspezifische Düngung können im Jahr 2030 Einsparungspotenziale von bis zu 0,12 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch ortsspezifische Düngung können bis zu 0,12 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

Die ortsspezifische Düngung ermöglicht die Reduktion des Düngemittleinsatzes, indem auf Basis der Bodenbeschaffenheit und Pflanzenzustände gedüngt wird.¹ Somit wird eine Reduktion an Emissionen aus dem Pflanzenanbau ermöglicht.² Doch diese präzise Vorgehensweise ermöglicht auch weitere Vorteile. Zum Beispiel führt die ortsspezifische Düngung zu einer Verringerung der Schwankungen in der Pflanzenproduktion und verbessert die Ertragsprognose.³ Zudem führt die Reduktion des Düngemittleinsatzes zu einer verbesserten Bodenqualität und unterstützt den Schutz des Grundwassers, indem weniger Düngemittel in das Abflusswasser gelangt.⁴

Berechnung der Emissionsreduktion

Emissionsszenarien für das Jahr 2030
Zwei Szenarien der Emissionen im Jahr 2030 wurden betrachtet. Im Szenario WWB werden Pflanzenanbauemissionen^a von 1,62 Mt CO₂eq und im Zero Basis Szenario 1,50 Mt CO₂eq im Jahr 2030 erwartet.

Reduktionspotenzial
Die ortsspezifische Düngung ermöglicht eine Reduktion im Düngemittleinsatz pro Hektar Land von 38%.

Marktdurchdringung
Die **heutige Marktdurchdringung** der Technologien liegt bei 19%. Bei einer **Standard Digitalisierung** kann diese auf 30% wachsen und bei der **Ambitionierten Digitalisierung** auf bis zu 40% wachsen. Diese basiert auf dem historischen Wachstum der Marktdurchdringung des Anwendungsfalls in den USA, wo die Technologien bereits schneller adoptiert wurden als in Europa.⁵



Wir schätzen, dass sich heute ein Grossteil der landwirtschaftlichen Betriebe mit diversen digitalen Werkzeugen beschäftigt. Mit zunehmender Regulierung und Komplexität wird die Digitalisierung weiter voranschreiten.

Marco Mattmann,
Leiter Smart Farming fenaco

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde pro Szenario und pro Marktdurchdringungsgeschwindigkeit wie folgt kalkuliert: Die erwarteten Emissionen im Jahr 2030 wurde mit dem Reduktionspotenzial sowie dem Unterschied zwischen der heutigen und der Marktdurchdringung im Jahr 2030 multipliziert.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario:

$$\text{Emissionsreduktion} = 0,11 \text{ Mt} = 1,50 \text{ Mt} \times 38\% \times (40\% - 19\%)$$

Quellen: 1: O'Halloran & McPhee (o.D.); 2: Bundesamt für Landwirtschaft (2019); 3: Späti et al. (2021); 4: Harmel et al. (2004); 5: Maloku (2020)

Anmerkung: Abweichungen in den aufgezeigten Berechnungen können durch Rundungen entstehen. a: Diese bestehen aus landwirtschaftlichen Böden, Kalkdüngung, und Harnstoffdüngung

Durch den Einsatz von Satellitenbildern und Sensoren wurden in den Swiss Future Farms in Thurgau und Schaffhausen die Stickstoffdüngung um 23% reduziert

Fallstudie: Ortsspezifische Düngung

Ausgangslage

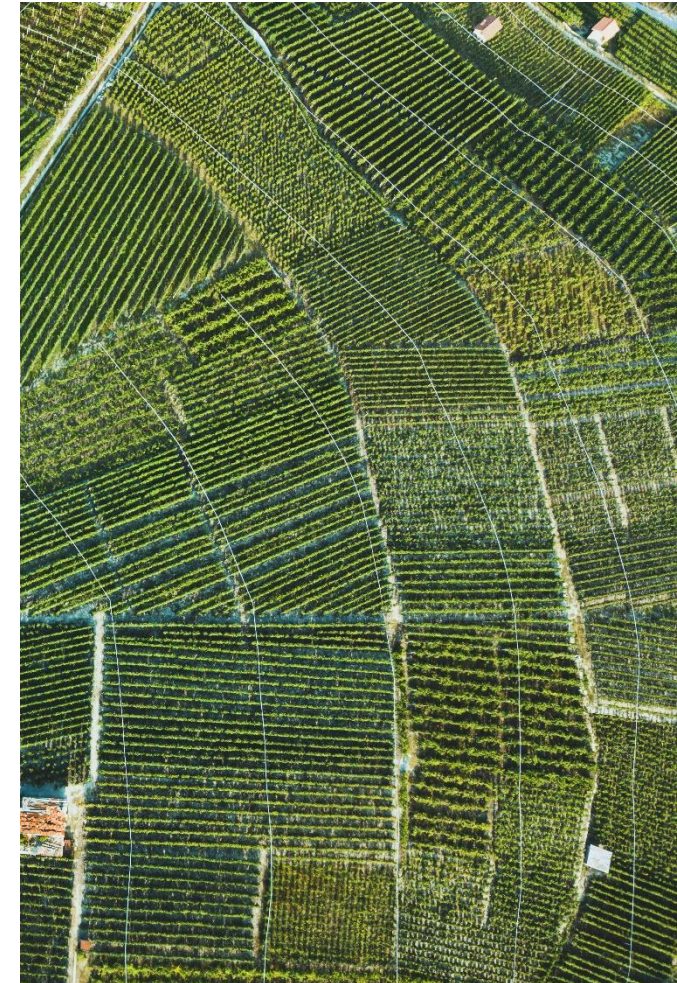
Mit dem Projekt «Smart-N» hat sich die Versuchsstation «Smarte Technologien in der Landwirtschaft» das Ziel gesetzt, das Potenzial der ortsspezifischen Düngung zu messen und in der Praxis umzusetzen. Die Versuchsstation, eine Kollaboration zwischen der Forschungsanstalt Agroscope, der Kantone Thurgau und Schaffhausen und der Beratungszentrale Agridea, hat das Ziel, die Digitalisierungsmöglichkeiten in der Landwirtschaft zugunsten einer ressourcen- und klimaschonenden Bewirtschaftung in der Anwendungsregion Thurgau-Schaffhausen zu testen und gezielt für den Einsatz in der Praxis weiterzuentwickeln. Im Projekt wird die ortsspezifische Stickstoffdüngung am Beispiel von Winterweizen während der Jahre 2022 bis 2024 zusammen mit Pilotbetrieben umgesetzt.¹

Digitale Technologien

Zur ortsspezifischen Düngung werden mithilfe von Satelliten, Drohnen oder Traktorkameras Multispektralbilder der Pflanzenbestände aufgenommen. Diese fließen in Computermodelle ein, die den Düngungsbedarf der Pflanzen berechnen. Darauf basierend werden Applikationskarten erstellt, die diesen Düngungsbedarf darstellen. Diese werden an den Traktor überspielt und steuern den Düngestreuer.¹

Reduktionspotenzial

Die Stickstoff-Düngergabe konnte in den ersten drei Jahren des Projekts um durchschnittlich 23% im Vergleich zur Betriebsvariante reduziert werden. Dabei gab es keine negativen Auswirkungen auf den Ertrag oder den Proteingehalt des Weizens. Die Stickstoffüberschüsse – der gedüngte Stickstoff, der nicht durch die Pflanzen aufgenommen wurde – konnte um circa 30% reduziert werden.¹



Digitale Nutztierhaltung



4.3.2



Die digitale Nutztierhaltung ermöglicht eine verbesserte Tierüberwachung und individualisierte Massnahmen zur Reduktion der Emissionen



Digitale Nutztierhaltung

Die digitale Nutztierhaltung verwendet digitale Technologien, um den Gesundheitszustand, das Verhalten und die Produktionsleistung einzelner Nutztiere zu überwachen. Diese Daten werden genutzt, um die Effizienz der Nutztierhaltung zu steigern und die Emissionsintensität pro Tier zu reduzieren.

Digitale Technologien ermöglichen eine kontinuierliche automatische Überwachung von Tierwohl, Gesundheit, Produktion und Umweltauswirkungen in Echtzeit. Zudem kann durch diese Überwachung die Präzisionsfütterung ermöglicht werden. In der Präzisionsfütterung wird die Nahrung an die einzelnen Bedürfnisse der Tiere angepasst. Somit wird die Nährstoffaufnahme gesteigert, die die Emissionen der Tiere pro Produktionseinheit (z. B. pro Liter Milch) reduziert.¹

Emissionsübersicht

Die Emissionstypen, die in der Nutztierhaltung besonders wichtig sind, sind Emissionen aus den Verdauungsprozessen der Tiere, auch enterische Fermentation genannt, sowie aus der Hofdüngerbewirtschaftung.² Emissionen der Hofdüngerbewirtschaftung stammen aus dem Mist und dem Urin der Nutztiere.³ 62% der Sektor-Emissionen stammen aus der enterischen Fermentation, 16% aus der Hofdüngerbewirtschaftung.⁴

Angewandte Technologien¹

Die digitale Nutztierhaltung kann durch eine Auswahl der folgenden Technologien implementiert werden:

- **Tragbare Sensoren:** Ermöglichen die Messung von Gesundheitsparametern der individuellen Tiere, wie Körpertemperatur und Bewegung.⁴
- **Stationäre Sensoren:** Ermöglichen die Messung von Umgebungsdaten, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftqualität im Stall. Sie messen auch das Fütterungsverhalten und die Bewegungen der Tiere, damit bei Abweichungen schnell reagiert werden kann.⁵
- **Big-Data-Analytik:** Durch die Analyse grosser Datenmengen, die aus Sensoren gesammelt wurden, unterstützen Big-Data-Analysen die präzise Planung und fundierte Entscheidungsfindung in der Nutztierhaltung und der Präzisionsfütterung.⁶
- **Maschinelles Lernen (ML)^a:** Verarbeitet und analysiert die von tragbaren und stationären Sensoren erhobenen Daten, um Muster zu erkennen und Vorhersagen zu treffen. ML kann insbesondere zur frühzeitigen Diagnose von Krankheiten bei Tieren eingesetzt werden, was eine präzise und effektive Nutztierhaltung ermöglicht.⁵
- **Managementsoftware und Mobile Apps:** Farm-Managementsysteme ermöglichen die Visualisierung von Daten und Trends. Sie dienen als Planungs- und Entscheidungshilfe zur Optimierung der Betriebsführung.⁴

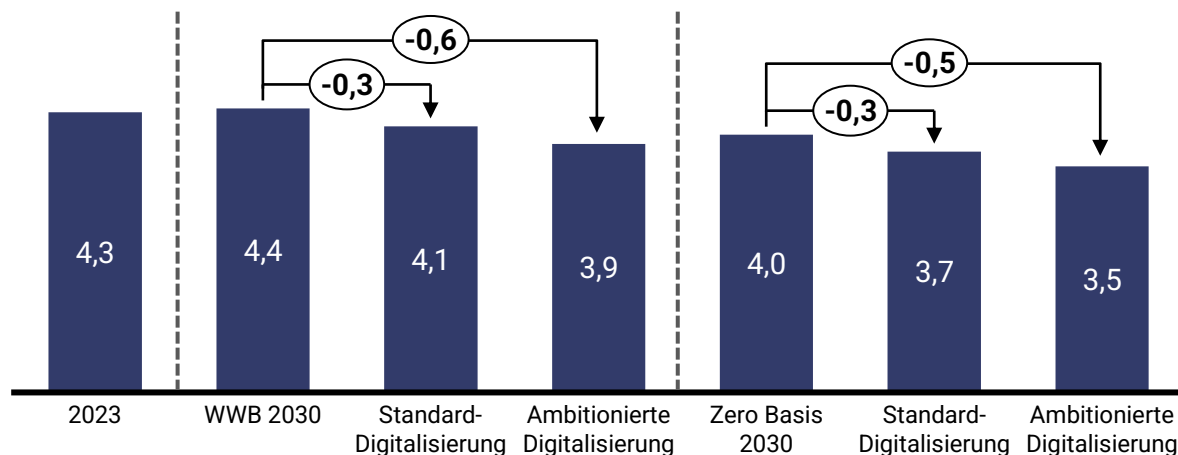
Quellen: 1: Bartzanas et al. (2017); 2: Bundesamt für Umwelt (2023); 3: Gavrilova et al. (2019); 4: Agroscope (o.D.); 5: Nyamuryekung'e (2024); 6: Akhigbe et al. (2021).

Anmerkungen: a: Die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellt ebenfalls eine wichtige angewandte Technologie dar, dessen Ausmass in der Studie nicht spezifisch untersucht wurde.



Durch die digitale Nutztierhaltung können im Jahr 2030 Einsparungspotenziale von bis zu 0,6 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch digitale Nutztierhaltung können bis zu 0,6 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

In der Nutztierhaltung tragen die digitale Tierüberwachung und die Präzisionsfütterung dazu bei, die Emissionen aus dem Verdauungsprozess zu verringern.¹ Die digitale Nutztierhaltung ermöglicht es auch, die Tiergesundheit und das Tierwohl zu verbessern. Sensoren können frühzeitig Alarm auslösen, wenn Abweichungen vom normalen Verhalten der Tiere auftreten, z. B. bei Krankheiten oder Hitzestress.² Somit können Tierärzte früher gerufen werden und medizinische Hilfe genauer geleistet werden.³ Diese frühzeitige Erkennung von Krankheiten ermöglicht zudem eine Reduktion im Einsatz von Antibiotika und kann die Ausbreitung von Infektionskrankheiten verhindern.⁴

Berechnung der Emissionsreduktion

Emissionsszenarien für das Jahr 2030

Zwei Szenarien der Emissionen im Jahr 2030 wurden betrachtet. Im WWB-Szenario werden Nutztierhaltungsemissionen^a von 4,4 Mt CO₂eq und im Zero Basis Szenario 4,0 Mt CO₂eq im Jahr 2030 erwartet.

Reduktionspotenzial

Die digitale Nutztierhaltung ermöglicht eine Reduktion bei Nutztieremissionen pro Tier von 25%, z.B. durch die Steigerung der individuellen Nährstoffeffizienz.

Marktdurchdringung

Die **heutige Marktdurchdringung** der für die digitale Nutztierhaltung untersuchten Technologien liegt bei 29%. Bei einer **Standard-Digitalisierung** kann die Marktdurchdringung auf 55% wachsen. Unter Annahme einer **ambitionierten Digitalisierung** kann die Marktdurchdringung auf bis zu 79% wachsen. Dies basiert auf dem historischen Wachstum der Marktdurchdringung von Melkautomatisierungssystemen. Diese gelten heute als etablierte Technologie, die schnell von Landwirtinnen und Landwirten adaptiert wurde.

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde pro Szenario und pro Marktdurchdringungsgeschwindigkeit wie folgt kalkuliert: Die erwarteten Emissionen im Jahr 2030 wurden mit dem Reduktionspotenzial sowie dem Unterschied zwischen der heutigen und der Marktdurchdringung im Jahr 2030 multipliziert.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario:

$$0,5 \text{ Mt} = 4,0 \text{ Mt} \times 25\% \times (79\% - 29\%)$$

Quellen: 1: Lovarelli et al. (2023); 2: Herlin et al. (2021); 3: Neethirajan (2017); 4: Pomar & Remus (2019)

Anmerkung: Abweichungen in den aufgezeigten Berechnungen können durch Rundungen entstehen; a: Diese bestehen aus Enterischer Fermentation und Hofdüngerbewirtschaftung



Durch den Einsatz von Tierüberwachungssystemen wurde ein Futtermittel identifiziert, welches zu weniger Emissionen aus dem Verdauungsprozess führt

Fallstudie: Digitale Nutztierhaltung

Ausgangslage

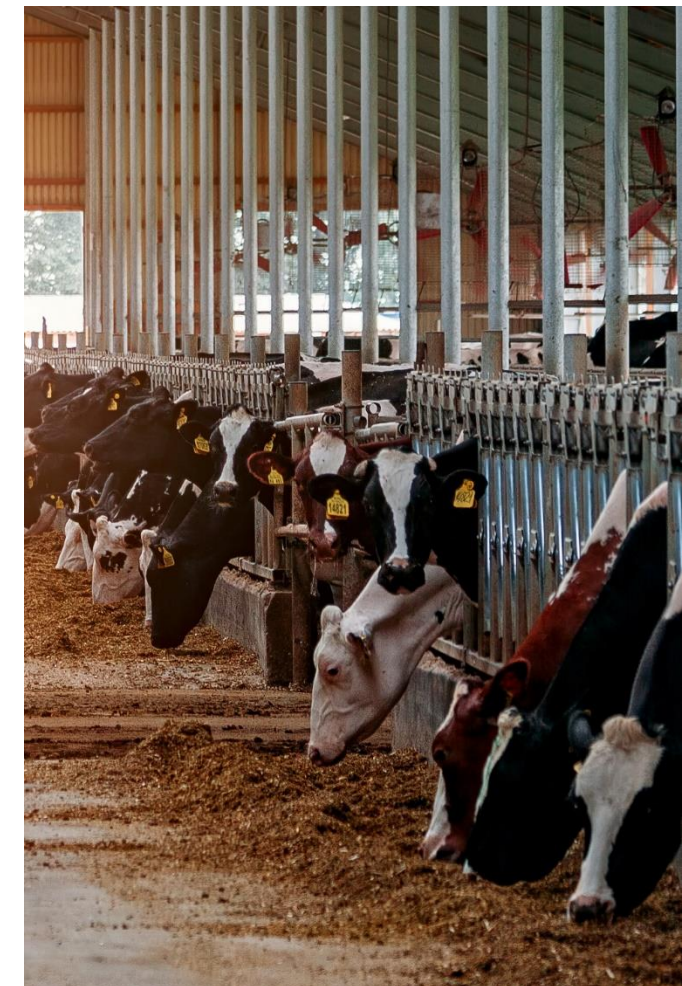
Das RumiWatch-Forschungsprojekt hat ein sensorbasiertes Monitoringsystem für Milchkühe entwickelt. Der entwickelte Nasenbandsensor sowie der Schrittzähler sammeln automatisiert Daten zur Aktivität und der Gesundheit der Tiere sowie zur Futteraufnahme und zum Wiederkauverhalten jedes einzelnen Tiers.¹ Das RumiWatch-System wurde von Agroscope, ein Schweizer Forschungszentrum des Bundes; ITIN + HOCH, ein Entwickler von Fütterungstechniken; sowie Vetsuisse, eine Fakultät der Universitäten Bern und Zürich, entwickelt.² In einem dreijährigen Beratungsprojekt wurde es vom Bundesamt für Landwirtschaft auf Praxistauglichkeit geprüft. Das System wurde als praxistauglich und als mögliches Tool zur Optimierung des Fütterungsmanagements und zur Unterstützung des Gesundheitsmonitorings bewertet.³

Digitale Technologien

Das RumiWatch-System sammelt Daten auf Basis von zwei tragbaren Sensoren: einem Nasenbandsensor und einem Schrittzähler.¹ Der Nasenbandsensor nutzt Triaxial- und Drucksensoren, um das Fress- und Wiederkauverhalten zu erfassen.³ Die gesammelten Daten werden drahtlos an ein Auswertungssystem übertragen. Die Auswertungen können je nach Bedarf zusammengestellt¹ und bildlich visualisiert werden.³

Reduktionspotenzial

Das RumiWatch-System wurde verwendet, um in einer wissenschaftlichen Studie Daten zum Fress- und Wiederkauverhalten von Kühen zu messen. Die Studie untersuchte die Auswirkungen von Futtermitteln mit unterschiedlichen Rohproteingehalten auf die Emissionen aus der Nutztierhaltung. Auf Basis der durch das RumiWatch-System gesammelten Daten wurde festgestellt, dass eine Ernährung mit weniger Rohproteingehalt zu einer Reduktion von Ammoniakemissionen von durchschnittlich 46% führte sowie zu einer Reduktion von Stickstoffemissionen von fast 20%.⁴



Industrie

4.4

Industriesektor

Der Sektor in Zahlen¹

>97% der Unternehmen sind kleine und mittlere Unternehmen^a

25% des Bruttoinlandsproduktes wird von der Schweizer Industrie geschaffen

>15 Milliarden CHF investieren Unternehmen in Forschung und Entwicklung

>130 Unternehmen sind Teil der Science-Based Targets Initiative

Emissionen aus dem Industriesektor

Der Sektor Industrie trägt derzeit^b 21% zu den totalen Treibhausgasemissionen in der Schweiz bei. Diese Emissionen des Industriesektors bestehen mehrheitlich aus CO₂e-Emissionen, die bei der energetischen Nutzung fossiler Energieträger, der Verbrennung von Abfällen sowie prozessbedingt bei der Herstellung von beispielsweise Zement oder Stahl entstehen. Auch die Chemie- und Pharmaindustrie trägt massgeblich (~1,9%)² zum Treibhausgas-Fussabdruck in der Schweiz bei.

Quellen: 1: [Schweizerische Eidgenossenschaft \(2023\)](#); 2: [BAFU](#)

Anmerkungen: a: Dies entspricht etwa 60.000 Unternehmen

b: Da das Treibhausgasinventar das Jahr 2023 bisher noch nicht inkludiert ist, wird der Mittelwert des Zero Basis- und des WWB-Szenarios aus den Energieperspektiven 2050+ für 2023 angenommen.



Direkte Emissionen aus industriellen Prozessen stellen den Schweizer Industriesektor vor Herausforderungen im Klimawandel

Herausforderungen

Mineralindustrie als Treiber des Klimawandels:

Die Mineralindustrie trägt mehr als einen Drittel zu den Gesamtemissionen in der Schweizer Industrie bei. Den grössten Anteil macht hier die Zementindustrie aus, umfasst jedoch auch Emissionen aus der Herstellung von Glas, Keramik, Fliesen, Ton und Gips – von den Rohstoffen bis zu den fertigen Erzeugnissen. Bei der Zementklinkerproduktion entstehen Emissionen primär bei der Kalzinierung, also der Umwandlung von Kalkstein zu gebranntem Kalk. Der Kohlenstoff aus dem Kalkstein wird dabei in die Atmosphäre freigesetzt. Diese prozessbedingten Emissionen lassen sich nur schwer durch Effizienzsteigerung reduzieren, da sie unmittelbar mit der Herstellung von Zementklinker verbunden sind.¹

Diverse Industrielandschaft:

Der sekundäre Sektor, zu der die Industrie gehört, ist von hoher Vielfalt geprägt. Neben Bergbau, Nahrungsmittel, Holzindustrie, Chemie, Pharma und Kunststoff gibt es unzählige weitere Wirtschaftszweige mit unterschiedlichsten Eigenschaften und Anforderungen.² Diese Vielfalt bedeutet, dass wenige industrieagnostische Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen existieren und einzelne Industrien individuell betrachtet werden müssen.²

Die Schweizer Industrie ist somit auf die beschleunigte Einführung fortschrittlicher Technologien und weiterer Lösungen angewiesen. Digitale Technologien können für die Reduzierung von Emissionen und die Steigerung der Ressourceneffizienz entscheidend sein.

Auswahl Schweizer Initiativen und Gesetze

Klima- und Innovationsgesetz:³ Angenommen, um Nachhaltigkeit zu fördern. Industriebetriebe, die innovative Technologien zur klimaschonenden Produktion nutzen, sollen von Fördermitteln in Höhe von 1,2 Mrd. Franken profitieren.³

Interpharma:⁴ Verband der forschenden pharmazeutischen Firmen der Schweiz welcher eng mit allen Beteiligten im Gesundheitswesen zusammenarbeitet, auch was den Einsatz neuer Technologien für eine nachhaltigere Produktion betrifft.⁴

Perspektive aus der Praxis

Eine besondere Herausforderung ist der universelle Zeitdruck, unter dem alle Akteure stehen, um die Ziele für Netto-Null-Emissionen zu erreichen. Dies erfordert eine umfassende interne Transformation, welche Anpassungen in den Geschäftsmodellen, Teams und Technologien umfasst.

Pina Schlombs, Sustainability Lead Siemens Digital Industries Software



Die grössten Herausforderungen der Zementindustrie liegen in der Kreislaufwirtschaft und der Erreichung von Netto-Null-Emissionen. Wir streben danach, unseren Wasserverbrauch zu minimieren, positiv auf die Natur zu wirken und die lokale Gemeinschaft positiv zu beeinflussen

Roze Wesby, VP Global Head of Plants of Tomorrow part of Holcim AG

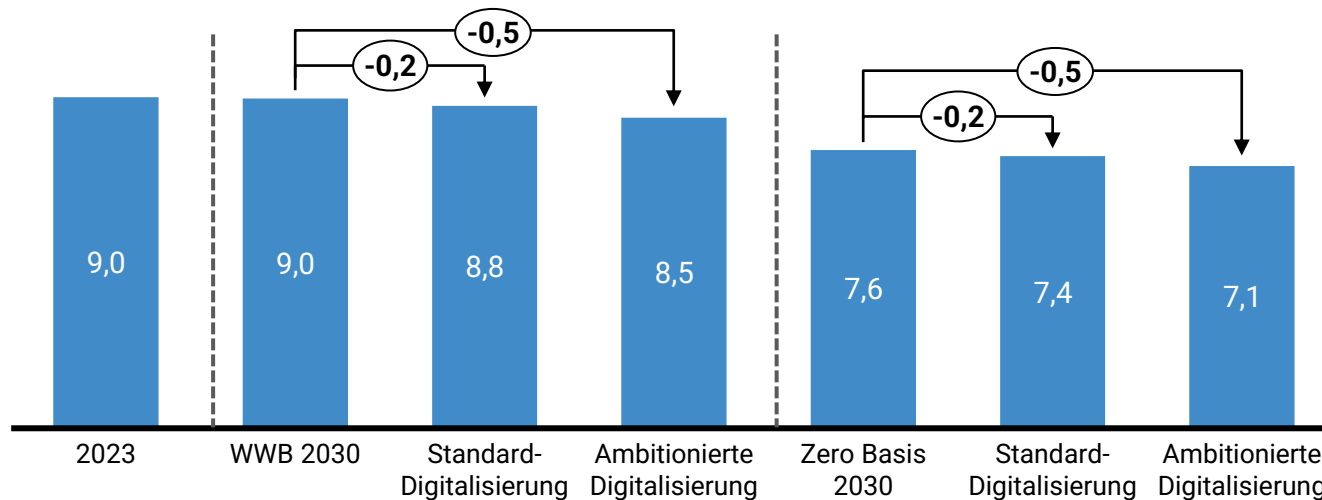
Bis zu 0,5 Mt CO₂eq lassen sich im Industriesektor im Jahr 2030 durch digitale Technologien einsparen

Analysierte Anwendungsfälle

Automatisierung und Robotik: Gezielter Einsatz von Automatisierungs- und Robotiktechnologien, um Fertigungsprozesse effizienter, schneller und ressourcenschonender zu gestalten.

Digitaler Zwilling und Simulation: Nutzung von fortschrittlichen Technologielösungen, um physische Objekte und Prozesse zu simulieren.

Im Industriesektor können bis zu 0,5 Mt CO₂eq eingespart werden^b (in Mt CO₂eq)



Quelle: 1: CO₂-Fussabdruck Produktion eines Autos (carbon-connect.ch).

Anmerkungen: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren; a: Für die Anwendungsfälle wurden die Quellen nach möglichst geringen potenziellen Überschneidungen ausgewählt, allerdings nicht spezifisch berechnet.; b: Beide Anwendungsfälle beziehen sich auf die gleiche Baseline, weshalb in der Grafik nur hellblau für Automatisierung und Robotik dargestellt wird, diese Emissionen aber auch für Digitaler Zwilling und Simulationen gelten.

Wichtigste Erkenntnisse

Zwischen **2,1%** und **5,6%** (0,2–0,5 Mt CO₂eq) der Industrieemissionen können durch die Anwendung digitaler Technologien reduziert werden.^a

Automatisierung und Robotik



1,3%–3,5% Emissionsreduktion

Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung von **23% heute** auf **33% im Jahr 2030** bei einer Standard-Digitalisierung können 1,3% (0,1 Mt CO₂eq) der Sektor-Emissionen eingespart werden. Diese Einsparungen entsprechen dem CO₂-Fussabdruck, der bei der Produktion von etwa 30.000 Kleinwagen anfallen würde.¹ Bei der ambitionierten Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung von **49%** erreicht werden und somit 3,5% (0,3 Mt CO₂eq), oder rund 80'000 Kleinwagen¹ eingespart werden.

Digitaler Zwilling und Simulation



0,8%–2,1% Emissionsreduktion

Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung von **25% heute** auf **38% im Jahr 2030** bei einer Standard-Digitalisierung können 0,8% (0,1 Mt CO₂eq) der Sektor-Emissionen eingespart werden. Bei der ambitionierten Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung von **57%** erreicht werden, und somit 2,1% der Sektor-Emissionen eingespart werden. Dies entspricht einem Wert von 0,2 Mt CO₂eq – das ist etwas so viel, wie bei der Produktion von rund 47'000 Kleinwagen anfallen würde.¹



Pina Schlombs,
Sustainability Lead
Siemens Digital Industries Software

Was sind die grössten Herausforderungen im Klimawandel und der Digitalisierung für den Industriesektor?

Der Umgang mit dem Klimawandel ist es eine sehr vielschichtige Herausforderung. Die Dekarbonisierung ist keine isolierte Aufgabe, sondern steht in einem Zusammenhang mit anderen globalen Megatrends, wie dem demografischen Wandel und der Urbanisierung. Und besonders herausfordernd ist der extreme Zeitdruck, unter dem alle Akteure stehen, um Netto-Null-Emissionen zu erreichen. Dies erfordert eine umfassende Transformation, welche Anpassungen in den Geschäftsmodellen, Teams und Technologien umfasst.

In Bezug auf Digitalisierung, steht der Schweizer Industriesektor vor vielfältigen Herausforderungen, die sowohl struktureller als auch kultureller Natur sind. Einerseits muss der Sektor mit den tief verwurzelten Prozessen und Unternehmenskulturen in den Traditionsunternehmen zurechtkommen. Des Weiteren erschwert die Abhängigkeit von anderen Produktionsstandorten die einheitliche Umsetzung einer Digitalisierungsstrategie direkt aus dem Headquarter in der Schweiz. Im wettbewerbsstarken Umfeld der Schweizer Industrie, das durch Hochspezialisierung und Nischenplayer gekennzeichnet ist, sind Innovationskraft und Technologieeinsatz entscheidend. Effiziente, kundenspezifische Lösungen und digitale Tools wie Simulationen können zu signifikanten Wettbewerbsvorteilen führen, ähnlich wie KI-gestützte Kostenreduktionen und nachweisbare CO₂-Ersparnisse. Die Herausforderungen, wie der Bedarf an Expertise, kreativen Köpfen, starken Partnerschaften, adäquater Finanzierung sowie der kulturelle Wandel hin zu einer fortschrittlichen Arbeitsweise, sind essentiell für die erfolgreiche Digitalisierung.

Wie sehen Sie das Potenzial von digitalen Zwillingen und Simulationen zur Emissionsreduktion?

Digitale Zwillinge sind ein wichtiges Instrument, um die Effizienz zu steigern und Emissionen zu senken. Sie ermöglichen es Unternehmen, Nachhaltigkeitsmassnahmen durch Simulationen bereits vor dem Einsatz von Ressourcen umfassend zu bewerten – und auch im Betrieb fortlaufend zu verbessern. Ausserdem beeinflussen digitale Zwillinge den gesamten Lebenszyklus eines Produkts, indem sie zum Beispiel bereits in der Entwicklungsphase helfen, den ökologischen Fussabdruck zu minimieren. Die digitalen Zwillinge leben auch über die Entwicklungsphase hinweg weiter in der Nutzungsphase von Produkten und Maschinen und helfen uns die Umwelt-

einflüsse während dem Betrieb zu senken und unsere Simulations-Modelle kontinuierlich zu perfektionieren und die nächste Generation an Produkten und Maschinen noch nachhaltiger zu entwickeln. Und nicht zuletzt bringen digitale Zwillinge auch erhebliche Vorteile wenn es darum geht Scope-3-Emissionen zu reduzieren, indem sie die Optimierung der gesamten Lieferkette ermöglichen. Der grösste Nutzen entsteht jedoch, wenn digitale Zwillinge nicht isoliert genutzt, sondern miteinander vernetzt werden. Ein gutes Datenmanagement ist hierbei essentiell. Unsere Vision ist ein industrielles Metaverse, in dem digitale Zwillinge als Herzstück fungieren und maximale Transparenz und Steuerbarkeit für Unternehmen schaffen.

Wie schätzen Sie das Potenzial zur Emissionsreduktion von Automatisierung und Robotik ein?

Automatisierung und Robotik bieten ebenfalls grosses Potenzial, Produktionsprozesse effizienter und konsistenter zu machen. Das bringt ausserdem klare Wettbewerbsvorteile. Durch präzisere und flexiblere Produktionsmethoden, wie beispielsweise 3D-Druck und integrierte Automatisierungssysteme, können Unternehmen etwa schneller auf Marktveränderungen reagieren und gleichzeitig ihren Energieverbrauch und Materialausschuss reduzieren.

Gibt es unter Ihrem Kundenbild Industriesektoren, welche sich besonders stark mit digitalen Technologien ausrüsten?

Ein Beispiel wäre die Automobilindustrie, welche bereits einen hohen Grad an Digitalisierung und Nachhaltigkeitsfokus zeigt. Diese Industrie prägt auch die Lieferketten und fördert neue Geschäftsmodelle sowie die Einhaltung strenger regulatorischer Anforderungen, was in einer digitalen Durchgängigkeit über Unternehmensgrenzen hinweg resultiert.

Gibt es aus Ihrer Sicht die richtigen Plattformen zum Wissensaustausch über digitale Technologien im Industriesektor?

Ja, das Wissen und die Technologien, insbesondere in der Automobil- und Luftfahrtindustrie, lassen sich auf andere Industrien übertragen. Dieser Wissenstransfer wird bereits praktiziert, wobei die Prozessindustrie ebenfalls stark involviert ist. Die Herausforderungen sind zwar unterschiedlich, doch die Notwendigkeit einer datengetriebenen Transparenz und Skalierung ist ein gemeinsames Thema, das alle Industrien verbindet.



Roze Wesby,
VP Global Head of Plants of Tomorrow
part of Holcim AG



Was sind die grössten umwelttechnischen Herausforderungen, die die Zementindustrie bewältigen muss?

Die grössten Herausforderungen der Zementindustrie liegen in der Kreislaufwirtschaft und dem Erreichen von Netto-Null-Emissionen. Wir streben danach, unseren Wasserverbrauch zu minimieren, positiv auf die Natur zu wirken und die lokalen Gemeinschaften zu unterstützen. Ein weiteres Hauptziel ist die Reduktion unseres CO₂-Fussabdrucks, was durch die Verwendung nachhaltiger Materialien und eine Überarbeitung unseres Produktionsprozesses erreicht werden soll.

Wie können digitale Technologien dabei helfen, diese Herausforderungen anzugehen?

Digitale Technologien, besonders aus dem Bereich der Industrie 4.0, sind entscheidend, um unsere Ziele in der Kreislaufwirtschaft und bei der Emissionsreduktion zu unterstützen. Sie ermöglichen verbesserte Produktionsprozesse und die effiziente Nutzung recycelter Baumaterialien. Zudem unterstützen sie unsere Bemühungen zur vollständigen Dekarbonisierung durch verbesserte Prozesskontrolle und Qualitätssicherung.

Ein Beispiel ist die Zementqualitätsvorhersage: sie ermöglicht es uns, die Qualität unseres Zements frühzeitig zu bewerten und bei Bedarf Anpassungen vorzunehmen. Dies erlaubt zum einen, dass wir versichern können, dass durch alternative Brennstoffe in der Produktion keine Qualitätsverluste aufgetreten sind und dass wir zusätzlich bei besonders hoher Qualität sogar die Energiezufuhr reduzieren oder den Anteil an alternativen Brennstoffen erhöhen können.

Welche der verschiedenen angewandten digitalen Technologien haben im direkten Vergleich den grössten Einfluss auf die Reduktion von CO₂-Emissionen?

Unsere fortschrittlichen Prozesskontrollsysteme haben den grössten Einfluss auf die Reduzierung von CO₂-Emissionen. Sie ermöglichen es uns, den Einsatz alternativer, CO₂-armer Kraftstoffe zu maximieren und gleichzeitig die Qualität unseres Produkts zu gewährleisten. Länder wie Österreich, wo fast ausschliesslich alternative Kraftstoffe verwendet werden, zeigen, was möglich sein könnte.

Und was sind mögliche Gründe, warum die Schweiz in dieser Hinsicht zurückliegt?

In der Schweiz besteht eine Herausforderung darin, genügend alternative Kraftstoffe zu einem angemessenen Preis zu beschaffen. Die Politik könnte helfen, indem sie den Zugang zu diesen Kraftstoffen erleichtert und die Verwendung von Sekundärrohstoffen in der Zementproduktion fördert.

Wie sieht der Business Case für digitale Technologien zur Verbesserung der Nachhaltigkeit in Ihrer Industrie aus, und was hält Sie gegebenenfalls zurück?

Unser neuer CEO betont stets, dass sich Nachhaltigkeit mit Rentabilität reimt. In meiner achtjährigen Erfahrung in dieser Branche habe ich noch nie erlebt, dass es unrentabel wäre, nachhaltig zu sein. Kurzfristig gewonnene Effizienzen und Kapital ermöglichen langfristige Investitionen in grössere Projekte wie CO₂-Abscheidung, die unsere Branche voranbringen. Nachhaltigkeit betrachten wir nicht nur als Kostenfaktor, sondern als führendes Prinzip und Chance, um den Markt anzuführen. CO₂ wird dabei als wertvolle Ressource angesehen, die es zu nutzen gilt.

Können Kenntnisse zu Digitalen Zwillingen oder Automatisierung auch in andere Industrien übertragen werden?

Die Technologien und Prozesse, die wir entwickeln, sind nicht nur auf die Zementindustrie beschränkt, sondern können auch in anderen Prozessindustrien angewendet werden. Es ist entscheidend, dass wir unser Wissen teilen und mit anderen zusammenarbeiten, um innovativ zu bleiben und die besten Lösungen zu entwickeln.

Gibt es hierfür die richtigen Foren, an denen dieser Wissensaustausch stattfinden kann?

Es gibt Herausforderungen aufgrund von IP-Schutz und Wettbewerbsregeln. Aber ich glaube, dass eine offene Innovationskultur und der Austausch von Wissen entscheidend sind, um Fortschritte zu machen. Es ist wichtig, Teil eines innovativen Ökosystems zu sein, das zusammenarbeitet, um gemeinsam zu wachsen und zu lernen.

Automatisierung und Robotik



4.4.1



Automatisierung und Robotik optimieren die oft emissionsintensive Produktion von Industriegütern und reduzieren somit Emissionen



Automatisierung und Robotik

Als Schlüsseltechnologien der modernen Industrie spielen Automatisierung und Robotik eine zentrale Rolle bei der Steigerung von Effizienz und Nachhaltigkeit. Sie nutzen Roboter, Sensoren und fortschrittliche Steuerungssysteme, um industrielle Prozesse zu optimieren. Intelligente Roboter verringern Ausschuss und Materialeinsatz und passen Produktionsabläufe dynamisch an, während die automatische Steuerung und Überwachung durch Sensoren die Analyse von Produktionsdaten zur Optimierung des Energieverbrauchs ermöglichen. Auch neueste, automatische Fertigungsverfahren, wie die additive Fertigung, tragen durch ressourcenschonende Prototypen und reduzierte Lagerbestände weiter zur Nachhaltigkeit bei.

Emissionsübersicht

Automatisierung und Robotik tragen in der Schweizer Industrie zur Senkung der Emissionen bei. In der Mineralindustrie, die 32,5% der Sektor-Emissionen ausmacht, ermöglichen präzise automatisierte Prozesse eine effizientere Ressourcennutzung und reduzieren Energieverbrauch und Emissionen. Robotersysteme optimieren die Herstellung chemischer und pharmazeutischer Produkte, die mehr als 20% der Emissionen¹ verursachen, und verbessern die Abfallverarbeitung sowie prozessspezifische Abläufe in der Zementproduktion.²

Angewandte Technologien²

Automatisierung und Robotik kann durch die Anwendung folgender Technologien ermöglicht werden:

- **Cloud Computing:** Cloud Computing bietet flexible und skalierbare Rechenkapazitäten für die Verarbeitung grosser Datenmengen und unterstützt industrielle Anwendungen, indem es leistungsstarke Analysewerkzeuge bereitstellt, die für das Management sowie die Optimierung und Ausführung von Prozessen notwendig sind.
- **Maschinelles Lernen (ML)^a:** ML verbessert die Entscheidungsfindung und Prozessoptimierung durch prädiktive Instandhaltung und Qualitätskontrolle. Es ermöglicht Robotern und automatisierten Systemen, aus Erfahrungen zu lernen und sich an neue Situationen anzupassen, was es für eine Vielzahl von Anwendungen unverzichtbar macht.
- **Process Mining:** Process Mining ermöglicht die Analyse und Optimierung von Produktionsprozessen durch die Auswertung von Daten aus Informationssystemen. Es identifiziert Ineffizienzen und Optimierungspotenziale, was für die Feinabstimmung von Automatisierungsstrategien und die Verbesserung der Gesamteffizienz entscheidend ist.³
- **Internet of Things (IoT) und Maschine-zu-Maschine- (M2M) Kommunikation:** Diese Technologien ermöglichen die Vernetzung von Geräten und Maschinen zur Sammlung und Analyse von Echtzeitdaten. Sie sind grundlegend für die Automatisierung und Effizienzsteigerung in Industrie und Produktion, indem sie den direkten Datenaustausch zwischen Geräten ohne menschliches Eingreifen erleichtern.

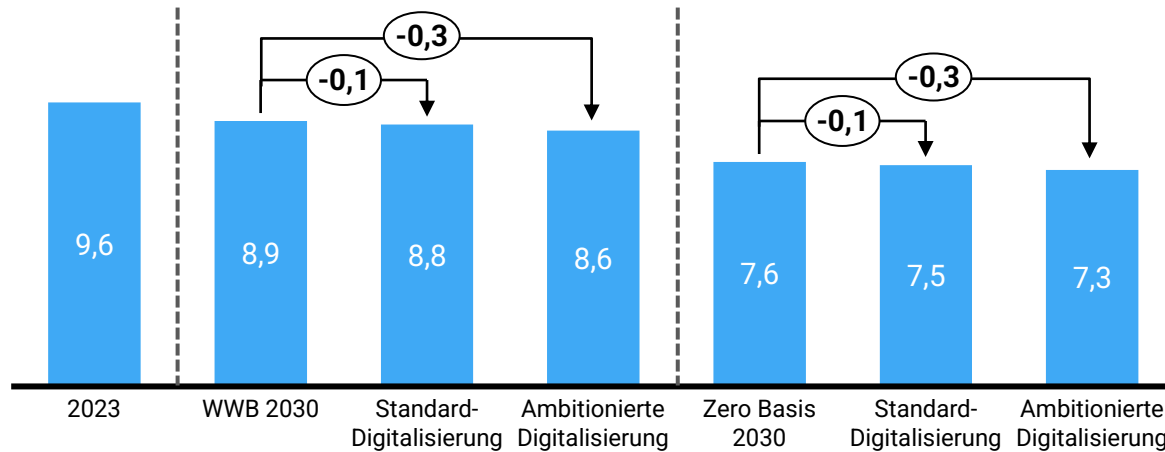
Quellen: 1: Prognos (2021); 2: Bundesamt für Umwelt (2023); 3: Produktion (2023).

Anmerkungen: a: Die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellt ebenfalls eine wichtige angewandte Technologie dar, dessen Ausmass in der Studie nicht spezifisch untersucht wurde.



Durch Automatisierung und Robotik können im Jahr 2030 Einsparungspotenziale von bis zu 0,3 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch Automatisierung und Robotik können bis zu 0,3 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

Automatisierung und Robotik können beispielsweise in der Zementindustrie, die für einen grossen Teil der Emissionen in der Schweiz verantwortlich ist, eingesetzt werden und den Wandel zu einer nachhaltigen Produktion ermöglichen. Beispielsweise können Drehrohröfen dynamisch angesteuert werden, was die Produktion von nachhaltigerem Zement ermöglicht. So führt beispielsweise der Einsatz von aktivierten Tonen anstelle von Klinker zu niedrigeren CO₂eq-Emissionen und zu einem um bis zu 40 Prozent geringeren Energieverbrauch, da Ton bei einer niedrigeren Temperatur aktiviert wird. Somit befähigen diese Technologien auch indirekt die Transformation in Richtung nachhaltigerer, neuer Produktionsverfahren.^{1,2}

Berechnung der Emissionsreduktion

Emissionsszenarien für das Jahr 2030

Zwei Szenarien der Emissionen im Jahr 2030 wurden betrachtet. Im Szenario «Weiter-wie-bisher» (WWB) werden Industrieemissionen in Höhe von 8,9 Mt CO₂eq und im Zero Basis Szenario 7,6 Mt CO₂eq im Jahr 2030 erwartet.^{3,a}

Reduktionspotenzial

Der Einsatz von Automatisierung und Robotik ermöglicht eine zusätzliche CO₂eq-Reduktion von bis zu 14% im Jahre 2030.

Marktdurchdringung

Die heutige Marktdurchdringung der Technologien liegt bei 23%. Es wird erwartet, dass die Durchdringung bis 2030 auf 33% ansteigen wird. Bei der ambitionierten Digitalisierung kann dieser Werte auf bis zu 49% ansteigen. Um diesen Wert zu ermitteln, wurden aus den betrachteten Studien die oberen erwarteten Adaptionraten verwendet.

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde wie folgt kalkuliert: Die erwarteten Emissionen im Jahr 2030 wurde mit dem Reduktionspotenzial sowie dem Unterschied zwischen der heutigen und der Marktdurchdringung im Jahr 2030 multipliziert.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario:

$$0,3 \text{ Mt} = 7,6 \text{ Mt} \times 14\% \times (49\% - 23\%)$$

Quellen: 1: Chen, X., Despeisse, M. & Johansson, B. (2020); 2: Thyssenkrupp (2022) 3: BAFU (2023).

Anmerkung: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren; a: Dies beinhaltet die indirekten Emissionen.



Der weltweit grösste Zementhersteller, die Holcim AG, senkt ihren Energieverbrauch und Materialeinsatz durch Automatisierung und Robotik

Fallstudie: Automatisierung und Robotik^{1,2,3}

Ausgangslage

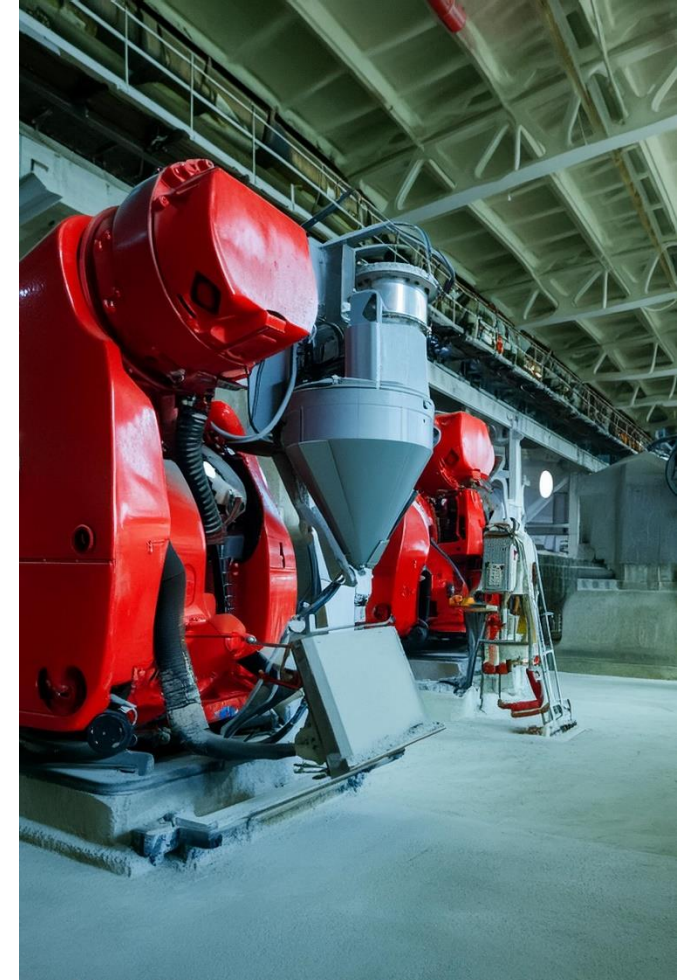
Die Holcim (Schweiz) AG ist eine der führenden Anbieterinnen der Schweiz für Baulösungen in den Bereichen Hochbau, Tiefbau und Infrastruktur. Im Rahmen der neuen Initiative «Plants of Tomorrow – das Werk von morgen» – möchte das Unternehmen Automatisierungstechnologien und Robotik, künstliche Intelligenz, prädiktive Instandhaltung und digitale Zwillingstechnologien im gesamten Produktionsprozess einsetzen. Das Zementwerk Siggenthal ist der Pilotstandort, an dem die Integration aller relevanten Module für die «Plants of Tomorrow» getestet werden.

Digitale Technologien

Zu den Technologien, die Holcim einführt, zählen Automatisierungs- und Robotiklösungen sowie prädiktive Massnahmen, mit denen Betriebsabweichungen und Unregelmässigkeiten in Echtzeit erkannt werden. Das Unternehmen entwickelt zudem digitale Anlagenzwillinge. Diese werden auch für die Ausbildung der Mitarbeitenden genutzt. Automatisierung und Robotik sind ein besonders wichtiger Aspekt der Strategie. Dazu gehört auch die unbemannte Kontrolle an besonders riskanten Stellen innerhalb des gesamten Werks durch die Nutzung von Sensoren und Drohnen. Teil der Initiative ist auch die Nutzung additiver Fertigungstechnologien.

Reduktionspotenzial

Durch die Initiative «Plants of Tomorrow» wurden die Instandhaltungskosten um mehr als 10 Prozent reduziert. Auch die Energiekosten konnten deutlich gesenkt werden. Beim Einsatz intelligenter Technologien und Materialien, wie dem kalzinierten Ton setzt Holcim auf den 3D-Druck. Hier lassen sich abhängig vom Anwendungsfall bis zu 70 Prozent der verbrauchten Materialien reduzieren. Es bleibt noch zu klären, inwieweit sich diese Technologie flächendeckend einsetzen lässt und auch die bei der Kalzinierung entstehenden Emissionen reduzieren kann.

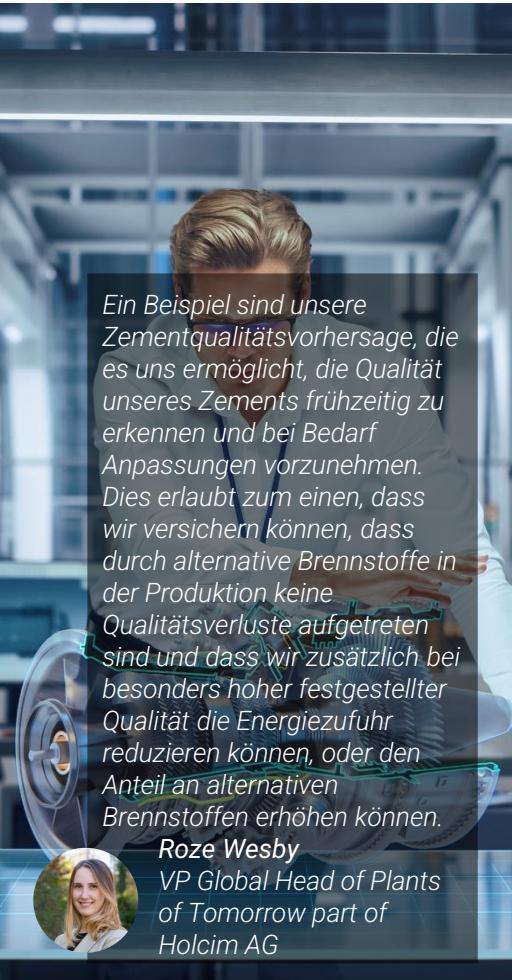


Digitaler Zwilling und Simulation



4.4.2

Digitale Zwillinge ermöglichen die Simulation emissionsintensiver Produkte und Prozesse, wodurch Treibhausgasemissionen effektiv vermieden werden



Ein Beispiel sind unsere Zementqualitätsvorhersage, die es uns ermöglicht, die Qualität unseres Zements frühzeitig zu erkennen und bei Bedarf Anpassungen vorzunehmen. Dies erlaubt zum einen, dass wir versichern können, dass durch alternative Brennstoffe in der Produktion keine Qualitätsverluste aufgetreten sind und dass wir zusätzlich bei besonders hoher festgestellter Qualität die Energiezufuhr reduzieren können, oder den Anteil an alternativen Brennstoffen erhöhen können.

Roze Wesby
VP Global Head of Plants
of Tomorrow part of
Holcim AG

Digitaler Zwilling und Simulation

Digitale Zwillinge und Simulationslösungen gehören zu den wichtigsten technologischen Entwicklungen der letzten Jahre.¹

Die Technologie findet primär in zwei Bereichen Anwendung:

1. Im Produktdesign werden ressourcenintensive, physische Prototypen häufig und durch digitale Zwillinge ersetzt. So können beispielsweise Chemierzeugnisse digital reformuliert werden, ohne dass im Labor Materialien zum Einsatz kommen.
2. In der Produktion dient die Technologie als Grundlage, um die gesamte Produktion digital abzubilden, beispielsweise um die Auswirkungen verschiedener Prozessvarianten zu simulieren oder Wartungsbedarf vorherzusagen, bevor Materialien vollends verschleissen. Die Kombination dieser Anwendungsmöglichkeiten trägt zur Dekarbonisierung der Industrie bei.¹

Emissionsübersicht

In der Schweizer Industrie reduzieren digitale Zwillinge Emissionen erheblich, indem sie die Prozesssteuerung in der Mineralindustrie optimieren, die 32,5% der Sektor-Emissionen ausmacht. Sie verbessern auch die Effizienz in der Herstellung chemischer und pharmazeutischer Produkte, die über 20% der Emissionen verursachen, durch präzisere Simulationen.² Die Überwachung und Analyse mittels digitaler Zwillinge minimieren den Energieverbrauch und die Emissionen, besonders in der Zementproduktion.¹

Angewandte Technologien¹

Digitale Zwillinge und Simulation können durch eine Auswahl der folgenden Technologien implementiert werden:

- **Virtuelle Realität und Augmented Reality:** Diese Technologien veranschaulichen und simulieren industrielle Prozesse, was Entwicklung und Training effizienter macht und zur Verringerung von Materialverschwendung beiträgt.
- **Internet of Things (IoT):** IoT verbindet reale Anlagen mit ihren digitalen Abbildern, erleichtert dadurch die Echtzeitüberwachung und trägt zur Senkung des Energie- und Materialverbrauchs bei.
- **Big Data-Technologien:** Durch die Analyse grosser Datenmengen, die von digitalen Zwillingen stammen, tragen Big Data-Technologien dazu bei, Abläufe zu verfeinern und die Ressourceneffizienz zu erhöhen.
- **Moderne Sensortechnologie und Netzwerktechnologie:** Sensoren erfassen präzise Daten für digitale Zwillinge, während Netzwerktechnologien deren schnelle und sichere Kommunikation sicherstellen, was eine reaktive und ressourcenschonende Produktion fördert.
- **Cloud Manufacturing und Cloud-Services:** Sie bieten flexible und skalierbare Produktionsressourcen, reduzieren den Bedarf an physischer Infrastruktur und ermöglichen eine agilere Reaktion auf Marktanforderungen bei geringerem Ressourceneinsatz.
- **Maschinelles Lernen (ML)^a:** ML nutzt die generierten Daten, um Muster zu erkennen, Vorhersagen zu treffen und industrielle Prozesse zu optimieren, wodurch Effizienz und Nachhaltigkeit in der Produktion gesteigert werden.

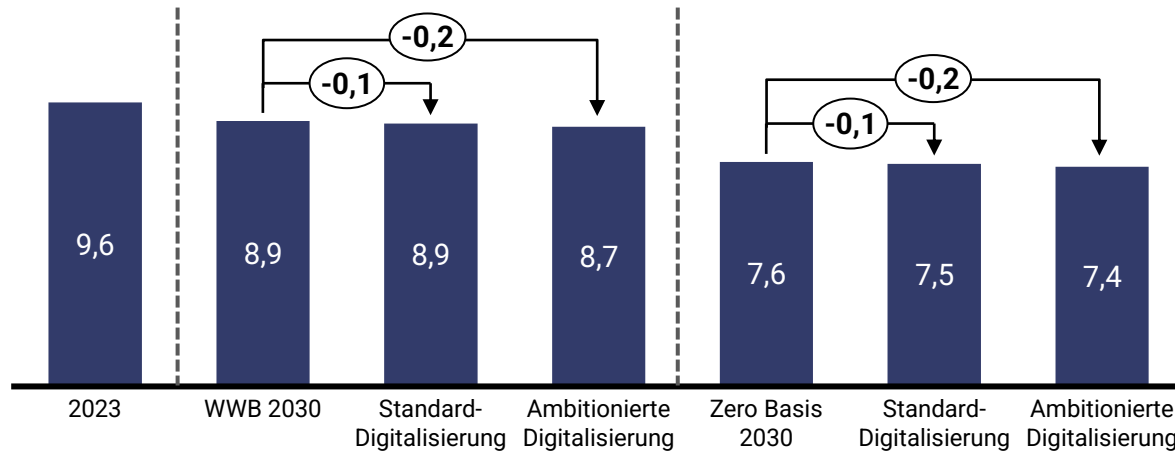
Quellen: 1: He and Bai (2020), 2 Prognos (2021)

Anmerkungen: a: Die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellt ebenfalls eine wichtige angewandte Technologie dar, dessen Ausmass in der Studie nicht spezifisch untersucht wurde.



Durch Digitale Zwillinge und Simulationen können im Jahr 2030 Einsparungspotenziale von bis zu 0,2 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch Digitale Zwillinge können bis zu 0,2 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

Neben Emissionsreduktionen führen präzisere Analysen und Optimierungen von Produktionsprozessen, zu Ressourceneffizienz und Kostenreduktion. Vorhersagen zum Wartungsbedarf minimieren Ausfallzeiten und verlängern Maschinenlebensdauern. Auch wird die Produktentwicklung durch virtuelle Tests vor der Prototypenerstellung unterstützt, sowie Personalisierung und eine flexible Marktanpassung gefördert. Digitale Zwillinge sind vielfältig einsetzbar und ermöglichen es auch, die gesamte Wertschöpfungskette zu simulieren.



Digitale Zwillinge bieten erhebliche Vorteile für die Reduktion von Scope-3-Emissionen, da sie die Optimierung der gesamten Lieferkette ermöglichen und so indirekte Emissionen, die ausserhalb der direkten Kontrolle des Unternehmens entstehen, effektiv angegangen werden können.

Pina Schlombs, Sustainability Lead, Siemens Digital Industries Software

Berechnung der Emissionsreduktion

Emissionsszenarien für das Jahr 2030

Zwei Szenarien der Emissionen im Jahr 2030 wurden betrachtet. Im Szenario „Weiter-wie-bisher“ (WWB) werden Industrieemissionen in Höhe von 8,9 Mt CO₂eq und im Zero Basis Szenario 7,6 Mt CO₂eq im Jahr 2030 erwartet.^a

Reduktionspotenzial

Der Einsatz von Digitalen Zwillingen und Simulationstechnologien kann CO₂eq-Reduktionen von bis zu 7% aufweisen.

Marktdurchdringung

Die heutige Marktdurchdringung von Digitalen Zwillingen und Simulationen liegt bei 26%. Es wird erwartet, dass die Durchdringung bis 2030 auf 38% ansteigen wird. Sollten Anreize für Adaption bei Unternehmen geschaffen werden, so kann dieser Wert bis 2030 auf 57% ansteigen.

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde pro Szenario und pro Marktdurchdringungsgeschwindigkeit wie folgt kalkuliert: Die erwarteten Emissionen im Jahr 2030 wurden mit dem Reduktionspotenzial sowie dem Unterschied zwischen der heutigen und der Marktdurchdringung im Jahr 2030 multipliziert.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario:

$$0,2 \text{ Mt} = 7,6 \text{ Mt} \times 7\% \times (57\% - 26\%)$$

Anmerkung: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren; a: Dies beinhaltet die indirekten Emissionen.

Der Schweizer Lebensmittelkonzern Nestlé konnte die Erhitzungszeiten von Kesseln in der Lebensmittelproduktion um 23% senken

Fallstudie: Digitaler Zwilling und Simulation¹

Ausgangslage

Nestlé hatte es sich 2021 zur Aufgabe gemacht, eine alte Fabrik zu modernisieren und mit neuesten Technologien zur Steigerung der Produktqualität und Nachhaltigkeit auszustatten. Ein Grundpfeiler der digitalen Transformation des Standorts Juuka beinhaltete die Modernisierung der Anlage, d. h. die Erneuerung der Steuerungen, der dezentralen Peripherie, der Antriebe und der Frequenzumrichter durch die neueste Siemens-Technologie. Durch die Modernisierung konnten mehr Datenpunkte gesammelt werden als mit der veralteten Technologie.

Digitale Technologien

Gemeinsam mit Siemens wurden mehrere Digitale Zwillinge erstellt, die zur Optimierung des Projekts beitrugen. Einer davon ist ein digitales Modell des Werks, das zur Simulation des Materialflusses in der Fabrik verwendet wurde. Mit der Werkssimulation kann Nestlé verschiedene Produktionsszenarien testen und validieren. Ein zweiter Zwilling verwendet die Leistungsdaten, die im laufenden Betrieb der Fabrik gesammelt werden und dient der Optimierung von Prozessen und Leistungen. Möglich wurde dies, weil Daten aus der Produktion gesammelt und an eine industrielle IoT-as-a-Service-Lösung von Siemens übertragen und dort ausgewertet wurden.

Reduktionspotenzial

Die digitale Transformation am Nestlé-Standort Juuka hat die Transparenz der Prozesse deutlich erhöht, was zu Einsparungen bei den eingesetzten Rohstoffen führte. Somit wurden emittierte Treibhausgase, Materialien in Höhe von bis zu 100.000 Schweizer Franken und der Wasserverbrauch im Wert von 35.000 Schweizer Franken reduziert. Auch die Erhitzungszeiten von Kesseln wurde um 23% verbessert, was in einem direkten Zusammenhang mit der aufgewendeten Energie steht.



Energie

4.5

Energiesektor

Der Sektor in Zahlen

23,1 GW installierte Leistungskapazität¹

>75% des Strommixes kommt aus erneuerbaren Energien²

18% voraussichtlicher Anstieg der Strompreise für Haushalte 2024³

682 Wasserkraftwerke produzieren 2/3 des Schweizer Stroms⁴

Emissionen aus dem Energiesektor

Der Sektor Energieumwandlung trägt 7%^a zu den Schweizer Emissionen bei, wobei die Studie sich im Sektor Energie auf Stromproduktion und -verbrauch in der Schweiz konzentriert, während die restlichen Energieumwandlungsemissionen, wie z.B. Fernwärme in ihren Verbrauchersektoren betrachtet werden. Der Stromsektor trägt nur geringfügig zu den totalen Treibhausgasemissionen in der Schweiz bei. Durch den hohen Anteil erneuerbarer Energien und Kernkraftwerken ist der Strommix nahezu CO₂eq-neutral. Die existierenden Emissionen des Elektrizitätssektors bestehen aus CO₂eq-Emissionen, die bei der Stromproduktion aus Erdgas und Siedlungsabfällen entstehen³. Zu Tages- und Jahreszeiten, an denen Strom importiert wird, ist zusätzlich der Importstrommix relevant, in dem massgeblich Emissionen aus Kohle- und Gasverbrennungen anfallen. Da der Energiesektor eine wichtige Rolle bei der Dekarbonisierung spielt, indem er die Elektrifizierung anderer Sektoren ermöglicht, wird er in dieser Studie betrachtet.

Quellen: 1: [Switzerland 2023 - Energy Policy Review](#); 2: [Pronovo 2023](#) 3: [Bundesrat 2023](#); 4: [EDA Präsenz Schweiz 2023](#).

Anmerkung: Die Studie bezieht sich im Sektor Energie auf Stromproduktion und -verbrauch in der Schweiz.

a: Da das Treibhausgasinventar das Jahr 2023 bisher noch nicht inkludiert ist, wird der Mittelwert des Zero Basis- und des WWB-Szenarios aus den Energieperspektiven 2050+ für 2023 angenommen.



Der Energiesektor steht mit der Versorgungssicherheit und der Sicherstellung von Netzflexibilität vor grossen Herausforderungen

Herausforderungen

Versorgungssicherheit:¹

Die Elektrifizierung von Transportmitteln und Gebäuden stellt eine bedeutende Herausforderung dar, da sie zu einem erhöhten Strombedarf führt. Je nach Zubaugeschwindigkeit der Erneuerbaren Energien und Laufzeit der bestehenden Kernkraftwerke steuert die Schweiz im Jahr 2035 auf einen Winter-Importsaldo zwischen 6 und 16 TWh² zu.^a Die damit einhergehende benötigte Kapazitäts-erweiterung im Stromnetz erfordert Investitionen in neue Übertragungs- und Verteilungsinfrastruktur sowie in Speichertechnologien. Neben Kapazitäts-erweiterungen ist auch eine effizientere Stromnutzung entscheidend, um die wachsende Nachfrage zu bewältigen und die Energiewende erfolgreich umzusetzen.

Netzflexibilität:

Die Reduzierung von Übertragungsnetzverlusten ist ein wichtiger Aspekt des effizienten Stromnetzbetriebs, da sie die Kosten senken und die Umweltbelastung verringern kann. Die Netzstabilisation ist entscheidend, um die Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit des Stromnetzes zu gewährleisten, insbesondere angesichts der zunehmenden Integration von erneuerbaren Energien. Beispielsweise Vehicle-to-Grid (V2G)-Technologien bieten eine innovative Lösung zur Netzstabilisation und ermöglichen es Elektrofahrzeugen, als flexible Speicher zu fungieren. Die erfolgreiche Integration dieser Technologien erfordert jedoch eine enge Zusammenarbeit zwischen Industrie, Regulierungsbehörden und der Gesellschaft, sowie erhebliche Investitionen von bis zu 84 Mrd. CHF bis 2050.³

Auswahl Schweizer Initiativen und Gesetze

Vorlage für eine sichere Stromversorgung: Ziel ist es, die Versorgungssicherheit der Schweiz zu stärken, insbesondere im Winter. Dies soll durch den Ausbau der heimischen erneuerbaren Stromproduktion und durch verbindliche Ziele zur Senkung des Energieverbrauchs geschehen. Die geplanten gesetzlichen Änderungen sollen 2025 in Kraft treten.

Wind- und Solarexpress: Gesetze zur Beschleunigung der Bewilligungsverfahren für Wind- und Solaranlagen, um den Ausbau erneuerbarer Energien voranzutreiben.

Stromabkommen Schweiz – EU:⁴ Ein angestrebtes Abkommen mit der EU zur Teilnahme der Schweiz am EU-Strombinnenmarkt, was die Versorgungssicherheit stärkt und durch die Marktreform mit freier Versorgerwahl zu verstärkten Innovationsanreizen führt.

Perspektive aus der Praxis



Die Entwicklung aussagekräftiger Module für vorausschauende Instandhaltung wird nicht das Hauptproblem sein, da bereits eine grosse Datenbasis vorhanden ist. Ein grösseres Hindernis stellt die Bereitschaft der Betreiber, diese Daten zu zentralisieren, um sie für diesen Zweck nutzbar zu machen.

Emil Bieri
Head Digital Transformation Hydro Axpo Group

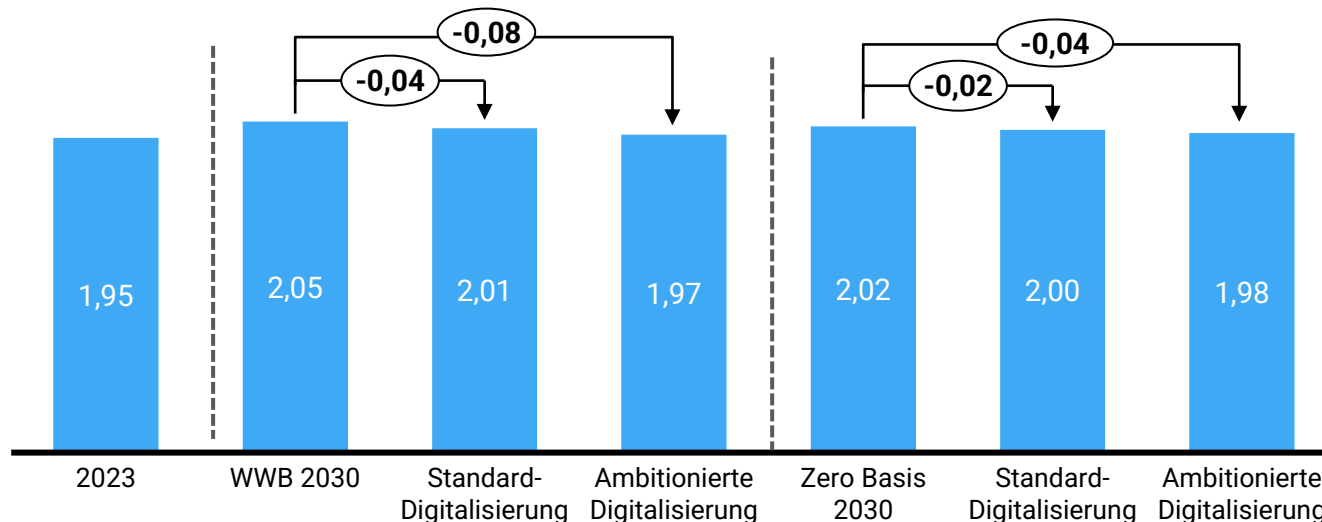
Energiesektor ist trotz geringer Einsparungen von bis zu 0,08 Mt CO₂eq wichtig, um Versorgungssicherheit und Elektrifizierung anderer Sektoren zu unterstützen

Analysierte Anwendungsfälle

Vorausschauende Instandhaltung: Nutzung von Datenanalytik und maschinellem Lernen, um den Ausfall von Anlagen vorherzusagen und Wartungsarbeiten zu planen, bevor es zu Ausfällen kommt, wodurch die Betriebseffizienz maximiert und Ausfallzeiten minimiert werden.

Smart Grids: Fortschrittliche Stromnetzwerke, die digitale Kommunikations- und Sensortechnologien integrieren, um die Stromerzeugung, -verteilung und -nutzung effizient zu steuern.

Im Energiesektor können bis zu 0,08 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)^a



Wichtigste Erkenntnisse


Zwischen **0,9%** und **1,9%** (0,02–0,04 Mt CO₂eq) der Energieemissionen können durch die Anwendung digitaler Technologien reduziert werden.

Vorausschauende Instandhaltung

 **0,7%–1,4%** Emissionsreduktion

Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung von **14% heute** auf **27% im Jahr 2030** bei einer Standard-Digitalisierung können 0,7% (0,01 Mt CO₂eq) der Sektor-Emissionen eingespart werden. Bei ambitionierter Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung von **77%** erreicht werden, und somit 1,4% der Sektor-Emissionen eingespart werden. Dies entspricht einem Wert von 0,03 Mt CO₂eq. Das ist in etwa so viel, wie bei der Verbrennung von rund 16 Mio. m³ Erdgas anfallen würde.¹

Smart Grids

 **0,2%–0,4%** Emissionsreduktion

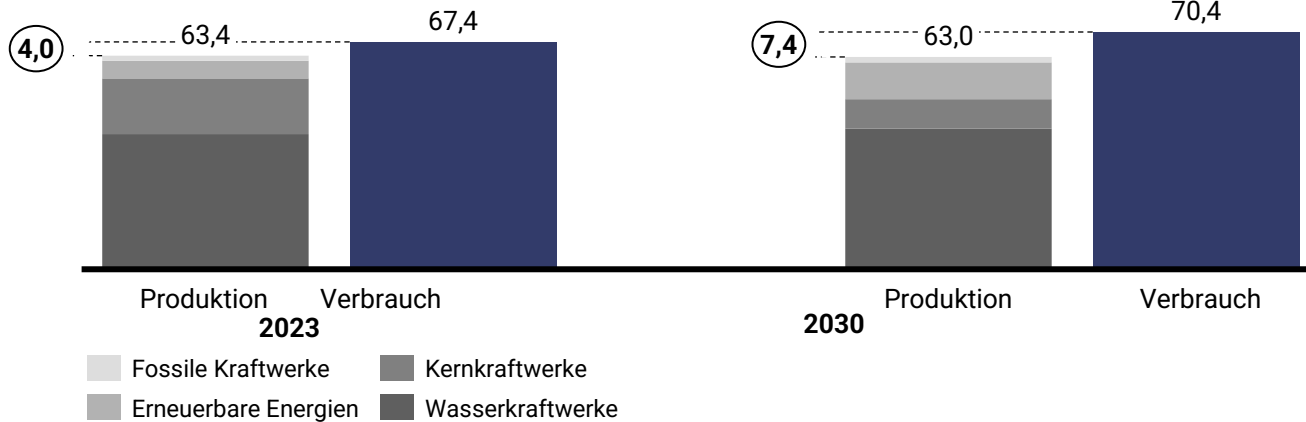
Durch eine Steigerung der Marktdurchdringung von **1% heute** auf **19% im Jahr 2030** bei einer Standard-Digitalisierung können 0,2% (0,004 Mt CO₂eq) der Sektor-Emissionen eingespart werden. Diese Einsparungen entsprechen den Emissionen, die bei der Verbrennung von etwa 2,2 Mio. m³ Erdgas freigesetzt werden.¹ Bei der ambitionierten Digitalisierung kann eine Marktdurchdringung von **39%** erreicht werden – und somit 0,4% (0,008 Mt CO₂eq) oder rund 4,4 Mio. m³ Erdgas¹ eingespart werden.

Quelle: 1: Kyburz CO₂ Factsheet

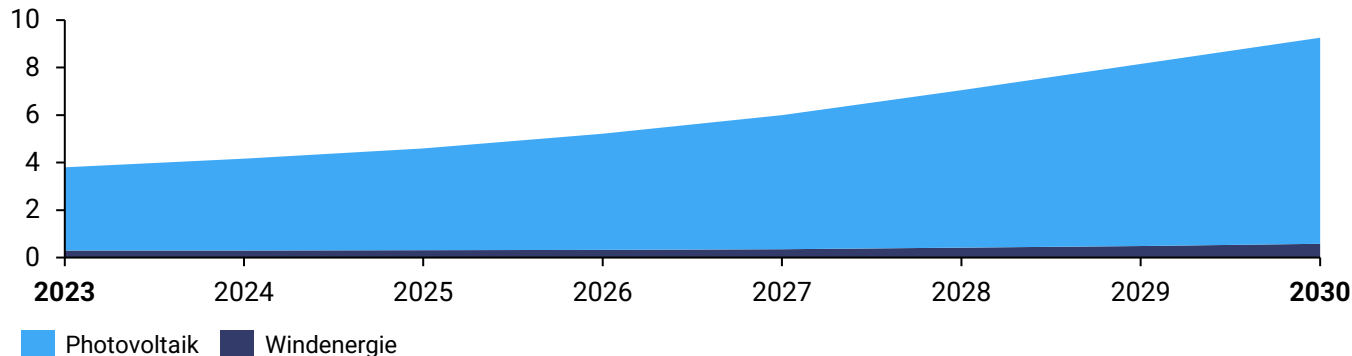
Anmerkungen: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren; a: Beide Anwendungsfälle beziehen sich auf die gleiche Baseline, weshalb in der Grafik nur hellblau für vorausschauende Instandhaltung dargestellt wird. Diese Emissionen gelten aber auch für Smart Grids.

Durch digitale Anwendungsfälle befähigt der Energiesektor andere Sektoren zu einer flächendeckenden Elektrifizierung

Bis 2030 weitet sich die Differenz zwischen Stromverbrauch und -produktion (in TWh)¹



Die Produktion von Solar und Windenergie steigt bis 2030 stetig an (in TWh)¹



Vorausschauende Instandhaltung

Effizienzsteigerungen in der Produktion erneuerbarer Energien wie Solarenergie und Wasserkraft tragen zur Reduzierung der jährlichen Schweizer Stromlücke bei, die im Zero Basis Szenario bis 2030 auf 7,4 TWh anwächst. Um den Bedarf zu decken kann durch vorausschauende Instandhaltung im Jahr 2030 bei einer Standard-Digitalisierung bis zu **0,39 TWh (5,3%** der Stromlücke) und bei ambitionierter Digitalisierung bis zu **0,86 TWh (11,6%** der Stromlücke) zusätzlicher Strom erzeugt werden. Diese zusätzliche Energie kann anderen Sektoren zur Elektrifizierung dienen, zum Beispiel für den Betrieb von mehr Elektroautos, was zu einer indirekten Reduktion von Emissionen führt.

Smart Grids

Bis 2030 wird sich die installierte Solarleistung in der Schweiz voraussichtlich mehr als verdoppeln, wodurch die Netzintegration intermittierender Energiequellen zunimmt. Dank der grossen Kapazität der Schweizer Wasserkraftwerke können diese variablen Lasten ausgeglichen werden. Smart Grids bieten eine weitere Lösung für die Herausforderung, dass Solaranlagen unabhängig von der aktuellen Stromnachfrage Energie produzieren. Durch intelligente Steuerung und Kommunikation können Smart Grids den erzeugten Solarstrom effizient verteilen und speichern. Dadurch können bis zu **2,3 TWh (31%** der Stromlücke) bei Standard-Digitalisierung und bis zu **4,8 TWh (65%** der Stromlücke) bei ambitionierter Digitalisierung verschoben werden, um ihn zu einem besseren Zeitpunkt zu nutzen.

Die Effizienz der Stromerzeugung in der Schweiz ist entscheidend, um die Elektrifizierung anderer Branchen wie Verkehr und Gebäude voranzutreiben. Digitaltechnologien im Energiesektor können deshalb bei der Dekarbonisierung unterstützen, auch wenn der Schweizer Strom bereits sehr CO₂-arm ist.



Emil Bieri,
Head Digital Transformation Hydro
Axpo Group



Wurden Effizienzsteigerungen im Pilotprojekt Hydro 4.0 festgestellt?

Die exakten Zahlen werden sich erst in Zukunft zeigen. Aus 50 möglichen Anwendungsfällen wurden 20 getestet und hinsichtlich Optimierung von Investitionen, Effizienzsteigerung, Vermeidung von Ausfällen und Prozessverbesserungen untersucht. Zudem wurde erstmalig die Akzeptanz bei den direkten Nutzern geprüft. Von den getesteten Anwendungsfällen wiesen 15 sowohl wirtschaftliches Potenzial als auch Akzeptanz seitens der Belegschaft auf und wurden nach dem Pilot weiterverfolgt.

Was war der Fokus des Pilotprojekts hinsichtlich Predictive Maintenance?

Es wurden verschiedene Anwendungsfälle in vier Hauptbereichen getestet, darunter auch Analytics, zu dem Predictive Maintenance gehört. Hier sammeln wir alle Daten aus den Kraftwerken und übertragen eine exakte Kopie in die Cloud. Diese Daten umfassen bis zu 30.000 Datenpunkte pro Anlage und werden so für die Mitarbeitenden jederzeit und überall verfügbar gemacht. Wir nutzen Machine Learning und Predictive Module, um Trends für zukünftige Wartungsbedarfe abzuleiten und stellen die Daten in einer zentralisierten, verständlichen Visualisierung bereit, wobei wir neben unseren eigenen Entwicklungen auch Lieferanten-Knowhow integrieren.

Wenn kein Kraftwerk wie das nächste ist, gibt es dann Vorreiterländer in Predictive Maintenance, von denen wir lernen können?

Es gibt Standardkomponenten, die in vielen Kraftwerken und Ländern eingesetzt werden, wobei das Knowhow der Hersteller genutzt wird. Bei zentralen Anlagenkomponenten, wie Turbinen und Generatoren, die stark vom Standort abhängig sind, versuchen wir selbst, Daten zu analysieren und präzise Module zu entwickeln. Das Überführen in automatisierte Module mit genauen Aussagen ist allerdings eine grosse Herausforderung. Ich habe bislang keinen Marktakteur angetroffen, der dies bereits perfektioniert hat. Dennoch gibt es in der Branche einen guten offenen Austausch; alle testen und experimentieren und teilen ihr Wissen.

Was sind Herausforderungen in Predictive Maintenance für Wasserkraftwerke?

Die Hauptprobleme liegen darin, genaue und automatisierte Ergebnisse zu erzielen, die auch der Prüfung von Fachexperten standhalten.

Leider gibt es auch ein Akzeptanzproblem in der Branche, da viele überschwängliche Versprechen gemacht wurden, die sich später als unzuverlässig erwiesen. Als Schlüssel hierbei sehe ich die Validierung von Predictive Modulen an realen Maschinen unter Beizug der Fachexperten.

Was hält die Schweiz davon ab, bis 2030 Predictive Maintenance in allen Wasserkraftwerken einzubauen?

Die Entwicklung aussagekräftiger Module für vorausschauende Instandhaltung wird nicht das Hauptproblem sein, da bereits eine grosse Datenbasis vorhanden ist. Ein grösseres Hindernis stellt die Bereitschaft der Betreiber, diese Daten zu zentralisieren, um sie für diesen Zweck nutzbar zu machen.

Wie sieht die Relevanz von Predictive Maintenance im Bereich Solar aus?

Im Solarbereich sind die Herausforderungen anders, da die Anlagen weniger Signale aufweisen und geografisch weiter verteilt sind. Es gibt auch bei Solar ein starkes Interesse, den Wartungsbedarf aus den Daten abzuleiten und wir stehen im regen Austausch zu vielversprechenden Möglichkeiten.

Welche weiteren digitalen Technologien werden bei der Axpo in Zukunft verfolgt, um den Elektrizitätssektor weiter zu dekarbonisieren?

Zu weiteren Technologien gehören der Einsatz von Smart Grids und fortschrittlichen Messsystemen, die eine flexible Laststeuerung ermöglichen, sowie die Nutzung von Drohnen und Robotern für automatisierte Inspektionen und Wartungen von Netzkomponenten und Betonstrukturen wie Staumauern. Ausserdem setzen wir auf Building Information Modeling (BIM) zur effizienteren Gestaltung und Verwaltung von Infrastrukturprojekten, was auch die Integration aller betrieblichen Daten in 3D-Modelle beinhaltet.

Wie trägt das alles zur Dekarbonisierung und Nachhaltigkeit bei?

Die Optimierung des Betriebs und längere Nutzung von Materialien durch präzisere Wartung kann zu einem geringeren CO₂-Ausstoss führen. Wir starten bezüglich Dekarbonisation und Nachhaltigkeit in der Wasserkraft aber schon auf einem sehr hohen Niveau. Weshalb eine weitere Reduktion von CO₂ eine Herausforderung bleibt, und eine grosse Motivation immer weiter daran zu arbeiten!

Vorausschauende Instandhaltung



4.5.1



Vorausschauende Instandhaltung minimiert Ausfallzeiten, wodurch mehr Strom produziert wird, ohne zusätzlich anfallende Emissionen



Die Implementierung von vorausschauender Instandhaltung trägt massgeblich zur Verbesserung der Betriebseffizienz und zur Reduzierung von Ausfallzeiten bei.

Emil Bieri,
Head Digital
Transformation Hydro
AxpO Group

Vorausschauende Instandhaltung

Vorausschauende Instandhaltung für Solaranlagen und Wasserkraftwerke nutzt fortgeschrittene Algorithmen und Datenanalysen, um den Zustand der Anlagen kontinuierlich zu überwachen und potenzielle Ausfälle vorherzusagen, bevor sie auftreten. Dadurch können Wartungsarbeiten gezielt geplant, Ressourcen effizient genutzt und Ausfallzeiten minimiert werden. Für Solaranlagen bedeutet dies beispielsweise die frühzeitige Erkennung von Defekten in den Panels oder der Wechselrichter. Bei Wasserkraftwerken können Vibrationen, Druckabfall oder andere Anomalien frühzeitig erkannt werden, um Ausfälle zu vermeiden und die Anlagenleistung zu optimieren. Die Implementierung von vorausschauender Instandhaltung kann somit massgeblich zur Verbesserung der Betriebseffizienz und zur Reduzierung von Ausfallzeiten beitragen.

Emissionsübersicht

Vorausschauende Instandhaltung reduziert Emissionen, indem eine kontinuierliche und zuverlässige Stromerzeugung gewährleistet wird. Dadurch geht weniger Energie verloren und wird insgesamt mehr sauberer Strom produziert, ohne zusätzliche Emissionen zu verursachen.^a

Angewandte Technologien¹

Vorausschauende Instandhaltung kann durch die Anwendung folgender Technologien ermöglicht werden:

- **Fernüberwachung und Fernsteuerungssysteme:** Diese Technologie ermöglicht die Fernüberwachung und Fernsteuerung der Anlagenparameter in Echtzeit, was eine frühzeitige Erkennung potenzieller Ausfälle oder Probleme ermöglicht.
- **Internet der Dinge (IoT):** Durch die Vernetzung von Sensoren und Geräten können relevante Betriebsdaten gesammelt und analysiert werden, um den Zustand der Anlagen kontinuierlich zu überwachen und voraussehbare Wartungsmassnahmen zu planen.
- **Maschinelles Lernen (ML)^b:** Diese Technologie kann komplexe Muster und Anomalien in den Betriebsdaten erkennen, um dabei zu unterstützen präzise Vorhersagen über potenzielle Ausfälle oder Wartungsbedarfe zu treffen.

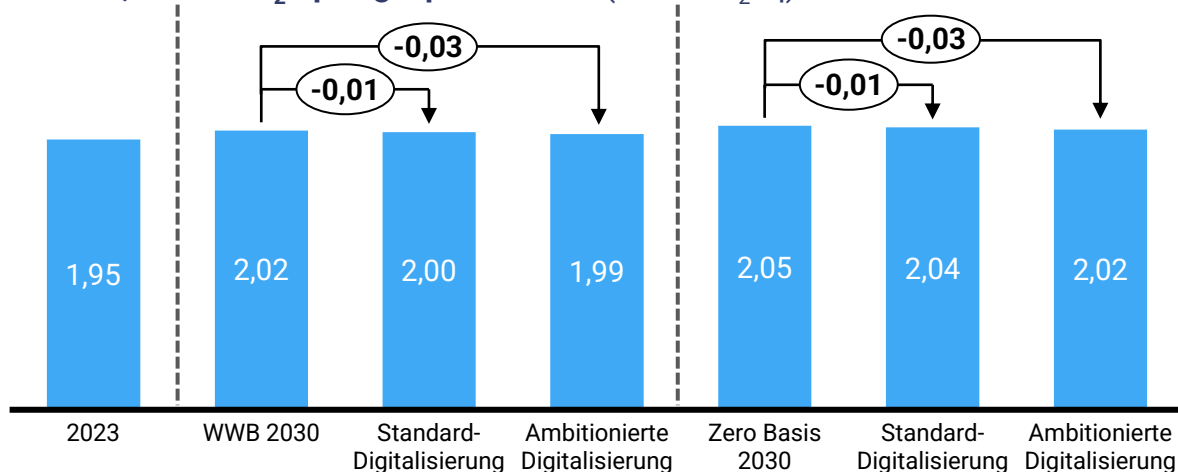
Quellen: 1: [Pepe, C., & Zanoli, S. M. \(2024\)](#)

Anmerkung: a: Zusätzlich kann vorausschauende Instandhaltung einen positiven Effekt auf Lifecycle Emissionen der verwendeten Materialien haben, da Komponenten nicht zu konservativ ausgetauscht werden. Da dies unter Scope-3-Emissionen fällt, wird dieser Effekt allerdings nicht in der Studie untersucht; b: Die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellt ebenfalls eine wichtige angewandte Technologie dar, dessen Ausmass in der Studie nicht spezifisch untersucht wurde.



Durch vorausschauende Instandhaltung können bis 2030 Einsparungspotenziale von bis zu 0,03 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch Vorausschauende Instandhaltung in Wasserkraft und PV können bis zu 0,03 MT CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

Vorausschauende Instandhaltung spielt eine entscheidende Rolle bei der Verkleinerung der zukünftigen Stromlücke in der Schweiz und ist daher von grosser Relevanz für die Versorgungssicherheit. Weitere Vorteile ergeben sich durch die Verbesserung der Sicherheit für Betreiber und Wartungspersonal durch die frühzeitige Erkennung potenzieller Gefahren und die gezielte Planung von Wartungsarbeiten. Zudem ermöglicht sie eine bessere Planung von Ressourcen und Arbeitskräften, da Wartungsmassnahmen rechtzeitig und effizient durchgeführt werden können.

Berechnung der Emissionsreduktion



Potenzielle Effizienzsteigerung für das Jahr 2030

Die potenzielle Effizienzsteigerung ergibt sich aus der Steigerung der Auslastung von Wasserkraftwerken (2,0%) und Solaranlagen (6,5%), die separat aus mehreren Studien und Unternehmensberichten ermittelt wird.



Marktdurchdringung

Die heutige Marktdurchdringung der Technologien liegt für Wasserkraft bei etwa 13,5% und PV 25%. Es wird erwartet, dass diese bis 2030 auf 23% (Wasserkraft) und 80,8% (PV) ansteigen werden. Bei der ambitionierten Digitalisierung können diese Werte auf bis zu 76% (Wasserkraft) und 86% (PV) ansteigen. Dies basiert auf der Annahme, dass alle Unternehmen im Energiesektor, die eine Digitalisierungsstrategie verfolgen, bestehende Anlagen bis 2030 nachrüsten.



Emissionsfaktoren

Der Emissionsfaktor des Schweizer Lieferantenmixes im Jahr 2030 wird basierend auf ENTSOE¹ und Prognos², als 33,74 g CO₂eq/kWh im Zero Basis Szenario und 34,01 g CO₂eq/kWh im WWB-Szenario nach Herkunftsnachweisen berechnet.

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde wie folgt kalkuliert: Die potenzielle Effizienzsteigerung wurde mit dem Unterschied zwischen der heutigen und der Marktdurchdringung im Jahr 2030 sowie mit dem Emissionsfaktor des Schweizer Lieferantenmixes und der Stromproduktion multipliziert.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario für PV:

$$\text{Emissionsreduktion} = \text{Speedometer} \times \text{Percentage} \times \text{Document} \times \text{Stromproduktion}$$

$$0,01 \text{ Mt} = 6,5\% \times (86\% - 25\%) \times (33,74) \times 8.7$$



Axpo, die grösste Produzentin von Wasserkraft in der Schweiz, zeigt im Projekt Hydro 4.0 Effizienzsteigerungen durch vorausschauende Instandhaltung

Fallstudie: Vorausschauende Instandhaltung^{1,2}

Ausgangslage

Axpo, als führende Anbieterin von Wasserkraft in der Schweiz, hat das Pilotprojekt Hydro 4.0 gestartet, um die Digitalisierung der Wasserkraftwerke voranzutreiben. Das Ziel war es, das erste digitale Wasserkraftwerk der Schweiz zu realisieren und dabei auf Automatisierung, Robotik, vorausschauende Instandhaltung und kontinuierliches Effizienzmonitoring zu setzen. Das Pilotprojekt fand bei den Kraftwerken Sarganserland (KSL) statt, einem der Wasserkraftwerke von Axpo.

Digitale Technologien

Im Rahmen des Hydro 4.0-Projekts wurden verschiedene digitale Technologien implementiert. Dazu gehören Automatisierungslösungen, Robotik und prädiktive Instandhaltungssysteme. Durch die Integration von mehr als 30.000 Sensoren, die täglich 13–14 Millionen neue Messwerte liefern, wurden über 19 Milliarden Datenpunkte erfasst. Diese Daten ermöglichen die kontinuierliche Überwachung des Zustands des Wasserkraftwerks und der einzelnen Maschinen. Die Analyse dieser Daten ermöglicht eine vorausschauende Instandhaltung und unterstützt bei der Optimierung des Betriebs der Anlage.

Reduktionspotenzial

Durch das Hydro 4.0-Projekt konnten signifikante Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen erzielt werden. Die kontinuierliche Überwachung und Analyse der Betriebsdaten ermöglicht es, Inspektionsentscheidungen vorherzusehen und Wartungsarbeiten proaktiv durchzuführen. Dadurch wurden die Instandhaltungskosten um einen beträchtlichen Prozentsatz reduziert. Darüber hinaus trug das Projekt zur Optimierung des Betriebs bei, was zu einer weiteren Senkung der Betriebskosten führte.



Smart Grids



4.5.2



Smart Grids ermöglichen eine höhere Nutzung erneuerbarer Energien durch präzise Überwachung, Steuerung und Kommunikation im Stromnetz



Smart Grids

Smart Grids spielen eine entscheidende Rolle bei der Transformation und Modernisierung der Energieinfrastruktur. Sie integrieren fortschrittliche Technologien, wie intelligente Messgeräte, Echtzeitdatenanalyse und automatische Steuerungssysteme, um den Energiefluss effizient zu verwalten und die Zuverlässigkeit des Stromnetzes zu verbessern. Durch intelligente Netzwerke und automatisierte Prozesse ermöglichen Smart Grids eine präzise Überwachung und Steuerung des Stromverbrauchs in Echtzeit, wodurch Engpässe vermieden und die Netzstabilität erhöht wird. Darüber hinaus fördern sie die Integration erneuerbarer Energiequellen und ermöglichen eine flexible Anpassung an sich ändernde Nachfrage- und Erzeugungsbedingungen, was zu einer nachhaltigeren und effizienteren Energieversorgung beiträgt.

Emissionsübersicht

Smart Grids ermöglichen eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien, indem sie die Integration dezentraler Energiequellen wie Solarenergie erleichtern. Insbesondere im schweizerischen Kontext ermöglicht dies eine Verschiebung von weniger importiertem (möglicherweise fossilem) Strom aus den Nachbarländern hin zur Nutzung des beinahe CO₂-neutralen schweizerischen Strommixes.

Angewandte Technologien¹

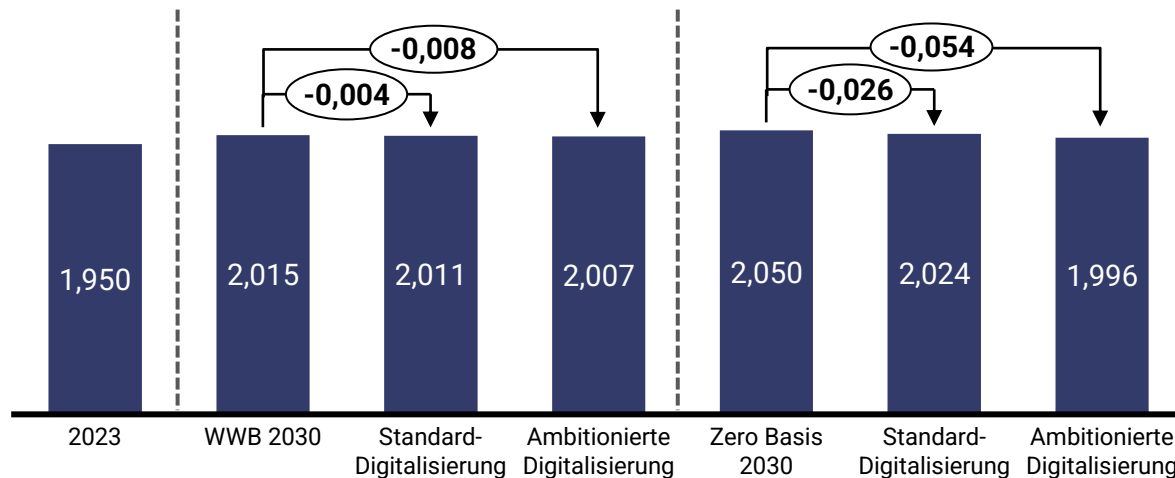
Smart Grids können durch die Anwendung folgender Technologien ermöglicht werden:

- **Smart Meters und Advanced Metering Infrastructure (AMI):** Smart Meter erfassen Echtzeitdaten zum Energieverbrauch und unterstützen die Kommunikation zwischen Versorgern und Verbrauchern. Die AMI bietet Analysewerkzeuge zur Überwachung des Stromnetzes und ermöglicht eine effiziente Verwaltung von Energieflüssen.
- **Distributed Energy Resources Management Systems (DERMS):** DERMS integrieren und steuern verteilte Energieerzeugungsanlagen wie Solaranlagen und Batteriespeicher im Stromnetz. Sie optimieren die Nutzung erneuerbarer Energien und verbessern die Netzstabilität durch dynamische Anpassung an die Nachfrage.
- **Laststeuerung:** Laststeuerungsprogramme ermöglichen es Verbrauchern, durch finanzielle Anreize ihren Stromverbrauch in Spitzenzeiten zu reduzieren oder zu verschieben, wodurch sie aktiv zur Stabilität und Effizienz des Stromnetzes beitragen.
- **Internet of Things (IoT):** IoT vernetzt Geräte und Sensoren im Stromnetz zur Erfassung und Analyse von Echtzeitdaten. Versorger können den Zustand des Stromnetzes überwachen, den Energieverbrauch optimieren und die Netzleistung verbessern.



Durch Smart Grids können im Jahr 2030 die Stromnetze optimiert und Einsparungspotenziale von bis zu 0,054 Mt CO₂eq erreicht werden

Durch Smart Grids können bis zu 0,054 Mt CO₂eq eingespart werden (in Mt CO₂eq)



Weitere Vorteile

Smart Grids ermöglichen die Integration von mehr erneuerbaren Energien in das Schweizer Netz, was den Übergang zu einer nachhaltigeren Energieversorgung beschleunigt und den Bedarf nach Importstrom zur Netzstabilisierung verringert.

Sie verbessern die Netzstabilität durch schnelle Störungserkennung und -behebung, was die Ausfallzeiten reduziert. Zudem optimieren sie die Ressourcennutzung durch dynamische Anpassung von Energieerzeugung und -verbrauch. Zusätzlich entlastet die intelligente Ladung von Elektrofahrzeugen das Netz und erleichtert die Integration erneuerbarer Energien im Verkehrssektor.

Quellen: 1: ENTSO-E 2022 Szenarien; 2: Prognos Stromkennzeichnung.

Anmerkung: Abweichungen in den Summen können aus Rundungen resultieren; a: Die Marktdurchdringung wird bestimmt aus drei Grundvoraussetzungen: Anteil eingebauter Smart Meter (stark beeinflusst durch bestehende Gesetze – siehe Gebäudesektor), Anteil Nutzer mit dynamischen Stromtarifen, und Anteil Prosumer (Person oder Einheit, die sowohl Energie produziert als auch konsumiert). Wenn eine dieser Voraussetzungen nicht gegeben ist, können die Vorteile der anderen nicht vollumfänglich ausgeschöpft werden.; b: Siehe Emissionsfaktoren für genauere Erläuterung.

Berechnung der Emissionsreduktion



Lastverschiebungspotenzial für das Jahr 2030

Das Lastverschiebungspotenzial bezieht sich auf die Strommenge, die bis 2030 zeitlich flexibel verschoben werden kann. Dieses Potenzial wurde aus den Ergebnissen mehrerer Studien auf 12,7 TWh im Jahr 2030 berechnet.



Marktdurchdringung

Die heutige Marktdurchdringung der Technologien liegt bei etwa 1%. Es wird erwartet, dass die Durchdringung bis 2030 auf 19% ansteigen wird. Bei der ambitionierten Digitalisierung kann dieser Wert auf bis zu 39% ansteigen. Dieser Wert basiert auf der Annahme, dass der Anteil der Bevölkerung, der 2030 bereit wäre dynamische Stromtarife abzuschliessen, an Smart Grids teilnimmt.^a



Emissionsfaktoren^b

Für das Jahr 2030 werden die Emissionsfaktoren für den Schweizer Importstrom auf 17,29 g CO₂eq/kWh (basierend auf ENTSOE¹ und Prognos²) und für den Schweizer erneuerbaren Strom auf 15,58 g CO₂eq/kWh berechnet

Kalkulationslogik

Die Emissionsreduktion wurde wie folgt kalkuliert: Das Lastverschiebungspotenzial im Jahr 2030 wurde mit dem Unterschied zwischen der Marktdurchdringung heute und im Jahr 2030 sowie dem Unterschied zwischen den Emissionsfaktoren des Schweizer Importstroms 2030 und des Schweizer erneuerbaren Stroms 2030 multipliziert.

Beispiel ambitionierte Digitalisierung im Zero Basis Szenario:

$$\text{Emissionsreduktion} = \text{Lastverschiebungspotenzial} \times \text{Marktdurchdringung} \times \text{Emissionsfaktoren}$$

$$0,008 \text{ Mt} = 12,7 \times (39\% - 1\%) \times (17,29 - 15,58)$$



Groupe E zeigt in ihrem Smart Grid-Projekt mögliche Optimierungen auf

Fallstudie: Smart Grids¹

Ausgangslage

Groupe E hat ein wegweisendes Projekt in Neyruz (FR) durchgeführt, um die Herausforderungen der Energiewende anzugehen. Das Projekt simuliert die zukünftige Stromnetzinfrastruktur der Schweiz mit einer hohen Dichte an Photovoltaikanlagen (PV), Wärmepumpen (WP) und Elektrofahrzeug-Ladestationen. Das Ziel war es, Smart Grid-Tools zu testen und dabei zu evaluieren, wie sie von der Bevölkerung angenommen werden.

Digitale Technologien

Im Zentrum des Projekts stand die Einführung von Smart Metern in allen Wohnungen des Quartiers. Diese Smart Meter ermöglichen es, den Status des Netzwerks in Echtzeit zu überwachen und die Auslastung der Transformatorenstation zu optimieren. Durch die Flexibilisierung des Verbrauchs konnten auch Spitzenlasten reduziert werden. Eine weitere innovative Technologie war die Verwendung von Wechselrichtern mit einer P(U)-Kennlinie^a, die die Leistung von Solaranlagen je nach Netzlast automatisch anpasst.

Reduktionspotenzial

Durch das Pilotprojekt konnte Groupe E signifikante Verbesserungen in der Effizienz des Stromnetzes erzielen. Die Smart Meter ermöglichten es, Schwankungen in der Netzlast besser zu bewältigen und den Bedarf an teuren Infrastrukturinvestitionen zu reduzieren. Die Flexibilisierung des Verbrauchs und die automatische Anpassung der Solaranlagen trugen zur Reduzierung von Spitzenlasten bei. Zum Beispiel konnte eine Spitzenlast von 100 kW allein durch die Optimierung des Strombedarfs von Boilern reduziert werden.



Quelle: 1: [Groupe E \(2024\)](#)

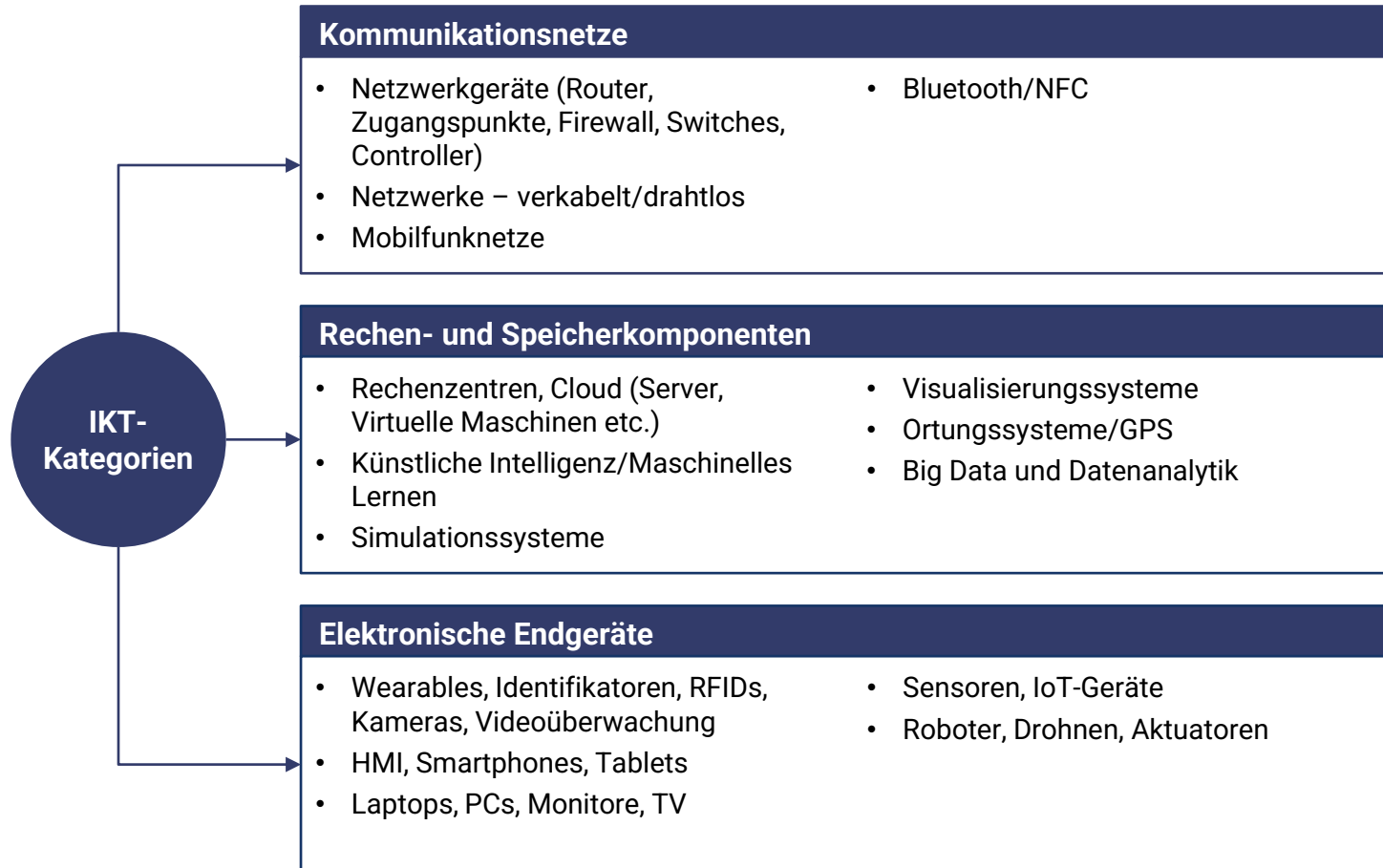
Anmerkung: a: Die P(U)-Kennlinie ermöglicht es, wichtige Arbeitspunkte, wie den Punkt maximaler Leistung, zu identifizieren, bei dem das Gerät seine optimale Effizienz erreicht. Dies ist besonders wichtig für die Dimensionierung und Regelung von Systemen zur Energieerzeugung oder -speicherung, um eine maximale Effizienz und Leistung zu gewährleisten.

Fussabdruck digitaler Technologien



Der Fussabdruck digitaler Technologien entsteht durch Kommunikationsnetze, Rechen- und Speicherkomponenten sowie elektronischen Endgeräten

Übersicht über die IKT-Kategorien



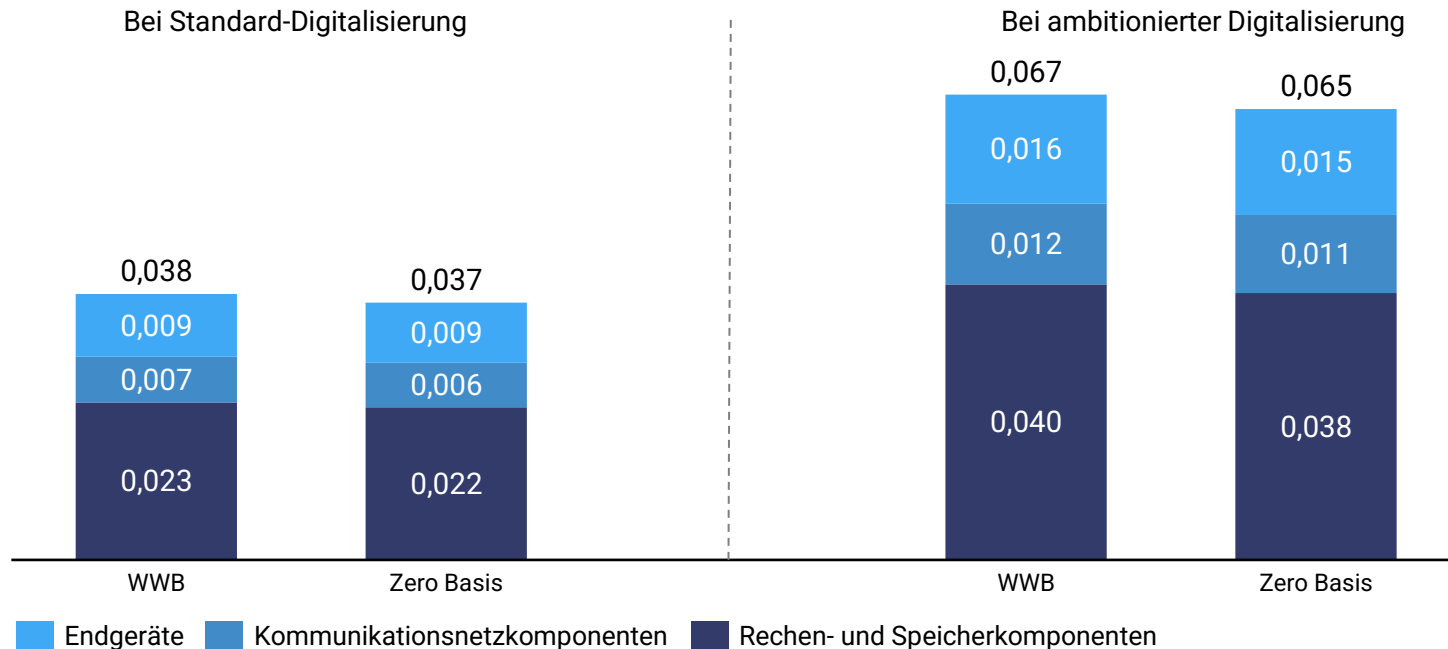
Eingrenzung der Fussabdrucksberechnung

Die Erläuterungen in diesem Kapitel basieren auf der detaillierten Struktur der links aufgeführten IKT-Kategorien, die eine klare Unterscheidung zwischen Kommunikationsnetzen, Rechen- und Speicherkomponenten, und elektronischen Endgeräten vorsehen. Innerhalb dieser Segmente sind insgesamt fünfzehn spezifische Unterkategorien definiert, die als Grundlage für die durchgeführten anwendungsspezifischen Analysen dienen. Diese Unterkategorien bilden zusammen ein robustes Gerüst für die Analysen, die einen gezielten Einblick in die Anwendungsfälle und die CO₂eq-Fussabdrücke der digitalen Technologien ermöglichen.

Es ist hierbei zu beachten, dass die Berechnung des IKT-Fussabdrucks lediglich die Scope-1- und 2-Emissionen einbezieht, also nur die Emissionen, die bei der Nutzung in der Schweiz entstehen. Darüber hinaus handelt es sich bei der Schätzung des IKT-Fussabdrucks ausschliesslich um die Emissionen, die durch die Anwendung der in den Sektor-Kapiteln verwendeten Use Cases entstehen und nicht um die Entwicklung des gesamten IKT-Sektors in der Schweiz. Der IKT-Fussabdruck wird für die zusätzliche Marktdurchdringung von 2023 bis 2030 berechnet.

Rechen- und Speicherkomponenten sehen den grössten Zuwachs an Emissionen durch die analysierten Anwendungsfälle

Eine ambitionierte Digitalisierung vergrössert den ITK-Fussabdruck der verwendeten Technologien (in Mt CO₂eq)



Der berechnete IKT-Fussabdruck wird nur durch die Emissionen aus der Nutzung definiert, um eine Vergleichbarkeit zu den reduzierten Emissionen in den Sektorkapiteln zu schaffen, die ebenso nur in der Nutzung betrachtet werden. Bei Berücksichtigung von Herstellungsemissionen vergrössert sich der Fussabdruck entsprechend. Dies ist besonders bei elektronischen Endgeräten wichtig zu beachten. Dennoch ist zu erwarten, dass auch mit Inklusion von Herstellungsemissionen die untersuchten Anwendungsfälle einen positive Netto-Klimaeffekt haben.

Berechnungslogik und Ergebnisse

Berechnungslogik^a

In der Berechnung des Fussabdrucks der digitalen Technologien wurde analog zu den Berechnungen der CO₂eq-Einsparpotenziale nach den zwei Digitalisierungsgeschwindigkeiten differenziert.

Demnach wurde sowohl ein Fussabdruck für die Standard-Digitalisierung als auch für die ambitionierte Digitalisierung berechnet. Gleichermassen wurde der Fussabdruck für die beiden Szenarien WWB und Zero Basis berechnet.

Ergebnisse

Die Menge an Emissionen durch IKT ist stark von der Digitalisierungsgeschwindigkeit abhängig. Die grössten Emissionsverursacher innerhalb der IKT-Branche sind Rechenzentren und Speicherkomponenten, die aufgrund ihres erheblichen Energieverbrauchs bei jeglicher Digitalisierungsgeschwindigkeit ins Gewicht fallen. Trotzdem bleibt der ökologische Fussabdruck der IKT-Nutzung im Vergleich zu anderen Ländern gering, was hauptsächlich dem fast kohlenstoffneutralen Strommix in der Schweiz zu verdanken ist.

Es ist jedoch wichtig, den IKT-Fussabdruck zu überwachen und zu optimieren, um einen Beitrag zur Vermeidung von Strommangel in der Schweiz zu leisten.

Der Gebäudesektor erzeugt mit der zusätzlichen Anwendung von Smart Homes und Gebäudeautomatisierung bis zu 0,033 Mt CO₂eq

Der Fussabdruck digitaler Technologien ist im Gebäudesektor besonders durch Digitalisierung betroffen (in Mt CO₂eq)



Erläuterung der Fussabdrücke

Die Analyse des Fussabdrucks der untersuchten digitalen Technologien hebt hervor, dass die Sektoren Gebäude und Industrie die grössten Auswirkungen im Kontext der IKT verzeichnen. Insbesondere zeigen sie bei einer Standard-Digitalisierung Werte von 0,025 bzw. 0,005 Mt CO₂eq, während sie bei einer ambitionierteren Digitalisierung auf 0,033 bzw. 0,014 Mt CO₂eq ansteigen. Dies reflektiert ihren erheblichen Zugriff auf Rechenzentren und Speicherkomponenten – die zentralen Elemente der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT).

Im Gegensatz dazu wird beispielsweise die Landwirtschaft voraussichtlich auch im Jahr 2030 einen relativ geringen Fussabdruck behalten, der sowohl bei Standard- als auch bei ambitionierter Digitalisierung bei 0,001 Mt CO₂eq liegt.

Projektlenkung und Projektteam



Projektleitung und Projektteam

Projektleitung



Clara Wrede
Digitalswitzerland
Project Lead
eSustainability



Lukas Federer
Economiesuisse
Stv. Bereichsleiter Umwelt, Energie
und Infrastruktur



Alexandra Molnár
Accenture
Strategy & Consulting
Sustainability Lead Schweiz

Projektteam



Alexander Holst
Accenture
Managing Director Sustainability
Strategy & Consulting



Jonas Kreyenkamp
Accenture
Strategy & Consulting
Sustainability



Balkan Cetinkaya
Accenture
Strategy & Consulting
Sustainability



Jonas Strunk
Accenture
Strategy & Consulting
Sustainability



Jamie Sommer
Accenture
Strategy & Consulting
Sustainability

Anhang



Anhang

Gebäude



7.1



Gebäude: Zusammenfassung der digitalen Technologien – CO₂-Reduktion (1/2)

Zero Basis Szenario

Zero Basis Szenario

	Digitalisierungsagnostische Werte			Standard-Digitalisierung				Ambitionierte Digitalisierung					
	Spezifisches Reduktionspotenzial	Marktdurchdringung 2023	CO ₂ eq Projektion 2030	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial
	[%]	[%]	[MtCO ₂ eq]	[%]	[MtCO ₂ eq]	[MtCO ₂ eq]	[MtCO ₂ eq]	[%]	[%]	[MtCO ₂ eq]	[MtCO ₂ eq]	[MtCO ₂ eq]	[%]
Gebäude gesamt			7,90		0,41	0,02	0,39	4,9%		0,68	0,03	0,65	8,2%
Smart Home		10%	5,25	45%	0,27	0,01	0,26	3,3%	56%	0,36	0,02	0,34	4,4%
Intelligente Thermostate	8%	16%	4,09	66%	0,16		0,16	2,0%	72%	0,18		0,18	2,3%
Intelligente Stromzähler	3%	20%	0,47	90%	0,01		0,01	0,1%	100%	0,01		0,01	0,1%
Intelligente Beleuchtung	27%	15%	0,02	66%	0,00		0,00	0,0%	72%	0,00		0,00	0,0%
Gebäudeautomation	9%	4%	5,25	25%	0,10		0,10	1,2%	40%	0,17		0,17	2,1%
Gebäudemanagementsysteme		31%	2,65	58%	0,14	0,01	0,13	2%	84%	0,32	0,01	0,30	4%
Thermische Regelsysteme	8,6%	30%	2,11	70%	0,07		0,07	1%	80%	0,09		0,09	1%
Elektrische Regelsysteme	1%	30%	0,34	90%	0,00		0,00	0%	100%	0,00		0,00	0%
Intelligente Beleuchtung	40%	30%	0,13	70%	0,02		0,02	0%	80%	0,03		0,03	0%
Gebäudeautomation	14%	33%	2,65	44%	0,04		0,04	1%	85%	0,20		0,20	3%

Anmerkung: Aufgezeigt sind die Werte ohne Beachtung von Überschneidungen. In den Sektorkapiteln wurden Überschneidungen herausgerechnet, weshalb die Gesamtzahlen leicht abweichen. Als Beispiel von Überschneidungen sind intelligente Thermostate und Gebäudeautomation zu betrachten, welche beide einen Effekt auf die gleichen Emissionen verbunden mit Raumwärme haben



Gebäude: Zusammenfassung der digitalen Technologien – CO₂-Reduktion (2/2)

WWB-Szenario

WWB-Szenario

	Digitalisierungsagnostische Werte			Standard-Digitalisierung				Ambitionierte Digitalisierung					
	Spezifisches Reduktionspotenzial	Marktdurchdringung 2023	CO ₂ eq Projektion 2030	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial
	[%]	[%]	[MtCO ₂ eq]	[%]	[MtCO ₂ eq]	[MtCO ₂ eq]	[MtCO ₂ eq]	[%]	[%]	[MtCO ₂ eq]	[MtCO ₂ eq]	[MtCO ₂ eq]	[%]
Gebäude gesamt			10,43		0,54	0,03	0,51	4,9%		0,91	0,03	1,33	12,8%
Smart Home		10%	6,59	45%	0,34	0,02	0,32	3,1%	56%	0,46	0,02	0,44	4,2%
Intelligente Thermostate	8%	16%	5,24	66%	0,20		0,20	2,0%	72%	0,23		0,23	2,2%
Intelligente Stromzähler	3%	20%	0,47	90%	0,01		0,01	0,1%	100%	0,01		0,01	0,1%
Intelligente Beleuchtung	27%	15%	0,02	66%	0,00		0,00	0,0%	72%	0,00		0,00	0,0%
Gebäudeautomation	9%	4%	6,59	25%	0,12		0,12	1,2%	40%	0,21		0,21	2,0%
Gebäudemanagementsysteme		31%	3,83	58%	0,20	0,01	0,19	2,4%	84%	0,46	0,02	0,44	4,2%
Thermische Regelsysteme	9%	30%	3,12	70%	0,11		0,11	1%	80%	0,13		0,13	1,3%
Elektrische Regelsysteme	1%	30%	0,39	90%	0,00		0,00	0%	100%	0,00		0,00	0,0%
Intelligente Beleuchtung	40%	30%	0,15	70%	0,02		0,02	0%	80%	0,03		0,03	0,3%
Gebäudeautomation	14%	33%	3,83	44%	0,06		0,06	1%	85%	0,29		0,29	2,8%

Anmerkung: Aufgezeigt sind die Werte ohne Beachtung von Überschneidungen. In den Sektorkapiteln wurden Überschneidungen herausgerechnet, weshalb die Gesamtzahlen leicht abweichen. Als Beispiel von Überschneidungen sind intelligente Thermostate und Gebäudeautomation zu betrachten, welche beide einen Effekt auf die gleichen Emissionen verbunden mit Raumwärme haben



Gebäudesektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen

– Smart Homes

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale beziehen sich auf die Verringerung des Energieverbrauchs durch den Einsatz intelligenter Gebäudetechnologien. Hierbei wurden die Reduktionspotenziale der Technologien intelligente Thermostate, Smart Meter, intelligente Beleuchtung und Gebäudeautomation einzeln betrachtet. Diese Bewertung basiert auf einer Analyse existierender wissenschaftlicher Arbeiten, die für alle Technologien verschiedene Datenpunkte umfasst. Dazu gehören akademische Veröffentlichungen, Studien relevanter Forschungsinstitute sowie Befragungen von Experten.¹⁻¹⁴ Es sei darauf hingewiesen, dass die Anwendung in Geschäftsgebäuden von dieser Berechnung ausgeschlossen wurde, um eine spezifische Anwendbarkeit für Wohngebäude sicherzustellen.

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung wird als der Prozentsatz der Haushalte definiert, die Smart Homes zur Reduzierung ihres Energieverbrauchs eingerichtet haben. Für alle drei Marktdurchdringungsraten wird die Adoption der digitalen Technologien intelligente Thermostate, Smart Meter, intelligente Beleuchtung und Gebäudeautomation separat betrachtet. In Fällen, in denen Adoptionsraten für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein Modell des linearen Wachstums angewendet, um kohärente und endgültige Schätzungen der Marktdurchdringung zu erlangen.

- **2023:** Für die aktuellen Adoptionsraten für Smart Homes wurden verschiedene Studien herangezogen.^{11, 15-18}
- **2030 Standard:** Um die jeweiligen Marktdurchdringungsraten für 2030 zu ermitteln,

wurden die Prognosen und CAGR aus den Publikationen relevanter Forschungseinrichtungen und Statistiken verwendet sowie Befragungen von Expertinnen und Experten.^{11, 16} Für die Marktdurchdringung von Smart Meter wird angenommen, dass die gesetzlich festgelegte Durchdringung von 80% bis 2027 eingehalten wird und Energiebetreiber ab dann verlangsamt weiterhin Smart Meter einbauen.

- **2030 Ambitioniert:** Für die ambitionierte Digitalisierungsgeschwindigkeit wurden ambitionierte Adoptionsraten der in den Studien vorgestellten Technologien postuliert. Als Datengrundlage dienten unter anderem dieselben Publikationen, die für die Marktdurchdringung bei der Standard-Digitalisierung berücksichtigt wurden und die Befragungen von Expertinnen und Experten.^{11, 16} Für Smart Meter wird angenommen, dass die gesetzlich festgelegte Durchdringung von 80% bis 2027 eingehalten wird und Energiebetreiber ab dann mit gleicher Geschwindigkeit weiterhin Smart Meter einbauen.

Annahmen

Aufteilung der direkten Emissionen auf Raumwärme (85%) und Warmwasser (15%) bleibt von 2023 bis 2030 gleich.

Der Energieverbrauch von Antrieben und Prozessen, sowie Klima- und Luftanlagen ist vollständig elektrifiziert und ist im Vergleich zu den restlichen Energieverbräuchen gering und wird nicht berechnet. Einige Studien im Bereich der Gebäudeautomation beziehen sich auf das effektive Einsparpotenzial durch Automation im Vergleich zur Nicht-Automation bei Neubauten oder unter der Voraussetzung der Sanierung von Gebäuden. Zur Vereinfachung wird angenommen, dass diese Bedingungen auftreten.



Gebäudesektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen

– Gebäudemanagementsysteme

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale beziehen sich auf die Verringerung des Energieverbrauchs durch den Einsatz intelligenter Gebäudetechnologien. Diese Bewertung basiert auf einer Analyse existierender wissenschaftlicher Arbeiten, die acht verschiedene Datenpunkte umfasst.¹⁻¹⁴ Dazu gehören akademische Veröffentlichungen, Studien relevanter Forschungsinstitute sowie Befragungen von Experten. Hierbei wurden die Reduktionspotenziale der Technologien thermische Regelsysteme, elektrische Regelsysteme (inkl. intelligente Beleuchtung), und Gebäudeautomation einzeln betrachtet. Es sei darauf hingewiesen, dass die Anwendung in Wohngebäuden von dieser Berechnung ausgeschlossen wurde, um eine spezifische Anwendbarkeit für Geschäftsgebäude sicherzustellen.

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung wird als der Prozentsatz der Geschäftsgebäude definiert, die Gebäudemanagementsysteme zur Reduzierung ihres Energieverbrauchs eingerichtet haben. Für alle drei Marktdurchdringungsraten wird die Adoption der digitalen Technologien thermische Regelsysteme, elektrische Regelsysteme (inkl. intelligente Beleuchtung) und Gebäudeautomation separat betrachtet. In Fällen, in denen Adoptionsraten für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein Modell des linearen Wachstums angewendet, um kohärente und endgültige Schätzungen der Marktdurchdringung zu erlangen.

- **2023:** Für die aktuellen Adoptionsraten für Gebäudemanagementsysteme wurde eine Expertenbefragung durchgeführt und diese mit einer Studie gemittelt.⁸

- **2030 Standard:** Um die jeweiligen Marktdurchdringungsraten für 2030 zu ermitteln, wurden die Prognosen und CAGR aus den Publikationen relevanter Forschungseinrichtungen und Statistiken verwendet sowie Befragungen von Expertinnen und Experten. Für die Marktdurchdringung von Smart Meter wird angenommen, dass die gesetzlich festgelegte Durchdringung von 80% bis 2027 eingehalten wird und Energiebetreiber ab dann verlangsamt weiterhin Smart Meter einbauen.
- **2030 Ambitioniert:** Für die ambitionierte Digitalisierungsgeschwindigkeit postuliert man zwei ambitionierte Adoptionsraten der in den Studien vorgestellten Technologien. Als Datengrundlage dienten unter anderem dieselben Publikationen, die für die Marktdurchdringung bei der Standard-Digitalisierung berücksichtigt wurden und die Befragungen von Expertinnen und Experten. Für Smart Meter wird angenommen, dass die gesetzlich festgelegte Durchdringung von 80% bis 2027 eingehalten wird und Energiebetreiber ab dann mit gleicher Geschwindigkeit weiterhin Smart Meter einbauen.

Annahmen

Die Aufteilung der direkten Emissionen auf Raumwärme (90%) und Warmwasser (10%) bleibt von 2023 bis 2030 gleich. Bei Berechnungen zum Stromverbrauch werden alle HLK zusammen berechnet und können gleichermaßen von intelligenten Thermostaten und Gebäudeautomation reduziert werden. Der Energieverbrauch von Antrieben und Prozessen ist vollständig elektrifiziert und ist im Vergleich zu den restlichen Energieverbräuchen gering.

Anhang

Verkehr



7.2



Verkehr: Zusammenfassung der digitalen Technologien

– CO₂eq-Reduktion

Zero Basis Szenario

	Digitalisierungsagnostische Werte			Standard-Digitalisierung				Ambitionierte Digitalisierung					
	Spezifisches Reduktionspotenzial	Marktdurchdringung 2023	CO ₂ eq Projektion 2030	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial
	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[MtCO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]
Verkehr gesamt			10,97		0,32	0,004	0,32	2,9%		1,01	0,009	1,00	9,2%
MaaS	26%	2%	8,48	11%	0,19	0,001	0,19	1,8%	37%	0,78	0,004	0,78	7,1%
Echtzeit-Routenoptimierung	21%	38%	2,49	63%	0,13	0,003	0,13	1,2%	83%	0,23	0,005	0,23	2,1%

WWB-Szenario

	Digitalisierungsagnostische Werte			Standard-Digitalisierung				Ambitionierte Digitalisierung					
	Spezifisches Reduktionspotenzial	Marktdurchdringung 2023	CO ₂ eq Projektion 2030	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial
	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]
Verkehr gesamt			12,14		0,36	0,004	0,35	2,9%		1,12	0,010	1,11	9,2%
MaaS	26%	2%	9,43	11%	0,22	0,001	0,21	1,8%	37%	0,87	0,004	0,86	7,1%
Echtzeit-Routenoptimierung	21%	38%	2,72	63%	0,14	0,003	0,14	1,1%	83%	0,25	0,005	0,25	2,0%



Verkehrssektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen – Mobility-as-a-Service

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale beziehen sich auf die Verringerung von Emissionen durch Verkehrsverlagerungen, wie z. B. vom Privatauto zum ÖV, erzielt durch Mobility-as-a-Service (MaaS). Diese Bewertung basiert auf einer Analyse existierender wissenschaftlicher Studien, die drei verschiedene Datenpunkte umfasst,¹⁻³ die nach ihrer Relevanz gewichtet wurden. Die Studien befassen sich mit der prozentualen Reduktion der Emissionen im Personenverkehr. In Studien, in denen bereits eine Marktdurchdringung berechnet wurde, wurde das prozentuale Reduktionspotenzial zurückgerechnet. Für ein repräsentatives Ergebnis wurden jeweils die realistischsten Szenarien ausgewählt.

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung wird als der Prozentsatz der jährlich gereisten Personenkilometer definiert, die MaaS anwenden. Für alle drei Marktdurchdringungsraten wurden Daten aus verschiedenen Studien konsolidiert und anschliessend mit dem Faktor 78% multipliziert, der eine Eingrenzung schafft, für welche Personenkilometer MaaS in der Schweiz relevant ist. Für diesen Faktor wird angenommen, dass MaaS in 100% der städtischen, 80% der intermediären und 10% der ländlichen Personenkilometer relevant ist. In Fällen, in denen die Marktdurchdringungsraten für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein Modell des linearen Wachstums verwendet, um kohärente und finale Schätzungen der Marktdurchdringung zu erzielen.

- **2023:** Für die aktuellen Adoptionsraten für MaaS wurden Downloadraten der Apps Citymapper und Zürimobil mit der Anzahl potenzieller Nutzer verglichen. Zusätzlich wurde die Annahme getroffen, dass 6% der Bevölkerung Google Maps als eine MaaS-

Plattform benutzt und nicht nur als simples Routingtool. Diese Datenpunkte wurden gemittelt und anschliessend mit dem Eingrenzungsfaktor 78% multipliziert, um die Marktdurchdringung von 2023 zu bestimmen.

- **2030 Standard:** Um die Standard-Marktdurchdringungsrate für 2030 zu ermitteln, wurde die tatsächliche Adoptionsrate aus dem Pilotprojekt Yumuv^{4,5} der Städte Zürich, Basel und Bern genutzt und angenommen, dass sich diese bei einem Roll-out gleichermassen in der Gesamtbevölkerung durchsetzen würde und anschliessend mit dem Eingrenzungsfaktor 78% multipliziert.
- **2030 Ambitioniert:** Für die ambitionierte Digitalisierungsgeschwindigkeit postuliert man eine ambitionierte Adoptionsrate von MaaS. Als Datengrundlage diente die Nutzerumfrage der Marktforschung, die im Rahmen des Pilotprojekts yumuv^{4,5} durchgeführt wurde. Spezifisch wurden Anteile der Bevölkerung, die die Nutzungswahrscheinlichkeit mit «sehr wahrscheinlich» und «wahrscheinlich» beantwortet hat, verwendet und anschliessend mit dem Eingrenzungsfaktor 78% multipliziert, um die ambitionierte Marktdurchdringung für 2030 abzuschätzen.



Verkehrssektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen – Echtzeit-Routenoptimierung

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale beziehen sich auf die Verringerung der Emissionen aus dem Strassengüterverkehr. Die 21%ige Reduktion wurde durch die Auswertung mehrerer wissenschaftlicher Arbeiten, Branchenpublikationen und Expertenbefragungen ermittelt.^{1,2}

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung wird als Prozentsatz der Unternehmen definiert, die digitale Routen- und Frachtoptimierung zur Verringerung von Fahrstrecken und Tonnenkilometern implementieren. Für alle drei Marktdurchdringungsraten wurden Daten aus verschiedenen Studien konsolidiert. In Fällen, in denen die Adoptionsraten für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein Modell des linearen Wachstums verwendet, um kohärente und finale Schätzungen der Marktdurchdringung zu erzielen.

- **2023:** Für die aktuellen Adoptionsraten für die Echtzeit-Routenoptimierung wurde eine Studie³ herangezogen, die sich mit der digitalen Transformation in der Logistik beschäftigt, diese wurde erweitert durch zwei Datenpunkte von statistischen Datenlieferanten.^{4,5}
- **2030 Standard:** Um die Standard-Marktdurchdringungsrate für 2030 zu ermitteln, wurde ein CAGR über das Marktwachstum von Connected Truck Telematics⁶ gewählt, die auf die Marktdurchdringung 2023 angewendet wurde. Zusätzliche Quellen wurden geprüft, um den CAGR quantitativ zu bestätigen.

- **2030 Ambitioniert:** Für die ambitionierte Digitalisierungsgeschwindigkeit postuliert man eine ambitionierte Adaptionrate der optimierten Routenführung. Hierfür wurde der CAGR über das Marktwachstum von Connected Logistics⁷ gewählt. Der CAGR wurde auf die Marktdurchdringung 2023 angewendet.

Anhang

Landwirtschaft



7.3



Landwirtschaft: Zusammenfassung der digitalen Technologien

– CO₂eq-Reduktion

Zero Basis Szenario

	Digitalisierungsagnostische Werte			Standard-Digitalisierung				Ambitionierte Digitalisierung					
	Spezifisches Reduktionspotenzial	Marktdurchdringung 2023	CO ₂ eq Projektion 2030	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial
	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]
Landwirtschaft gesamt			5,49		0,32	0,001	0,32	5,7%		0,61	0,001	0,61	11,1%
Ortsspezifische Düngung	38%	19%	1,50	30%	0,06	0,000	0,06	1,1%	40%	0,11	0,000	0,11	2,1%
Digitale Nutztierhaltung	25%	29%	3,99	55%	0,26	0,000	0,26	4,6%	79%	0,49	0,001	0,49	9,0%

WWB-Szenario

	Digitalisierungsagnostische Werte			Standard-Digitalisierung				Ambitionierte Digitalisierung					
	Spezifisches Reduktionspotenzial	Marktdurchdringung 2023	CO ₂ eq Projektion 2030	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial
	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]
Landwirtschaft gesamt			6,02		0,35	0,001	0,35	5,8%		0,67	0,001	0,67	11,1%
Ortsspezifische Düngung	38%	19%	1,62	30%	0,07	0,000	0,07	1,1%	40%	0,12	0,000	0,12	2,0%
Digitale Nutztierhaltung	25%	29%	4,40	55%	0,28	0,000	0,28	4,7%	79%	0,55	0,001	0,54	9,1%



Landwirtschaftssektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen – ortsspezifische Düngung

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale beziehen sich auf die Verringerung des Düngemittleinsatzes durch den Einsatz der ortsspezifischen Düngung. Diese Bewertung basiert auf einer Analyse existierender wissenschaftlicher Studien, die sechs verschiedene Datenpunkte umfasst.¹⁻⁶ Die Studien befassen sich mit der prozentualen Reduktion des Düngemittleinsatzes bei unterschiedlichen Pflanzensorten. Die Annahme wurde getroffen, dass die prozentuale Reduktion an Düngemitteln zu einer gleichwertigen Reduktion an Emissionen führt.

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung wird als der Prozentsatz der Pflanzenanbaubetriebe definiert, die die ortsspezifische Düngung anwenden. In Fällen, in denen Adoptionsraten für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein CAGR⁷ angewendet, um kohärente und endgültige Schätzungen der Marktdurchdringung zu erlangen.

- **2023:** Für die aktuellen Adoptionsraten zur ortsspezifischen Düngung wurde ein gewichtetes Mittel aus vier Werten aus akademischen Studien ermittelt.⁸⁻¹¹ Gewichtet wurde nach der Relevanz der Studien. Somit wurde eine Studie, die sich mit der Marktdurchdringung der im Anwendungsfall angewandten Technologien in der Schweiz höher gewichtet als Studien, die beispielweise die Marktdurchdringung in Deutschland untersuchte.
- **2030 Standard:** Um die Standard-Marktdurchdringungsrate für 2030 zu ermitteln, wurde ein CAGR aus einer Marktstudie⁷ auf die Marktdurchdringung 2023

angewendet. Zusätzliche Quellen wurden geprüft, um den CAGR quantitativ zu bestätigen.

- **2030 Ambitioniert:** Für die ambitionierte Digitalisierungsgeschwindigkeit postuliert man eine ambitionierte Adoptionsrate der ortsspezifischen Düngung. Als Datengrundlage diente die Marktdurchdringungsgeschwindigkeit der Präzisionslandwirtschaft bei grossen Betrieben in den USA. Dieser Fokus wurde ausgewählt, da die ortsspezifische Düngung ein Anwendungsfall der Präzisionslandwirtschaft ist und die Marktdurchdringungsrate in den USA höher ist als in Europa.¹² Auf Basis einer akademischen Studie wurde aus den Adoptionsraten in zwei unterschiedlichen Jahren¹³ ein CAGR errechnet. Dieser CAGR wurde an die Marktdurchdringungsrate 2023 in der Schweiz angepasst.

Annahmen

Eine prozentuale Reduktion an Düngemittel führt zu einer gleichwertigen Reduktion an Emissionen.



Landwirtschaftssektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen – digitale Nutztierhaltung

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale beziehen sich auf die Verringerung der Emissionen aus der Nutztierhaltung. Reduktionspotenziale wurden für zwei Hebel errechnet: die Präzisionsfütterung und das Tiermonitoring. Für den Hebel Präzisionsfütterung wurde das Reduktionspotenzial aus einem gewichteten Mittelwert von Datenpunkten aus vier akademischen Studien¹⁻⁴ ermittelt. Da manche Studien das Reduktionspotenzial der Emissionen aus der enterischen Fermentation ermittelten und manche die Reduktion aus der Hofdüngerwirtschaft, wurden diese Datenpunkte mit dem Anteil dieser Emissionen an der Nutztierhaltungsprojektionen für das Jahr 2030 gewichtet.^{5,6} Für den Hebel Tiermonitoring wurde das Reduktionspotenzial aus einem Mittelwert von Datenpunkten aus zwei Studien ermittelt.^{7,8} Diese Hebel wurden aufaddiert, um das Reduktionspotenzial der digitalen Tierüberwachung zu errechnen.

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung wird als der Prozentsatz der Nutztierhaltungsbetriebe definiert, die die digitale Nutztierhaltung anwenden. In Fällen, in denen Adoptionsraten für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein CAGR⁹ angewendet, um kohärente und endgültige Schätzungen der Marktdurchdringung zu erlangen.

- **2023:** Für die aktuellen Adoptionsraten für die digitale Nutztierhaltung wurde ein gewichtetes Mittel aus drei Datenpunkten aus zwei akademischen Studien ermittelt.^{10,11}

- **2030 Standard:** Um die Standard-Marktdurchdringungsrate für 2030 zu ermitteln, wurde ein CAGR⁷ aus einer Marktstudie auf die Marktdurchdringung 2023 angewendet. Zusätzliche Quellen wurden geprüft, um den CAGR quantitativ zu bestätigen.
- **2030 Ambitioniert:** Für die ambitionierte Digitalisierungsgeschwindigkeit postuliert man eine ambitionierte Adaptionrate der digitalen Nutztierhaltung. Als Datengrundlage diente die Marktdurchdringungsgeschwindigkeit von Melkautomatisierungssystemen. Dieser Fokus wurde ausgewählt, da diese Systeme zu den ersten Präzisionslandwirtschaftstechnologien gehören, die entwickelt wurden¹² und heute als etablierte Technologie gilt.¹³ Der CAGR des Melkautomatisierungssystem-Marktes¹⁴ wurde auf die Marktdurchdringung 2023 angewendet.

Anhang

Industrie





Industrie: Zusammenfassung der digitalen Technologien

– CO₂eq-Reduktion

Digitalisierungsagnostische Werte			Standard-Digitalisierung					Ambitionierte Digitalisierung					
Spezifisches Reduktionspotenzial	Marktdurchdringung 2023	CO ₂ eq Projektion 2030	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	
[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	
Industrie gesamt (Zero Basis Szenario)		7,55		0,17	0,005	0,16	2,1%		0,44	0,014	0,42	5,6%	
Automatisierung und Robotik	14%	23%	7,55	33%	0,10	0,002	0,10	1,3%	49%	0,27	0,006	0,27	3,5%
Digitaler Zwilling und Simulation	7%	26%	7,55	38%	0,06	0,003	0,06	0,8%	57%	0,16	0,008	0,16	2,1%
Industrie gesamt (WWB-Szenario)		8,94		0,20	0,006	0,19	2,1%		0,52	0,014	0,50	5,6%	
Automatisierung und Robotik	14%	23%	8,94	33%	0,12	0,002	0,12	1,3%	49%	0,32	0,007	0,32	3,5%
Digitaler Zwilling und Simulation	7%	26%	8,94	38%	0,08	0,003	0,07	0,8%	57%	0,19	0,008	0,19	2,1%



Industriesektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen – Automatisierung und Robotik

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale beziehen sich auf die Verringerung der CO₂eq-Emissionen durch den Einsatz von Automatisierung und Robotik. Diese Bewertung basiert auf einer Analyse existierender wissenschaftlicher Studien¹⁻³. Bei einer der Studien handelt es sich um eine Metastudie, in der verschiedene Studienergebnisse ausgewertet wurden¹. Ein wichtiger Datenpunkt ist eine Unternehmensbefragung, die für den SEED-Index erhoben wurde, an der mehr als hundert Unternehmen teilgenommen haben.⁹

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung wird als Prozentsatz der Industrieunternehmen definiert, die Automatisierungs- und Robotiklösungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen implementieren. Für alle drei Marktdurchdringungsraten wurden Daten aus verschiedenen Studien konsolidiert. In Fällen, in denen die Marktdurchdringungsraten für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein Modell des linearen Wachstums verwendet, um kohärente und finale Schätzungen der Marktdurchdringung zu erzielen. Die Umfrageergebnisse der Accenture -tudie wurden auch für die Marktdurchdringungen genutzt.

- **2023:** Für die aktuelle Marktdurchdringungsrate der Automatisierung und Robotik wurden Publikationen von Forschungseinrichtungen und Statistiken herangezogen⁴⁻⁷. Genutzt wurden unter anderem Daten der ETH Zürich und vom Fraunhofer Institut. Zusätzlich wurden Experteninterviews geführt, um die Marktdurchdringungsrate für 2023 zu validieren.

- **2030 Standard:** Um die Standard-Marktdurchdringung für das Jahr 2030 zu kalkulieren, wurden ebenfalls Studien¹ sowie Marktforschungen⁸ herangezogen. Diese Studien erörtern den potenziellen Anteil der Unternehmen, die besagte Technologien adaptieren werden. Bei Datenpunkten, die sich auf ein anderes Referenzjahr als 2030 beziehen, wurde ein lineares Wachstumsmodell angewendet, um den Wert für das Jahr 2030 zu ermitteln. Abhängig vom jeweiligen Datenpunkt wurde eine jährliche Wachstumsrate (CAGR) ab dem Jahr 2023 angewandt, um den Zielwert für 2030 zu ermitteln. Dieser CAGR basiert auf dem Marktwachstum von Automatisierung und Robotik in der Schweiz.
- **2030 Ambitioniert:** Unter Berücksichtigung der schwer vorhersehbaren inhaltlichen und zeitlichen Technologieentwicklungen wird für die ambitionierte Digitalisierung eine schnellere Marktdurchdringungsrate der betrachteten Technologien erwartet. Darüber hinaus wurde die jährliche Wachstumsrate um 2,5 Prozentpunkte nach oben korrigiert, um eine ambitionierte Adaption widerzuspiegeln.

Annahmen

Studienergebnisse aus dem umliegenden Ausland, bspw. Deutschland oder Österreich sind auf die Schweiz zu übertragen. Diese wurden weniger stark gewichtet, die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Schweiz geprüft. Darüber hinaus wird angenommen, dass bei steigendes Marktvolumen auch die Marktdurchdringung steigt.



Industriesektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen, und Annahmen – Digitaler Zwilling und Simulation

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale beziehen sich auf die Verringerung der CO₂eq-Emissionen durch den Einsatz von Digitalen Zwillingen und Simulationslösungen. Diese Bewertung basiert auf einer Analyse existierender wissenschaftlicher Studien.¹⁻³ Bei einer der Studien handelt es sich um eine Metastudie, in der verschiedene Studienergebnisse ausgewertet wurden.¹ Ein wichtiger Datenpunkt ist eine Unternehmensbefragung, die für den SEED-Index erhoben wurde, an der mehr als hundert Unternehmen teilgenommen haben.⁶ Darüber hinaus wurde ein Accenture-Experte zu dem Thema befragt.¹⁻⁴

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung wird als Prozentsatz der Industrieunternehmen definiert, die Digitale Zwillinge und Simulationen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen implementieren. Für alle drei Marktdurchdringungsrate wurden Daten aus verschiedenen Studien konsolidiert. In Fällen, in denen die Marktdurchdringungsrate für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein Modell des linearen Wachstums verwendet, um kohärente und finale Schätzungen der Marktdurchdringung zu erzielen. Die Ergebnisse der Accenture-Studie wurden auch zur Ermittlung der Marktdurchdringungen genutzt. Hier wurden mehr als hundert Unternehmen aus der Zement-, Stahl-, Pharma- sowie Chemie- und Verarbeitende Industrie befragt.

- **2023:** Diese Marktdurchdringungsrate stützt sich auf drei zentrale Datenquellen. Die erste Studie stützt sich auf einer Befragung von über 200 Unternehmen, die aussagten, Digitale Zwillinge zu nutzen, um Nachhaltigkeitsziele zu erreichen.⁵ Als ergänzende Informationsquelle wurde eine Metastudie herangezogen.¹ Des weiteren

wurden die Ergebnisse einer Umfrage, die von SEED-Index 2023 durchgeführt wurde, verwendet.⁶

- **2030 Standard:** Um die Standard-Marktdurchdringung für das Jahr 2030 zu kalkulieren, wurden ebenfalls Studien herangezogen. Diese Studien erörtern den potenziellen Anteil der Unternehmen, die besagte Technologien anwenden werden. Bei Datenpunkten, die sich auf ein anderes Referenzjahr als 2030 beziehen, wurde ein lineares Wachstumsmodell angewendet, um den Wert für das Jahr 2030 zu ermitteln.
- **2030 Ambitioniert:** Auch hier wurden Primärdaten in Form von Umfrageergebnissen sowie externe Studien genutzt.^{4,5} In einer Studie wurde ein Wert für das Jahr 2040 ermittelt. Die für 2040 prognostizierten Werte wurden auf 2030 vorverlegt, um die potenziell raschere Technologieintegration zu reflektieren.

Annahmen

Studienergebnisse aus dem umliegenden Ausland, beispielsweise Deutschland oder Österreich, sind auf die Schweiz zu übertragen. Diese wurden weniger stark gewichtet, die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Schweiz geprüft.

Anhang

Energie



7.5



Energie: Zusammenfassung der digitalen Technologien – CO₂eq-Reduktion

Zero Basis Szenario

	Digitalisierungsagnostische Werte			Standard-Digitalisierung				Ambitionierte Digitalisierung					
	Spezifisches Reduktionspotenzial	Marktdurchdringung 2023	CO ₂ eq Projektion 2030	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial
	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]
Energie gesamt			2,02		0,02	0,002	0,01	0,7%		0,04	0,008	0,03	1,5%
Smart Grids	9%	1%	2,02	19%	0,004	0,001	0,003	0,1%	39%	0,01	0,003	0,01	0,3%
Predictive Maintainance	6%	14%	2,02	27%	0,013	0,001	0,01	0,6%	77%	0,03	0,005	0,02	1,2%

WWB-Szenario

	Digitalisierungsagnostische Werte			Standard-Digitalisierung				Ambitionierte Digitalisierung					
	Spezifisches Reduktionspotenzial	Marktdurchdringung 2023	CO ₂ eq Projektion 2030	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial	Marktdurchdringung 2030	CO ₂ eq Brutto Einsparpotenzial	Fussabdruck der digitalen Technologien	CO ₂ eq Netto Einsparpotenzial	CO ₂ eq Relatives Einsparpotenzial
	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]	[%]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[Mt CO ₂ eq]	[%]
Energie gesamt			2,08		0,05	0,002	0,04	2,1%		0,10	0,008	0,09	4,3%
Smart Grids	9%	1%	2,08	19%	0,03	0,001	0,03	1,5%	39%	0,07	0,003	0,07	3,2%
Predictive Maintainance	6%	14%	2,08	27%	0,01	0,001	0,01	0,5%	77%	0,03	0,005	0,02	1,1%



Energiesektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen

– Smart Grids (1/2)

CO₂eq-Einsparpotenzial

Für den Use Case Smart Grids wird eine besondere Berechnungslogik angewandt, die berücksichtigt, dass Smart Grids keinen direkten Einfluss auf Emissionsreduktionen haben, sondern indirekt beeinflussen, wie viel Strom im Regelfall aus nicht-erneuerbaren Energiequellen bezogen werden muss, um das Stromnetz zu stabilisieren. Das CO₂eq-Einsparpotenzial basiert auf der Menge des Strombedarfs, die Smart Grids durch ihre Potenziale in der Lastverschiebung, flexibel dem Angebot der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien anpassen können. Dieses Lastverschiebungspotenzial wurde mithilfe von drei Studien abgeschätzt.^{1,2,3}

Für eine vereinfachte Berechnung wird das Lastverschiebungspotenzial, das durch Smart Grids erschlossen werden kann, ermittelt und die Annahme getroffen, dass diese Menge an Strom nicht aus dem Ausland bezogen werden muss, sondern durch regenerative heimische Produktion und den damit verbundenen niedrigen Emissionsfaktoren produziert wird. Dafür ergibt sich folgende Formel:

$$\begin{aligned}
 & \text{CO}_2\text{eq Einsparpotenzial} \\
 &= \text{Lastverschiebungspotenzial} \\
 & * (\text{Marktdurchdringung 2030} - \text{Marktdurchdringung 2023}) \\
 & * (\text{Emissionsfaktor Importstrom} \\
 & - \text{Emissionsfaktor erneuerbarer Strom})
 \end{aligned}$$

Reduktionspotenziale

Die Reduktionspotenziale beziehen sich auf die Verringerung der CO₂eq-Emissionen durch den Einsatz von Smart Grids. Es wurde auf der Basis des berechneten CO₂eq-Einsparpotenzials berechnet. Das Reduktionspotenzial ergibt sich aus dem CO₂eq-Einsparpotenzial dividiert durch CO₂eq-Projektion und Marktdurchdringungsdelta, wobei das Marktdurchdringungsdelta die Differenz der Marktdurchdringung 2030 und Marktdurchdringung 2023 ist.



Energiesektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen

– Smart Grids (2/2)

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung ist definiert als der Prozentsatz der Netzteilnehmer, die Smart Meter (siehe Gebäudesektor) einsetzen und über einen dynamischen Stromtarif verfügen, der die Mindestkriterien für die Teilnahme am Smart Grid erfüllt. Für alle drei Marktdurchdringungsraten wurden Daten aus verschiedenen Studien konsolidiert. In Fällen, in denen die Marktdurchdringungsraten für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein Modell des linearen Wachstums verwendet, um kohärente und finale Schätzungen der Marktdurchdringung zu erzielen. Für die Marktdurchdringung von Smart Metern siehe Anhang Gebäude.

- **2023:** Für die aktuelle Marktdurchdringungsrate von Smart Grids wurde das Minimum aus der Anzahl verbauter Smart Meter und der Anzahl bereits verwendeter dynamischer Stromtarife verwendet. Da der Schweizer Strommarkt bisher für Haushalte sowie KMUs geschlossen ist, wurde die Annahme getroffen, dass dynamische Stromtarife 2023 nur als Teil von Pilotprojekten und anderen Sonderfällen angewendet werden.
- **2030 Standard:** Um die Standard-Marktdurchdringung für das Jahr 2030 zu kalkulieren, wurde die Anzahl an Prosumern^a als Proxy für dynamische Stromtarife im Jahr 2030 ermittelt. Diese wurde durch ein lineares Wachstumsmodell der installierten PV-Anlagen mit einem CAGR des Durchschnittswachstums seit 2018 ermittelt.¹ Zusätzlich wurde die Anzahl der installierten Wärmepumpen als weiterer Proxy für Prosumer im Jahr 2030 verwendet.² Für die Marktdurchdringung von Smart Metern 2030 wurde die gleiche Marktdurchdringung wie im Gebäudesektor herangezogen.^b

- **2030 Ambitioniert:** Unter Berücksichtigung der schwer vorhersehbaren inhaltlichen und zeitlichen Technologieentwicklungen wird für die ambitionierte Digitalisierung eine schnellere Marktdurchdringungsrate der betrachteten Technologien erwartet. Zusätzlich zu den eingebauten Smart Metern wird mit Hilfe einer Studie³ ermittelt, welcher Anteil der Bevölkerung bereit ist, einen dynamischen Stromtarif anzunehmen.

Annahmen

Der Schweizer Strommarkt wird bis 2030 weiter von regulatorischer Seite für Haushalte und KMUs geöffnet, um direkte Teilnahme an der Strombörse zu gewährleisten.

1: BFE Elektrizitätsproduktionsanlagen (2023); 2: FWS (2023); 3: Nicolson, M., et al. (2017).

Anmerkung: a: Ein Prosumer ist eine Person oder Einheit, die sowohl Energie produziert als auch konsumiert, typischerweise durch Nutzung erneuerbarer Energiequellen wie Solar- oder Windenergie, um den eigenen Energiebedarf zu decken und überschüssige Energie ins Netz einzuspeisen; b: siehe [Anhang Gebäude](#).



Energiesektor: Reduktionspotenziale, Marktdurchdringungen und Annahmen – vorausschauende Instandhaltung

CO₂eq-Einsparpotenzial

Das Reduktionspotenzial bezieht sich auf die Verringerung der CO₂eq-Emissionen durch den zusätzlich erzeugten Strom im Einsatz von vorausschauender Instandhaltung. Es wurde auf der Basis des berechneten CO₂eq-Einsparpotenzials berechnet. Das Reduktionspotenzial ergibt sich aus dem CO₂eq-Einsparpotenzial dividiert durch CO₂eq-Projektion und Marktdurchdringungsdelta, wobei das Marktdurchdringungsdelta die Differenz der Marktdurchdringung 2030 und Marktdurchdringung 2023 ist.

Reduktionspotenziale

Das Reduktionspotenzial bezieht sich auf die Verringerung der CO₂eq-Emissionen durch den zusätzlich erzeugten Strom im Einsatz von vorausschauender Instandhaltung. Es wurde auf der Basis des berechneten CO₂eq-Einsparpotenzials berechnet. Das Reduktionspotenzial ergibt sich aus dem CO₂eq-Einsparpotenzial dividiert durch CO₂eq-Projektion und Marktdurchdringungsdelta, wobei das Marktdurchdringungsdelta die Differenz der Marktdurchdringung 2030 und Marktdurchdringung 2023 ist.

Marktdurchdringungen

Die Marktdurchdringung wird als der Prozentsatz der Wasser- und Solarkraftwerke definiert, die eine vorausschauende Instandhaltung implementiert haben. Für alle drei Marktdurchdringungsdaten wurden Wasserkraftwerke und Solaranlagen zunächst separat betrachtet und anschliessend gewichtet nach installierter Kapazität zusammengerechnet. In Fällen, in denen die Marktdurchdringungsdaten für verschiedene Zieljahre vorliegen, wurde ein Modell des linearen Wachstums verwendet, um kohärente und finale Schätzungen der Marktdurchdringung zu erzielen.

- **2023:** Für die aktuellen Adoptionsraten für die vorausschauende Instandhaltung wurde für Wasserkraftwerke der Anteil der Kraftwerke, die nach der Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz¹ seit 2013 eine neue Inbetriebsetzung gewählt hatten. Für die Marktdurchdringung von Solaranlagen wurde sich auf eine Studie² berufen.
- **2030 Standard:** Um die Standard-Marktdurchdringungsrate für 2030 zu ermitteln, wurde für Wasserkraftwerke die Annahme getroffen, dass alle neu in Betrieb genommenen Kraftwerke bis 2030 vorausschauende Instandhaltung implementieren werden. Für Solaranlagen wird angenommen, dass 90% der Solaranlagen, die nachgerüstet werden können, mit vorausschauender Instandhaltung nachgerüstet werden.
- **2030 Ambitioniert:** Für die ambitionierte Digitalisierungsgeschwindigkeit postuliert man eine ambitionierte Adoptionsrate der vorausschauenden Instandhaltung. Die beschleunigte Adoption bei Wasserkraftwerken basiert auf einer Studie zur Verbreitung digitaler Strategien im Energiesektor³ und der Annahme, dass Unternehmen, die eine digitale Strategie haben, bis 2030 auf vorausschauende Instandhaltung nachrüsten. Für Solaranlagen wird angenommen, dass 90% der Solaranlagen, die nachgerüstet werden können, mit vorausschauender Instandhaltung nachgerüstet werden.

1: Arthur D. Little. (2021); 2: Betti, A. et al. (2019);

Anhang

Fussabdruck digitaler Technologien



7.6

Fussabdruck digitaler Technologien: Zusammenfassung der Berechnungen, Annahmen und Anmerkungen

Grundlegende Bemerkungen:

Die Projektionen bezüglich des CO₂eq-Fussabdrucks digitaler Technologien für das Jahr 2030 basieren auf dem Fortschreiten der bisherigen Trends in der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT). Die hier vorliegende Studie nutzt hauptsächlich historische Daten aus verschiedenen Studien und Statistiken, die zusammengeführt und für die Zukunft hochgerechnet wurden. Es ist zu beachten, dass CO₂eq-Emissionen, die durch das Training und die Nutzung generativer Künstlicher Intelligenz (GenAI) entstehen, nicht in die Berechnungen einbezogen wurden. Der Hauptgrund hierfür ist, dass vorhandene Studien zwar das zukünftige Potenzial von GenAI betonen, jedoch nicht ausreichend die spezifischen Auswirkungen auf den Energiebedarf und die damit verbundenen Emissionen bis 2030 thematisieren.

Berechnungsumfang:

Die Analyse der durch digitale Technologien verursachten CO₂eq-Emissionen umfasst lediglich den Fussabdruck durch Nutzung der angewendeten digitalen Technologien: Hierbei fokussiert sich die Betrachtung auf Emissionen, die spezifisch in der Schweiz durch den Einsatz digitaler Technologien entstehen, beispielsweise durch die Nutzung von IoT-Sensoren in vernetzten Gebäuden. Der Fussabdruck durch Herstellung fällt im wesentlichen Teil unter Scope-3-Emissionen ausserhalb der Schweizer Grenzen und ist somit nicht Teil des Betrachtungsspektrums dieser Studie.

Logik der Berechnungen:

Die Berechnung des Fussabdrucks von digitalen Technologien erfolgt nach einer differenzierten Methodik, die zwischen zwei Geschwindigkeiten der Digitalisierung unterscheidet: der Standard-Digitalisierung und der ambitionierten Digitalisierung. Die

gesamten CO₂eq-Emissionen, die von digitalen Technologien verursacht werden, setzen sich aus Emissionen in drei Hauptkategorien der IKT zusammen, die jeweils in spezifische Unterkategorien unterteilt sind:

1. Rechen- und Speicherkomponenten

- Rechenzentren, Cloud (Server, Virtuelle Maschinen etc.)
- Künstliche Intelligenz/Maschinelles Lernen
- Simulationssysteme
- Visualisierungssysteme
- Ortungssysteme/GPS
- Big Data und Datenanalytik

2. Kommunikationsnetzkomponenten

- Netzwerkgeräte (Router, Zugangspunkte, Firewall, Switches, Controller)
- Netzwerke – verkabelt/drahtlos
- Mobilfunknetze
- Bluetooth/NFC

3. Endgeräte

- Wearables, Identifikatoren, RFID, Kameras, Videoüberwachung
- HMI, Smartphones, Tablets
- Laptops, PCs, Monitore, TV
- Sensoren, IoT-Geräte
- Roboter, Drohnen, Aktuatoren

Fussabdruck digitaler Technologien: Zusammenfassung der Berechnungen, Annahmen und Anmerkungen

Berechnungsschritte:

1. Strombedarfsprognosen für das Jahr 2030:

Laut dem Energieperspektiven 2050+ des Bundesamts für Energie wird der Netto-Stromverbrauch in der Schweiz für das Jahr 2030 im Weiter-wie-bisher Szenario auf 59,6 TWh und im Zero Basis Szenario auf 57,9 TWh geschätzt.

2. Strombedarf der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT):

Der IKT-Strombedarf für 2023 wurde basierend auf mehreren Studien ermittelt und anschliessend mittels historischen Trends linear bis 2030 extrapoliert. Für Telekommunikationsnetze wurde der Stromverbrauch der grössten fünf Betreiber in der Schweiz durch Nachhaltigkeitsreports erfasst und aggregiert. Daraus ergibt sich der Stromverbrauch sowohl in Gesamtheit als auch aufgeteilt in folgende drei Kategorien: Rechen- und Speicherkomponenten¹ (~2740 GWh), Kommunikationsnetze (~800 GWh), Endgeräte² (~1040GWh).

3. Anteil des IKT-Strombedarfs am Gesamtstromverbrauch in 2030:

Für die Kategorien 1) Rechen- und Speicherkomponenten, 2) Kommunikationsnetzkomponenten und 3) Endgeräte wurden die prozentualen Anteile des IKT-Strombedarfs am gesamten Schweizer Stromverbrauch für 2030 ermittelt.

4. Bewertung der relativen IT-Intensität von Anwendungsfällen:

Für jeden der Anwendungsfälle (untersuchte digitale Technologien) innerhalb der fünf untersuchten Sektoren wurde die relative IT-Intensität bewertet. Zunächst wurde für jeden Anwendungsfall analysiert, ob und in welchem Umfang eine spezifische IKT-Unterkategorie (z.B. Bluetooth/NFC) verwendet wird. Die relative Intensität für jeden Anwendungsfall wurde durch eine Gewichtung der Anzahl und Intensität des Einsatzes der Unterkategorien berechnet.

5. Ermittlung anwendungsspezifischer CO₂eq-Fussabdrücke:

Basierend auf den prozentualen Anteilen pro Kategorie aus Schritt 3 und den ermittelten IT-Intensitäten pro Unterkategorie aus Schritt 4, wird für jeden Anwendungsfall ein spezifischer CO₂eq-Fussabdruck bestimmt. Diese Berechnung berücksichtigt auch die Marktdurchdringung der Anwendungsfälle in den Szenarien der Standard- und ambitionierten Digitalisierung. Zudem fliessen die unterschiedlichen Stromverbräuche sowie die CO₂eq-Emissionsfaktoren, abhängig von der prognostizierten CO₂eq-Intensität des Strommixes, in die Berechnung ein.

6. Gesamtfussabdruck der Nutzung digitaler Technologien

Der gesamte CO₂eq-Fussabdruck aus der Nutzung digitaler Technologien resultiert aus der Summe aller anwendungsspezifischen Fussabdrücke, die über die drei IKT-Hauptkategorien hinweg berechnet werden. Die finalen Ergebnisse variieren je nach Szenario (Zero Basis und WWB) sowie der Digitalisierungsgeschwindigkeit (Standard- und ambitionierte Digitalisierung). Diese umfassende Betrachtung erlaubt eine detaillierte Einschätzung der umweltbezogenen Auswirkungen digitaler Technologien unter verschiedenen Zukunftsszenarien.

Anhang

Rebound-Effekte



Betrachtung von Rebound-Effekten wird nur Qualitativ betrachtet

Einführung Rebound-Effekte:

Rebound-Effekte beschreiben das Phänomen, dass Verbesserungen in der Effizienz eines Produktes oder einer Dienstleistung zu einer erhöhten Nutzung führen können, wodurch das Einsparpotenzial teilweise oder ganz aufgehoben wird.

Übersicht der Literatur

Die Analyse der Rebound-Effekte ist komplex, da sie von länderspezifischen, sektoralen und technologischen Faktoren abhängen. Studien über die Schweiz zeigen eine Variabilität der Effekte zwischen 4% und 37%, abhängig von der spezifischen Anwendung und dem Kontext.

- **Global** (GeSI – Smart 2030)¹: Rebound-Effekte zwischen 7% und 27%.
- **Schweiz** (Hilty & Bieser)²: Spannweite von 4% bis 37%.
- **Deutschland** (Umweltbundesamt)³: 10% bis 30%.

Arten von Rebound-Effekten

1. Direkte Rebound-Effekte:

Verringerte Nutzungskosten eines Produkts führen zu erhöhtem Verbrauch desselben Produkts.

Beispiel: Ein energieeffizienterer Kühlschrank führt dazu, dass Haushalte die Kühltemperatur niedriger einstellen oder einen grösseren Kühlschrank kaufen.

2. Indirekte Rebound-Effekte:

Einsparungen bei einem Produkt erhöhen den Konsum in anderen Bereichen.

Beispiel: Mit dem Geld, das durch effizientere Haushaltsgeräte eingespart wird,

finanzieren Haushalte vielleicht eine zusätzliche Urlaubsreise.

3. Wirtschaftswerte Rebound-Effekte:

Effizienzsteigerungen senken die Produktionskosten, was zu allgemein niedrigeren Preisen und somit zu einer erhöhten Nachfrage führt.

Beispiel: Effizientere Produktionsmethoden in der Industrie führen zu günstigeren Produkten, was wiederum die Nachfrage und den Konsum dieser Produkte steigert.

Schlussfolgerung für die aktuelle Studie

Aufgrund der beschriebenen Komplexität und der breiten Spannweite der Effekte wird in dieser Studie auf eine spezifische Quantifizierung von Rebound-Effekten verzichtet. Um dennoch einen genaueren Einblick in die möglicherweise auftretenden Rebound-Effekte geben zu können folgt eine qualitative Aussicht auf der nächsten Slide.

Qualitative Rebound-Effekte der untersuchten Anwendungsfälle

Um einen Einblick in die möglicherweise auftretenden Rebound-Effekte geben zu können, folgt eine qualitative Auswertung, auf einer Skala von 0 (wenig-keine Rebound-Effekte) bis 5 (hohe potenzielle Rebound-Effekte) wie hoch Rebound-Effekte in jedem untersuchten Anwendungsfall auftreten könnten mit einem Beispiel, wodurch diese Rebound-Effekte auftreten könnten.

		Rebound-Effekte	Beispiele
Gebäude	Smart Home	● ● ○ ○ ○	Höhere Raumtemperaturen werden aufgrund von Kosteneinsparungen durch effizientere Heizsysteme ermöglicht, was zu einem erhöhten Energieverbrauch führt. Einbruchssicherungsprogramme steuern Storen und Beleuchtung an ohne das Bewohner im Gebäude sind.
	Gebäudemanagementsysteme	○ ○ ○ ○ ○	Kosteneinsparungen könnten zu indirekten Rebound-Effekten führen.
Verkehr	Mobility-as-a-Service	● ● ● ● ●	Durch die vereinfachte Nutzung steigt die Zahl der zurückgelegten Personenkilometer, da die individuelle Nutzung angeregt wird; besonders grosser Effekt beim Wechsel von ÖV auf Ride Sharing Angebote.
	Digitale Routenplanung	● ● ● ○ ○	Eine Reduktion von Transportkosten fördert die Zunahme des Güterverkehrs auf der Strasse.
Landwirtschaft	Digitale Nutztierhaltung	● ● ○ ○ ○	Effizienzsteigerungen reduzieren den Bedarf an Arbeitskräften, was in einigen Fällen zu einer Intensivierung der Produktion führt.
	Ortsspezifische Düngung	○ ○ ○ ○ ○	Kosteneinsparungen könnten zu indirekten Rebound-Effekten führen.
Industrie	Robotik und Automatisierung	● ● ● ● ○	Die gesteigerte Produktionsleistung führt zu einem Anstieg prozessbedingter Emissionen.
	Digitaler Zwilling	● ● ● ○ ○	Simulationsbasierte Effizienzsteigerungen bewirken eine Zunahme der produzierten Menge und dadurch höhere Emissionen.
Energie	Smart Grids	● ● ○ ○ ○	Niedrigere Strompreise fördern den Verbrauch, was zu einem insgesamt höheren Energiekonsum führt.
	Vorausschauende Instandhaltung	● ● ○ ○ ○	Frühzeitiger Austausch von Materialien führt zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch. ^a

Anmerkungen: a: Diese Emissionen werden in der Studie nicht betrachtet (Scope-3)

Anhang

Quellenverzeichnis



7.8

Quellenverzeichnis (1/13)

- Abrahamsen, F. E., Ai, Y., & Cheffena, M. (2021). Communication Technologies for Smart Grid: A Comprehensive survey. *Sensors*, 21(23), 8087. <https://doi.org/10.3390/s21238087>
- AEA. (2022). Auswirkungen der Digitalisierung auf Energieverbrauch und Klima in Österreich. https://www.energyagency.at/fileadmin/1_energyagency/projekte/digitalisierung/digat/digat2040_d3.1_szenarien_final.pdf
- Agroscope. (2024, February 27). Versuchsstation Smarte Technologien in der Landwirtschaft. Retrieved March 4, 2024, from <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/ueberuns/standortstrategie/versuchsstationen/versuchsstation-smarte-technologien.html>
- Agroscope. (n.d.). RuMiWatch-MonitoringSystem. <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/wirtschaftstechnik/smart-farming/digitale-system-nutztierhaltung.html>
- Akhigbe, B. I., Munir, K., Akinadé, O. O., Akanbi, L., & Oyedele, L. O. (2021). IoT Technologies for Livestock Management: A review of present status, opportunities, and future trends. *Big Data and Cognitive Computing*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.3390/bdcc5010010>
- Anken, T., Abt, F., & Binder, S. (2022). Stickstoffdünger mit digitaler Technik effizienter einsetzen. *UFA-Revue*, 3. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/49136>
- Aretz, A., Lenk, C., Ouanes, N., Grothmann, T., Mohaupt, F., Partner1, Partner2, Partner3, Partner4, Brischke, L.-A., & Stange, H. (2023b). Erfassung und Bewertung des Energiesparpotenzials von digitalen Anwendungen im Strom- und Wärmebereich. In Abschlussbericht Zum Projekt DETECTIVE – Energieeinsparung Durch Digitalisierung. https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2023/Detective_Abschlussbericht.pdf
- Arthur D. Little. (2021). WINNING THE PRODUCTIVITY RACE IN HYDROPOWER. <https://www.adlittle.com/en/insights/report/winning-productivity-race-hydropower>
- Articek, C. (2018, June 11). Dataforce Telematikanalyse: Fast die Hälfte aller großen Flotten mittlerweile mit Fahrzeugtelematik ausgestattet. Dataforce. <https://www.dataforce.de/news/dataforce-telematikanalyse-fast-die-haelfte-aller-grossen-flotten-mittlerweile-mit-fahrzeugtelematik-ausgestattet/>
- Augsburger, C., Rombach, M., & Boessinger, M. (2021). Automatisiertes Gesundheitsmonitoringsystem für Milchkühe – RumiWatch. *Agrarforschung Schweiz*, 12, 40–44. <https://doi.org/10.34776/afs12-40>
- Aussat, Y., Rosmanis, A., & Keshav, S. (2022). A power-efficient self-calibrating smart lighting system. *Energy and Buildings*, 259, 111874. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111874>
- Axpo - Digitale Wasserkraftwerke. (n.d.). Axpo. <https://www.axpo.com/ch/de/energie/digitale-loesungen/digitale-wasserkraftwerke.html>
- AXPO - Hydro 4.0 Pilotprojekt erfolgreich abgeschlossen. (n.d.). <https://www.axpo.com/ch/de/energie/digitale-loesungen/digitale-wasserkraftwerke/news-hydro-digital/hydro40-pilot-project-successfully-closed.html>
- Bankbarn. (2023, September 3). The role of big data in agriculture. <https://www.bankbarn.io/blog/the-role-of-big-data-in-agriculture>
- Barenji, A. V., Liu, X., Guo, H. & Li, Z. (2020). A digital twin-driven approach towards smart manufacturing: Reduced energy consumption for a robotic cell. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(7–8), 844–859. <https://doi.org/10.1080/0951192x.2020.1775297>

Quellenverzeichnis (2/13)

- Bartzanas, T., Amon, B., Calvet, S., Mele, M., Morgavi, D., Norton, T., Yanez-Ruiz, D., & Vandongen, C. (2017). Mini-paper – Precision Livestock Farming. In EIP-AGRI Focus Group. European Commission. Retrieved September 20, 2023, from https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/fg18_mp_precision_livestock_farming_2017_en.pdf
- Baumann, M., Eggler, L., Pauritsch, G., & Rohrer, M. (2022). Auswirkungen der Digitalisierung auf Energieverbrauch und Klima in Österreich D3.1 -Kurzpapier Szenarien ENDBERICHT Verfasser:innen. Retrieved March 28, 2024, from https://www.energyagency.at/fileadmin/1_energyagency/projekte/digitalisierung/digat/digat2040_d3.1_szenarien_final.pdf
- Beacon Transport. (2023). GPS, Telematics, and More: How Technology is Shaping Our Routes and Deliveries. <https://www.beacontransport.net/truck-driving/gps-telematics-and-more-how-technology-is-shaping-our-routes-and-deliveries/>
- Betti, A., Lo Trovato, M., Leonardi, F., Leotta, G., Ruffini, F., Lanzetta, C., Srl, I-Em., & Lampredi, A. (2019). PREDICTIVE MAINTENANCE IN PHOTOVOLTAIC PLANTS WITH A BIG DATA APPROACH. Retrieved March 29, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/330751510_Predictive_Maintenance_in_Photovoltaic_Plants_with_a_Big_Data_Approach
- Beucker, S., Borderstep Institut, Hinterholzer, S., Borderstep Institut, Bitkom e. V., Klöß, S., Meyer-Breitkreutz, N., & Schaule, S. (2021). Klimaschutz und Energieeffizienz durch digitale Gebäudetechnologien. In ISS Facility Services Holding GmbH, Somfy GmbH, Techem Energy Services GmbH, & Bitkom e. V., Studie. https://www.bitkom.org/sites/main/files/2021-11/211111_st_klimaschutz-und-energieeffizienz.pdf
- BFE (2023). Elektrizitätsproduktionsanlagen Schweiz. https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/EE_Elektrizitaetsproduktionsanlagen/
- BFE. (2023). Wasserkraftstatistiken. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/wasserkraft.html>
- Birrer, E., Bolliger, D., Kyburz, R., Klapproth, A., & Summermatter, S. (2015). Load Shift Potential Analysis Using Various Demand Response Tariff Models on Swiss Service Sector Buildings. [PDF] Load Shift Potential Analysis Using Various Demand Response Tariff Models on Swiss Service Sector Buildings | Semantic Scholar
- Bitkom (2022). 43 Prozent der Deutschen nutzen Smart-Home-Technologien. Bitkom. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Smart-Home-2022>
- Bitkom. (2024). Klimaeffekte der Digitalisierung 2.0. <https://www.bitkom.org/sites/main/files/2024-02/bitkom-studie-klimaeffekte-der-digitalisierung-2.pdf>
- Bosco, S., Volpi, I., Cappucci, A., Mantino, A., Ragolini, G., Bonari, E., & Mele, M. (2021). Innovating feeding strategies in dairy sheep farming can reduce environmental impact of ewe milk. Italian Journal of Animal Science, 20(1), 2147–2164. <https://doi.org/10.1080/1828051x.2021.2003726>
- Brandi, S., Coraci, D., Borello, D., & Capozzoli, A. (2021). Energy management of a residential heating system through deep reinforcement learning. In Smart innovation, systems and technologies (pp. 329–339). https://doi.org/10.1007/978-981-16-6269-0_28

Quellenverzeichnis (3/13)

- Bundesamt für Energie BFE, Schweizer Licht Gesellschaft (SLG), Fachverband der Beleuchtungsindustrie (FVB), Sens Norm, Minergie, Otto Fischer, Relux, S.A.F.E. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz, ABTIE Association des Bureaux Techniques d'Ingénieurs en Electricité, Elektro-Material AG, IKEA, & VSEI USIE. (2018). Licht-Vereinbarung: Bis 2025 Stromverbrauch für Licht halbieren. In Europäischer Lichtkongress [Medienmitteilung]. <https://fvb.ch/de/downloads/lichtvereinbarung-von-davos/medienmitteilung-vom-14-september-2018.pdf>
- Bundesamt für Energie BFE. (2020). Energieperspektiven 2050+: Entwicklung der Treibhausgasemissionen. https://www.uveg-gis.admin.ch/BFE/storymaps/AP_Energieperspektiven/index2.html?lang=de&selectedSzenario=WWB
- Bundesamt für Energie BFE. (n.d.). Monitoring Energiestrategie 2050. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/monitoring-energiestrategie-2050.html>
- Bundesamt für Energie. (2022). Auswirkungen einer starken Elektrifizierung und eines massiven Ausbaus der Stromproduktion aus Erneuerbaren Energien auf die Schweizer Stromverteilnetze. <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/74145.pdf>
- Bundesamt für Energie. (2022). Energieperspektiven 2050+. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>
- Bundesamt für Energie. (2022). Energieperspektiven 2050+ Exkurs Winterstrom. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>
- Bundesamt für Energie. (2022). Stromversorgungsgesetz. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/stromversorgung/stromversorgungsgesetz-stromvg.html>
- Bundesamt für Energie. (2024). Stromabkommen Schweiz – EU. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/stromversorgung/stromabkommen-schweiz-eu.html>
- Bundesamt für Landwirtschaft. (2019). Bericht zur digitalen Transformation und weiteren Förderung der Digitalisierung im Bundesamt für Landwirtschaft BLW. In Bundesamt Für Landwirtschaft. <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/digitalisierung.html>
- Bundesamt für Landwirtschaft. (2023). Agrarbericht 2023 - Selbstversorgungsgrad. Agrarbericht. <https://www.agrarbericht.ch/de/markt/marktentwicklungen/selbstversorgungsgrad>
- Bundesamt für Landwirtschaft. (2023b, September 15). Klimastrategie. Bundesamt Für Landwirtschaft. <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/umwelt/klima0.html>
- Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz. (n.a.). Klimaziele. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/klima/klimawandel/globaler-klimawandel-aktueller-wissensstand/klimaziele.html>
- Bundesamt für Statistik. (2023). Bruttoinlandprodukt, lange Serie. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/volkswirtschaft/volkswirtschaftliche-gesamtrechnung/bruttoinlandprodukt.assetdetail.27065066.html>
- Bundesamt für Statistik. (2023). Gebäude. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/gebaeude.html>

Quellenverzeichnis (4/13)

Bundesamt für Statistik. (2024, January 25). Nutztiere und landwirtschaftliche Nutzflächen im Jahr 2023. Bundesamt Für Statistik. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/landforstwirtschaft.gnpdetail.2024-0391.html>

Bundesamt für Statistik. (n.d.). Mobilität und Verkehr. Bundesamt Für Statistik. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr.html>

Bundesamt für Statistik. (n.d.-b). Umweltauswirkungen. Bundesamt Für Statistik. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/unfaelle-umweltauswirkungen/umweltauswirkungen.html>

Bundesamt für Strassen Astra. (2021). Bundesrat verabschiedet Botschaft zur Änderung des Strassenverkehrsgesetzes. <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-85926.html>

Bundesamt für Umwelt (n.d.). Treibhausgasinventar der Schweiz. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar.html>

Bundesamt für Umwelt. (2020). Klimawandel in der Schweiz. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/publikationen-studien/publikationen/klimaaenderung-schweiz.html>

Bundesamt für Umwelt. (2021). Lanfristige Klimastrategie der Schweiz. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/langfristige-klimastrategie-der-schweiz.pdf.download.pdf/Langfristige%20Klimastrategie%20der%20Schweiz.pdf>

Bundesamt für Umwelt. (2022, April). Treibhausgasinventar 2020: Die Schweiz verfehlt ihr Klimaziel knapp.

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/mitteilungen.msg-id-87952.html#:~:text=Bern%2C%2011.04.2022%20%2D%20Das,das%20Treibhausgasinventar%202020%20des%20BAFU.>

Bundesamt für Umwelt. (2023). Kenngrößen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990–2021. In Bundesamt Für Umwelt BAFU. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/kenngroessen_thg_emissionen_schweiz.pdf.download.pdf/Kenngr%C3%B6ssen_2022_DE.pdf

Bundesamt für Umwelt. (2023). Klima: Das Wichtigste in Kürze. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/inkuerze.html>

Bundesamt für Umwelt. (2023). Treibhausgasinventar der Schweiz. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2022/2651/de>

Bundesamt für Umwelt. (2023, April). Treibhausgasinventar der Schweiz. Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Schweiz seit 1990. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/THG_Inventar_Daten.xlsx.download.xlsx/Entwicklung_THG_Emissionen_seit_1990_2023-04.xlsx

Bundesamt für Umwelt. (2023, August). Massnahmen der Schweiz zur Verminderung ihrer Treibhausgasemissionen. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/verminderungsmaßnahmen.html>

Bundesamt für Verkehr BAV. (n.d.). Bundesrat will Nutzung von Mobilitätsdaten verbessern und Verkehrssystem effizienter machen. <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/publikationen/medienmitteilungen.msg-id-87009.html>

Quellenverzeichnis (5/13)

- Bundesamt für Verkehr BAV. (n.d.-b). Unterirdische Gütertransportanlagen: Gesetz für Bewilligungsverfahren liegt nun vor. <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/publikationen/medienmitteilungen.msg-id-89363.html>
- Capgemini. (2021). STARTER ODER SCHON TRANSFORMER – WIE VERANKERT IST DER DIGITALE ZWILLING IN DER ENERGIE- & VERSORUNGSIINDUSTRIE?. <https://www.capgemini.com/de-de/insights/blog/digitaler-zwilling-energie-versorgungsindustrie/>
- Carvalho, R., & Da Silva, A. R. (2021). Sustainability Requirements of Digital Twin-Based Systems: A Meta Systematic Literature Review. Applied Sciences, 11(12), 5519. <https://doi.org/10.3390/app11125519>
- Chan, E., Hardy, T., O’Keeffe, T., Park, T., Schein, A., & Behavioural Insights Team. (2023). Reviewing energy supplier evidence on impacts of smart metering on domestic energy consumption. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1162051/energy-supplier-review-of-smart-meter-energy-consumption-impacts.pdf
- Chen, L., Zhu, H., Horst, L., Wallhead, M., Reding, M. E., & Fulcher, A. (2021). Management of Pest Insects and Plant Diseases in Fruit and Nursery Production with Laser-guided Variable-rate Sprayers. Hortscience, 56(1), 94–100. <https://doi.org/10.21273/hortsci15491-20>
- Chen, X., Despeisse, M. & Johansson, B. (2020). Environmental Sustainability of Digitalization in Manufacturing: A Review. Sustainability, 12(24), 10298. <https://doi.org/10.3390/su122410298>
- Chen, Yh. (2020). Intelligent algorithms for cold chain logistics distribution optimization based on big data cloud computing analysis. J Cloud Comp 9, 37 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13677-020-00174-x>
- Cockpit Stromkennzeichnung Schweiz 2023. (n.d.). <https://pronovo.ch/news/cockpit-stromkennzeichnung-schweiz-2023/>
- Cogato, A., Brščić, M., Marinello, F., & Pezzuolo, A. (2020). A 20-Year Analysis of the Evolution of Automatic Milking Systems: Processes, Technologies and Livestock Environment. Proceedings, 73(1). <https://doi.org/10.3390/ieca2020-08825>
- Das Gebäudeprogramm. (2022). Das Gebäudeprogramm in Zahlen. <https://www.dasgebaeudeprogramm.ch/de/das-gebaeudeprogramm/das-gebaeudeprogramm-in-zahlen/>
- DECC. (2012). Smart meter roll-out for the non-domestic sector (GB). https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48805/4907-smart-meter-rollout-non-domestic-ia-resp.pdf
- Destatis Ausstattung privater Haushalte mit smarten Geräten und Systemen Deutschland. (2022). Statistisches Bundesamt. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Einkommen-Konsum-Lebensbedingungen/Ausstattung-Gebrauchsgueter/Tabellen/a-smarte-geraete-systeme-d-lwr.html>
- DESTATIS. (2021). Industrie 4.0: Roboter und 3D-Drucker immer weiter verbreitet. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/04/PD21_180_52911.html
- Detecon International GmbH. (n.d.). Faster, more efficient, and more sustainable – GreenPlan reinvents route planning. <https://www.detecon.com/en/journal/faster-more-efficient-and-more-sustainable>

Quellenverzeichnis (6/13)

- Dhingra, S. (2022, October 4). The use of smart buildings solutions can reduce total global energy consumption by 3-5%. Transforma Insights. <https://transformainsights.com/blog/smart-buildings-reduce-global-energy>
- Digital CxO. (2020). Energy Sector Pushes Digitalization Plans and Open Source Software Adoption. <https://digitalcxo.com/article/energy-sector-pushes-digitalization-plans-and-open-source-software-adoption/>
- Eby, D. W., Molnar, L. J., & St Louis, R. M. (2019). Use of nondriving transportation options. In Elsevier eBooks (pp. 49–63). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812153-5.00003-0>
- EDA Schweiz – PRS. (2023, December 28). Landwirtschaft. EDA Präsenz Schweiz – PRS. Retrieved February 28, 2024, from <https://www.eda.admin.ch/aboutswitzerland/de/home/wirtschaft/taetigkeitsgebiete/landwirtschaft.html>
- EDA Schweiz – PRS. (2023, December 28). Wirtschaft. EDA Präsenz Schweiz – PRS. Retrieved February 28, 2024, from <https://www.eda.admin.ch/aboutswitzerland/de/home/wirtschaft/uebersicht/wirtschaft--fakten-und-zahlen.html>
- EDA Schweiz – PRS. (2023, December 28). Wirtschaft. EDA Präsenz Schweiz – PRS. Retrieved February 28, 2024, from <https://www.eda.admin.ch/aboutswitzerland/de/home/wirtschaft/uebersicht/wirtschaft--fakten-und-zahlen.html>
- EDA Schweiz – PRS. (2024, January 09). Wirtschaftszweige. EDA Präsenz Schweiz – PRS. Retrieved February 28, 2024, from <https://www.eda.admin.ch/aboutswitzerland/de/home/wirtschaft/taetigkeitsgebiete.html>
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. (2022). Strategie «Digitale Schweiz». <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/kommunikation/digitale-schweiz.html>
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Energie BFE, Abteilung Medien und Politik, Fachverband Elektroapparate für Haushalt und Gewerbe Schweiz (FEA), & Schweizerischen Wirtschaftsverband der Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik (Swico). (2021). Faktenblatt Stromverbrauch Elektrogeräte 2020. <https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/69112.pdf>
- El Benni, N., Ryser, U., Rösch, M., Mattmann, M., Abt, F., Paupe, L., & Gusset, M. (2020). Die Charta zur Digitalisierung der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft. Agrarforschung Schweiz, 11, 91–101. <https://doi.org/10.34776/afs11-91>
- Elunic AG. (o. D.). Digitalisierung in der Zementindustrie. Elunic. Abgerufen am 11. März 2024, von <https://www.elunic.com/de/showcase/digitalisierung-zementindustrie-iot-zementwerk/>
- Entso-E, E. A. (2022, April 16). Introduction. ENTSO-E AISBL | European Network of Transmission System Operators for Gas (ENTSO-G). <https://2022.entsos-tyndp-scenarios.eu/>
- Entso-E, E. A. (2022, April 16). Introduction. ENTSO-E AISBL | European Network of Transmission System Operators for Gas (ENTSO-G). <https://2022.entsos-tyndp-scenarios.eu/>
- European Parliamentary Research Service. (2016). Precision Agriculture and the future of farming in Europe. Science and Technology Options Assessment. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU\(2016\)581892_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2016/581892/EPRS_STU(2016)581892_EN.pdf)

Quellenverzeichnis (7/13)

- Facts&Factors (2023). Connected Truck Telematics Market Size, Share Global Analysis Report, 2023 – 2030. <https://www.fnfresearch.com/connected-truck-telematics-market>
- Farooque, A. A., Hussain, N., Schumann, A. W., Abbas, F., Afzaal, H., McKenzie-Gopsill, A., Esau, T., Zaman, Q., & Wang, X. (2023). Field evaluation of a deep learning-based smart variable-rate sprayer for targeted application of agrochemicals. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100073. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100073>
- Fedlex. (2022). Botschaft zur Revision des CO2-Gesetzes für die Zeit nach 2024. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2022/2651/de>
- Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, Kersken, M., & Sinnesbichler, H. (2022). The energy saving potential of an intelligent heating control system. In IBP-Report (Vols. 579–E) [Report]. Fraunhofer Institute for Building Physics IBP. <https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/ibp-neu/en/documents/ibp-report/579.pdf>
- FWS (2023). Wärmepumpen und Strom. <https://www.fws.ch/praesent-vestibulum-aenea-4/>
- Gabriel, A., & Gandorfer, M. (2022). Adoption of digital technologies in agriculture—an inventory in a european small-scale farming region. *Precision Agriculture*, 24(1), 68–91. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09931-1>
- Gährs, S., Weiß, J., Bluhm, H., Dunkelberg, E., Katner, J., & Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. (2021). Erkenntnisse zu Umweltwirkungen von Smart Metern - Erfahrungen aus dem Einsatz von Smart Metern in Europa. In D. Pfeiffer & M. Futterlieb (Eds.), CLIMATE CHANGE [Report]. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-05-06_cc_34-2021_umweltwirkungen_smart_meter.pdf
- Gavrilova, O., Leip, A., Dong, H., MacDonald, J. D., Gomez Bravo, C. A., Amon, B., Barahona Rosales, R., Del Prado, A., Aparecida De Lima, M., Oyhantçabal, W., Van Der Weerden, T. J., & Widiawati, Y. (2019). Chapter 10: Emissions From Livestock And Manure Management: 2019 Refinement to the 2006 IPCC-Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In IPCC. IPCC. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf
- Gds lighting. (2024, February 12). Energy saved with intelligent lighting - GDS Lighting. Gds Lighting. <https://www.gdslighting.com/en/how-much-energy-can-be-saved-with-smart-lighting/>
- GeSI. (2015). #SMARTER2030 ICT Solutions for 21st Century Challenges. https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf
- Giacometti, A., Klopfenstein Brognini, D., Müller, D., Müller-Altermatt, S., Wettstein, F., (2022). CO2-Gesetz für die Zeit nach 2024. Revision. 22.061 | CO2-Gesetz für die Zeit nach 2024. Revision | Geschäft | Das Schweizer Parlament
- Gibbs, S. (2022, March 30). How smart thermostats can save you fuel and money. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/money/2022/mar/30/how-smart-thermostats-can-save-you-fuel-and-money>
- Global Research Alliance on Agricultural Greenhouse Gases, Sustainable Agriculture Initiative Platform, & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre. (2015). Reducing greenhouse gas emissions from livestock: Best practice and emerging options. In SAI Platform. https://saiplatform.org/uploads/Modules/Library/lrg-sai-livestock-mitigation_web2.pdf

Quellenverzeichnis (8/13)

- Goehringer, R., Herhold, P., Kägi, D., Krajnc, A., Liedtke, A., Loikala, S., Neukom, C., (...) Tischhauser, P. (2022). Klimaziele 230 – Wie die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen im Inland halbieren kann. <https://web-assets.bcg.com/c0/38/d6bcc5244ca289da433b20dae973/bcg-white-paper-klimaziele-schweiz-2030.pdf>
- Gøthesen, S., Haddara, M., & Kumar, K. N. (2023). Empowering homes with intelligence: An investigation of smart home technology adoption and usage. *Internet of Things*, 24, 100944. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100944>
- GreyViews. (2022, May). Livestock Monitoring Market Segmentation Analysis from 2022-2029. GreyViews. Retrieved September 27, 2023, from <https://greyviews.com/reports/livestock-monitoring-market/44>
- Groher, T., Heitkämper, K., Walter, A., Liebisch, F., & Umstätter, C. (2020). Status quo of adoption of precision agriculture enabling technologies in Swiss plant production. *Precision Agriculture*, 21(6), 1327–1350. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09723-5>
- Grossrieder, J., Ringger, C., Argento, F., Grandgirard, R., Anken, T., & Liebisch, F. (2022). Standortangepasste Stickstoffdüngung: aktuelle Methoden und Erfahrungen. *Agrarforschung Schweiz*, 13, 103–113. <https://doi.org/10.34776/afs13-103g>
- Groupe E (2024, February 15). Projekt Smart-Grid im Kanton Freiburg: Tests betreffend Technik und Akzeptanz der Bevölkerung - Groupe E - le blog. <https://blog.groupe-e.ch/de/innovation-de/projekt-smart-grid-im-kanton-freiburg/>
- GS1 Switzerland (n.d.); <https://www.gs1.ch/de/media/1374>
- Gupta, A., Badr, Y., Negahban, A., & Qiu, R. G. (2021). Energy-efficient heating control for smart buildings with deep reinforcement learning. *Journal of Building Engineering*, 34, 101739. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101739>
- Harmel, R. D., Kenimer, A. L., Searcy, S. W., & Torbert, H. A. (2004). Runoff Water Quality Impact of Variable Rate Sidedress Nitrogen Application. *Precision Agriculture*, 5(3). <https://link.springer.com/article/10.1023/B:PRAG.0000032764.91534.c5>
- He, B., & Bai, K. (2020). Digital twin-based sustainable intelligent manufacturing: a review. *Advances in Manufacturing*, 9(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s40436-020-00302-5>
- Hergoualc'h, K., Akiyama, H., Bernoux, M., Chirinda, N., Del Prado, A., Kasimir, Å., MacDonald, J. D., Ogle, S. M., Regina, K., & Van Der Weerden, T. J. (2019). Chapter 11: N2O emissions from managed soils, and CO2 emissions from lime and urea application: 2019 Refinement to the 2006 IPCC -uidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In IPCC. IPCC. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf
- Herlin, A. H., Brunberg, E., Hultgren, J., Högberg, N., Rydberg, A., & Skarin, A. (n.d.). Animal Welfare Implications of Digital Tools for Monitoring and Management of Cattle and Sheep on Pasture. *Animals*, 11(3), 829. <https://doi.org/10.3390/ani11030829>
- Hilty, L., & Bieser, J. (2017). Opportunities and risks of digitalization for climate protection inSwitzerland. Zurich Open Repository and Archive. https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/141128/1/Study_Digitalization_Climate_Protection_Oct2017.pdf
- Holcim Suisse AG. (2023, 28. Februar). Industrie 4.0: Zementwerk Siggenthal ist Pilotstandort für „Plants of Tomorrow“. Holcim Suisse. Abgerufen am 11. März 2024, von <https://www.holcim.ch/de/industrie-40-zementwerk-siggenthal-ist-pilotstandort-fuer-plants-tomorrow>
- Holcim. (2021). Nachhaltigkeitsbericht 2021. https://www.holcim.de/sites/germany/files/2022-09/holcim_nachhaltigkeitsbericht_2021_web.pdf

Quellenverzeichnis (9/13)

- Holcim. (2023, March 2). Holcim launches world's first cement plant digital twin. <https://www.holcim.com/media/company-news/first-cement-plant-digital-twin>
- IDC. (2022). Intelligent process automation in Deutschland 2022. CGI. <https://www.cgi.com/sites/default/files/2022-06/intelligent-process-automationdeutschland-2022-idc-executive-brief.pdf>
- IEA, Lane, K., & Bennich, P. (2019). Digitalisation opportunities for energy efficiency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/imports/events/606/7AEModernisingEnergyEfficiencythroughDigitalisation.pdf>
- IEA. (2023). Energy Policy Review Switzerland 2023. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b6451900-e6ef-45a8-922d-117520e09a82/Switzerland2023.pdf>
- Interpharma. (2020, July 9). Vision & Mission - Interpharma. <https://www.interpharma.ch/ueber-uns/vision-mission/>
- ITF/OECD (2019) Corporate Partnership Board CPB Shared Mobility Simulations for Helsinki Case-Specific Policy Analysis. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/shared-mobility-simulations-helsinki.pdf>
- Iváncsy, T., & Tamus, Z. Á. (2016). Analysis of the energy consumption of building automation systems. In *Ecoproduction* (pp. 871–881). https://doi.org/10.1007/978-981-10-0471-1_59
- Jakob, M., Müller, J., Altenburger, A., TEP Energy GmbH, & Hochschule Luzern (HSLU). (2021). Rechenzentren in der Schweiz – Stromverbrauch und Effizienzpotenzial. In *EnergieSchweiz [Report]*. https://www.tep-energy.ch/docs/de_en/p1108_RechenzentrenStromverbrauchEffizienzpotenziale_TEP_HSLU_210412_sent.pdf
- John, A. J., Clark, C., Freeman, M., Kerrisk, K. L., García, S. C., & Halachmi, I. (2016). Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution. *Animal*, 10(9), 1484–1492. <https://doi.org/10.1017/s1751731116000495>
- Karimipour, H., Tam, V., Lê, K. N., & Burnie, H. (2021). Routing on-road heavy vehicles for alleviating greenhouse gas emissions. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100325. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100325>
- Käser, M., Gasser, S., NEVALUX AG, & ENERGYLIGHT. (2023). 94 Prozent Strom sparen mit intelligenter Beleuchtung. In *eTrends: Vol. Ausgabe 2/23*. <https://www.energylight.ch/dam/jcr:ba7e13de-fe71-4d95-b2d8-652fb5e239f1/etrends-2-2023-ruetihof-nevalux--bericht.pdf>
- Kern, J. (2021). The Digital Transformation of Logistics. *The Digital Transformation of Logistics*, 361–403. <https://doi.org/10.1002/9781119646495.ch25>
- KIBECO CleanCrete® - KIBECO (2024). <https://www.kibeco.ch/de/produkte/kibeco-cleancrete>
- King, J. & American Council for an Energy-Efficient Economy. (2018). Energy impacts of smart home technologies. <https://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/a1801.pdf>
- Labee, P., Rasouli, S., & Liao, F. (2022). The implications of Mobility as a Service for urban emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102, 103128. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103128>
- Laine, A., Lampikoski, T., Rautiainen, T., Bröckl, M., Bang, C., Stokkendal Poulsen, N., & Kofoed-Wiuff, A. (2018). Mobility as a Service and Greener Transportation Systems in a Nordic context. <https://doi.org/10.6027/TN2018-558>
- Lee, Z. E., & Zhang, K. M. (2022). Unintended consequences of smart thermostats in the transition to electrified heating. *Applied Energy*, 322, 119384. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119384>

Quellenverzeichnis (10/13)

- Lighting systems to save energy in educational classrooms. (2011, May 1). IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5874691>
- LiS. (2020, December 15). Echtzeit-Tracking per E-Mail: Krümmen Kerzers setzt auf Telematikintegration mit WinSped. LIS. <https://www.lis.eu/echtzeit-tracking-per-e-mail-kruemmen-kerzers-setzt-auf-telematikintegration-mit-winsped/>
- Lovarelli, D., Leso, L., Bonfanti, M., Porto, S. M., Barbari, M., & Guarino, M. (2023). Climate change and socio-economic assessment of PLF in dairy farms: Three case studies. *Science of the Total Environment*, 882, 163639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163639>
- Maloku, D. (2020). Adoption of Precision Farming Technologies: USA and EU Situation. *SEA - Practical Application of Science*, 8(22), 7–14. https://seaopenresearch.eu/Journals/articles/SPAS_22_1.pdf
- Martin, H., Reck, D., Axhausen, K., Raubal, M. (2021). Empirical use and Impact analysis of MaaS. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000521380>
- Masi, M. G., Di Pasquale, J., Vecchio, Y., & Capitanio, F. (2023). Precision Farming: Barriers of variable rate technology adoption in Italy. *Land*, 12(5), 1084. <https://doi.org/10.3390/land12051084>
- Mazura, Z. (2023). Präsenzabhängige LED-Lichtsteuerung. In *Informations- Und Systemtechnik* (pp. 50–51). https://www.elektro.net/file/show/122549/51ea57/DE_2023_5_50-51_IS51_BK.pdf
- Mirzakaninafchi, H., Singh, M., Dixit, A., Prakash, A., Sharda, S., Kaur, J., & Nafchi, A. M. (2022). Performance assessment of a Sensor-Based Variable-Rate Real-Time fertilizer applicator for rice crop. *Sustainability*, 14(18), 11209. <https://doi.org/10.3390/su141811209>
- Mitropoulos, L., Kortsari, A., Mizaras, V., & Aifadopoulou, G. (2023). Mobility as a Service (MAAS) planning and Implementation: challenges and lessons learned. *Future Transportation*, 3(2), 498–518. <https://doi.org/10.3390/futuretransp3020029>
- Moadab, N. H., Olsson, T., Fischl, G., & Aries, M. M. (2021). Smart versus conventional lighting in apartments - Electric lighting energy consumption simulation for three different households. *Energy and Buildings*, 244, 111009. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111009>
- Mohsen Soori, Roza Dastres, Behrooz Arezoo, Foad Karimi Ghaleh Jough. Intelligent robotic systems in Industry 4.0: A review. *Journal of Advanced Manufacturing Science and Technology*, 2024, pp.2024007 - 0. <https://hal.science/hal-04439263>
- Neethirajan, S. (2017). Recent advances in wearable sensors for animal health management. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 12, 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.11.004>
- Nicolson, M., Huebner, G., & Shipworth, D. (2017). Are consumers willing to switch to smart time of use electricity tariffs? The importance of loss-aversion and electric vehicle ownership. *Energy Research & Social Science*, 23, 82–96. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.12.001>
- Nyamuryekung'e, S. (2023). Transforming ranching: Precision livestock management in the Internet of Things era. *Rangelands*. <https://doi.org/10.1016/j.rala.2023.10.002>
- O'Halloran, J., & McPhee, J. (2020). Variable Rate Technologies: Precision agriculture in vegetable systems. In Queensland Government. <https://www.publications.qld.gov.au/ckan-publications-attachments-prod/resources/b50d1103-d84c-44bb-847c-07fafda36df0/variable-rate-technologies-factsheet-2020.pdf?ETag=e08b8d0e5a1bd5e368c2b9c5d9e8de2c>

Quellenverzeichnis (11/13)

- OBT. (2023, April). Energiestrategie 2050 – Digitalisierung als absolute Priorität. <https://www.obt.ch/de/infoboard/energiestrategie-2050-digitalisierung-als-absolute-prioritaet>
- Optimierte Tourenplanung für mehr Nachhaltigkeit - Krummen Kerzers. (2020, November 27). Krummen Kerzers. <https://krummen.com/aktuelles/optimierte-tourenplanung-fuer-mehr-nachhaltigkeit/>
- Pardo, G. O., Del Prado, A., Álvarez, J. F., Yáñez-Ruiz, D. R., & Belanche, A. (2022). Influence of precision livestock farming on the environmental performance of intensive dairy goat farms. *Journal of Cleaner Production*, 351, 131518. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131518>
- Paustian, M., & Theuvsen, L. (2016). Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision Agriculture*, 18(5), 701–716. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9482-5>
- Peerless Research Group (2023, 10. Mai). Intralogistics Robotics study 2023: More robots are coming to a warehouse near you. *Modern Materials Handling*. https://www.mmh.com/article/warehouse_automation_survey_2023_more_robots_are_coming_to_a_warehouse_near_you?utm_campaign
- Pepe, C., & Zanoli, S. M. (2024). Digitalization, Industry 4.0, Data, KPIs, Modelization and Forecast for energy production in hydroelectric power Plants: a review. *Energies*, 17(4), 941. <https://doi.org/10.3390/en17040941>
- Pomar, C., & Remus, A. (2019). Precision pig feeding: a breakthrough toward sustainability. *Animal Frontiers*, 9(2), 52–59. <https://doi.org/10.1093/af/vfz006>
- Precedence Research (2023). Connected Logistics Market. Connected Logistics Market Size To Hit USD 72.94. <https://www.precedenceresearch.com/connected-logistics-market>
- Precedence Research. (2023). Livestock Monitoring Market Size, Growth, Trends, Report By 2032. In Precedence Research. <https://www.precedenceresearch.com/livestock-monitoring-market>
- Produktion, R. (2023). Process Mining: Ein Schlüssel zur Optimierung der Produktion. *Produktion Online*. <https://www.produktion.de/technik/digitalisierung/process-mining-ein-schluessel-zur-optimierung-der-produktion-928.html>
- Prognos, TEP Energy, Infrac, Ecoplan. (2021). Energieperspektiven 2050+ Szenarienergebnisse, i.A. des Bundesamts für Energie BFE, Bern. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>
- Projektgruppe «Strategie Strukturverbesserungen 2030+». (2022). Strategie Strukturverbesserungen 2030+: Bericht in Erfüllung des Auftrags der Finanzkommission des Nationalrats an das BLW vom 22.02.2022. In BLW (BLW-421.00-6261/4). <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/services/medienmitteilungen.msg-id-95157.html>
- Publications Office of the European Union. (2021). EU reference scenario 2020 : energy, transport and GHG emissions : trends to 2050. Publications Office of the EU. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/96c2ca82-e85e-11eb-93a8-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-219903975>
- Raiffeisen casa. (2024). Veralteter Gebäudepark: Wie hoch ist der Sanierungsbedarf bei Schweizer Immobilien wirklich?. <https://www.raiffeisen.ch/casa/de/immobilien-sanieren/sanierungsplanung/sanierungsstau.html>

Quellenverzeichnis (12/13)

- Research and Markets (2023). Variable Rate Technology (VRT): Global Strategic Business Report. Research and Markets Ltd 2023.
<https://www.researchandmarkets.com/reports/4806368/variable-rate-technology-vrt-global-strategic>
- Roadmap 2050 Klimaneutraler Zement als Ziel. (2021). Cemsuisse.
https://www.cemsuisse.ch/app/uploads/2021/04/Cemsuisse_Roadmap_210422.pdf
- Robotics - Switzerland. (2024). Retrieved March 11, 2024, from
<https://www.statista.com/outlook/tmo/robotics/switzerland>
- Rumiwatch. (n.d.). RumiWatch. <https://www.rumiwatch.com/>
- Schlund, S., Clauß, K., Papa, M. & Fraunhofer Institut. (2023). Studie zum Robotereinsatz in der österreichischen Industrie: Wirtschaftlicher Einfluss von Industrierobotern in österreichischen produzierenden Unternehmen. In Zenodo (CERN European Organization For Nuclear Research). <https://doi.org/10.5281/zenodo.8116615>
- Schrade, S., Zeyer, K., Mohn, J., & Zähler, M. (2023). Effect of diets with different crude protein levels on ammonia and greenhouse gas emissions from a naturally ventilated dairy housing. *Science of the Total Environment*, 896, 165027.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165027>
- Schweizer Bauer. (2022, July 28). Wie viele Hektaren die Betriebe bewirtschaften. Schweizer Bauer. <https://www.schweizerbauer.ch/politik-wirtschaft/betriebsfuehrung/wie-viele-hektaren-die-betriebe-bewirtschaften>
- Schweizer Bauernverband. (2019). Schweizer Landwirtschaft im (Klima)wandel. In Schweizer Bauernverband. https://www.sbv-usb.ch/fileadmin/sbvuspch/04_Medien/Medienmitteilungen/PM_2019/FOKUS03_DE_web.pdf
- SensoLight Rütihof, Zürich - energylight-Projekte - energylight. (2023). SensoLight Rütihof, Zürich - energylight-Projekte - Energylight.
<https://www.energylight.ch/projekte/ruetihof-zuerich.html>
- Seri, F., Arnesano, M., Keane, M., & Revel, G. M. (2021). Temperature Sensing Optimization for Home Thermostat Retrofit. *Sensors*, 21(11), 3685.
<https://doi.org/10.3390/s21113685>
- Shi, Y., Chen, M., Wang, X., Wang, Z., Yu, H., & Hao, X. (2023). Efficiency analysis and evaluation of centrifugal variable-rate fertilizer spreading based on real-time spectral information on rice. *Computers and Electronics in Agriculture*, 204, 107505.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107505>
- Siemens Campus Zug, Schweiz. (2024).
<https://www.siemens.com/de/de/produkte/gebaeudetechnik/referenzen/siemens-campus-zug.html>
- SIEMENS. (2024). From outdated to trendsetting. SIEMENS Xcelerator Marketplace. Abgerufen am 11. März 2024, von
<https://xcelerator.siemens.com/global/en/industries/food-beverage/references/nestle.html>
- Soto, I., Barnes, A., Balafoutis, A., Beck, B., Sánchez, B., Vangeyte, J., Fountas, S., Van Der Wal, T., Eory, V., & Gómez-Barbero, M. (2019). The contribution of precision agriculture technologies to farm productivity and the mitigation of greenhouse gas emissions in the EU. In JRC Technical Reports. JRC Science Hub. <https://doi.org/10.2760/016263>
- Späti, K., Huber, R., & Finger, R. (2021). Benefits of increasing information accuracy in variable rate technologies. *Ecological Economics*, 185, 107047.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107047>

Quellenverzeichnis (13/13)

- Spescha, A. & Wörter, M. (o. D.). Innovation und Digitalisierung in der Schweizer Privatwirtschaft – Ergebnisse der Innovationserhebung 2020. ETH Library. https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/620379/2023_2_Sommer_SA1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Statista. (2022, April 12). Supply chain firms' adoption of technologies 2021. <https://www.statista.com/statistics/1182124/global-supply-chain-technologies-adoption/>
- Statista. (2024). Energy Management - Schweiz | Statista Marktprognose. <https://de.statista.com/outlook/dmo/smart-home/energy-management/schweiz>
- Thompson, N. M., Bir, C., Widmar, D. A., & Mintert, J. R. (2018). Farmer Perceptions Of Precision Agriculture Technology Benefits. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 51(1), 142–163. <https://doi.org/10.1017/aae.2018.27>
- Thyssenkrupp. (2022). Grün und digital – Das Zementwerk der Zukunft. Abgerufen am 11. März 2024, von <https://insights.thyssenkrupp-polysius.com/de/story/gruen-und-digital-das-zementwerk-der-zukunft/>
- Umweltbundesamt, & Golde, M. (2016). Rebound-Effekte: Empirische Ergebnisse und Handlungsstrategien. In *Hintergrund* (p. 3) [Report]. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rebound-effekte_empirische_ergebnisse_und_handlungsstrategien_hintergrundpapier.pdf
- uRoute. (2023). Telematics System in Logistics Industry : Future, Benefits and Example. <https://www.uroute.co/blog/telematics-system-in-the-logistics-industry/>
- US Department of Energy (2017) Impacts of Commercial Building Controls on Energy Savings and Peak Load Reduction, Pacific Northwest National Library, https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-25985.pdf
- UVEK Schweiz – PRS. (2024, January 09). Klima- und Innovationsgesetz. EDA Präsenz Schweiz – PRS. Retrieved February 28, 2024, from <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/uvek/abstimmungen/klima-und-innovationsgesetz.html>
- Uvek, (n.d.). Sichere Stromversorgung. UVEK. <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/energie/stromversorgungssicherheit.html#-770537113>
- UVEK. (2023). Klima- und Innovationsgesetz. <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/uvek/abstimmungen/klima-und-innovationsgesetz.html>
- Vodafone Institut. (2024). SEED-Index: Deutsche Unternehmen nutzen nur die Hälfte des digitalen Potenzials für Klima und Profit• Vodafone Institut. <https://www.vodafone-institut.de/publikation/seed-index-2023/>
- Weber, G., & Zucker, G. (2022). CO2 Einsparungspotenziale im Gebäudebereich (By Center for Energy). https://www.ait.ac.at/fileadmin/mc/energy/downloads/CO2-Einsparungspotenziale_im_Gebaeudebereich_-_Langfassung.pdf
- Williams, A., Atkinson, B., Garbesi, K., Page, E., & Rubinstein, F. (2012). Lighting controls in commercial buildings. *Leukos*, 8(3), 161–180. <https://doi.org/10.1582/leukos.2012.08.03.001>
- Yumuv (2022). Öffentlicher Abschlussbericht. https://www.mobilservice.ch/admin/data/files/news_section_file/file/5278/yumuv_oeffentlicherabschlussbericht_de.pdf?lm=1645989401

Impressum

Herausgegeben in Kollaboration durch:



digitalswitzerland
Heinrichstrasse 216
8005 Zürich

economiesuisse
Hegibachstrasse 47
8032 Zürich

Accenture
Fraumünsterstrasse 16
8001 Zürich

Medienkontakt:

Thomas Weidmann, Head of Communications & Marketing digitalswitzerland | +41 79 225 20 80 | thomas@digitalswitzerland.com

Lukas Federer, Stv. Bereichsleiter Umwelt, Energie und Infrastruktur economiesuisse | +41 44 421 35 17 | lukas.federer@economiesuisse.ch

Copyright digitalswitzerland 2024

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung von digitalswitzerland zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit grösstmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen bei digitalswitzerland.

Impressum

Über digitalswitzerland

digitalswitzerland ist eine schweizweite, branchenübergreifende Initiative mit dem Ziel, die Schweiz in eine führende digitale Nation zu transformieren. Gemeinsam mit unserem Netzwerk von 170+ Mitgliedern und nicht-politischen Stiftungspartnern engagieren wir uns in über 25 Projekten, um den digitalen Wandel in der Schweiz zu inspirieren, zu initiieren, mitzugestalten und anzuführen

Über economiesuisse

economiesuisse vertritt als Dachverband die Interessen der wettbewerbsorientierten, international vernetzten und verantwortungsbewussten Schweizer Wirtschaft. Als Bindeglied zwischen Politik, Wirtschaft und Gesellschaft setzt sie sich für optimale Rahmenbedingungen für Schweizer Unternehmen ein – vom KMU bis zum Grossunternehmen. Wir vertreten rund 100'000 Unternehmen aus allen Branchen und Regionen der Schweiz, die etwa zwei Millionen Menschen Arbeit bieten. Wir pflegen einen offenen Dialog mit wirtschaftspolitischen Akteuren und der Bevölkerung und engagieren uns für marktwirtschaftliche Ordnung sowie nachhaltiges Wachstum.

Über Accenture

Accenture ist ein weltweit tätiges Beratungsunternehmen, das führende Unternehmen, Regierungen und weitere Organisationen unterstützt. Durch den Aufbau eines digitalen Geschäftskerns, Prozessoptimierung, Beschleunigung des Umsatzwachstums und die Verbesserung öffentlicher Dienstleistungen schaffen wir für unsere Kunden in mehr als 120 Ländern Mehrwert. Technologie steht dabei im Mittelpunkt des Wandels, den wir mit starken Partnerschaften in unserem Ökosystem vorantreiben. Unsere rund 742.000 Mitarbeitenden verfügen über umfassende technologische Kompetenz, insbesondere auf den Gebieten Cloud, Data und Künstliche Intelligenz, sowie über tiefgehende Branchenkenntnis und funktionale Expertise. Damit setzen sie ein breites Spektrum an Dienstleistungen, Lösungen und Ressourcen in den Bereichen Strategy & Consulting, Technology, Operations, Industry X sowie Song um. Unser Erfolg misst sich dabei am Mehrwert für Kunden, Mitarbeitende, Aktionäre, Partner und für die Gemeinschaft. Besuchen Sie uns unter www.accenture.ch.