

FFG-Projekt DigiAT-2040

Auswirkungen der Digitalisierung auf Energieverbrauch und Klima in Österreich,
3. Ausschreibung 2020 des Förderprogramms Energy Transition 2050

Projektnr. 883473

Ergebnisse des AP 2.2

Digitalisierungstechnologien in Österreich mit Einfluss auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen – Darstellung der Technologielandschaft

AutorInnen:

Mag. Sabine Harrasko-Kocmann

Dr. Giuliana Sabbatini

DI Roland Sommer, MBA

Dr. Peter Winkelmayr

17. September 2021 / Version 1.0

Inhalt

Management Summary (Deutsch)	4
Abstract (English)	6
I. Ziel und Struktur	7
II. Vorgehensweise	8
III. Berücksichtigte Sektoren	9
IV. Übergreifende Erkenntnisse	10
V. Industrie	12
1. Künstliche Intelligenz	13
2. Cloud und Edge Computing	15
3. Simulation und digitaler Zwilling	16
4. Additive Fertigung	17
5. Internet of Things	19
6. Robotik und Autonomous Guided Vehicles	19
7. Extended Reality und Virtual Reality	22
Übersicht	23
Weitere Technologien	23
Akteure in Österreich	24
VI. Verkehr	24
1. Condition-Based Maintenance und Predictive Maintenance	25
2. Simulation und Digitaler Zwilling	25
3. Automatisierte Betriebsführung im Schienenverkehr	26
4. Digitale automatisierte Kupplung bzw. Güterzugautomatisierung	26
5. Künstliche Intelligenz in der Fahrzeugregelung	27
6. Big Data	27
7. Autonomes Fahren	27
Übersicht	29
Weitere Technologien	29
Akteure in Österreich	29
VII. Haushalte	30
1. Automatisierung und Regelungstechnik	30
2. Data Analytics und Simulation	31
3. Digitaler Zwilling und Internet of Things	32
4. Energiemarktplatz Cloud	33
5. Mobile Robotik und Augmented Reality	34
Übersicht	34
Weitere Technologien	35
Akteure in Österreich	35
VIII. Dienstleistungen	36
1. Gebäudeautomatisierung	36
2. e-Commerce, e-Government, e-Learning	36

3.	Storage, Dienstleistungen und Gaming in der Cloud	37
4.	Data Analytics und Künstliche Intelligenz	38
5.	Virtual Reality und Augmented Reality	39
6.	KI für Bilder, Videos, Texte und Stimmen	39
	Übersicht	39
	Weitere Technologien	40
	Akteure in Österreich	40
IX.	Landwirtschaft	41
1.	Automatische Fütterungs-, Melk-, Entmistungssysteme	41
2.	Farmmanagement- und -informationssysteme	42
3.	Automatisierung der Fahrzeugsteuerung bis zu (semi-)autonomen Fahrzeugen	42
4.	Mobile Roboter inkl. Drohnen	43
5.	Smart (Livestock) und Precision Farming	44
	Übersicht	45
	Weitere Technologien	45
	Akteure in Österreich	45
X.	Technologien über Sektoren hinweg	46
	Bibliografie	50

Management Summary (Deutsch)

Im Auftrag der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) werden wahrscheinliche Auswirkungen von Digitalisierungstechnologien auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in Österreich bis zum Jahr 2040 von der Österreichischen Energieagentur und vom Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie untersucht. Zu diesem Zweck werden als erster Schritt jene Digitalisierungstechnologien identifiziert, die im Hinblick auf deren Technology Readiness Level (TRL) 2021 und auf deren Potenziale bis 2040 für fünf Wirtschaftssektoren ausschlaggebend sind: Industrie, Verkehr, Haushalte, Dienstleistungen und Landwirtschaft. Dabei werden für jede Technologie neben Anwendungen im jeweiligen Sektor auch etwaige Barrieren zur Markteinführung bzw. -durchdringung, sowie Angaben der insgesamt 28 einbezogenen ExpertInnen hinsichtlich direkter und indirekter Effekte auf Energieverbrauch und THG-Emissionen zusammengefasst.

Mit wenigen Ausnahmen sind die bewusste Untersuchung und Umsetzung der Potenziale, welche die Digitalisierung für Energieeinsparungen bietet, in der Praxis noch nicht im Fokus. Digitalisierungstechnologien werden häufig für andere Zwecke in Betracht gezogen (Flexibilisierung, Automatisierung, Standardisierung, usw.), während Energieeinsparungen (oder auch vermehrter Energieverbrauch) sowie die Möglichkeit der effizienteren Ressourcennutzung als Nebeneffekte wahrgenommen und nicht näher beleuchtet werden. Umgekehrt werden im Rahmen des Energiemanagements nicht die vollen Potenziale umgesetzt, die dank der Digitalisierung möglich sind. Dies legt nahe, dass eine ganzheitlichere Betrachtung beider Aspekte, Digitalisierung und Energiemanagement, zielführender wäre. Dies müsste bei der Ausbildung anfangen und sich bis zu den Prozessen, Rollen und Tools erstrecken.

Nicht einzelne Technologien, sondern Kombinationen bedingen Anwendungen und Potenziale

Die vorgestellte Technologielandschaft basiert nicht auf einzelnen Technologien, sondern auf „Technologiekombinationen“: Komplexe Anwendungen mit einem hohen Potenzial an Innovation und auch an Energieeinsparungen resultieren aus einer Fülle an Technologien, die gut aufeinander abgestimmt einen gesamten Bereich abdecken.

Digitalisierung besteht aus globalen Technologien und entsteht durch globale Player

Es ist nicht möglich, sich bei der Analyse der Digitalisierungstechnologien und deren Player auf diejenigen zu fokussieren, die (auch) in Österreich produziert und erforscht werden. Viele Puzzleteile einer Technologiekombination haben in Österreich lediglich Anwender, nichtdestotrotz sind diese Technologien für die Digitalisierung und für die Ausschöpfung der Potenziale wesentlich.

Von der Forschung in die Anwendung, und umgekehrt

Der Übergang von den Forschungsergebnissen bis in die Anwendung (vom TRL 4 bis zumindest 8) gestaltet sich nach wie vor schwierig. Aber auch umgekehrt: ausgehend von Wirtschaftssektoren und Technologieanwendungen ist es manchmal schwierig, entsprechende Player in der österreichischen Forschungslandschaft zu identifizieren, weil die Verzahnung zwischen Technologieentwicklung und Anwendungen nur lose ist.

Im Allgemeinen lassen sich die identifizierten Digitalisierungstechnologien in vier sehr breiten Gruppen clustern:

- Automatisierungstechnik und (autonome) Robotik: Von der Regelungs- und Automatisierungstechnik in Gebäuden jeder Art, in der Landwirtschaft, in Industrieanlagen bis hin zu (semi-) autonomen Robotern, Autonomous Guided Vehicles, Autonomes Fahren, aber auch mobile Robotik sowohl im industriellen als auch im Dienstleistungsbereich – hin zur Vision der “Social Robotics“ im Haushalts- und Gesundheitsbereich, und auch zu den innovativen Anwendungen der Drohentechnologien.
- „Intelligente“ Nutzung von Daten für Simulationen und Optimierungen: Big Data und Data Analytics ermöglichen gemeinsam mit künstlicher Intelligenz und Machine Learning neuartige Formen der Vernetzung und Optimierung, der Modellierung und Simulation, bis hin zum digitalen Zwilling und zu den vielfältigen Möglichkeiten, die sich aus den Daten des Internet of Things in allen Wirtschaftssektoren ergeben.
- Durch Cloud und Edge Computing neue Möglichkeiten, Speicherung und Verarbeitung von Daten und deren Anwendungen flexibler und effizienter zu steuern, unabhängig von den physikalischen Gegebenheiten vor Ort, in lokalen Netzen mit sehr variablen und Rahmenbedingungen und ihren

Playern, seien es Komponenten einer industriellen Produktionsanlage oder Akteure eines Energiemarktplatzes.

- Virtual / Extended / Augmented Reality: Diese bieten neue Zugänge zur „Realität“ und bereichern bzw. ergänzen diese um weitere relevante Informationen. Eine physische Erfahrung kann dadurch vorbereitet, ersetzt und/oder ergänzt werden, ob es sich dabei ums Lernen, ums Reisen, um einen chirurgischen Eingriff, oder um Wartung und Kontrolle einer technischen Anlage handelt.

Das Internet of Things als dichtes und komplexes Kommunikationsnetz fungiert somit als wesentliches Bindeglied zwischen dem ersten und dem zweiten identifizierten Cluster, in dem eine enge und direkte Kommunikation zwischen Hardware bzw. Sensoren und Aktuatoren ermöglicht, die generierten Daten vernetzt und die daraus resultierenden Erkenntnisse bzw. Aktionen an die jeweils weiter betroffenen Geräte und Komponenten zukommen lässt.

Vor allem betreffend die intelligente Nutzung von Daten und die Möglichkeiten von Cloud und Edge Computing ist die Streuung hinsichtlich TRLs sehr groß: Forschung und Anwendung entwickeln sich parallel, oftmals ist nicht der Reifegrad der Technologien der Grund einer noch nicht hohen Marktdurchdringung, sondern diverse Barrieren wirtschaftlicher, rechtlicher und gesellschaftlicher Natur.

Die größten Potenziale im Hinblick auf direkte und indirekte Auswirkungen auf Energieverbrauch und THG-Emissionen werden von den Experten und Expertinnen folgenden Kombinationen aus Technologien und Sektoren zugewiesen:

- Künstliche Intelligenz in der Industrie
- Automatisierte Betriebsführung und digitale Kupplung im Schienenverkehr
- Internet of Things im Zusammenhang mit dem flexiblen Energiemarktplatz in der Cloud
- Gebäudeautomatisierung im Dienstleistungsbereich
- (Autonome) Robotik inkl. Drohnen in der Landwirtschaft

Für alle Sektoren gilt, dass die Ausschöpfung der Potenziale eine zweifache Flexibilisierung und Abstimmung benötigt: Einerseits unter den Daten und den Schnittstellen, die für den Austausch unabdingbar sind, andererseits unter den Rollen in den involvierten Prozessen und Vorhaben. Auf System- und Daten-seite sind die Weiterentwicklung und Durchsetzung von Interoperabilität und Interkonnektivität unabdingbar, wenn man die Potenziale der bestehenden Technologien ausschöpfen will, über Sektoren und Technologien hinweg. Auf der „menschlichen“ Seite der Gleichung sind Interdisziplinarität und Überblick gefragt, angefangen mit den Aus- und Weiterbildungen bis hin zu den Prozessen.

Abstract (English)

In the context of the project DigiAT-2040, carried out by the Austrian Energy Agency and by the Association of the Austrian Electrical- and Electronics-Industries (FEEI) on behalf of the Austrian Research Promotion Agency (FFG), this document presents the results of the first qualitative analysis phase. The aim of this Work Package is the identification of digitalisation technologies with the potential to affect energy consumption and greenhouse gas emissions in Austria till 2040 in five economic sectors: industry, traffic, domestic households, services, and agriculture. In particular, the following aspects are considered for every sector and every (sector-relevant) digitalisation technology: possible existing and future applications of the technology itself in the sector, TRL as of 2021 (on a scale 1 to 9, as usual in the context of the Research Framework Programme by the European Commission), barriers to market introduction or diffusion, and the potential concerning energy consumption and greenhouse gas emissions. The results of this Work Package build the necessary qualitative baseline for exploring quantitative aspects and especially for building more specific scenarios for the year 2040.

The identification of the relevant digitalisation technologies was carried out with the help of experts from the defined sectors, in form of structured (mostly individual) interviews and of so-called screening-talks, where several experts from the same sector came together to discuss their opinions and the results of desk-based research by the project team.

Additionally, the document presents some overall findings and insights which do not depend on specific sectors but apply to digitalisation and to the Austrian context as a whole (in the first part) and tries to come to a comprehensive view of digitalisation technologies and of their expected potential over the next 20 years (in the second part). Throughout the document mostly qualitative information is presented. Quantitative evaluations and the implications for recommendations about RTI-measures form the content of the second part of the project.

I. Ziel und Struktur

Das vorliegende Dokument stellt das Deliverable D2.2 aus dem Arbeitspaket 2 des Projektes DigiAT-2040 (Auswirkungen der Digitalisierung auf Energieverbrauch und Klima in Österreich, 3. Ausschreibung 2020 des Programms Energy Transition 2050) dar: Gemäß beauftragtem Angebot geht es um die Digitalisierung in Österreich (AP 2) und insbesondere anhand von Desk-Research und von Interviews mit ExpertenInnen aus den jeweiligen Sektoren um die Identifizierung von Digitalisierungstechnologien, die in Österreich Anwendung finden bzw. finden werden können, Einfluss auf Energieverbrauch und / oder Treibhausgasemissionen haben (könnten), und eventuell in Österreich beforscht, entwickelt oder hergestellt werden. Diese Technologien werden anhand von fünf im Projekt betrachteten Sektoren der österreichischen Wirtschaft (Industrie, Verkehr, Haushalte, Dienstleistungen, Landwirtschaft) mit ihren bestehenden und zu erwartenden Anwendungen dargestellt, und die wesentlichen Player in Österreich identifiziert.

Struktur und Inhalte des Dokumentes:

- Das Kapitel II erläutert die gewählte Vorgehensweise für dieses Arbeitspaket und wie sie umgesetzt wurde.
- Im Kapitel III wird kurz auf die betrachteten Sektoren und deren Abgrenzungen eingegangen.
- Im Kap. IV werden einige sektorübergreifende Betrachtungen erläutert, die aus Sicht des Projektteams bereits erste Erkenntnisse aus dem Projekt darstellen und zum Teil auch Adaptierungen des im Angebot vorgeschlagenen Vorgehens notwendig gemacht haben. Einige dieser Aspekte werden im letzten Arbeitspaket dieses Projektes (FTI-politische Maßnahmen) erneut Betrachtung finden müssen.
- Die Kapitel V bis IX bilden den Kern dieses Dokuments. Hier werden die Ergebnisse des AP 2 für die fünf betrachteten Sektoren dargestellt, und zwar für jeden Sektor werden nach einer kurzen Einführung die wesentlichen Technologiekombinationen und für jede dieser Kombinationen angegeben:
 - o Kurzbeschreibung der Technologien und Anwendungsfelder
 - o Technology Readiness Level im Jahr 2021 und derzeitige Barrieren zur Markteinführung bzw. zur Marktverbreitung aus österreichischer Sicht. Bei den Angaben zum TRL wird die Skala 1 bis 9 herangezogen¹, wie im Europäischen Rahmenprogramm und in nationalen Förderungen üblich.
 - o Potenzial zur Marktdurchdringung und potenzieller Einfluss auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in einer möglichst langfristigen Betrachtung (bis 2040).

Darüber hinaus werden sonstige, für den Sektor relevante Technologien kurz umrissen, und dann die Player in Österreich angegeben: Unternehmen und Herstellern sowohl für Hardware als auch für Software, soweit es solche in Österreich gibt, sowie Forschungseinrichtungen, unabhängig davon, ob es sich um Hochschulen oder außeruniversitäre Forschungseinrichtungen handelt. Im Industrie-Kapitel finden sich auch allgemeine Begriffs- und Technologiedefinitionen ausführlicher als in den darauffolgenden Kapiteln erklärt. Auf die Wiederholung dieser Definitionen in weiteren Kapiteln wurden bewusst verzichtet.

- Das Kap. X stellt eine Zusammenschau der Ergebnisse dieses Arbeitspakets dar, in dem ein Versuch unternommen wird, die identifizierten Technologien über Wirtschaftssektoren hinweg gesamthaft zu betrachten.
- Die Bibliografie enthält alle Angaben zu den referenzierten Quellen, lediglich Weblinks sind in Fußnoten enthalten.
- Ein Anhang für den Auftraggeber mit der vollständigen Auflistung der Expertinnen und Experten, die in Interviews und Screening-Gesprächen im Zeitraum Februar bis August 2021 einbezogen wurden, ergänzt das Dokument. Ohne deren Mitwirkung, ihr Wissen und ihre Erfahrung wäre die umfangreiche, sektorenübergreifende Erhebung nicht möglich gewesen.

¹ Siehe https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf

II. Vorgehensweise

Entsprechend dem Projektangebot handelt es sich bei der gewählten Vorgehensweise für die Erhebung der Technologielandschaft um eine rein qualitative Betrachtung. Die durchgeführten Schritte werden im Folgenden konkret dargestellt:

- i. Für die Auswahl der zu betrachtenden Technologiekombinationen wurde im Projekt eine Art Trichter herangezogen, wie in folgender Abbildung dargestellt. Dieser wurde zuerst anhand des Sektors Landwirtschaft erprobt. In weiterer Folge wurde diese oder eine leicht adaptierte Vorgehensweise auch für die anderen vier Sektoren umgesetzt.

„Trichter“-Vorgehensweise zur Technologieerhebung

Je Sektor – anhand der Literaturrecherche und Interviews (Task 2.2)

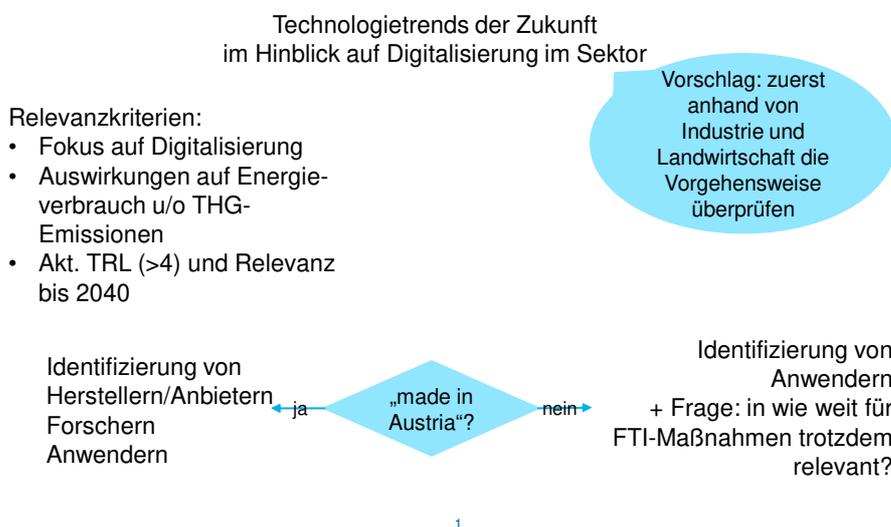


Abbildung 1 - Vorgehensweise zur Technologieerhebung

- ii. Für die fünf definierten Sektoren wurden durch Recherchearbeit bereits bestehende Analysen und erste relevante Player aus Wirtschaft, Forschung und der öffentlichen Verwaltung sowie Interessensvertretungen identifiziert. Mit diesen Personen wurden Einzel- oder Kleingruppeninterviews (mit bis zu 3 Personen) pro Sektor mit insgesamt 4 bis 7 Personen durchgeführt, in insgesamt 19 Interviews mit 28 Ansprechpersonen. Für die Erhebung in den einzelnen Interviews wurden die Hauptfragen folgendermaßen schematisch zusammengefasst:

Leitfaden Interviews mit Experten (Task 2.2)

- 1 Projektkontext / -ziele: im Auftrag der FFG **Auswirkungen der Digitalisierung auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in Österreich 2040** – Erarbeitung von Szenarien und FTI-politische Maßnahmen für Technologien „made in Austria“
- 2 Gemeinsame Suche nach relevanten Digitalisierungstechnologien im jeweiligen Sektor (Landwirtschaft, Verkehr, Haushalte, Industrie, Dienstleistungen)
- 3 Ob und wo sind die identifizierten Technologien für den zukünftigen Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen relevant?
Inwiefern handelt es sich dabei um „made in Austria“ Technologien?
- 4 Welche Player (Unternehmen, Forschung, Öffentlicher Sektor, Verbände) sind hierzu relevant?
- 5 Wo gibt es direkte Ansprechpersonen, die bei Screening-Gesprächen bzw. FTI-Workshops potenziell herangezogen werden könnten?

1

Abbildung 2 - Leitfaden ExpertInnen-Interviews

- iii. Die Inhalte der Interviews wurden zuerst in strukturierten Tabellen erfasst (siehe unten, eine Tabelle je Sektor), aus denen die Schwerpunkte der Screening-Gespräche (insgesamt 3 Termine mit jeweils 1 bis 5 Expertinnen bzw. Experten, wobei diese aus dem Kreis der interviewten Personen bestanden) definiert wurden, deren Ergebnisse ebenfalls im vorliegenden Dokument Berücksichtigung finden. Eine Fortsetzung der Recherchearbeit im Anschluss hat die Erkenntnisse noch abgerundet.

Digitalisierungstechnologie	Zuordnung in der Digitalisierungskette	Erklärung / Beschreibung der Technologie	(Potenzielle) Anwendungen im Sektor	TRL 2021	Einfluss auf Energieverbrauch	Einfluss auf THG-Emissionen	Player in Österreich	
							Forschung	Hersteller / Anbieter

Anschließend möchten wir explizit darauf hinweisen, dass die Analyse gemäß Auftrag bewusst nicht von Energiemanagementaspekten geleitet wurde (wie dies der Fall bei vielen anderen Studien ist), sondern von den Digitalisierungstechnologien, die in den fünf betrachteten Sektoren Anwendung finden – erst darauf aufbauend wurden die Auswirkungen auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen hinterfragt und untersucht.

III. Berücksichtigte Sektoren

Die Analyse erfolgt entsprechend dem Angebot in den fünf Hauptsektoren des Energieverbrauchs, und zwar ausgehend von verfügbaren Daten und Schätzungen in der absteigenden Reihenfolge ihres Energieverbrauchs:

- Industrie
- Verkehr
- Haushalte
- Dienstleistungen
- Landwirtschaft

Für die Definition der einzelnen Bereiche hat sich das Projektteam anhand folgender Definitionen orientiert, wobei eine 100% Abgrenzung nicht möglich bzw. auch nicht unbedingt erforderlich ist, nachdem es sich um eine qualitative Analyse handelt, bei der die Wechselwirkungen zwischen den Sektoren auch eine große Rolle spielen:

- Als Industrie wird der gesamte produzierende Sektor der industriellen Fertigung ohne Bauwesen betrachtet, das heißt nach der ÖNACE Klassifizierung die Abschnitte B bis E, wie auch für Auswertungen von Statistik Austria üblich (in der Energiebilanz ist dieser Sektor als „Produzierender Bereich“ ausgewiesen). Dieser Sektor ist im Hinblick auf Energieverbrauch bei Weitem der größte der fünf betrachtete, und in sich sehr differenziert, so dass Schwerpunkte gesetzt werden mussten.
- Verkehr / Mobilität beinhaltet Straßen- und Schienenverkehr, sowohl Individual- als auch Warenverkehr. Nicht berücksichtigt wurde in dieser Analyse der Binnenflugverkehr und die Schifffahrt, da beide Bereiche eine sehr untergeordnete Bedeutung in Bezug auf die THG Emissionen haben.
- Unter Haushalte wird der gesamte Wohnsektor / Heimbereich berücksichtigt, ob Ein- oder Mehrfamilienhäuser oder Wohnhausanlagen, in privatem oder öffentlichem Eigentum. Es geht um Energieverbrauch, der privaten Haushalten zuordenbar ist.
- Der Sektor der Dienstleistungen stellt sich für die Zwecke dieser Analyse sehr heterogen dar und umfasst entsprechend Energiebilanz sowohl öffentliche als auch private Dienstleistungen: von den IKT-Dienstleistungen (inkl. Rechenzentren), zu den Dienstleistungen der EVUs, der gesamte Handel, Tourismus und Gastronomie, die öffentliche Verwaltung und der Gesundheitsbereich, bis hin zum Bildungswesen und zu sonstigen Bürodienstleistungen (z.B. Versicherungen und Banken). Hier wurde versucht, mit den GesprächsteilnehmerInnen Schwerpunkte zu setzen, da eine differenzierte Analyse pro Teil des Sektors, wie im Fall der Industrie, den Rahmen dieses Auftrags sprengen würde.
- Landwirtschaft beinhaltet entsprechend der ÖNACE Definition den Abschnitt A und inkludiert somit Land- (Innen- und Außen-) und Forstwirtschaft. Die Fischerei wurde nicht gesondert berücksichtigt.

IV. Übergreifende Erkenntnisse

Im Lauf der durchgeführten Gespräche und anhand der Rechercharbeit haben sich für das Projektteam einige allgemeine Erkenntnisse herauskristallisiert bzw. Befunde gefestigt, die von der Technologie und vom Sektor unabhängig sind, deswegen werden diese hier zusammengefasst. Wo möglich, werden diese später im Arbeitspaket 5 dieses Projektes (FTI-politische Maßnahmen) ebenfalls berücksichtigt.

Nicht einzelne Technologien, sondern Kombinationen bedingen Anwendungen und Potenziale

Nicht einzelne spezifische Digitalisierungstechnologien erschließen Anwendungsfelder und Potenziale, sondern ganze Technologiekombinationen. Dies ist nicht nur der Fall beim näheren Betrachten bestimmter Begriffe (sogar bei 3D-Druck und additive Fertigung stecken in einem Begriff mehrere verschiedene Technologien), sondern auch beim Internet of Things, Simulation, maschinelles Lernen und der Gleichen: Komplexe Anwendungen mit einem hohen Potenzial an Innovation und auch an Energieeinsparungen resultieren aus einer Fülle an Technologien, die gut abgestimmt einen gesamten Bereich abdecken. Hardware und Software, Sensorik und KI, verschiedene Architektur-Layers und Cloud Computing „verschmelzen“ zum Teil ineinander und liefern erst insgesamt ihr Potenzial, sodass es nicht mehr möglich ist, eine einzige Komponente herauszufiltern und nur per se zu betrachten. Diese Logik wurde auch in den darauffolgenden Kapiteln gewählt.

Digitalisierung besteht aus globalen Technologien und entsteht durch globale Player

Während unter den Playern für den jeweiligen Sektor versucht wurde, auf Unternehmen und Forschungseinrichtungen zu fokussieren, die in Österreich zumindest einen relevanten Teil ihrer Wertschöpfungskette haben (das heißt zum Beispiel keine reine Vertriebsvertretung), war es bei den Technologien nicht möglich, sich auf „Made in Austria“ zu beschränken, weil viele Puzzleteile einer Technologiekombination in Österreich lediglich Anwender haben, aber keine Hersteller. Nichtsdestotrotz, sind diese Technologien für die Digitalisierung und für die Ausschöpfung ihrer Potenziale im Hinblick auf Energieverbrauch wesentlich, und müssten auch unter den FTI-politischen Maßnahmen mitberücksichtigt werden.

Neben diesem Aspekt zeigt sich anhand der zahlreichen Gespräche, dass der internationale Konnex für alle Player immer wichtiger wird, Märkte international (zumindest europäisch) betrachtet werden, Marktfragmentierungen (z.B. im Hinblick auf rechtliche Rahmenbedingungen) ein Hindernis zur Verbreitung und zur Ausschöpfung der Potenziale darstellen, und intensive Kooperationen absolut erforderlich sind.

Von der Forschung in die Anwendung, und umgekehrt

Wie von vielen anderen Studien und Analysen bereits attestiert, gestaltet sich der Übergang von den Forschungsergebnissen bis in die Anwendung im jeweiligen Sektor unter normalen Marktbedingungen sehr schwierig. Während dieses Projekt Technologien erst ab TRL 4 berücksichtigt, fehlen ab dem TRL 5-6 (large prototype) Förderungen, Testmöglichkeiten unter echten Bedingungen, Prozesse zur Entwicklung bis zum TRL 8 (und höher) weitestgehend und wären erforderlich, um einen Transfer von der Forschung in die Wirtschaft zu gewährleisten.

Aber auch umgekehrt fällt der Befund teilweise ernüchternd aus: betrachtet man die Wirtschaftssektoren und ihre Anwendungsfelder, und unternimmt man eine Analyse der jeweiligen Technologien, ist es manchmal nur sehr schwer möglich, entsprechende Player in der österreichischen Forschungslandschaft zu finden. Nicht weil die Technologien per se nicht beforscht werden, sondern weil die Verknüpfung und Verzahnung zwischen Anwendungsbedürfnissen und Forschung nur selten wahrgenommen und zur Orientierung herangezogen werden. Welche Instrumente können in Zukunft den Weg der Relevanzorientierung unterstützen?

Diese Diskrepanz macht es auch schwierig, bei der Ausarbeitung von Zukunftsvisionen und -potenziale bis zum Jahr 2040 „durchzudringen“, denn meisten sind mit den unteren TRLs erhebliche Unklarheiten und Nicht-Sichtbarkeiten verbunden, die jederzeit andere Entwicklungen möglich machen.

Das noch unterrepräsentierte Geschlecht

Trotz umfangreicher Maßnahmen in den letzten Jahren, gestaltet es sich nach wie vor sehr schwierig, sowohl auf Unternehmens- als auch auf Forschungsseite einigermaßen ausgewogen Experten und Expertinnen beider Geschlechter zu identifizieren und einzubeziehen. In den meisten Fällen war es bei der Auswahl erforderlich, bewusst auf diesen Aspekt zu achten um zumindest eine, seltener zwei weibliche Expertinnen zu identifizieren – obwohl das Projektteam des FEEL in Bezug auf die Geschlechter ausgewogen ist und deswegen besonderen Augenmerk darauf legte. Das bedeutet, dass es einerseits in Österreich nach wie vor zu wenig Frauen in technischen Bereichen (in der Forschung oder in den Unternehmen) gibt, und andererseits aber auch, dass diese nicht so sichtbar und präsent wie ihre männlichen Kollegen sind.

Schnittstellen – zwischen Systemen und Rollen

Auf System- und Datenseite wurden für jeden Sektor und jede Technologiekombination von den Experten und Expertinnen hervorgehoben, wie wichtig die Weiterentwicklung und Durchsetzung von Interoperabilität und Interkonnektivität über Sektoren und Technologien hinweg sind, wenn man die Potenziale der bestehenden Technologien ausschöpfen will.

Aber nicht nur: Auch auf der „menschlichen“ Seite der Gleichung, wo verschiedene Rollen und Entscheidungsträger involviert sind, wird zum Teil die fehlende Interdisziplinarität und der fehlende Überblick beklagt, angefangen mit den Ausbildungen bis hin zu den gängigen Prozessen. Genau wie auf System- und Datenseite, sind auch hier standardisierte und gelebte Schnittstellen dringend nötig.

Synergien zwischen Digitalisierung und Energiewende noch nicht im Fokus

Mit wenigen Ausnahmen, die bewusste Untersuchung und Umsetzung der Potenziale, welche die Digitalisierung für Energieeinsparungen bietet, sind diese in der Praxis noch nicht im Fokus, obwohl internationale Studien bereits das Augenmerk darauf gerichtet haben (zum Beispiel International Energy Agency, 2017). Die Digitalisierungstechnologien werden oft für sich betrachtet, Einsparungen (oder auch vermehrter Energieverbrauch) werden als Nebeneffekte wahrgenommen und nicht näher beleuchtet. Umgekehrt, im tatsächlich umgesetzten Energiemanagement werden noch nicht die vollen Potenziale umgesetzt, die dank der Digitalisierung möglich wären. Dies legt nahe, dass eine ganzheitlichere Betrachtung beider Aspekte, Digitalisierung und Energiemanagement, zielführender wäre – angefangen mit den Ausbildungen, hin zu den Prozessen, Rollen und Tools. Dieses Thema wurde unter anderem auch im sogenannten Shift Project international untersucht (The Shift Project, 2019, sowie in Iddri, FING, WWF France, GreenIT.fr, 2018) adressiert.

V. Industrie

In der Industrie gibt es eine Reihe großer Trends, die durch IKT- bzw. datengetriebene Technologien induziert sind bzw. werden, sich aber in unterschiedlichen Teilsektoren in unterschiedlichen Ausprägungen manifestieren. Der Fokus des Auftrags liegt in diesem Projekt explizit auf Technologien mit starkem Bezug zur Digitalisierung. Die Basis der Betrachtungen bilden die Erfahrungen aus den Aktivitäten der Plattform Industrie 4.0 Österreich, die sich seit 2015 intensiv mit allen Fragen rund um Digitalisierung im Produktionsbereich auseinandersetzt. Darauf aufbauend wurden Interviews mit Experten durchgeführt und ein Screening Workshop organisiert.

Im Allgemeinen gelten für diesen Sektor folgende generelle Betrachtungen im Kontext des gegenständlichen Projekts:

- i. Die Technologieentwicklung ist ein zentraler Treiber von Innovationen im Produktionsbereich, die Diffusionsrate neuer Technologien ist dabei Teilsektor- und Unternehmensgrößen abhängig. Beim ersteren kann man als einen Indikator den Anteil an produktbegleitenden Dienstleistungen bei produzierenden Unternehmen nehmen, in folgender Abbildung (AIT, 2019) dargestellt:

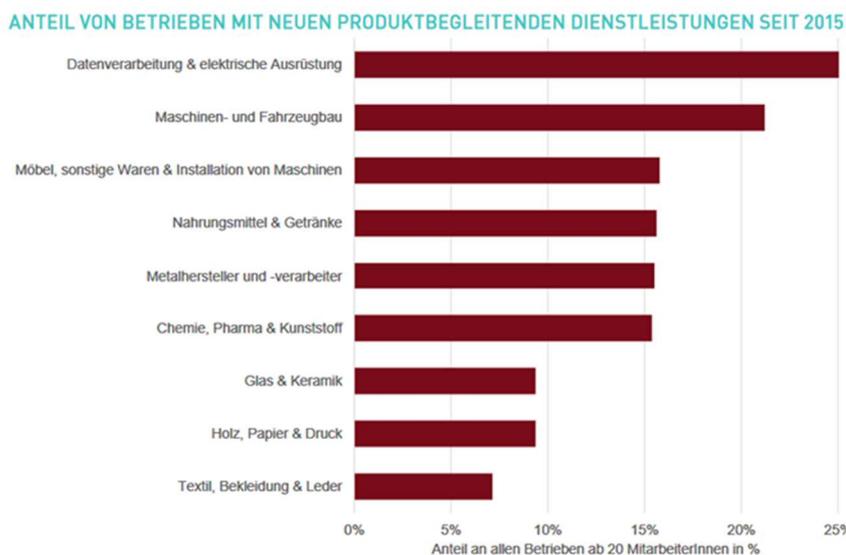


Abbildung 3 - Teilsektorabhängiger Anteil an produktbegleitenden Dienstleistungen bei produzierenden Unternehmen

Die folgende Abbildung (AIT, 2019) zeigt die Diffusionsrate von Industrie-4.0 Technologien in Abhängigkeit der Größe des Unternehmens:

DIFFUSION VON INDUSTRIE 4.0 NACH BETRIEBSGRÖSSE UND IM ZEITVERLAUF

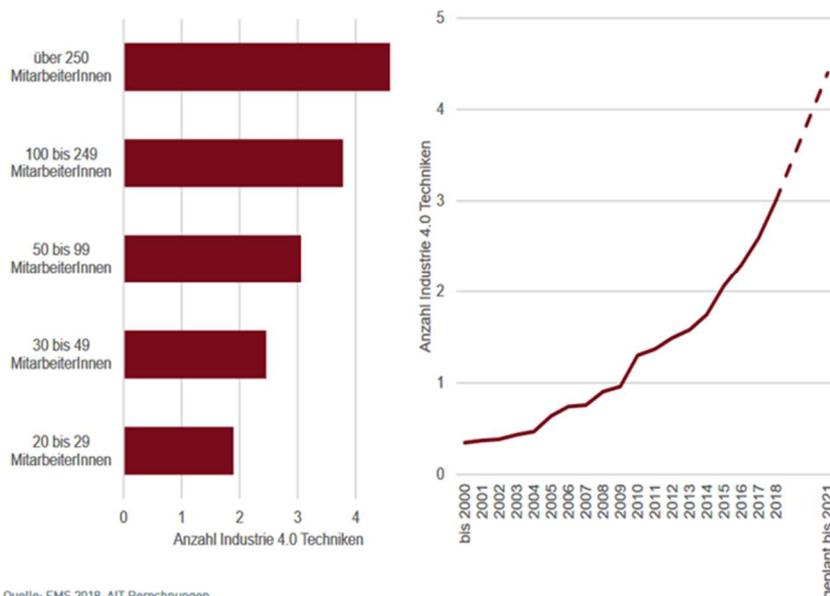


Abbildung 4 - Unternehmensgrößenabhängige Diffusion von Industrie-4.0 Technologien

- ii. Es zeigt sich, dass viele Technologien als Einzeltechnologie bereits gut etabliert sind, der Kombination unterschiedlicher Technologien wird hingegen ein großes Potenzial und damit einen hohen Forschungs- und Entwicklungsbedarf attestiert.
- iii. Es muss – in Hinblick auf die Ableitung von FTI-Maßnahmen – unterschieden werden zwischen (insbesondere energieintensiven) Industrieteilsektoren, die neue Technologien anwenden, und den (Teil-) Sektoren, die neue Technologien entwickeln. Letztere sind insbesondere die Elektro- und Elektronikindustrie, die Maschinenbauindustrie und der IKT Bereich. Für die Ableitung von FTI Maßnahmen sind somit insbesondere diese (Teil-) Sektoren in den Fokus zu stellen, da die Lösungen, die diese entwickeln, die Energieeffizienzsteigerung in der Industrie insgesamt ermöglichen.
- iv. Die Technologien haben über die gesamte Wertschöpfungskette und den gesamten Produktzyklus eine hohe Wirkung, d.h. von der Produktentwicklung, Prototypenbau, Produktion, Maschinenwartung, Nutzung des Produkts/Geschäftsmodelle bis hin zu Recycling/Wiederverwertung.
- v. Es besteht die reale Chance, Wachstum, Energieverbrauch und CO₂ Emissionen zu entkoppeln.

Es gibt eine Vielzahl neuer Digitalisierungstechnologien in Folge werden die am häufigsten genannten und in Bezug auf Energieverbrauch relevantesten aufgelistet.

1. Künstliche Intelligenz

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Es geht um den Einsatz von „intelligenten“ IT-Systemen in konkreten Einsatzgebieten. Systeme mit künstlicher Intelligenz (KI) (Artificial Intelligence – AI) bauen sowohl auf maschinellen Lernmethoden der Informatik, Mathematik als auch auf sogenannten Neuronalen Netzen (NN) auf. Möglich wurde diese Leistungsfähigkeit durch die heute verfügbaren hohen Rechnerleistungen. Durch maschinelle Lernmethoden wird in Daten nach wiederkehrenden Mustern gesucht, Gesetzmäßigkeiten erkannt oder Daten in Klassen eingeteilt. Dies kann regel-basiert, durch Mathematik (z.B. statistische Verfahren) oder auch durch Neuronale Netze erfolgen (Deep Learning Systeme).

Beim „Supervised Learning“ wird der Maschine durch ExpertInnen (Menschen) während des Lernprozesses mit Lerndaten ein Feedback zum Lernerfolg gegeben. Für solche Ansätze braucht es eine festgelegte Zielsetzung für das angestrebte Analyseergebnis; d.h. eine sogenannte „Ground-Truth“. Ein/e Experte/In muss festlegen, welche Daten zum (richtigen) Ergebnis beitragen und welche nicht.

Beim „Unsupervised Learning“ braucht es keine „Ground-Truth“ der Trainingsdaten. Hier lernt das System nur Muster, ohne aber eine Bedeutung der Muster in einem Gesamtkontext zu erkennen. Dadurch kann ein KI-Algorithmus einen „Normalzustand“ eines Systems feststellen und dann in einem Betrieb Abweichungen davon – Anomalien – erkennen.

„Reinforcement Learning“ ist ein dritter grundlegender Ansatz in der KI. Dabei geht es um vortrainierten Neuronalen Netze, welche während des Einsatzes mit Echtdateen weiter trainiert werden.

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen, einige werden in Folge demonstrativ aufgezählt

- Federated Learning / Transfer Learning für eine optimierte Modellauswahl
- Predictive Maintenance
- Predictive Analytics, nicht zuletzt zur Optimierung von Maschinen (z.B. Elektromotoren)
- Optimierung von Produktentwicklungsprozessen
- Symbolische und subsymbolische künstliche Intelligenz für Entscheidungsunterstützungen im Bereich der Datenerfassung und Datenauswahl
- Spracherkennung (insbesondere im Zusammenspiel mit Datenbrillen und Head-Mounted Displays)

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

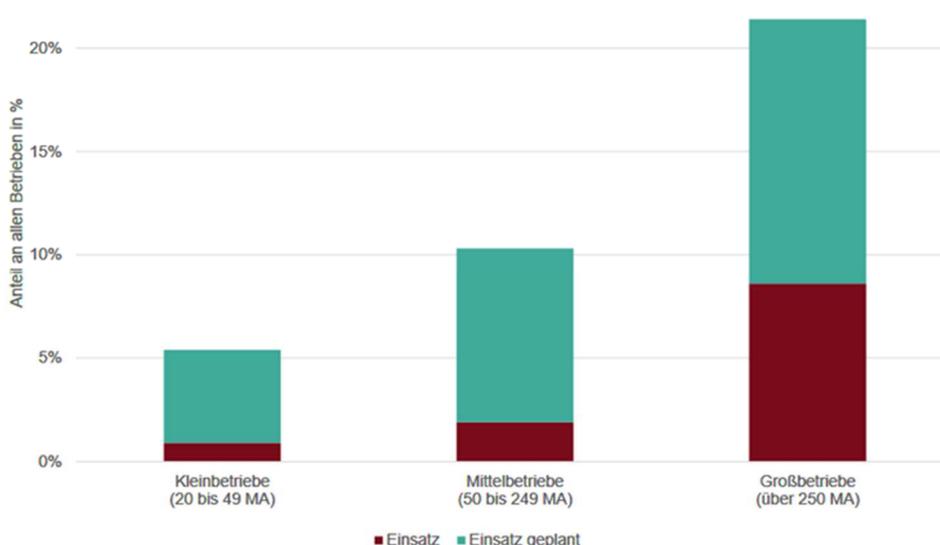
Künstliche Intelligenz entfaltet ihre Wirksamkeit im Zusammenspiel mit anderen Technologien. Wenn man Künstliche Intelligenz als solche betrachtet, wurden von Interviewpartnern Beispiele bezeichnet, die in den TRL bis hin zu 9 eingestuft werden, im Zusammenspiel mit anderen Technologien hingegen wurden Beispiele von TRL 1 aufwärts genannt.

Beispiele für Projekte im Bereich TRL 1 wurden u.a. genannt Federated Learning / Transfer Learning für eine automatisierte Modellauswahl und symbolische sowie subsymbolische KI. KI-Anwendungen in einem mittleren TRL Bereich (4 bis 6) sind Anwendungen rund um Predictive Maintenance, während einige Anwendungen bereits im Betrieb sind (bspw. digitale Assistenzsysteme mit Spracherkennung für Wartungsaufgaben).

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Wir sehen bereits jetzt eine rasche Zunahme der Durchdringung von KI in der Produktion. In den nächsten Jahren wird laut dem aktuellen European Manufacturing Survey (AIT, 2019) die Durchdringung von KI in der Produktion von derzeit 8% auf über 20% steigen, es ist davon auszugehen, dass dieser Trend anhalten wird.

EINSATZ VON KÜNSTLICHER INTELLIGENZ IN DER PRODUKTION



Quelle: EMS 2018, AIT Berechnungen

Abbildung 5 - Durchdringung von KI in der Industrie

Das Potenzial von KI – in Kombination mit anderen Technologien – wird maßgeblich dazu beitragen, den Energieverbrauch und die THG Emissionen deutlich zu senken. Gemäß dem Zentrum für Ressourceneffizienz (VDI) trägt die digitale Transformation zu Einspareffekten bei². Diese betreffen:

- Einsparung von elektrischer Energie
- Verringerung der Fehlerrate
- Einsparung von Lagerraum
- Verringerung des Materialeinsatzes
- Vermeidung von Abfall
- Einsparung von Transporten.

2. Cloud und Edge Computing

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Die Cloud besteht aus zahlreichen miteinander vernetzten und verbundenen Rechnern. Entscheidend für die Nutzung von Cloud-Diensten ist eine schnelle Breitbandverbindung. Diese gewährleistet, dass es keinen Unterschied mehr macht, ob Software und Daten auf dem lokalen oder auf einem weit entfernten Server gespeichert sind. Die Cloud bietet IT-Ressourcen in höchst flexibler Art und Weise an, sodass sie auf nahezu alle Bedürfnisse angepasst werden können. Die Eigenschaften, die eine IT-Infrastruktur zur Cloud machen, wurden zuerst vom National Institute of Standards and Technology NIST definiert (siehe Mell & Grance, 2011). Sie beinhalten folgende Merkmale:

Hierbei wird unterschieden zwischen der reinen Bereitstellung der Computer Hardware als sogenannte Infrastructure as a Service (IaaS), der Bereitstellung von Rechnerplattformen, auf denen Nutzer eigene Software programmieren und ausführen können (Platform as a Service – PaaS) sowie der dienste-orientierten Bereitstellung von Anwendungsprogrammen, die bei Bedarf genutzt werden können (Software as a Service – SaaS) (siehe Reinhart, 2017).

Edge Computing bezeichnet die informationstechnische Verarbeitung von Maschinen- und Gerätedaten On-Premise, also direkt an der Maschine oder nahe vor Ort. Es handelt sich um eine verteilte IT-Architektur, für welche eine dezentralisierte Verarbeitungsleistung charakteristisch ist. Dies ermöglicht eine echtzeitfähige Verarbeitung der generierten Daten. Eine Datenübertragung zur Cloud erfolgt nur mehr für ausgewählte und benötigte Daten in aggregierter Form. Statt Edge Computing wird gelegentlich auch der Begriff Fog Computing genutzt. Der Fokus liegt hier weniger auf den Endgeräten, sondern darauf, die Cloud-Ressourcen näher zu den Anwendungen zu bringen. Ziel ist eine möglichst einfache und effiziente Verbindung über standardisierte Schnittstellen zwischen verschiedenen Systemen hin zu einem funktionierenden Gesamtkomplex zu organisieren. Edge Computing schafft dabei die Basis für die Technologien des Internet of Things (IoT).

Eingesetzt werden können diese Technologien für:

- Modellerstellung
- Modellbildung
- Komprimierung des Modells
- Verteilte Modelle
- Off-Premise Infrastruktur, d.h. Infrastruktur, die nicht direkt dort angesiedelt ist, wo die Datenerhebung stattfindet
- On-Premise Infrastruktur, d.h. Infrastruktur direkt vor Ort
- Datenverarbeitung

Dabei lassen sich unterschiedliche Anwendungen identifizieren, insbesondere in der Produktionsoptimierung, in der (virtuellen) Produktentwicklung, im Bereich Prototypenbau, im Bereich der Wartung und Inbetriebnahme, bei Hardware in the Loop, Software in the Loop, Model in the Loop Anwendungen³, im

² Quelle: entnommen einem Vortrag von Tobias Frerichs, VDI ZRE, Juni 2021.

³ Hardware in the Loop (HiL) bezeichnet ein eingebettetes System, das über Schnittstellen direkt an ein virtuelles Gegenstück (den HiL Simulator) angepasst wird und dient als Nachbildung der realen Umgebung des Systems. Wenn keine Hardware, sondern lediglich eine Software zur Simulation eingesetzt

Bereich der Geräteoptimierung, im Bereich Predictive Maintenance. Dabei ist zu beobachten, dass der Trend immer mehr dahin geht, dass das Edge Device zunehmend nahe an die Anwendung kommt, teilweise bereits direkt im Werkzeugträger verbaut wird., Ebenso für neue Geschäftsmodelle entlang des gesamten Produktlebenszyklus.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Von den Interviewpartnern wurde Cloud/Edge in Bezug auf TRL von 1 – 9 eingeschätzt, je nachdem, welche Technologiekombinationen und Anwendungen im Fokus stehen. Für MES (Management Execution Systems) und ERP (Enterprise Resource Planning) sind die Systeme bereits auf TRL Stufe 9. Wenn es hingegen um Datenteilen entlang der Wertschöpfung geht, um einen gemeinsamen Zugriff auf Maschinenzustandsdaten etc. sind teilweise noch Grundlagenarbeiten notwendig.

Derzeit gibt es eine Reihe an Barrieren zur Einführung bzw. zur Verbreitung:

- Security
- Rechenleistung
- Übertragungsleistung der Daten
- Nutzung(-snotwendigkeit) unterschiedlicher Clouds

Vor allem hinsichtlich des zweiten und dritten Aspekts sind bis zum Jahr 2040 maßgebliche Fortschritte zu erwarten.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Die Marktdurchdringung von Cloud Komponenten nimmt laufend zu, 51% der Unternehmen gehen davon aus, 2025 mehr als die Hälfte ihrer Anwendungen in der Cloud zu haben, durch die aktuelle Pandemie hat sich dieser Trend verstärkt⁴. Dennoch gibt es einige Hürden, darunter Security Fragen, Angst vor Ausfällen der Cloud und Mangel an qualifiziertem Personal.

Durch die zentrale Zur-Verfügung Stellung von Rechenleistung und Daten auf der Cloud gibt es ein Potenzial zur Einsparung von Energie und THG Emissionen, wobei diese Einsparungen von den Experten bzw. Expertinnen als gering eingestuft wurden. Bei indirekten Effekten durch Produktionsprozessoptimierungen in Kombination mit anderen Technologien wurde ein höheres Potenzial eingeschätzt.

3. Simulation und digitaler Zwilling

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Die Simulation ist eine Vorgehensweise zur Analyse von Systemen, die für die theoretische oder formelmäßige Behandlung zu komplex sind. Dies ist überwiegend bei dynamischem Systemverhalten gegeben. Bei der Simulation werden Experimente an einem Modell durchgeführt, um Erkenntnisse über das reale System zu gewinnen. Im Zusammenhang mit Simulation spricht man von dem zu simulierenden System und von einem Simulator als Implementierung oder Realisierung eines Simulationsmodells. Letzteres stellt eine Abstraktion des zu simulierenden Systems dar (Struktur, Funktion, Verhalten). Der Ablauf des Simulators mit konkreten Werten (Parametrierung) wird als Simulationsexperiment bezeichnet. Dessen Ergebnisse können dann interpretiert und auf das zu simulierende System übertragen werden.

In der Industrie gibt es digitale Zwillinge (Digital Twins) als virtuelle Modelle / Simulationen beispielsweise für Produkte, Produktionsanlagen, Prozesse und Dienstleistungen. Sie können auch schon vor dem realen Zwilling existieren, zum Beispiel als Designmodelle künftiger Produkte. Und sie können dazu dienen, Daten aus dem Einsatz der realen Zwillinge zu analysieren und auszuwerten. Sie haben unterschiedlichste Zwecke und Funktionen. Ihr besonderer Wert für die Industrie ergibt sich aus der Einsparung physikalischer Prototypen und der Möglichkeit, Verhalten, Funktionalität und Qualität des realen Zwillings unter jedem relevanten Aspekt zu simulieren. Dieser Wert kann für alle Teile der Wertschöpfung über den gesamten Lebenszyklus von Produkten, Anlagen und Dienstleistungen genutzt werden.

Anwendungen gibt es

- Produktentwicklung
- in der Produktion, Intralogistik, sowie Infrastruktur (u.a. Gebäudeinfrastruktur)
- Predictive Maintenance

wird, spricht man von Software in the Loop (SiL). Entsprechend wird bei Model in the Loop ein Modell virtuell getestet.

⁴ Siehe <https://home.kpmg/at/de/home/insights/2021/06/cloud-monitor-studie-2021.html>

- In der Simulation des physischen Objekts: Darstellung zur Erfassung komplexer Systeme (Produktionsplanung, Steuerung, Logistik, Instandhaltungsmaßnahmen, Supply Chain)
- Selbstoptimierung von Produktionssystemen
- Circular Economy

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Je nach Anwendung streuen auch hier die Angaben bezüglich TRL von 1 bis 9: In einigen Bereichen, z.B., wenn es um verteilte Modelle (d.h. aus einzelnen Applikationsmodellen entsteht ein großes virtuelles gemeinsames Unternehmensmodell) geht, befinden wir uns noch in der Grundlagenforschung; in vielen Bereichen sind wir bereits in der breiten Anwendung, beispielsweise bei der Simulation von Produktionsanlagen, optimierten Produktionsabläufen, Optimierung der Intra-logistik, aber auch im Bereich des Bauens (BIM – Building Integration Modelling) für Betriebsgebäude.

Barrieren beinhalten eine veraltete IT-Infrastruktur, mangelnde Qualifikation der MitarbeiterInnen und Kosten für den Aufbau eines digitalen Zwillings.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Simulation und Digitaler Zwilling haben ein hohes Potenzial zu einer umfassenden Marktdurchdringung. Die Auswirkung auf Energieverbrauch und THG Emissionen werden sehr unterschiedlich bewertet, nämlich von starken Einsparungen bis gleichbleibend, je nachdem, inwieweit man auch indirekte Effekte in die Betrachtung mit aufnimmt.

4. Additive Fertigung

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Im industriellen Kontext wird 3D-Druck zumeist als Additive Fertigung (auch Additive Manufacturing) bezeichnet. Die Additive Fertigung eignet sich für die Fertigung von Anschauungs- und Funktionsprototypen (Rapid Prototyping⁵), Endprodukten (Rapid Manufacturing) sowie von Werkzeugen und Formen (Rapid Tooling). Gerade im Bereich der industriellen Anwendungen gibt es eine hohe Varianz an Verfahren und Anwendungen, die den spezifischen Anforderungen der Additiven Fertigung geschuldet ist. Zur additiven Fertigung zählen auch Verfahren, die mit dem allgemeinen Verständnis des 3D-Drucks wenig zu tun haben. Beispielsweise beruht das Laserstrahlschmelzen nicht auf Materialextrusion, sondern auf der partiellen Verschmelzung von feinem Pulver in einem Pulverbett. Auch die Anwendungsgebiete der Additiven Fertigung unterscheiden sich grundsätzlich. Beim Rapid Prototyping geht es darum, schnell Anschauungsmodelle herzustellen, an die meist keine hohen Anforderungen gestellt werden. Mit Rapid Tooling werden hingegen hochspezialisierte Fertigungswerkzeuge hergestellt, die extremen mechanischen Anforderungen gerecht werden.

Anwendungen finden sich derzeit vornehmlich im Prototypenbau, bei der Produktion von Kleinserien oder komplexen Geometrien oder individuellen Produkten. Zudem ist die additive Fertigung wichtig bei der Implementierung digitaler Wertschöpfungsketten (inkl. Datenerfassung und Konstruktion) bei Anwendungen in der verteilten Logistik und bei der Ersatzteillagerhaltung.

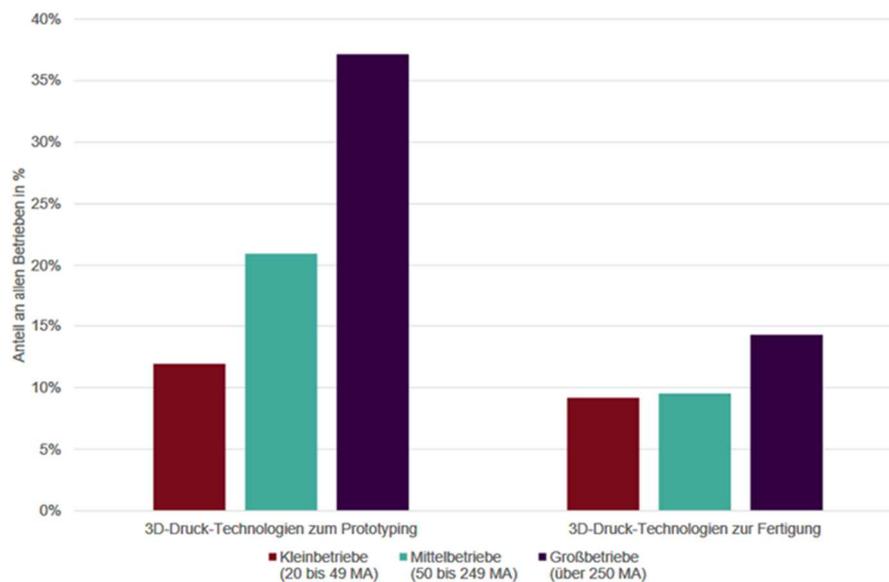
TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Gegenwärtige Barrieren gibt es einige: der 3D-Druck im Vergleich zu anderen Produktionsverfahren langsam. Das TRL variiert derzeit je nach eingesetzter Technik: Während im Bereich des Drucks von Kunststoffbauteilen und von Metallbauteilen bereits viele Geräte im Einsatz sind (TRL 9), gibt es erste Ansätze, Werkstoffe mit zusätzlichen Funktionen zu drucken (z.B. unterschiedliche Härten, leitfähig/nicht leitfähig), wobei das TRL mit 3 bis 4 bewertet wird.

Eine wesentliche Barriere ist die Druckgeschwindigkeit, die bei Massenproduktion nicht an herkömmliche Verfahren herankommt. Entsprechend ist der Einsatz in der Fertigung bisher auf Nischenbereiche beschränkt, im Bereich des Prototypenbaus, wo es vielfach um Einzelfertigungen geht, ist die Durchdringungsrate deutlich höher (AIT, 2019):

⁵ Siehe <https://www.mission-additive.de/was-ist-rapid-prototyping-a-921983/>

EINSATZ VON 3D-DRUCK IN DER PRODUKTION

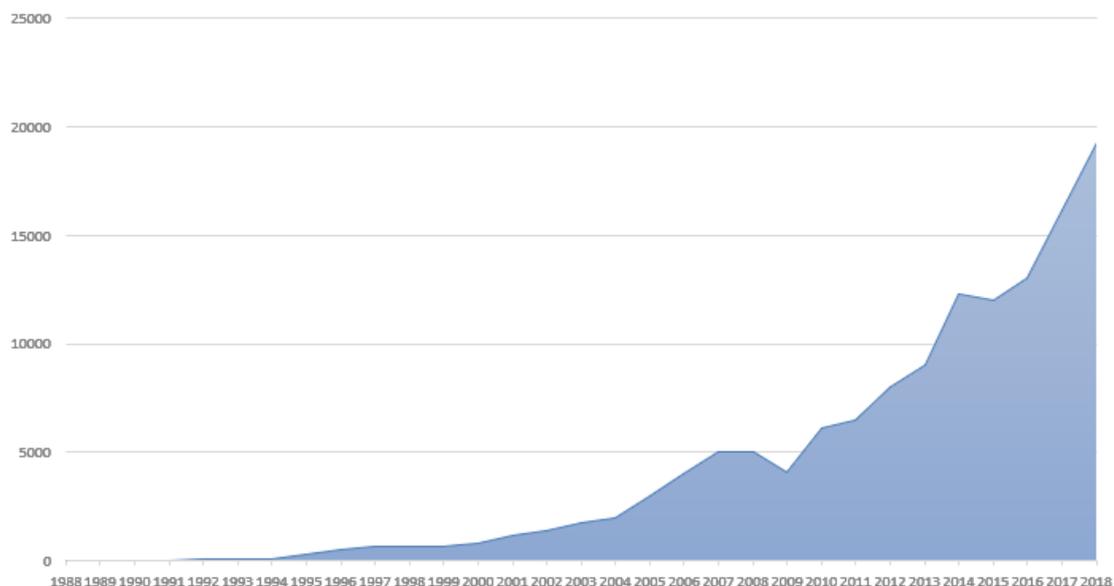


Quelle: EMS 2018, AIT Berechnungen

Abbildung 6 - Durchdringung von 3D-Druck in der Industrie

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Die Marktdurchdringung wird stark zunehmen, man kann an der steigenden Anzahl verkaufter Geräte die Diffusionsrate ableiten. Die ExpertInnen gehen von einem unveränderten Energieverbrauch, aber auf Grund der indirekten Effekte von einem Rückgang der THG Emissionen durch additive Fertigungstechnologien aus. Dies resultiert daher, dass insbesondere bei älteren Geräteteilen keine Ersatzteillagerhaltung mehr notwendig ist, sondern „auf Bedarf“ Bauteile hergestellt werden können.



Industriegeräte: Preis > 5000 US\$

www.ams-austria.com + initiative@ams-austria.com

Quelle: Wohlers Report 2019 (ISBN 978-0-9913332-5-7)

Abbildung 7 - Verbreitung von 3D-Druck Industriegeräten weltweit

5. Internet of Things

Kurzbeschreibung und Anwendungen

IoT (Internet of Things) ist ein Sammelbegriff für Technologien einer globalen Infrastruktur der Informationsgesellschaft, die es ermöglicht, virtuelle und reale Objekte miteinander zu vernetzen und sie durch Informations- und Kommunikationstechnologien zusammenarbeiten zu lassen.

Neue und kostengünstige IoT-Technologien, welche die physische mit der digitalen Welt verbinden, revolutionieren die traditionelle Fertigungsindustrie. Es handelt sich hierbei nicht um eine bestimmte neue Technologie oder Erfindung, sondern eine Reihe etablierter Technologien, die weiterentwickelt und intelligent verknüpft werden. Diese Technologien nutzen meist ein Ökosystem und ein technologisches Umfeld, das die Verbindung verschiedener physischer Objekte ermöglicht; so können mit einfachen technischen Mitteln profitable und (produktions-) kostengünstige Produkte am Markt angeboten werden.

IoT ist die Basis für alle weiteren Digitalisierungstechnologien, entsprechend sind die Anwendungen vielfältig und umfassen

- das Monitoring (z.B. von Prozessen, der Produktion, Logistik)
- die Automatisierung von Maschinen
- die Steuerung von Maschinen
- Smart Buildings
- das Tracking von Waren und Assets
- Optimierung der Supply Chain

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

IoT Lösungen sind bereits weit verbreitet, entsprechend ist die Einschätzung der Experten in Bezug auf TRL bei 7-9.

Unter den derzeitigen Barrieren ist die Tatsache zu nennen, dass, um die Daten dieser smarten Produkte verarbeiten zu können, eine passende Infrastruktur geschaffen werden muss, samt Speicher-/Cloud-, Plattform- und Analyse-Tools. In diesem Umfeld ist Compliance eine zentrale Unternehmensaufgabe und insbesondere Cyber Security, funktionelle Sicherheit (Safety) und Unverfälschbarkeit der Betriebsdaten sehr kritische Themen. Die erforderliche Technologieinfrastruktur ist dann Teil des Produkts und muss vom Hersteller betrieben und verbessert werden, solange das Produkt existiert.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

IoT hat bereits jetzt eine hohe Marktdurchdringung, diese wird noch weiter zunehmen. Die Schätzung der ExpertInnen in Bezug auf Energieverbrauch und THG Emissionen bis 2040 ist bei „gleichbleibend“, da Einsparungen durch Optimierungen einem höheren Energieverbrauch durch Datengenerierung, Transport und Auswertung gegenüberstehen.

6. Robotik und Autonomous Guided Vehicles

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Robotik ist ein wesentlicher Treiber der Automatisierung. In der Industrie wird Automatisierung derzeit mit der Existenz der Automatisierungspyramide und deren Produkten verknüpft. Die Automatisierungspyramide dient der Einordnung von Techniken und Systemen in der Leittechnik und stellt unterschiedliche Ebenen der Fertigung dar. Das betrifft einerseits die Planung und Steuerung der Produktion durch die Unternehmens- sowie Betriebsleitebene top down und andererseits die Datenerfassung und Datenaggregation von der Feldebene über die Steuerungsebene bis zur Unternehmensleitebene.



Abbildung 8 - Automatisierungspyramide⁶

Nach Auflösung der Automatisierungspyramide, vor allem durch die Trennung zwischen Hardware und Software aber auch die Verteilung von Automatisierungsaufgaben auf mehrere Ebenen besonders in verteilten Systemen (Edge/Fog in Kombination mit Cloud) ergeben sich unterschiedliche zukünftige Automatisierungsszenarien. Besonders die Modularisierung der Produktionsanlagen sowohl bei Manufacturing als auch in der Prozessindustrie erfordert eine neue Art der Automatisierung für verteilte Systeme. Als Extremszenario gilt eine Lot-size-1 Produktion ohne zentrale Automatisierung über Peer-to-Peer Kommunikation und Vernetzung intelligenter Produktionskomponenten: „das Werkstück sucht sich den Weg durch die Produktionsanlage, weil es weiß, welches Produkt es werden soll“.

Autonomous Guided Vehicles (AGV) sind selbstfahrende „Roboter“, die ihren Einsatz in der Intralogistik haben. Anwendung umfassen unter anderem:

- Automatisierung
- Unterstützung bzw. Ersatz von sich wiederholenden manuellen Tätigkeiten in der Produktions-, Lager-, Montage- und Transportlogistik

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Es gibt einen Trend in Richtung kooperativer und kollaborativer Roboter, eine wesentliche Barriere dabei sind gesetzliche Rahmenbedingungen insbesondere in Richtung Arbeitssicherheit. Roboter selbst sind schon lange im Einsatz und die Wachstumsraten sind hoch.

Roboter sind schon seit Jahrzehnten im Einsatz, entsprechend liegen „herkömmliche“ Roboter bei TRL 9. Durch kooperative und kollaborative Roboter gibt es eine Reihe an Anforderungen an Arbeitssicherheit. Taktile Roboterarme, Real-Time Robotersteuerungen über 5G etc. sind hingegen in sehr frühen Phasen der Entwicklung (TRL 3-4). In der Grundlagenforschung befinden sich Ideen, die KI-Anwendungen in der Robotik miteinander verknüpfen.

⁶ Quelle: <https://imk.engineering/industrie-4.0.html>

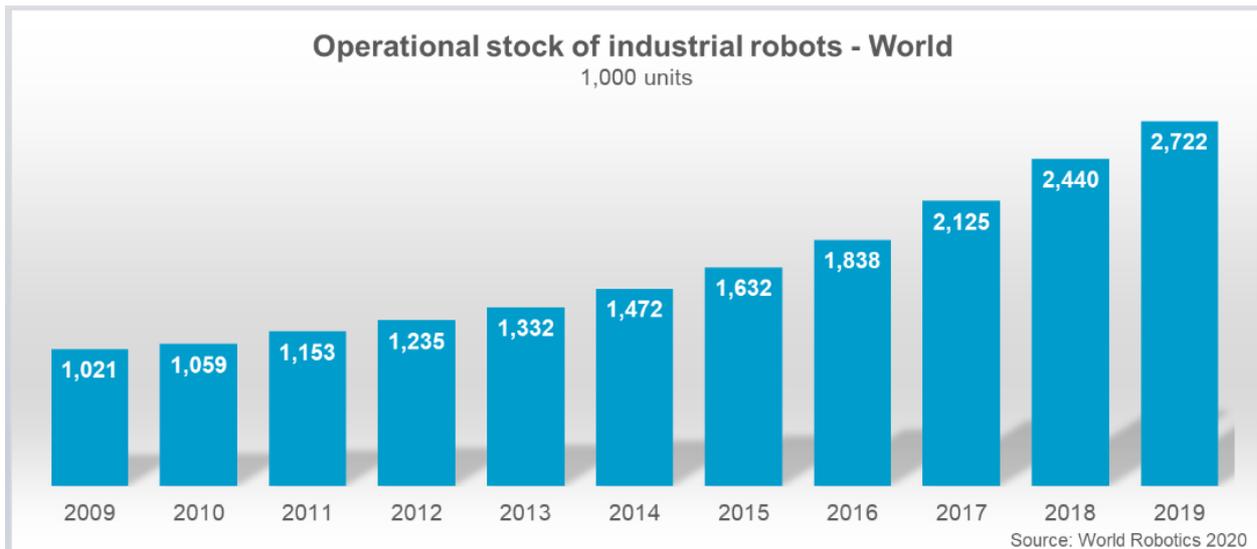


Abbildung 9 - Weltweite Verbreitung der industriellen Robotik

Kooperative und kollaborative Roboter stellen dabei nur einen kleinen Anteil dar und es gibt noch einen hohen Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

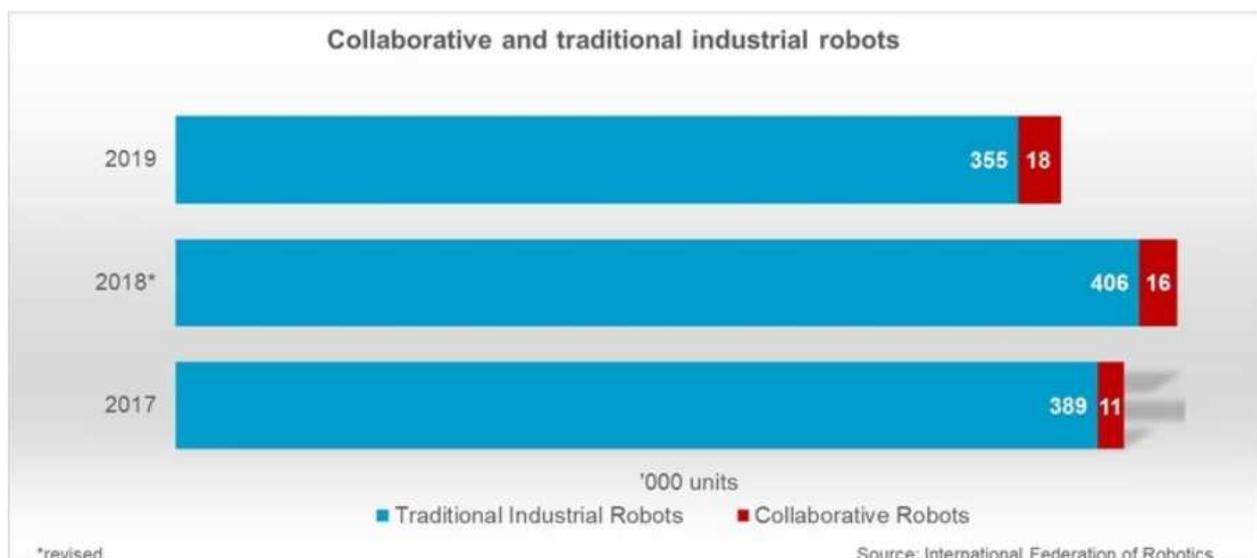
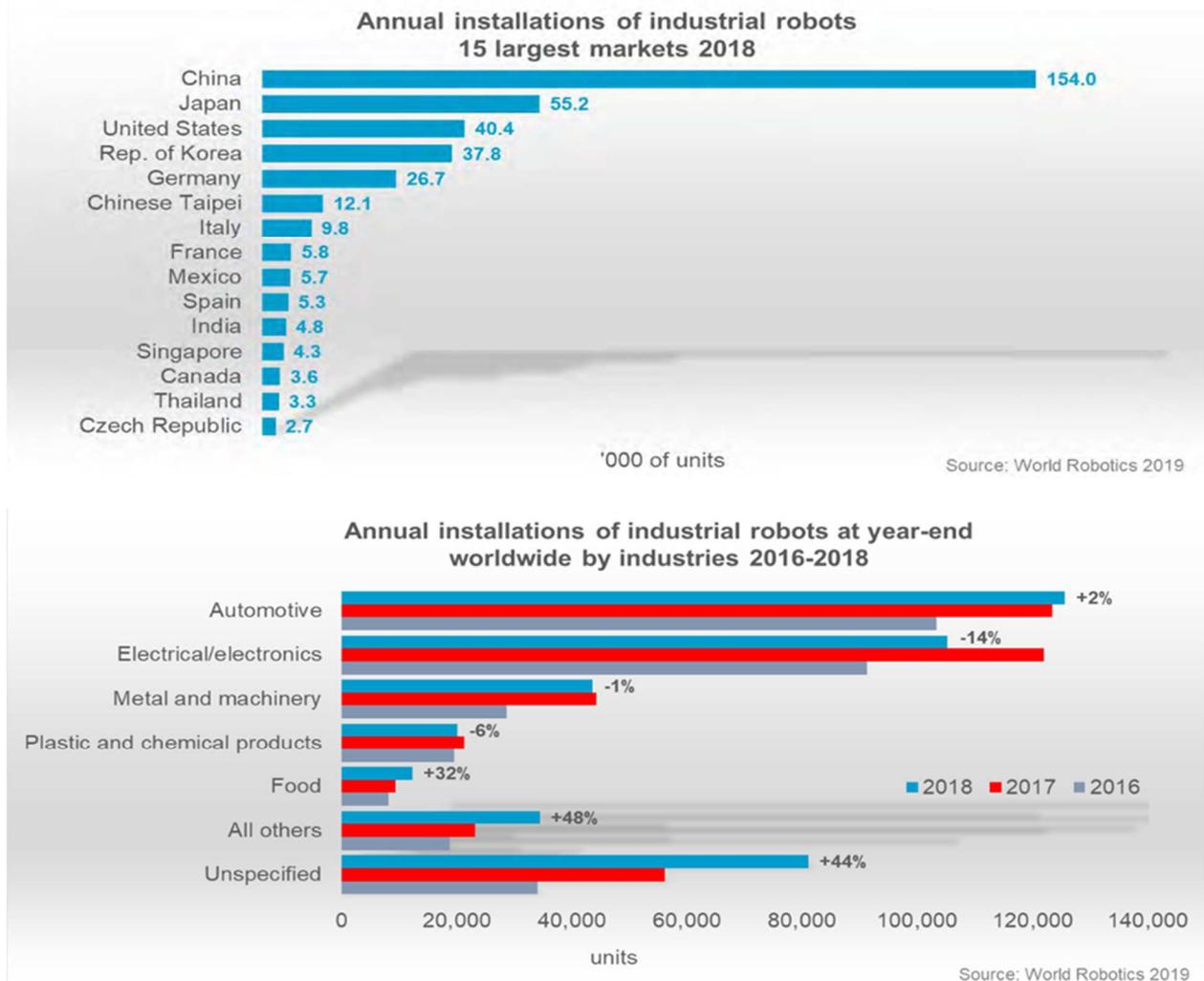


Abbildung 10 - Anteile der kollaborativen Robotik

Entsprechend ist die Einschätzung der ExpertInnen bei TRL zwischen 4 und 9.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

In einigen Teilsektoren (bspw. Elektro- und Elektronikindustrie, Automotive) sind Roboter stark im Einsatz, in anderen Bereichen, insbesondere in solchen, wo geringe Stückzahlen produziert werden, wenig. Betrachtet man die Roboterdichte weltweit, so kann man eine starke Korrelation Roboterdichte – Fahrzeugproduktion feststellen.



Die ExpertInnen haben angegeben, dass aus ihrer Sicht der Einfluss auf Energieverbrauch und THG-Emissionen moderat positiv ist, da die Roboter zunehmend energieeffizienter werden, durch die Anbindung an IoT Systeme es aber im Gegenzug einen höheren Energieverbrauch gibt. Ein Experte hat im Rahmen des Interviews von 10-15% Energieeinsparungspotenzial bei Roboter – IoT Lösungen gesprochen.

7. Extended Reality und Virtual Reality

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Folgende Begriffe umspannen das gesamte derzeitige Spektrum der Technologien und Anwendungen:

- (i) XR– ist der Überbegriff für alle Extended-Reality (xR) Systeme (VR, MR, AR). Es bezeichnet sowohl miteinander verschmolzene virtuelle und reale Umgebungen, sowie rein virtuelle Umgebungen. Zur Realisierung nutzt man Smartphones, Brillen, Helmen, etc.
- (ii) AR – Als Augmented Reality wird die Integration von virtuellen Informationen in die reale Umgebung bezeichnet. Es handelt sich dabei nur um statische Informationen oder Bilder und es besteht keine Interaktion zwischen realer und virtueller Welt.
- (iii) MR – Als Mixed Reality wird die Verbindung der virtuellen und realen Welt bezeichnet. Es kommt zu einer Verschmelzung, wobei sowohl in die reale Welt, virtuelle Objekte integriert werden können, als auch umgekehrt. Diese Welten interagieren miteinander und der Benutzer kann ebenfalls mit den virtuellen Komponenten interagieren.

- (iv) VR – Als Virtual Reality wird die Darstellung und gleichzeitige Wahrnehmung einer interaktiven virtuellen Umgebung bezeichnet. Die virtuelle Welt ist im Drei-Dimensionalen erlebbar und man kann damit interagieren. Dabei besteht keine Verbindung zur Außenwelt.

Extended Reality/Virtual Reality findet in unterschiedlichen Bereichen Anwendungen:

- Verteiltes Arbeiten
- Fehlervermeidung und damit Energievermeidung
- Qualitätsmanagement (Visualisierung von Daten z.B. zum Erkennen von Ausreißern)
- Virtuelle Konstruktion
- Kreislaufführung der Produkte
- Schulungen, Anleitungen und Trainings
- Simulation
- Virtuelles Display

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Die Verbreitung von xR Lösungen ist bereits hoch und nimmt zugleich stark zu. Eine wesentliche Barriere war bisher die Übertragbarkeit großer Datenmengen. Durch den Glasfaserausbau und 5G werden in diesem Bereich Anwendungen zunehmen. TRL wird derzeit bei 6-9 angesetzt.

Barrieren liegen (derzeit noch) in der Prozessorleistung, wenn komplexe xR Systeme im Einsatz sind. Zunehmend gibt es Lösungen über HMDs (Head-Mounted Displays), bei diesen spielen das Gewicht der Datenbrille und eine mögliche Temperatursteigerung bei Vollast eine Rolle. Zudem ist die „Tragbarkeit“, d.h. wie lange ein Head-Mounted Display getragen werden kann, ein limitierender Faktor.

Teilweise sind derzeit auch Datenübertragungsraten zu gering, um real-time xR Anwendungen durchzuführen.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

xR Technologien (im weiteren Sinne) haben bereits eine hohe Marktdurchdringung, diese wird in den kommenden Jahren weiter zunehmen. Der direkte Einfluss auf Energieverbrauch und THG Emissionen wird mit gleichbleibend angegeben. Bei indirekten Effekten (z.B. Reduktion von Fahrten, virtuelle Produktentwicklung) gehen die ExpertInnen von einem positiven Beitrag zum Energieverbrauch und THG Emissionen aus.

Übersicht

Folgende Tabelle fasst die dargestellten Technologiekombinationen für den Sektor Industrie zusammen, wobei unter Potenzial 2040 die Gesamtschätzung bzgl. der direkten und indirekten Effekte auf Energieverbrauch und THG-Emissionen angegeben ist (++ steht für hohes Potenzial, + für niedriges Potenzial, +/- für unklar oder gleichbleibend, - und – für steigenden Energiebedarf bzw. steigende Emissionen).

Technologiekombination	TRL 2021	Potenzial 2040
Künstliche Intelligenz	1-9	++
Cloud und Edge Computing	1-9	+
Simulation und Digitaler Zwilling	1-9	+/-
Additive Fertigung	3-9	+
Internet of Things	7-9	+/-
Robotik und Autonomous Guided Vehicles	3-9	+
Extended Reality und Virtual Reality	6-9	+

Weitere Technologien

Eine Reihe weiterer Digitalisierungstechnologien/Anwendungen wurden genannt, die in Kombination mit den dargestellten Technologien insgesamt eine wesentliche Rolle spielen. Diese Technologien sind vielfach Enabler der obengenannten Technologien, haben aber derzeit als stand-alone Technologie keine so große Bedeutung im Bereich der Produktion.

Darunter waren:

- 5G, Lora Wan, Sig Fox
- Business Intelligence
- Block Chain
- Sensorik
- Veränderte Energieerzeugung für die Produktion, z.B. durch PV und dahinterstehende komplexe Energieoptimierungssysteme (Energiemanagementsysteme)
- CAD
- MES/ERP Systeme zur verbesserten Planung
- Assistenzsysteme (z.B. Datenbrillen, Exoskelette, digital Devices)

Akteure in Österreich

Es gibt eine Vielzahl an Akteuren in Österreich, entsprechend ist die Liste nicht vollständig

- Universitäten: TU Wien, TU Graz, Montanuniversität Leoben, Johannes-Kepler-Universität, Uni Innsbruck, mit unterschiedlichen Instituten;
- Fachhochschulen: FH Technikum Wien, FH Oberösterreich, FH Joanneum, FH St. Pölten, FH Vorarlberg, FH Kärnten, FH Kufstein, ...;
- Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen: AIT, Fraunhofer, Joanneum Research, KNOW-Center, VRVis, Pro2Future, Center for Digital Production, Profactor, FOTEC, Recendt, SCCH, SBA Research, und viele weitere;
- Eine Vielzahl an Unternehmen sind im Bereich der Forschung und Entwicklung im Kontext der Produktion tätig. Eine sehr grobe Indikation kann die Teilnahme österreichischer Unternehmen an der Programminitiative „Produktion der Zukunft“ vermitteln, einige der teilnehmenden Unternehmen sind in einer Broschüre⁷ zusammengefasst.

VI. Verkehr

Für den Verkehrssektor wurde in den Erhebungen und Befragungen ein Fokus auf den öffentlichen Verkehr und auf privaten Individualverkehr gelegt. Die Basis der Betrachtung ist der Mobilitätsmasterplan 2030 (BMK, 2021), der eine Klimaneutralität bis 2040 vorsieht und dabei Einsparungen in drei Dimensionen anregt, nämlich:

- 1.) Vermeidung von Fahrten; wenn Fahrten nicht vermieden werden können
- 2.) Verlagerung (z.B. von der Straße auf die Schiene); wenn diese nicht möglich sind
- 3.) Verbesserung

Weitere Verkehrsarten (Schifffahrt, Luftfahrt, Radverkehr, Fußgängerverkehr) haben im Kontext des Energieverbrauchs und der Emission von THG entweder einen vergleichsweise geringeren Beitrag, insbesondere wenn es um Digitalisierung geht oder im Falle der Luftfahrt gibt es wenige Unternehmen in Österreich, die an konkreten Lösungen arbeiten, d.h. der Hebel zur Verbesserung wird nicht aus Österreich gesteuert. Entsprechend wurden diese Bereiche nicht gesondert betrachtet.

Eine generelle Betrachtung des Verkehrssektors im Kontext des gegenständlichen Projekts ergibt folgende Aspekte:

- Im Gegensatz zum Sektor Industrie, der stark technologiegetrieben ist (Technology Push), ist der Sektor Verkehr stark von durch die Politik vorgegebenen Zielen getrieben (Technology Pull). Diese Ziele machen zum Beispiel hinsichtlich CO₂ Grenzwerte, CO₂ Neutralität, Klimaneutralität Vorgaben, die zu einem bestimmten Zeitpunkt einzuhalten sind. Bei CO₂ Emissionen von ganzen Fahrzeugflotten drohen z.B. bei Nicht-Einhaltung Strafzahlungen. Die Technologie ist dabei ein Lösungsweg, um diese Grenzwerte bzw. Ziele zu erreichen.
- Insbesondere im privaten Individualverkehr gibt es eine Reihe nicht-technologischer Faktoren, die eine gravierende Auswirkung auf den Energieverbrauch haben (z.B. Fahrverhalten, Pendelverhalten, Entwicklung der Anzahl der Home-Office Tage). Entsprechend wurde im Rahmen der Interviews auch betont, dass das Verhalten des Menschen die größte Auswirkung auf Energieverbrauch und THG Emissionen hat.

⁷ Siehe https://www.ffg.at/sites/default/files/downloads/Produktion%20der%20Zukunft%202019_final.pdf

- Der Mobilitätsmasterplan mit den drei Betrachtungsebenen Vermeidung – Verlagerung – Verbesserung erwähnt zwar das Potenzial von Digitalisierung, aber die großen Hebel werden durch andere Maßnahmen erreicht, die nicht direkt mit Digitalisierung zu tun haben oder wo Digitalisierung nur ein indirekter Enabler ist (z.B. Reduktion von Dienstreisen durch Videotelefonie, oder Remote Work durch digitale Devices).

1. Condition-Based Maintenance und Predictive Maintenance

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Durch eine optimierte Wartung von Schienenfahrzeugen und Infrastruktur (Tunnels, Schienen, Weichen) werden die Zuverlässigkeit des Systems Bahn erhöht, die Kosten gesenkt und die Laufleistung von Fahrzeugen erhöht. Das wiederum erhöht die Auslastung der Fahrzeuge und vermeidet dadurch Verkehr. Durch Sensorik, Vergleich von Modellen mit der Wirklichkeit und Einsatz von Künstlicher Intelligenz können Condition-Based Monitorings und Predictive Maintenance Anwendungen durchgeführt werden.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Wiewohl es bereits im Feld befindliche Systeme gibt (TRL 7 bis 9), ist die Verbreitung dieser Systeme derzeit noch nicht hoch. Einer der Barrieren ist, dass insbesondere bei Schienen und Weichen sehr hohe Anforderungen an die Robustheit dieser Systeme gestellt werden. Extreme Temperaturschwankungen, Wetterereignisse, oftmals kein Stromzugang, Probleme bei der Datenübertragung sind einige dieser Barrieren. Entsprechend befinden sich noch viele Systeme in einem Prototypenstadium (TRL 5 bis 7). Im Bereich Fahrzeuge (PKW und LKW) gibt es bereits gut etablierte Systeme für Condition-Based Monitoring Ansätze, die aber laufend um weitere Funktionalitäten erweitert werden. Entsprechend ist die Einschätzung bei TRL 3-9.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial zur Marktdurchdringung ist hoch, der positive Einfluss auf Energieverbrauch und THG-Emissionen wird von den Experten und Expertinnen als eher gering eingeschätzt. Indirekte Effekte können dabei allerdings eine höhere Rolle spielen. Diese umfassen unter anderem eine bessere Auslastung der bestehenden Infrastruktur, weniger Stillstandzeiten von Fahrzeugen und Fahrzeuggarnituren und eine bessere Planbarkeit von Wartungen.

2. Simulation und Digitaler Zwilling

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Die Simulation oder Simulierung ist eine Vorgehensweise zur Analyse von Systemen, die für die theoretische oder formelmäßige Behandlung zu komplex sind.

Im Bereich der Mobilität finden digitale Zwillinge Anwendung im Bereich digitaler Güterzüge und alternativer Antriebe, ein weiterer Anwendungsbereich ist die Fahrgaststeuerung aber auch Simulation für unterschiedliche Ereignisse (z.B. Hochwasser). Zudem findet der Digitale Zwilling zunehmend Verwendung in der Betriebssteuerung dadurch, dass die Infrastruktur digital abgebildet wird. Dabei kann der digitale Zwilling auch schon vor dem realen Zwilling existieren, zum Beispiel als Designmodelle künftiger Produkte.

Weitere konkrete Anwendungen im Bereich Mobilität betreffen Stausimulationen, Optimierung von Logistikwegen auf Basis von verfügbaren Wetter-, Baustellen-, und Verkehrsdaten, die Simulation von Bewegungsmustern von Menschen (z.B. für Großereignisse), etc. Zudem spielen Simulation und digitaler Zwilling eine zentrale Rolle bei der Entwicklung von Systemen für autonome Fahrzeuge, nicht zuletzt, um Trainingsdaten zu erhalten und Simulation zum Training.

Und der digitale Zwilling kann dazu dienen, Daten aus dem Einsatz der realen Zwillinge zu analysieren und auszuwerten. Sie haben unterschiedlichste Zwecke und Funktionen.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Simulation/Digitaler Zwilling ist bereits eine gut etablierte Technologie, entsprechend ist der TRL hoch (5 bis 9). Gleichwohl liegt in der Nutzung dieser Technologie viel Potenzial, beispielsweise wenn unterschiedliche Mobilitätslösungen und Verkehrsträger bzw. Verkehrsträger und Infrastruktur gekoppelt werden.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial zur Marktdurchdringung ist hoch, der Einfluss auf den Energiebereich/THG-Emissionen sieht laut ExpertInnen einen kleineren positiven Effekt 2040 gegenüber dem aktuellen Status. Simulationen / Digital Twin ermöglichen eine präzisere Planung, können unterschiedliche Szenarien bewerten (zum Beispiel Schneefall, Hochwasserereignisse) und damit Personen und Warenströme durch Simulation optimieren, bessere Vorbereitung für außerordentliche Ereignisse ermöglichen, aber auch den Energieverbrauch und THG-Emissionen reduzieren (zum Beispiel kann durch vorausschauendes Fahren unter Einbeziehung von Topologie, Verkehrslage, Platooning etc. der Spritverbrauch bei LKWs um bis zu 25% gesenkt werden – weitere Optimierungspotenziale können noch gehoben werden).

3. Automatisierte Betriebsführung im Schienenverkehr

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Die automatisierte Betriebsführung ermöglicht reduzierte Blockabstände von Zügen und damit eine deutlich bessere Auslastung der bestehenden Infrastruktur und damit eine erhöhte Kapazität. Dabei erfolgt eine Real-time Erfassung von Daten und Zügen wobei alle Züge auf dieselben Informationen zurückgreifen können, es werden Beschleunigung und Bremsen optimiert etc.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Die automatisierte Betriebsführung ist bereits in der Anwendung (TRL 9).

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Die automatisierte Betriebsführung führt laut ExpertInnen zu geringen direkten Verbesserungen des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen, weist aber bedeutende indirekte Effekte auf, nämlich durch die bessere Auslastung der bestehenden Schieneninfrastruktur (zum Beispiel geringere Abstände zwischen Zügen, genaue Kenntnis über die Anzahl der angekoppelten Waggons, Zeitersparnis beim Rangieren, Kenntnis der Geschwindigkeiten der Züge).

4. Digitale automatisierte Kupplung bzw. Güterzugautomatisierung

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Durch eine automatisierte Kupplung von Güterzügen können Züge deutlich schneller zusammengekoppelt werden, was zu hohen Zeit- und damit Kostenersparnissen führt. Sensorik und Robotik, sowie zunehmend KI werden dabei eingesetzt.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Als größte Barriere werden die unterschiedlichen Betriebsordnungen in Europa angegeben. Technisch ist die digitale automatisierte Kupplung ausgereift (TRL 9).

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Die größten Energieverbrauchsreduktionen und Reduktionen von THG-Emissionen basieren auf indirekten Effekten, da durch solche Anwendungen der Transport von Gütern auf der Schiene wettbewerbsfähiger wird, es zu Verlagerungen von der Straße auf die Schiene kommt.

Auch wenn Verschubbahnhöfe zukünftig weiterhin notwendig bleiben, die Kosten für Verschieber, die die Verbindung zwischen den Waggons herstellen, werden durch die digitale Kupplung eingespart.

5. Künstliche Intelligenz in der Fahrzeugregelung

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Der Einsatz der Künstlichen Intelligenz in der Fahrzeugregelung hat ein hohes Potenzial, in dem Charge Depleting und Charge Sustaining Mode ermöglicht werden. Systemtests spielen eine immer größere Rolle (Betriebs- und Funktionstests), die Verifizierung und Validierung der Funktion im Realbetrieb aber auch die Virtualisierung von verschiedenen Entwicklungs- und Prüfprozedere und Prüfständen (z.B. virtueller Motorenprüfstand).

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Durch die Ablöse des Verbrennungskraftmotors durch batteriebetriebenen Fahrzeug (bei Kurzstrecken) und möglicherweise der Brennstoffzelle (bei Langstrecken und im Güterfernverkehr) ergeben sich neue Anforderungen an die Fahrzeugregelung. Entsprechend können die TRLs von sehr niedrig bis in die Anwendung reichen (TRL 3 bis 9, je nachdem ob bestehende Verbrennungskraftmotoren oder zukünftige stark nachgefragte Anwendungen - BEF, wasserstoffangetriebenen Fahrzeuge, etc. - im Fokus stehen). Barrieren reichen von ausreichend hochqualifiziertem Personal über die Verfügbarkeit hoher Rechenleistung bis hin zur Datengenerierung (wem gehören die Daten, wer stellt sie zur Verfügung, wer wertet die Daten aus, etc.).

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial der Marktdurchdringung ist hoch und hat einen positiven Einfluss auf den Energieverbrauch und die THG Emissionen 2040. Durch eine optimierte Regelung können 5-10% Energie eingespart werden.

6. Big Data

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Die Möglichkeit des Sammelns und Auswertens großer Datenmengen entlang der gesamten Wertschöpfungskette („from cradle to grave“) durch Sensorik, Data Analytics und KI ermöglicht eine Optimierung des Produktlebenszyklus der Fahrzeuge, aber auch die Steuerung von Gütern und Menschen auf Basis von Modellen. Im Sinne eines Kreislaufwirtschaftsansatzes entlang des gesamten Produktlebenszyklus können dadurch Ressourcen und Energie eingespart werden, gleichzeitig wurde in den Interviews betont, dass diese Lebenszyklusbetrachtung auch wieder Energie verbraucht – von der Sensorik, über die Datenübertragung bis hin zur regelmäßigen Wartung der Systeme.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Es gibt eine Vielzahl an Barrieren, um effiziente Datenerhebungs-, -transport- und -analysestrukturen zu etablieren. Aufbau vertrauenswürdiger Systeme, unterschiedliche Systeme und Schnittstellen bringen hohe Herausforderungen und damit einen großen Forschungsbedarf. Zunehmend rücken menschenzentrierte Ansätze in den Vordergrund, sodass geistes-, sozial und kulturwissenschaftliche Faktoren eine zunehmende Rolle bei Big Data Anwendungen spielen. TRL wäre damit derzeit niedrig (ab TRL 3) anzusetzen.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial ist sehr hoch da über den gesamten Betrieb Datenauswertungen gemacht, unterschiedliche Verkehrsträger angebunden und somit für gesamte Verkehrssysteme optimierte Lösungen erarbeitet werden können. Entsprechend gibt es einen hohen potenziellen Einfluss auf Energieverbrauch und THG-Emissionen.

7. Autonomes Fahren

Kurzbeschreibung und Anwendungen

Unter autonomem Fahren werden die Stufen 4 und 5 der Automatisierungsgrade subsummiert und umfassen die Fortbewegung von Fahrzeugen, Robotern und fahrerlosen Transportsystemen.

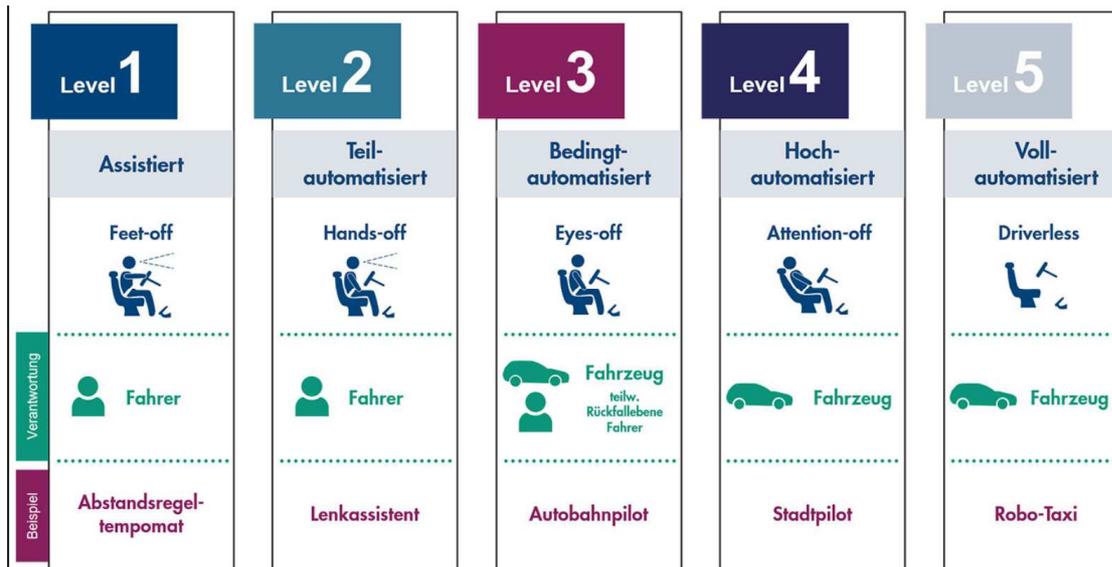


Abbildung 11 - Automatisierungsgrade des Fahrens⁸

Autonomes Fahren wird durch ein komplexes Zusammenspiel unterschiedlicher Sensoren und real-time Datenverarbeitung ermöglicht. Die folgenden Sensoren spielen dabei eine große Rolle:

- Videokameras, für 360 Grad Videos
- Radarsensoren (Radio Direction and Ranging)
- Sensoren auf LiDAR Basis (Light Detection and Ranging)

Durch die Kombination dieser und weiterer Sensoren (Sensorfusion) wird autonomes Fahren erst ermöglicht. Entscheidend dafür ist zudem eine high-speed Datenverarbeitung, wodurch schnelle Prozessoren benötigt werden, um Entscheidungen in Echtzeit durchführen zu können. Über die Daten von Sensoren und Kameras laufen dabei Mustererkennungen, die durch GPS-Daten und hinterlegte Kartendaten angereichert werden. Entsprechend sind Big Data und KI-Anwendungen von großer Bedeutung.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Es gibt eine Reihe Barrieren, die für die breitflächige Anwendung von autonomem Fahren überwunden werden müssen. Diese beinhalten entwicklungstechnische Anforderungen, insbesondere die Fahrumgebung vollinhaltlich zu erfassen, Sicherheitsanforderungen (sowohl aus einer Security als auch aus einer Safety Sicht), die Akzeptanz bei den (potenziellen) NutzerInnen und rechtliche Aspekte.

Bereits bestehende Anwendungen gibt es in der Intralogistik (TRL 7-9), auch erste Anwendungen in einzelnen Sektoren (bspw. Landwirtschaft), gleichzeitig sind für den Straßenverkehr noch eine Reihe an Hürden zu nehmen (TRL 2 aufwärts).

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial zur Marktdurchdringung ist hoch. Es gibt einige Gründe, die für und andere, die gegen eine Reduktion des Energieverbrauchs und die THG-Emissionen sprechen und für beide Thesen gibt es Gründe.

Die Gründe für eine Reduktion sind⁹:

- Reduktion oder gar Eliminierung der Überbelastung der Infrastruktur („Stauvermeidung“)
- Gut geeignet für den Einsatz umweltfreundlicherer Technologien (BEV, wasserstoffbetriebene Fahrzeuge), da Lade- und Betankungsvorgänge geplant werden können
- Geringeres Gewicht der Fahrzeuge, da „schwere“ Sicherheitstechnologien obsolet werden (z.B. Airbags, Knautschzonen, verstärkte Karosserie)

⁸ Quelle: <https://www.unity.de/fileadmin/Beratungsleistungen/Systems-Engineering/systems-engineering-automatisierungsgrade-der-fahrzeuge-1.jpg>

⁹ Ein Debattenbeitrag eines Mitglieds der Society of Automotive Engineers: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/170765/strassenverkehr/autonomes-fahren-chancen-und-herausforderungen-sae-level5/> ergänzt um eigene Erfahrungen durch die Tätigkeit eines der AutorInnen in der AVL.

- Bessere Möglichkeiten des Car-Sharings und damit intensivere Nutzung einer geringeren Anzahl an Fahrzeugen
- Individualisierung und Flexibilisierung des öffentlichen Verkehrs durch individuellere Angebote und damit ggf. Aufwertung des ÖVs.

Die Gründe für einen gesteigerten Energieverbrauch und höhere THG-Emissionen sind¹⁰:

- Höheres Fahrvolumen
- Eventuell höhere Rate an Leerfahrten
- Höherer Energieverbrauch der Elektronik

Eine Studie¹¹: kommt ausgehend vom aktuellen Stand je nach Szenario - wenn das Fahrzeug angebunden ist an aktuelle Verkehrsinformationen, Software-Updates, aktualisiertes Kartenmaterial per Mobilfunk etc. auf einen Mehrwert von ca. 2500 Wh/100 Fahrzeugkilometer bis zu knapp positiv, wenn es eine „minimale Vernetzung“ gibt. Die gleiche Studie besagt aber, dass bis 2050 in allen Szenarien durch energieeffizientere Technologien die Bilanz positiv wird.

Übersicht

Folgende Tabelle fasst die dargestellten Technologiekombinationen für den Sektor Verkehr zusammen, wobei unter Potenzial 2040 die Gesamtschätzung bzgl. der direkten und indirekten Effekte auf Energieverbrauch und THG-Emissionen angegeben ist (++ steht für hohes Potenzial, + für niedriges Potenzial, +/- für unklar oder gleichbleibend, - und – für steigenden Energiebedarf bzw. steigende Emissionen).

Technologiekombination	TRL 2021	Potenzial 2040
Condition-Based Maintenance und Predictive Maintenance	3-9	+
Simulation und Digitaler Zwilling	5-9	+
Automatisierte Betriebsführung im Schienenverkehr	9	++
Digitale automatisierte Kupplung / Güterzugautomatisierung	9	++
Künstliche Intelligenz in der Fahrzeugregelung	3-9	+
Big Data	3-9	++
Autonomes Fahren	2-9	+/-

Weitere Technologien

Weitere Technologien und Anwendungen wurden in den Interviews genannt, bei denen digitale Technologien eine Rolle spielen, aber nicht den technologischen Hauptfokus darstellen:

- Nutzung von Wasserstoff und damit der Brennstoffzelle, die durch digitale Technologien optimiert werden kann, insbesondere in der Kombination mit Batterien
- Neue Technologien der Energiespeicherung die zunehmend auf Datenanalytik zur Optimierung basiert (Bezug zur Digitalisierung?)
- Applikationen, die den Umstieg auf umweltfreundlichere Mobilitätsformen unterstützen (bspw. die Wien App)
- Substitutionstechnologien wie zum Beispiel Videotelefonie und verteiltes Arbeiten, das durch digitale Technologien und digitale Infrastrukturen ermöglicht wird (Videotelefonie, Work from Home, Teleworking)

Akteure in Österreich

Es gibt eine Vielzahl an Akteuren in Österreich, entsprechend ist die Liste nicht vollständig:

- Universitäten: TU Wien, TU Graz, Montanuniversität Leoben, mit unterschiedlichen Instituten;

¹⁰ Bericht der Energy Information Administration: <https://www.autonomes-fahren.de/eia-studie-autonomes-fahren-koennte-energieverbrauch-steigern/>

¹¹ <https://www.heise.de/hintergrund/Autonomes-Fahren-spart-kaum-Energie-5044564.html>

- Fachhochschulen: FH Technikum Wien, FH Oberösterreich, FH Joanneum, ...;
- Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen: AIT, Joanneum Research, ViF – das virtuelle Fahrzeug, KNOW-Center, VRVis, und viele weitere;
- Beispielhaft unter den Unternehmen: Siemens Transportation, Bombardier, AVL, MAGNA, aber insbesondere auch die vielen Komponentenfertiger für die Bahnindustrie und die Automotive Industrie.

VII. Haushalte

Den Fokus bei der Betrachtung der Potenziale der Digitalisierungstechnologien im Hinblick auf Energieverbrauchseinsparungen und Senkung der Treibhausgasemissionen bilden jene Technologien, die zur Automatisierung und Optimierung des Stromverbrauchs in Wohngebäuden beitragen, seien es Ein- oder Mehrfamilienhäuser oder Wohnungsanlagen. Andere Aspekte, die ebenfalls vom privaten Energieverbrauch der Haushalte verursacht werden, wie zum Beispiel der private Verkehr oder die Inanspruchnahme bestimmter Dienstleistungen durch Private, sind den jeweiligen Sektoren zugeordnet und somit hier nicht bei der Sparte Haushalte zu finden.

Einige Voranalysen finden sich bereits in einer Studie der Deutsche Energie-Agentur dena (Deutsche Energie-Agentur, 2017) bezogen auf der Digitalisierung im Gebäudebereich.

Die folgende Auflistung bzw. Gruppierung von im Haushaltssektor relevanten Digitalisierungstechnologien ist ausgehend von den Expert/Innen-Interviews sowie vom Screening-Gespräch entstanden, wobei die Reihenfolge sich vom „Kern“ der Digitalisierung in Bezug auf Einsparungspotenziale „hinaus“ in (noch) nicht zentrale Aspekte hinbewegt:

1. Automatisierung und Regelungstechnik

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Unter dem Sammelbegriff Gebäudeautomatisierung werden verschiedene Technologien aus der Automatisierung, Regelungstechnik und Sensorik eingesetzt, betroffene und potenzielle Anwendungsbereiche bestehen in Energie, Komfort, Sicherheit, Assistenz, Kommunikation und auch Mobilität. Das allgemeine Ziel besteht darin, bestimmte Parameter des Gebäudes bzw. der Wohnräume zu überprüfen / überwachen, zu steuern, zu optimieren. Zum Beispiel Temperatur- und Lichtverhältnisse, Heizung und Kühlung, automatische Belüftung, Beleuchtung und Beschattung, Einsatz von verschiedenen Geräten, bis zum optimalen Einsatz von Strom oder anderen Energiequellen unter Berücksichtigung der bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes, der Wettersituation und der Erhebungswerte verschiedener Sensoren. Die Technologien bestehen somit aus Sensoren (dzt. mit dem Trend zum Ersatz physischer Sensoren durch – wo möglich – virtuelle Sensoren), aus Regelungstechnik, aus Automatisierungstechnologien (bis zur Aktuatorik), aus Steuerungssoftware und -hardware, aus der Integration und Vernetzung verschiedener Geräte und Systemen von verschiedenen Herstellern. Das ist auch das Dach, unter dem vor allem die Technologien rund um Data Analytics / KI / Simulation bis hin zum Internet of Things im Haushaltsbereich sich integrieren und anwenden lassen.

Die Technologien lassen sich im Hinblick auf Optimierung des Energieverbrauchs sowohl auf Energieerzeugerseite anwenden (z.B. Wärmepumpen und deren Effizienz- oder Filterüberwachung), als auch auf Verbraucherseite (z.B. intelligente Thermostatköpfe), also wie angeführt auf Heizung, Kühlung, Belichtung usw. bis hin zum Demand-Site Management des Energieverbrauchs im Haushalt. Virtuelle Sensoren gemeinsam mit KI liefern außerdem einen Ersatz von echten Sensoren, z.B. dort wo die Anzahl der (teuren) notwendigen Pyranometer für die Optimierung von Beschattung bzw. Beleuchtung durch eine Wetterstation am Dach und entsprechender Software reduziert werden kann.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Je nach Technologie, variiert der TRL von Prototyp bis Mature, somit zwischen 5 und 9 (nur bezogen auf Bussysteme: von Early Adoption bis Mature, somit 7 bis 9), wobei die Heterogenität als größtes Problem im Sinne der Markt-Readiness zu betrachten ist. Kommunikation unter den Geräten und Systemen verschiedener Hersteller, sowie eine ganzheitliche Vernetzung sind konkrete Hürden auf dem Weg zur Ausschöpfung der tatsächlichen Potenziale.

Derzeitige Barrieren bestehen nach wie vor in der Verbreitung bzw. Akzeptanz (auch hinsichtlich des Preises) beim Bau von neuen Wohneinheiten, aber auch hinsichtlich der Nachrüstung von Bestandswohneinheiten. Selbst Sensoren (TRL zwischen Demonstration und Early Adoption) werden noch nicht standardmäßig verbaut.

Hierbei handelt es sich u.a. auch um ein Problem des Bewusstseins und der Ausbildung der involvierten Player (vom Bauträger bis hin zum Elektriker bzw. zur Installationsfirma). Für Endkunden besteht derzeit die größte Schwierigkeit darin, ganzheitliche Lösungen für die Heimautomatisierung aus einer Hand zu bekommen, somit wird das bereits jetzt bestehenden Potenzial noch nicht umgesetzt / genutzt. Somit in höherem Ausmaß notwendig wäre die Ausbildung von Personen, die am Entstehungsprozess von Immobilien involviert sind.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Nicht die Energieeffizienz, sondern der Komfort stehen hier im Vordergrund, während aus technischer Sicht die Ressourceneffizienz insgesamt relevant ist (z.B. auch hinsichtlich Wirkung von Fassaden und Energiespeichermöglichkeiten). Nichtsdestotrotz: auch im Haushaltssektor wäre eine durchgängige Optimierung bis zum unmittelbaren Feedback und entsprechenden Steuerung von der gesamten Infrastruktur denkbar.

Eine ganzheitliche Betrachtung lässt bis zu 20% Einsparungen von Energiekosten durch bessere Verteilung möglich und realistisch erscheinen (die Kosten der Automatisierung belaufen sich auf ca. 1-1,5% der Gebäudekosten, während die Energiekosten eines Gebäudes ca. 2-4% der Gesamtkosten ausmachen). Auch beim Bestand, dürfte die Gebäudeautomatisierung Einsparungen bei der Heizenergie von bis zu 15-30% erwarten lassen. Noch höher ist das Potenzial bei der Revitalisierung von bestehenden Gebäuden, auch hinsichtlich CO₂ Einsparungen. Beim Neubau sind zusätzliche Effekte leicht möglich, wobei ein höheres Potenzial und somit eine Obergrenze bei der Einschätzung hinsichtlich Neubaus im Heimbereich besteht beim funktionalen Bau / Zweckbau, wo Heizen und Kühlen gemeinsam bis zum 70% des Verbrauchs ausmachen und bis zu 30% Potenzial an Einsparungen realistisch zu erwarten ist (während ca. 1/7-1/5 der Gebäudekosten durch die Automatisierung entstehen).

2. Data Analytics und Simulation

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

In dieser Gruppe sind alle Technologien zusammenfassen, die ermöglichen, aus einer Fülle an Daten (aus verschiedenen Sensoren, Geräten, Abläufen) „intelligente“ Nutzen für den Haushalt zu generieren, sei es in Form von Anwendungen / Apps, oder in Form von Zusatzservices. Darunter fallen Data Analytics, Künstliche Intelligenz, Machine Learning, Simulationen, Predictive Maintenance udgl.

Neben den Daten des Gebäudes selbst (und dessen BewohnerInnen), können hier eine Fülle an externe Daten auch Berücksichtigung finden (z.B. Kalender, Wetterdaten, Stromtarife, Durchschnittsprofile).

Die möglichen Anwendungen beinhalten zum Beispiel:

- Monitoring, Energieverbrauchsanalyse, Dashboarding der aufgezeigten Daten
- die Steuerung und Optimierung des Energieverbrauchs durch den Kunden selbst, durch die Geräte oder das Heimautomatisierungssysteme, oder auch durch den Energieanbieter (z.B. Steuerung im Wärmebereich / Steuerung der Heizlast, wobei das System intelligent mitlernt)
- die Fehlersuche und die Ausarbeitung von Empfehlungen, sowie auch die Fernwartung von Geräten und Systemen
- AAL / AAT bis hin zu Telemedizin/-pflege/-care abhängig von den eingesetzten und integrierten Geräten
- Zukauf von Leistungen (z.B. Energiemanagement des Energieanbieters) nur bei tatsächlichem Bedarf bis hin zum Energy Contracting / Performance Contracting wie bereits für den Bau und Betrieb von Zweckbauten (z.B. Schulen) möglich
- Bis hin zur durchgängigen Vernetzung und zum gesamthaften „intelligenten Wohnen“ mit gekoppelten Optimierungs-/Automatisierungslösungen und assistierenden Merkmalen (mit Sensorik, selbstlernenden Systemen, Robotik, IoT – alles unter einen Hut)

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Der Reifegrad variiert von Prototype bis Demonstration, somit von 4 bis 8, je nach Technologie und Anwendungsfall, wobei laut Einschätzungen bei ca. 30% der neuen Haushalte wären zumindest die

Voraussetzungen dafür bereits gegeben. In Teilbereichen (noch nicht über den gesamten Haushalt) sind selbstlernende Systeme bereits möglich (z.B. Wärmepumpen und Klimageräte). Zum Teil liegt die Schwierigkeit, neben dem Komplexitätsgrad der Lösungen und Anwendungen selbst, auch noch in der Usability der angebotenen Produkte, die zwar für Profis verständlich aber oft nicht für die Bewohner und Bewohnerinnen des Gebäudes wirklich gut zugänglich sind. Auch Verkäufer und Realisierer (Techniker, Handwerker, usw.) haben noch viel Schulungsbedarf. Dies ist eine Hürde nicht nur zur Verbreitung am Markt, sondern auch zur tatsächlichen Ausschöpfung des vorhandenen Einsparungspotenzials an Energieverbrauch.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Potenziale liegen darin nicht nur den Energieeinsatz zu optimieren, sondern auch dort wo Verhalten / Services geändert und in Richtung "remote" verschoben werden können.

Die entscheidende Frage bei der Marktdurchdringung wird aber darin liegen, ob und wie weit es gelingt, den Kunden wirklich sinnvolle und nutzbare Services / Anwendungen anzubieten, sodass umfangreiche Daten verfügbar gemacht werden. Die optimale Steuerung gelingt nur mit Einwilligung des Kunden, wobei das tatsächliche Ausschöpfen der Potenziale dann nur dort möglich ist, wo die KundInnen selbst sich nicht zu stark einbringen müssen und die Anwendungen (innerhalb eines gegebenen Rahmens) selbst die möglichen Optimierungsmaßnahmen auch umsetzen können (ev. durch Opt-In / Opt-Out Varianten für die KundInnen zu erreichen).

3. Digitaler Zwilling und Internet of Things

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Ein großes Potenzial im Gebäudebereich liegt in der Durchdigitalisierung des Gebäudes selbst: Vom Planungsprozess vor dem Bau bis hin zum Management und zur Instandhaltung während des gesamten Lebenszyklus. Für diesen Zweck gelten aus Prozesssicht die BIM Standards (Building Information Modelling), die zum Teil bereits jetzt in Software gut abgedeckt sind (und v.a. im gewerblichen Bereich bereits Anwendung finden, weniger noch im Haushaltssektor) und eine bessere und integrierte Planung ermöglichen, mit (3D-)Modellierung, Vorabsimulation eines Gebäudes etc. Bauteile werden vorab erfasst, mit allen ihren Eigenschaften. In der Praxis fokussiert sich aber der BIM Prozess bisher hauptsächlich auf die bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes konzentrieren – die Gebäudeautomatisierung wird in der Planung erst in einer sehr späten Phase miteinbezogen. Derzeit noch nicht ausreichend früh, erst wenn die bauphysikalischen Aspekte bereits fixiert sind und ev. Probleme nur mehr ausgemerzt werden können. Die Integration der Gebäudeautomatisierung bereits in früheren BIM Phasen würde viel mehr ermöglichen, um die vorhandenen Potenziale besser zu nutzen. Softwaretechnisch ist es wie in anderen Sektoren ein Digitaler Zwilling des jeweiligen Gebäudes das, was auch für private Haushalte Modellierung, Simulation, Optimierung im weitesten Sinne ermöglicht und auch nach dem Bau für Management- und Instandhaltungszwecke das größte Potenzial birgt. Im weitesten Sinn geht es darum das Gebäude als solche mit allen seinen Bestandteilen, Systemen, Geräten als Teil des „Web of Things“ zu betrachten und zu betreiben, wobei – als Vision für das Jahr 2040 – die Geräte z.B. einander automatisch finden, Informationen darüber austauschen, „wer“ sie sind und was / wann / wie sie machen, und automatisch Synergien nutzen: Diese M2M-Kommunikation führt zur (semi-)autonomen Konfiguration und Steuerung des Gesamtsystems Gebäude bzw. Gebäudeautomation. Idealerweise lässt sich aus BIM bzw. Digitalen Zwilling sogar den Code für die Gebäudeautomatisierung weitestgehend automatisch generieren: zumindest ein Basiscode könnte automatisch generiert werden, das dann ad hoc anzupassen bzw. zu optimieren ist. Das würde dazu beitragen, die Technik kostengünstiger und leistbarer zu machen.

Insgesamt geht es darum, mit Unterstützung von BIM und Digitalen Zwilling die Digitalisierung und Automatisierung des Gebäudes auch im Haushaltssektor als ganzheitlicher Ansatz in der Planung und Simulation zu betrachten: während einzelne Geräte und Systeme bereits jetzt optimiert werden, ist die Gesamtabstimmung und Vernetzung bisher sehr wenig betrachtet. Die durchdigitalisierte Immobilie muss schon jetzt nicht teurer als eine normal geplante Immobilie sein. In der Vision bis 2040 wird die Gebäudeautomation auch im Haushaltssektor bereits vom Anfang an im Planungsprozess mitbedacht. Alle möglichen Funktionalitäten sind im Gebäude bereits vorhanden bzw. implementiert, und die Software kann, entsprechend angepasst, diese Funktionalitäten ein- bzw. ausschalten, d.h. aktivieren und bereitstellen oder deaktivieren, vergleichbar mit einem Auto, bei dem mehrere Optionen vorhanden sind und je nach Preisklasse unterschiedlich aktiviert werden. Das könnte auch die Gesamtabdeckung von AAL Anforderungen und Funktionalitäten berücksichtigen.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Der aktuelle Status ist mit Small bis Large Prototype bis tlw. zur Demonstration zu bewerten, somit TRL 4 bis 6 und tlw. bis 8, wobei die Kosten vor allem für private Haushalte noch sehr hoch sind. Neben den Kosten für die technische Ausstattung, spielen die Kosten für Konfiguration und Anpassung des Gesamtsystems eine große Rolle. Auch bei Gebäuden, welche die technischen Anforderungen erfüllen, sind Facility-Management Cockpits für den Betrieb und die Optimierung noch nicht in der Form vorhanden, wie für eine stärkere Marktdurchdringung erforderlich. Noch entwicklungsfähig hinsichtlich der Software zum BIM Prozess ist einerseits die Berücksichtigung von Security-Aspekten, andererseits die Verfügbarkeit von Planungswerkzeugen v.a. hinsichtlich der Gebäudeautomation-Funktionalitäten.

Darüber hinaus sind viele der bestehenden technischen Potenziale noch von der fehlenden Harmonisierung der Daten, der Formate und der Semantik gebremst. Es handelt sich vielfach um proprietäre Systeme, sodass die Nahtstellenproblematik vielfach ein großes Hindernis ist. Längerfristig gilt außerdem die Frage, wie „intelligent“ jedes einzelne Gerät wird, v.a. in Kombination mit Cloud Computing.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Insgesamt ermöglichen die Systeme rund um die Gebäudeautomatisierung und auch insbesondere die „Durchdigitalisierung“ anhand des BIM und des Digitalen Zwillings eine starke Reduktion des Energieverbrauchs – wenn sie tatsächlich durchgängig und optimiert genutzt werden.

Als längerfristig anhaltender Trend ist zu verzeichnen, dass das klassische Modell der sogenannten "Automatisierungspyramide" mit ihren Funktionen bereits in den nächsten 10-20 Jahren kollabieren könnte, da bereits jetzt zum Teil intelligente Geräte Aufgaben übernehmen, für die ihre Schicht nicht vorgesehen war. Nachdem aber somit die umliegenden Schichten und deren Funktionalitäten variieren, wächst immer mehr der Bedarf nach flexiblen Schnittstellen und nach dem Einsatz von offenen Technologien in der Gebäudeautomatisierung.

4. Energiemarktplatz Cloud

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Die neuesten Entwicklungen der lokalen Stromerzeugung und der Energiegemeinschaften öffnen ganz neue Möglichkeiten für einen Energiemarktplatz. Dies ist im ländlichen sogar mehr als im urbanen Raum leichter umsetzbar, da dort dem Stromhandel im lokalen Kreis ganz andere Bedeutung, Interesse und Akzeptanz zukommen könnten. Dies lässt sich weitgehend durch Digitalisierung und Cloud Computing abbilden, abwickeln und mit Services versorgen. Im Vordergrund stehen die Vernetzung, die Konnektivität, der digitale Austausch zwischen Haushalten und zwischen Haushalten und anderen Playern am Energiemarkt, zum Zweck der besseren Energieverteilung.

Dabei ist es wesentlich, nicht nur auf den TRL der Technologie, sondern auch auf die Readiness der Gebäudeinfrastruktur bzw. des Gebäudebestands zu achten – Die Notwendigkeiten rund um Lastenmanagement bzw. Demand-Side-Management bis hin zu Smart Grids sind zu erfüllen, will man von den Potenzialen der neuen Energieflexibilität profitieren.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Die grundlegenden Technologien sind bereits vorhanden, mit einem TRL von Prototyp bis zu Demonstration somit 4 bis 8, möglicherweise noch nicht effizient genug für die erforderliche Skalierbarkeit. Die Rahmenbedingungen sind noch zu entwickeln, und zum Teil stehen marktreife User- und Anwendungsfälle als solche noch bevor (z.B. mit Hilfe von Block Chain). Entscheidend wird die Entwicklung entsprechender Plattformen sein, die eine aktive Teilnahme am Energiemarkt ermöglichen, zusammen mit den Tools für den Transfer, auf möglichst einfacher und transparenter Art und Weise.

Darüber hinaus sind weitere Entwicklungen (nicht Digitalisierungs-getrieben) in den Speichertechnologien erforderlich, um das ganze Potenzial nutzen zu können.

Ganz wichtig für die Weiterentwicklung wird die Möglichkeit des Austestens der Projekte im realen Umfeld in den Gemeinden sein.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Am Beispiel der Erneuerbare Energiegemeinschaften / Bürgergemeinschaften merkt man, dass der Markt sich sehr schnell entwickelt und in den nächsten 10-20 Jahren mit großen Sprüngen zu rechnen ist, wobei die gesetzlichen Rahmenbedingungen rund um Teilnahmehürden, Transaktionskosten, tatsächliche

Automatisierung / Optimierung noch bevorstehen. Optimal genutzt, könnte die neue Flexibilität in einigen Fällen bis zu 80% Energieeinsparungen möglich machen. Die zu erwartende Entwicklung geht bis hin zu resilienten Energiegemeinschaften bzw. zur Intelligenz im Umgang mit Energieüberschüssen auch dank Data Analytics und Künstliche Intelligenz: z.B. im Zusammenhang mit Wetterdaten könnte die Form und Umfang der Energiespeicherung im Warmwasserkessel oder Fußbodenheizung intelligent und automatisch gesteuert werden.

Im neuen bzw. geänderten Kontext werden auch die EVUs ihre Rolle noch schärfen müssen, auch und v.a. in der Entwicklung von Services, welche die Flexibilität ihrer Kunden unterstützen.

5. Mobile Robotik und Augmented Reality

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Derzeit halten eine Reihe an mobile Serviceroboter Einzug in die Haushalte, mit verschiedenen Automatisierungs- und Digitalisierungsgraden. Es ist davon auszugehen, dass dieser Trend anhalten und sich verstärken wird, bzw. dass die mobilen Roboter für den Haushalt dank den Entwicklungen auf den Gebieten der Sensorik, der Automatisierung sowie der KI immer neue Bereiche des Haushalts (semi-) autonom betreuen. Diese können sowohl Haushaltsservices / -aufgaben sein, als auch unter dem Schlagwort der Sozialen Robotik mehr in Richtung Assistenz / Care für die BewohnerInnen gehen. Eine ähnliche Entwicklung könnte sich auf dem Bereich der Augmented und Virtual Reality ergeben.

Bei der für den Haushalt geeigneten Robotik, meistens mobil und semi-autonom, handelt es sich im Wesentlichen um ein Technologiemix aus Sensorik, Aktuatorik, Vernetzung, Künstliche Intelligenz mit oder ohne maschinelles Lernen, und Schnittstellen für die Interaktion mit den Bewohnern/Bewohnerinnen bzw. Anwendern/Anwenderinnen.

Nicht direkt im Haushaltssektor, sondern im Dienstleistungssektor für KonsumentInnen, ergeben sich weitere Anwendungsfälle dieser Art der mobilen Robotik zum Beispiel in den Bereichen Wartung und Kundenservice. Zum Beispiel können Roboter Kundenanfragen übernehmen, Anomalien registrieren, als Wegweiser fungieren und vieles mehr.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Die eingesetzten Technologien sind derzeit im Status von Small prototype bis Demonstration (TRL 4 bis 8). Wie in anderen Bereichen liegen die derzeitigen Hürden zur weiteren Verbreitung hauptsächlich in:

- Marktreifen User- und Anwendungsfällen inkl. geeigneter Usability und Komplexität der Schnittstelle zum Endkunden
- Kommunikation und Schnittstellen (Interkonnektivität) zu anderen Geräten und Systemen im Haushalt
- Kosten- / Nutzenrelation im Verhältnis zur Komplexität des Anwendungsfalls und der erforderlichen Geräteintelligenz

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das direkte Potenzial im Hinblick auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen erscheint beschränkt, es sei denn indirekte Einflüsse z.B. auf das Verkehrsaufkommen werden mitberücksichtigt (z.B. Reduktion von Fahrten). Während die Marktdurchdringung bereits in den nächsten Jahren stark steigen dürfte, ist eine signifikante Auswirkung auf den Energieverbrauch bis 2040 noch nicht zu erwarten (siehe auch folgenden Absatz).

Übersicht

Folgende Tabelle fasst die dargestellten Technologiekombinationen für den Sektor Haushalte zusammen, wobei unter Potenzial 2040 die Gesamtschätzung bzgl. der direkten und indirekten Effekte auf Energieverbrauch und THG-Emissionen angegeben ist (++ steht für hohes Potenzial, + für niedriges Potenzial, +/- für unklar oder gleichbleibend, - und – für steigenden Energiebedarf bzw. steigende Emissionen).

Technologiekombination	TRL 2021	Potenzial 2040
Automatisierung und Regelungstechnik	5-9	+
Data Analytics und Simulation	4-8	+
Digitaler Zwilling und Internet of Things	4-8	++
Energiemarktplatz Cloud	4-8	++
Mobile Robotik und Augmented Reality	4-8	+

Weitere Technologien

In diesem Abschnitt nicht gesondert angeführt, weil aus einer Kombination der bereits aufgelisteten Technologien für ein bestimmtes Anwendungsfeld, sind die Assistive Technologies bzw. der Bereich Ambient Assisted Living. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der demografischen Entwicklung und des steigenden Digitalisierungsgrads in allen Bereichen auch diese Anwendungen im Haushaltssektor den Verlauf bis zum Jahr 2040 stark mitprägen werden, aber eine gesonderte Betrachtung unabhängig von anderen Haushaltsanwendungen der Gebäudeautomatisierung, der Data Analytics im Allgemeinen, sowie der „Social Robotics“ im privaten Bereich erscheint derzeit sehr verfrüht bzw. nicht möglich. Während Auswirkungen auf das Verkehrsaufkommen (z.B. bei intensiverer Nutzung von Telemedizin/-pflege/-care) bereits in den nächsten Jahren realistisch erscheinen (wo bestehende oder neue Services remote angeboten oder ersetzt werden können, um Fahrten zu ersparen), aber von der Größenordnung her nicht allzu stark ins Gewicht fallen werden, scheint eine signifikante Marktdurchdringung von Sozialer Robotik im privaten Haushaltsbereich noch nicht bis 2040 so wahrscheinlich, dass daraus Energieverbrauchs- bzw. THG-Emissionen-Auswirkungen entstehen würden. Nichtsdestotrotz ist dieser Aspekt im Hinblick auf FTI-politische Maßnahmen in den nächsten Jahren nicht außer Acht zu lassen.

Akteure in Österreich

In der Forschung aus dem akademischen und aus dem außeruniversitären Bereich haben sich einige Akteure auf Gebäudeautomatisierung sowie auch auf AAL/AAT fokussiert, unter anderen:

- die Technische Universität Wien (Computer Aided Automation / Automation Systems Group)
- das AIT im Rahmen des Center for Energy und rund um Active and Assisted Living
- FH Technikum Wien
- FH Vorarlberg mit UCT Research
- FH Burgenland und Forschung Burgenland mit dem Energetikum
- die Donau Universität Krems

Eine Sonderrolle zwischen Forschung und Unternehmen übernimmt die Aspern Smart City Research GmbH, von Stadt Wien und Siemens getragen.

Unter den Unternehmen sind folgende Player rund um Gebäudeautomation u.a. tätig, zum Teil auch in der Forschung bzw. Entwicklung in Österreich, zum Teil als Lösungsanbieter und Integratoren:

- Siemens Österreich, Honeywell Austria, Johnson Controls, Sauter Österreich
- Beckhoff Automation, Schneider Electric, Loytec
- WAGO, PKE
- mit Fokus auf Software: NETxAutomation, evon
- Anbieter von Bussystemen für Gebäudeautomatisierung sind u.a. KNX, Loxone, Möller
- Wien Energie
- Auf den Bereich AAL/AAT haben sich ebenfalls einige Unternehmen spezialisiert, als Beispiel seien hier die DigitAAL GmbH und die Humanizing Technologies GmbH mit einem Standort in Wien erwähnt, beide auch in der Forschung tätig.

VIII. Dienstleistungen

Der Dienstleistungssektor überlappt hinsichtlich der Technologien und deren Auswirkungen zum Teil stark mit anderen bereits analysierten Sektoren, z.B. Verkehr oder Haushalte. Einige Teilbereiche des Dienstleistungssektor wurden – allerdings ohne Schwerpunkt auf Digitalisierung – auch bereits im Hinblick auf Energieverbrauch / THG-Emissionen und Potenziale im Wandel untersucht, unter anderem die allgemeine Mobilität aufgrund Inanspruchnahme verschiedener Dienstleistungen (BMK, 2020), der Tourismus in einer sehr umfassenden Analyse (APCC, 2020), und die Dienstleistungen als solche in e7, 2012 und Bayer, Sturm & Hinterseer, 2011.

Insgesamt lassen sich folgende (gegensätzliche) Trends feststellen:

- Der gesamte Energieverbrauch für Telekommunikationsdienstleistungen im Allgemeinen nimmt trotz Effizienzsteigerung laufend zu (obwohl in Österreich – noch – keine internationalen Rechenzentren angesiedelt sind).
- Die Digitalisierungstechnologien tragen stark zur Virtualisierung von Dienstleistungen bei und können somit starke Effekte auf die Reduktion von Energieverbrauch und THG-Emissionen haben, v.a. verkehrsbezogen.
- Allerdings in vielen Fällen ersetzen die Digitalisierungstechnologien eine „vor Ort“ Dienstleistung nicht, sondern begleiten, ergänzen, oder generieren per se die Inanspruchnahme zusätzlicher Dienstleistungen, sodass die Gesamtwirkung schwer zu definieren und zu quantifizieren ist.

Die im Folgenden für die jeweiligen Technologiekombinationen angegebenen Anwendungsfelder und Potenziale sind vor allem in diesem Sektor als Beispiele zu verstehen, da sowohl im Status Quo als auch anhand der laufenden Entwicklungen sich ständig neue Anwendungsmöglichkeiten ergeben, die mitunter starken Einfluss auf Energieverbrauch und THG-Emissionen haben können.

1. Gebäudeautomatisierung

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Das Spektrum der Möglichkeiten der Digitalisierung im Hinblick auf die Gebäudeautomatisierung sowie auf deren Potenziale für Konditionierung, Komfort und Assistive Technologien wurde bereits im Kapitel Haushalte dargestellt. In noch größerem Ausmaß können die Automatisierungssysteme im Allgemeinen in alle Arten von gewerblichen und öffentlichen Gebäuden eingesetzt werden. Dies betrifft nicht nur die Automatisierung von Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasseraufbereitung, Beleuchtung und Verschattung per se, sondern auch und vor allem die Modellierungs-, Simulations- und Optimierungsmöglichkeiten inkl. Digitaler Zwilling, virtueller Sensorik und vielem mehr.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

TRLs und Barrieren entsprechen den Einschätzungen, die in den jeweiligen Abschnitten im Kapitel Haushalte festgehalten wurden (TRL 5 bis 9). Insbesondere eine offensivere Vorgehensweise im Hinblick auf die innovationsfördernde öffentliche Beschaffung könnte in einigen Bereichen einen Schub zur weiteren Verbreitung leisten.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial zur Marktverbreitung ist sehr hoch, der direkte Einfluss auf den Energieverbrauch könnte ebenfalls sehr hoch sein, wenn die gegebenen Potenziale auch tatsächlich ausgeschöpft werden.

2. e-Commerce, e-Government, e-Learning

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Hier sind alle IKT-Komponenten subsumiert, die in den letzten Jahrzehnten entwickelt worden sind und bereits jetzt ermöglichen, weite Teile des Handels, der behördlichen Aufgaben, aber auch von Aus- und Weiterbildungen sowie Teile der medizinbezogenen Leistungen online / virtuell in Anspruch zu nehmen. Das beinhaltet neben den klassischen Informationssystemen und Workflow auch zunehmend

Expertensystemen verschiedenster Arten, kollaborative Plattformen und Tools, Streaming-Elemente, Übertragung und Analyse unterschiedlichster Datenformate, sowie auch mehrere Technologien rund um Security-Anforderungen auf Anbieter- und Anwenderseite. Den potenziellen Anwendungen solcher Systeme sind keine Grenzen gesetzt.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Es handelt sich hierbei zwar um eine Technologiekombination, aber die einzelnen Technologien sind bereits länger erprobt und am Markt zum Großteil etabliert (TRL 9), eher werden immer neue Anwendungen ausprobiert. Unter den Barrieren sind nach wie vor Security Aspekte zu nennen, welche sowohl die Akzeptanz als auch die rechtlichen Möglichkeiten bedingen.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial zur weiteren Verbreitung und Durchdringung ist nach wie vor vorhanden, sowohl bezüglich der Verbreitung bereits bestehender Potenziale (z.B. Onlineshopping, Onlinebanking, Onlinedienstleistungen verschiedenster Arten, Ausbreitung des e-Governments und der Telemedizin, Intensivierung des Einsatzes im e-Learning), als auch bezüglich gänzlich neuer Anwendungen und Geschäftsmodelle. Der Einfluss auf Energieverbrauch und THG-Emissionen ist dort positiv zu erwarten, wo insgesamt physische Mobilität aufgrund dieser Systeme reduziert wird. Dort, wo Mobilität eher verlagert wird (z.B. Warenanlieferung) ist eher damit zu rechnen, dass Effekte durch Verschiebungen „verschluckt“ werden.

3. Storage, Dienstleistungen und Gaming in der Cloud

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Die technologischen Aspekte von Cloud Computing sind bereits im Kapitel Industrie dargestellt. Für den Dienstleistungssektor sind diese ebenfalls relevant, da sie einerseits Storage-Möglichkeiten anbieten (sowohl für das Dienstleistungsunternehmen als auch für die KundInnen selbst, somit ist dies bereits eine Form der Dienstleistung), sowie eine Reihe an Dienstleistungen möglich machen, die sonst eine spezifische IKT-Infrastruktur vor Ort bei den Kunden und Kundinnen erfordern würden (z.B. Rechenleistung) und / oder die physische Anwesenheit von / bei ExpertInnen / SpezialistInnen.

Diese Aspekte in Kombination auch mit Gaming-Ansätzen ermöglichen Anwendungen in verschiedensten Bereichen, hier seien nur als Beispiel genannt:

- Überprüfung, Instandhaltung und Wartung verschiedenster Anlagen und Geräte, bis hin zu Virtual Maintenance
- Virtualisierung von Trainings und Weiterbildungen, zum Beispiel wo eine benötigte Infrastruktur vor Ort nicht gegeben ist (Industrieanlagen, geografische Gegebenheiten, medizinische Ausrüstung, ...)
- Streamingdienste aller Art, sowohl von Audio- als auch Videodaten
- Gaming und e-Sports einzeln oder in (virtuellen) Gruppen
- Bis hin zu virtuellen Events, Veranstaltungen und Konferenzen

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Die Technologien sind bereits weitestgehend marktreif (TRL 8-9), die Grenzen zur Verbreitung sind derzeit von den Möglichkeiten eines schnellen Datentransports gegeben (Infrastruktur im urbanen und im ländlichen Raum, Auslastung, sicherheitstechnische Aspekte, ...).

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial zur weiteren Marktdurchdringung ist sehr hoch. Dort, wo Cloud Computing die Erbringung von Dienstleistungen vor Ort oder den Aufbau von zusätzlichen Infrastrukturen vor Ort ersetzt, sind die positiven Auswirkungen vor allem auf THG-Emissionen gegeben.

4. Data Analytics und Künstliche Intelligenz

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Hierbei handelt es sich um sehr breite Technologiekombinationen, die – obwohl bereits länger erforscht und ausprobiert – erst jetzt in einigen Anwendungsfeldern den notwendigen Reifegrad für eine stärkere Marktverbreitung erreichen, wohl auch weil die erforderliche Rechenleistung und die dafür benötigten Datenmengen nun entsprechend zur Verfügung stehen. Darunter wird eine hohe Anzahl an sehr unterschiedliche Einzeltechnologien und Herangehensweisen subsumiert, die alle gemeinsam haben, dass aus größeren und heterogenen Datenmengen, deren Zusammenhänge nicht gänzlich formalisiert darstellbar oder nicht zur Gänze / nicht effizient genug berechenbar sind, durch mehr oder weniger „intelligente“ Algorithmen und Verfahren „Schlüsse“ gezogen werden können: Prognosen, Optimierungen, Mustererkennung, Parametrisierung, Simulation, und dergleichen. Das erfolgt in einem mehr oder weniger „autonomen“ Ausmaß, d.h. von einer deterministischen Berechnung bis hin zu selbstlernenden Algorithmen, mit oder ohne Supervision und Unterstützung durch Menschen.

Die Anwendungsmöglichkeiten sind nahezu unbegrenzt, hier nur einige Beispiele: Automatisierung und Optimierung von Energiebereitstellung; Prognostizierung und Optimierung des Energiebedarfs; Simulation von Kunden- und Menschenströmen und vom Einzelverhalten¹²; Prognostizierung von medizinischen Parametern zur Optimierung von Therapien und Untersuchungen; Prognostizierung von Naturphänomenen wie Lawinen, Wasserstand, Wetter; Predictive Maintenance; Decision Support, zum Beispiel hinsichtlich Tourenplanung für Logistik / Distribution (LKW-Routen) und Lagerhaltung / Inventory Management (maximale Warenverfügbarkeit bei minimalem Lagerstand); Preis- und Bestelloptimierungen; Produktionsoptimierung (zum Beispiel optimale Losgröße, Reduktion von Material und Verschnitt); Topologieoptimierung von Energienetzen unter Berücksichtigung von dezentraler Erzeugung und Instabilität; und vieles mehr. Die Potenziale sind in allen Bereichen bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Je nach Einzeltechnologie bzw. Art der „Intelligenz“ und des Lernens gibt es derzeit unterschiedliche Reifegrade, aber die meisten davon sind bereits weiter als nur Prototyp und einige bereits im Status Mature, somit im Allgemeinen TRL 4 bis 9. Die Verbreitung ist stark branchenabhängig, zum Beispiel sind KI und Machine Learning bei sehr vielen EVUs bereits vorhanden/integriert, während im Tourismus erste Versuche im Laufen sind.

Noch nicht marktreif sind jene Formen des maschinellen Lernens, die „unsupervised“, d.h. ohne manuellen Aufwand durch einen Menschen auskommen möchten (z.B. Analyse und Lernen aus Videodaten ohne eine Etikettierung von Bildern durch den Menschen).

Neben dem Reifegrad der Technologien, sind die Weiterentwicklung von Rechenleistung und von Storage-Möglichkeiten für größere Datenmengen, deren PreisLeistungsverhältnisse, das Vorhandensein von Knowhow in den Unternehmen, sowie auch die Security- und datenschutzrechtlichen Aspekte für die weitere Verbreitung von großer Bedeutung.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Für einige Anwendungsbereiche ist mit einem großen Sprung in der Marktdurchdringung zu rechnen, sobald Basisfunktionalitäten für KI und Machine Learning in den marktgängigen ERP-Systemen integriert sein werden (z.B. durch SAP), was möglicherweise bereits in 2 bis 3 Jahren der Fall sein könnte.

Obwohl der Ressourcenverbrauch der Einzelanwendung immer effizienter wird, werden insgesamt immer mehr Ressourcen verbraucht – den Rebound-Effekten ist hier kontraproduktiv. Zwar werden die Chips effizienter, aber der Stromverbrauch ist durch die massive Ausweitung der Anwendung trotzdem stark gestiegen. Sonstige Potenziale hängen vom jeweiligen Anwendungsbereich ab.

¹² Zum Beispiel gibt es Erkenntnisse aus dem Austria Experience Data Hub von Österreich Werbung im Hinblick auf einen digitalen Assistenten für den Tourismus, siehe https://www.austriatourism.com/fileadmin/user_upload/Media_Library/Bilder_Videos/Presse/2021/Austria_Experience_Data_Hub.pdf

5. Virtual Reality und Augmented Reality

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Die Technologien und deren Kombinationen sind im Kapitel Industrie erläutert, sodass hier der Fokus auf bestehende und mögliche Anwendungsfelder im Sektor Dienstleistungen liegt. Diese sind bereits stärker umgesetzt bzw. bereits in der Umsetzung wo die Dienstleistungen eher B2B-Charakter haben, zum Beispiel für die Überprüfung und Instandhaltung von industriellen Anlagen oder Energieerzeugungsanlagen, für Wartungszwecke. Noch in der experimentellen Phase bzw. derzeit noch sehr schwach eingesetzt sind diese Technologien eher im B2C-Bereich, wie zum Beispiel im Tourismus Teilsektor, wo eine Vorbereitung bzw. Bereicherung von Erlebnissen dadurch möglich wäre.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Die Technologien sind bereits in einem hohen Reifegrad vorhanden, bis Mature, d.h. TRL 9 (zum Beispiel bereits im Einsatz bei EVUs in der Wartung).

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial zur Marktdurchdringung ist hoch und steigend, da dem Trend der Virtualisierung insgesamt folgend und fördernd. Insgesamt sind diese Technologien verbrauchsoptimierend/senkend, überall dort wo sie physische Wege ersetzen. Denkbar wäre dies z.B. in den Teilsektoren Gesundheit, Tourismus, Energie und Bildung

6. KI für Bilder, Videos, Texte und Stimmen

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Hier geht es einerseits um die Analyse und Interpretation von nicht stark strukturierten Daten (Erkennung und Etikettierung von Bildern und Videos, Erkennung von „Fehlerfällen“ und Anomalien, Identifikation von Sprechern anhand derer Stimme, Stimmenanalyse im Hinblick auf Geschlecht, Dialekt, usw.), andererseits aber auch um die potenzielle Generierung von solchen Daten durch künstliche Intelligenz. Beispiele gibt es bereits in der Generierung von (künstlichen) Gesichtsfotos, Überarbeitung von Bildern und Videos, Generierung von Texten z.B. für Nachrichtenportale und Vorlesen von Texten mit verschiedenen Dialekten/Prägungen. Mögliche Anwendungsfelder sind überall dort, wo Onlinedienstleistungen erbracht werden, aber auch im Bereich der öffentlichen Dienstleistungen (z.B. Erkennung von falsch platzierten Verkehrszeichen) und im Tourismus.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Diese (untereinander sehr heterogene) Technologien sind noch in einem TRL vom Prototyp bis Demonstration mit einem TRL zwischen 4 und 7, noch nicht marktreif und noch nicht in funktionierenden Geschäftsmodellen integriert.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial zur Marktdurchdringung ist sehr hoch, der zu erwartende Einfluss auf Energieverbrauch und THG-Emissionen fraglich bzw. vom Anwendungsfeld abhängig und möglicherweise eher indirekt.

Übersicht

Folgende Tabelle fasst die dargestellten Technologiekombinationen für den Sektor Dienstleistungen zusammen, wobei unter Potenzial 2040 die Gesamtschätzung bzgl. der direkten und indirekten Effekte auf Energieverbrauch und THG-Emissionen angegeben ist (++ steht für hohes Potenzial, + für niedriges Potenzial, +/- für unklar oder gleichbleibend, - und – für steigenden Energiebedarf bzw. steigende Emissionen).

Technologiekombination	TRL 2021	Potenzial 2040
Gebäudeautomatisierung	5-9	++
e-Commerce, e-Government, e-Learning	9	+
Storage, Dienstleistungen und Gaming in der Cloud	8-9	+
Data Analytics und Künstliche Intelligenz	4-9	+/-
Virtual Reality und Augmented Reality	9	+
KI für Bilder, Videos, Texte und Stimmen	4-7	+/-

Weitere Technologien

Wie auch für andere Sektoren wurden von den Interviewpartnern eine Reihe an andere technologiebezogene Anmerkungen eingebracht, die wir hier kurz zusammenfassen wollen:

- Block Chain: Während die Technologie an sich bereits reif ist, scheint es bei den Anwendungsfeldern noch nicht zu einem Durchbruch am österreichischen Markt gekommen zu sein. Die zukünftigen Potenziale und der Einfluss auf den Energieverbrauch (steigernd oder senkend) hängen stark von der Anwendung ab.
- Mobile Roboter: Auch im Dienstleistungsbereich könnte sich die mobile Robotik stärker verbreiten, wie es derzeit der Fall in der Industrie ist. Anwendungen sind bereits vorhanden z.B. in der Wartung, weiter könnten Roboter mehr Einsatz in Gesundheit, Lenkung von Menschenströmen (z.B. in Servicecentern, in touristischen Attraktionen, ...).
- Rechenzentren: Der Energieverbrauch (sowohl für IT-Infrastruktur als auch für die Hilfsenergie zur Klimatisierung und Beleuchtung) ist stark und steigend, derzeit nur zum Teil, zwischen 25 und 50%, aus erneuerbaren Energiequellen abgedeckt, weil Stabilität ein sehr wichtiges Kriterium ist. In Österreich ist die derzeitige Wachstumsrate dieses Teilssektors ca. 8-10% über alle Anbieter pro Jahr. Die zukünftige Entwicklung hängt stark von dem möglichen Präsenz von internationalen Rechenzentren (derzeit noch nicht der Fall). Die Verwendung von Rechenzentren betrifft alle Branchen, abhängig vom IKT-Reifegrad, ob nun ausgelagert oder selbst betrieben.
- "AI Chips" und AI direkt in Sensoren (bis zu passiven AI Sensoren): Diese Entwicklung betrifft alle Anwendungen, die auf Sensorik und vor allem Internet of Things basieren. In 2 bis 3 Jahren könnten die technischen Probleme bereits gelöst sein und entsprechende Produkte vorhanden sein, deren Verbreitung (wie bei anderen IoT Anwendungen) davon abhängig sein wird, wie rasch die notwendige technische Infrastruktur dafür bereitgestellt wird. Potenziell könnte der Einfluss auf den Energieverbrauch stark senkend sein, nachdem aktuelle Trends zeigen, dass ein passiver AI Sensor bis zu 50mal weniger Energie verbrauchen könnte (zum Beispiel für intelligente Glühbirnen).
- AI Modelle, die lokal auf mobilen Geräten laufen können, statt in der Cloud: Diese könnten für alle Anwendungen interessant sein, die zum Beispiel in Fahrzeugen und Zügen zur Verfügung stehen sollen. Es handelt sich dabei um komprimierte AI Modelle ("Model Pruning"), die weniger Rechenleistung benötigen und keinen Zugriff auf die Cloud brauchen. Diese sind derzeit noch in Entwicklung und hätten Potenzial zur Senkung des Energieverbrauchs.

Akteure in Österreich

Unter den österreichischen Playern sind prinzipiell alle akademischen Einrichtungen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und Unternehmen zu berücksichtigen, die im Bereich IKT und Digitalisierung tätig sind, da die Ausprägungen im Sektor Dienstleistungen wirklich sehr breit sind ist eine Übersicht vor allem im Unternehmensbereich nicht wirklich möglich.

Unter anderem dürfen hier genannt werden:

- Universitäten: TU Wien, TU Graz, Montanuniversität Leoben, Johannes-Kepler-Universität mit dem AI Lab, Wirtschaftsuniversität Wien
- Fachhochschulen: FH Oberösterreich, FH Vorarlberg, FH Technikum Wien, FH St. Pölten
- Forschungseinrichtungen: AIT, Fraunhofer (z.B. hinsichtlich Logistik in Tirol), Joanneum Research, IARAI Wien, SBA Research, FOTEC, Forschung Burgenland, diverse COMET Zentren (SCCHagenberg, KnowCenter Graz, VRViS), Aspern Smart City Research

- Unternehmen: EnliteAI, Wien Energie mit einer eigenen Forschungsabteilung und andere EVUs, fast alle Telekomprovider, viele Softwarehersteller für MES/ERP und Business Intelligence Lösungen, einige Nischenanbieter wie EYYES in Krems, Swarm Analytics in Innsbruck, AI Storm in Graz, und die Umdasch Gruppe mit Big Data für die Baubranche.

IX. Landwirtschaft

Die Basis der Betrachtung dieses Sektors bildet der Bericht *Digitalisierung in der Landwirtschaft* (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018), der die zwei Bereiche Innen- und Außenwirtschaft analysiert, parallel dazu wurde, wo möglich, die Forstwirtschaft mitberücksichtigt. Einen Überblick der relevanten Technologien und Anwendungsfelder als Einstieg bieten die Webplattform Innovationfarm – Farming for future der HBLA Josephinum¹³ und das COMET-Projekt D4Dairy – Digitalisation, Data integration, Detection and Decision support in Dairying unter der Leitung von ZuchtData EDV-Dienstleistungen GmbH¹⁴. Bereits während der Laufzeit des gegenständlichen Projekts DigiAT-2040 haben das Land Niederösterreich und das AIT die Initiative d4agrotech ins Leben gerufen, mit dem Ziel einer Erhebung und Analyse von landwirtschaftlichen Daten zur Vorhersage und Empfehlung für eine effizientere und klimasowie ressourcenschonendere Landwirtschaft.

Auf der Grundlage der Recherchearbeit, der durchgeführten Interviews sowie des Screening-Gesprächs mit den Expertinnen und Experten wurden folgende Digitalisierungstechnologien bzw. -gruppierungen als bis zum Jahr 2040 für den Verlauf von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft relevant identifiziert und analysiert, wobei die Digitalisierung in vielen Fällen nicht per se der treibende Faktor ist, sondern die Notwendigkeit, den Einsatz von Betriebsmitteln soweit wie möglich zu optimieren.

Im Folgenden entspricht die Reihenfolge dem zunehmenden „Digitalisierungsgrad“ bzw. dem Komplexitätsgrad in der Digitalisierungskette.

1. Automatische Fütterungs-, Melk-, Entmistungssysteme

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

In der Innenwirtschaft / Tierwirtschaft etablieren sich zunehmend eine Reihe an Systeme, die spezifische Aufgaben teilautomatisieren. Es handelt sich dabei aus Sicht der eingesetzten Technologie um eine Kombination und Weiterentwicklung von Automatisierungstechnik, Sensorik, Robotik und entsprechender Software. Darunter subsumiert sind: Fütterungssysteme, Melksysteme, Entmistungssysteme, aber auch Stallbelüftungssysteme. Die Anwendung ist sehr spezifisch für die vorgesehene Aufgabe.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Solche Teilautomatisierungssysteme sind State of the Art und am Markt von verschiedenen Anbietern verfügbar (TRL 9), weiterführende Forschung und Entwicklung betreffen hier eher die mobile Robotik wie weiter oben angeführt bzw. die Integration in umfangreichere, intelligentere, sensor- und softwaregestützte Steuerungssysteme (TRL 4 bis 8).

Nichtdestotrotz ist die Verbreitung am Markt noch nicht sehr groß, hauptsächlich aufgrund der erforderlichen Investitionen und der Wirtschaftsstruktur in Österreich. Um ein konkretes Beispiel heranzuziehen: Ein automatisches Melksystem bzw. ein Melkroboter ist erst ab ca. 50 Kühen wirtschaftlich sinnvoll, während die durchschnittliche Betriebsgröße in Österreich bei 25 Kühen liegt. Einerseits bremst diese Tatsache die Marktdurchdringung der Digitalisierungstechnologien, andererseits bewirkt zum Teil die Digitalisierung eine Verschiebung in der Wirtschaftsstruktur, indem eventuell kleinere Betriebe, für die eine solche Technologie sich nicht amortisiert, aber notwendig wird (z.B. bei Nebenerwerbsbetrieben), ihre Dimension den Anforderungen der Technologie versuchen anzupassen.

¹³ Siehe <https://www.innovationfarm.at>

¹⁴ Siehe <https://www.d4dairy.com>

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Mit zunehmender Automatisierung steigt innerhalb des Betriebs möglicherweise der Stromverbrauch, oder die Einsparungen und der Mehrverbrauch sind annähernd gleich. Detailliertere Analysen wurden bereits in Jauschnegg, 1999 aufbereitet.

2. Farmmanagement- und -informationssysteme

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Angefangen mit Dokumentationsfunktionalitäten wurden und werden zunehmend umfangreiche Farmmanagement- und Informationssysteme entwickelt, die alle Schritte und Bereiche eines Landwirtschaftsbetriebs abdecken, dokumentieren, überwachen und Überblick und Auswertungen ermöglichen. Von Bewirtschaftungsplänen bis hin zur Logistiko Optimierung, die Palette an Funktionalitäten ist je nach Anbieter sehr breit.

In einer langfristigen Vision, solche Systeme würden den Landwirtschaftsbetrieben ermöglichen, die Vernetzung von der Produktion bis zum Markt umzusetzen, und sogar die Logistikkette damit abzudecken. Beispiele hierfür wären die Optimierung bzw. Vorhersage und Steuerung der Produktion von Lebensmitteln ausgehend von der erwarteten Nachfrage (z.B. aufgrund von Wetterparametern und historischen Daten), bis hin zur gezielten Reduktion von Lebensmittelabfall.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Die Systeme als solche sind bereits marktreif und zunehmend in Verwendung (TRL 9), Weiterentwicklungspotenzial besteht (wie im Zusammenhang mit smart und Precision Farming angemerkt) in der Vernetzung weitreichenderer Funktionalitäten und Daten, in der Kommunikation und Schnittstellenstandardisierung zwischen den verschiedenen Produkten, in der Erhöhung der „Intelligenz“, die in der Software selbst abgebildet ist (bis hin zu Künstliche Intelligenz und Machine Learning, siehe ebenfalls Smart und Precision Farming), mit einem TRL zwischen 4 und 8. Barrieren zur Verbreitung bestehen lediglich in der Kosten-/Nutzenrelation abhängig von Kosten, Komplexität, Anwendungen im jeweiligen Betrieb.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das Potenzial zur Marktdurchdringung ist einerseits von der steigenden Komplexität für die Landwirtschaftsbetriebe getrieben (z.B. um gesetzliche Regelungen zu erfüllen, ist es notwendig immer umfangreicheren Dokumentationspflichten nachzukommen), andererseits von den Kosten entsprechender Softwareprodukte, wobei große Hersteller wie auch für andere Branche geschehen zunehmend ihr Augenmerk darauf legen, kleinere Cloud-basierte Versionen ihrer Softwarepakete anzubieten, die auch für kleinere Betriebe attraktiv sein können.

Der direkte Einfluss auf den Energieverbrauch ist aus heutiger Sicht vernachlässigbar, da der Mehrverbrauch an Strom pro Betrieb nicht sehr hoch ausfällt und das Optimierungspotenzial sich nicht auf den Energieverbrauch bezieht.

3. Automatisierung der Fahrzeugsteuerung bis zu (semi-)autonomen Fahrzeugen

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Die Landwirtschaftsmaschinen und die dazu gehörigen Geräte werden schrittweise mit immer mehr „Intelligenz“ ausgestattet, das heißt: mit Sensoren, die z.B. den Boden überprüfen oder die Positionierung des Fahrzeugs registrieren; mit Softwarekomponente, die der Kommunikation, Dokumentation und auch der Steuerung dienen; mit Aktuatoren, die Geräteeinstellungen vornehmen bzw. ändern und spezifische Arbeitsschritte übernehmen. Daraus resultieren semiautonome Fahrzeuge/Geräte, die einen großen Teil der Steuerung und Optimierung eigenständig vornehmen können, zum Beispiel betreffend: Fahrspuren auf dem Feld; Ausbringung von Pflanzenschutzmittel; Bodenbearbeitung. Die Funktionalitäten ermöglichen einerseits im breitesten Sinn die Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes, andererseits die immer präziser werdende Bearbeitung, passend zu den Bodenbedingungen und zur Geografie des zu bearbeitenden Gebiets. In einer weiteren Ausbaustufe übernehmen die Landwirtschaftsmaschinen autonom oder semiautonom die Steuerung von bestimmten Aktivitäten, während die menschliche Rolle in der

Supervision und Kontrolle besteht. Somit können viele Schritte in der Außenwirtschaft (z.B. Säen, Düngen und Ernten), sowie einige Schritte in der Innenwirtschaft (z.B. Fütterung, siehe weiter unten den entsprechenden Abschnitt) (semi-)automatisch erfolgen. Beispiele für (Teil-)Steuerung bestehen in: Reifendruckregeltechnik, Spurführungssysteme, Teilbreitenschaltung, mechanische Unkrautvernichtung/-regulierung, Striegel- und Hacktechnik.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Während viele Technologien bereits über dem Reifegrad der Demonstration hinaus und schon marktreif sind (z.B. Teilbreitenschaltung und Spurhaltesysteme, sowie die automatische Steuerung und Überwachung von Anbaugeräten, mit TRLs bei 8 und 9), sind einige Anwendungen und auch Sensoren noch zu teuer für die Landwirtschaft oder nur für arbeitsintensive Teile sinnvoll (z.B. Gemüseanbau).

Ein weiteres Hindernis besteht in den geografischen und betrieblichen Gegebenheiten, mit sehr dezentralen und kleinen Feldstrukturen, die der Optimierung enge Grenzen setzen. Aufgrund der Landschaftsstruktur und der Betriebsgröße in Österreich ist zum Beispiel das Konzept von „Controlled Traffic Farming“ nur begrenzt praktikabel, während es in anderen Ländern wie z.B. Dänemark zunehmend Anwendung findet. Aufgrund lokaler Gegebenheiten bleiben auch einige Teile nicht automatisierbar, z.B. dort wo es zu einer Überlappung mit öffentlichen Flächen kommt.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

In den nächsten Jahren ist es auf alle Fälle mit einer sehr starken Verbreitung von Automatisierung, Sensorik und Steuerung zu rechnen, obwohl eventuell durch ihre Langlebigkeit ältere, nicht energieeffiziente Maschinen noch lang in Verwendung bleiben werden. Bereits zu beobachten und für die Zukunft verstärkt zu erwarten ist die Durchsetzung am Markt von „Plattformgeräten“ für möglichst viele Bereiche und Anwendungen der Außenwirtschaft. Darüber hinaus ergeben sich neue, derzeit noch in Entstehung befindliche Geschäftsmodelle, z.B. nach erbrachter Leistung, welche die Mechanismen und die Rentabilität der erforderlichen Investitionen noch stark beeinflussen und vorantreiben werden.

Obwohl die Energieeffizienz nicht der treibende Faktor zum Einsatz und zur Verbreitung ist, ist als indirekter Effekt im Allgemeinen mit einer hohen Reduktion des Einsatzes verschiedenen Betriebsmitteln zu rechnen, somit insgesamt auch mit einem reduzierten Energieverbrauch und THG-Emissionen. Laut Schätzungen wäre es z.B. allein durch Spurführungssysteme möglich, Gesamteinsparungen an Betriebsmitteln zwischen 5 und 15% zu erzielen. Im Ackerbau dürften bis zu 15% Ressourcenersparnisse durch automatische Reifendruckoptimierung möglich sein.

4. Mobile Roboter inkl. Drohnen

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Mobile Roboter bis hin zu Drohnen finden bereits in vielen Arbeiten der Feld- und Forstwirtschaft Anwendung (für die Zwecke dieses Arbeitspakets von den weiter unten angeführten automatischen Fütterungs-, Melk- und Entmistungssystemen zu unterscheiden). In allen Bereichen sind auch weiterführende Entwicklungen in den nächsten Jahren dank immer neuen Sensoren, Modellen, Simulationen, Hardware- und Softwarekomponenten zu erwarten. Als Beispiele seien hier genannt: Ernteroboter, Düngerroboter, Pflanzenschutzroboter und potenziell auch -drohnen zur Ermittlung von Befall und zur gezielten Applikation von Pflanzenschutz (z.B. zur Reduktion des Einsatzes von Pestiziden / Fungiziden durch Bilderkennung und punktuellen Behandlung), zur Entnahme von Bodenproben und zur Bodenanalyse, zur Unterscheidung zwischen Nutzpflanzen und Unkraut – überall dort relevant, wo die durchzuführende Arbeit nicht durch (größere) Landwirtschaftsmaschinen unterstützt werden kann, wo typischerweise Menschenarbeit erforderlich ist, wo spezifische Sensoren Auskunft darüber geben, wo und wie welche Aktion durch den Roboter durchzuführen ist. Typischerweise Anwendung finden solche Roboter in den „teureren“ oder arbeitsintensiveren Bereichen der Landwirtschaft (z.B. Gemüseanbau), in denen Investitionen in Hardware und Software wirtschaftlich rechtfertigt sind. Mit den zu erwartenden technologischen Entwicklungen und mit dem zunehmenden Erntearbeitskräftemangel, wird diese Technologie in den nächsten Jahren an Relevanz gewinnen.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Der derzeitige technologische Reifegrad variiert je nach Art des Robots und Anwendung zwischen Prototyp und Early Adoption, somit TRL 4 bis 8 (bis hin zur Marktreife in einigen Fällen, TRL 9) und entwickelt sich schnell weiter. Für die Einführung und Verbreitung in bestimmten Landwirtschaftsbereichen sind vor

allein die erforderlichen Investitionen in Bezug auf Betriebsgröße und Kostenstruktur ein entscheidender Faktor (z.B. ist im Gemüse- und Obstanbau eine Einführung bereits jetzt sinnvoller als im Getreideanbau), sowie für spezifische Aspekte (z.B. Drohnenunterstützung bei der Applikation von Pflanzenschutzmitteln, außerhalb der EU zum Teil bereits im Einsatz in Pilotprojekten) auch die rechtlichen Rahmenbedingungen.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Bei einer höher zu erwartenden Marktdurchdringung in den nächsten Jahren (v.a. von Düngerobotern) ist mit hohen indirekten Effekten auf Energieverbrauch und THG-Emissionen durch den zielgerichteteren Einsatz von Betriebsmitteln aller Art, somit durch die indirekte Reduktion des flächengebundenen Aufwands. Einfluss auf Energieverbrauch und THG-Emissionen sind somit als Nebeneffekt zu betrachten, eher als Verbesserung der Energienutzungseffizienz zu verstehen, wobei dieses Potenzial bei Drohnen im Allgemeinen niedriger als bei sonstigen mobilen Robotern einzuschätzen ist.

5. Smart (Livestock) und Precision Farming

Kurzbeschreibung und Anwendungsfelder

Unter den Begriffen Smart (Livestock) Farming und Precision Farming lassen sich eine Reihe an Softwaretechnologien zur softwaregestützten Bewirtschaftung subsumieren (bzw. erst durch diese Technologien sind smart und Precision Farming überhaupt möglich), die alle darauf basieren, dass eine hohe Anzahl an Sensoren (z.B. hinsichtlich Boden, Temperatur, Tierkörpermerkmale, Wetter, Telemetrie), Modellen und Datenbanken (z.B. Wettermodelle, topografische Kartenmaterial, Zuchtdatenbanken), sowie die Aufnahme und Dokumentation aller Betriebs- und Bewirtschaftungsaktivitäten (von der Feldbearbeitung inkl. Geräteeinstellungen und von der Lebensmittelverfolgung bis hin z.B. zur bildgebenden Diagnostik bei Tieren) größere Datenmengen generieren, die intelligent vernetzt und kombiniert werden können, um daraus Modelle und Simulationen zu bilden, die Optimierungs- und Steuerungshinweise ergeben – bis hin zum Digitalen Zwilling eines Landwirtschaftsbetriebs. Es geht also, aus Sicht der Digitalisierung, um Big Data, Künstliche Intelligenz, Predictive Analytics, Machine Learning und verschiedenste digitale Assistenten bis zu Apps auf Smartgeräten, mit den allgemeinen Zielen der Prognose, der Optimierung, der Gewinnung, Abbildung und Nutzbarmachung von Expertenwissen.

Die Anwendungen betreffen ganze Bereiche der Außenwirtschaft (z.B. im Hinblick auf Saat, Entwicklung des Pflanzenbestands, Erntezeitpunkt, Düngemittelausbringung, Pflanzenschutz) und ebenfalls der Innenwirtschaft (von Futteroptimierung und Wachstumsmodellierung bis hin zum Herdenmanagement mit Untersuchung von Genomen und Phänotypen unter Einbeziehung von Leistung und Abstammung) und zur zielgerichteten Therapie bei Krankheiten im Bestand. Die Ergebnisse können entweder zur direkten Steuerung herangezogen werden, z.B. bei der automatisierten Einstellung von teilautonomen Fahrzeugen und Geräten, oder in Form von Webanwendungen und Apps aus Smartgeräten bereitgestellt werden.

TRL 2021 sowie Barrieren zur Einführung / Verbreitung

Die Digitalisierungstechnologien sind derzeit bereits in einem hohen Reifegrad verfügbar (vom Prototyp bis zur Marktreife, TRL 4 bis 9), das auf verschiedene Anwendungsfelder hin weiterentwickelt wird. Allerdings ist die Verbreitung mit Kosten für die Landwirtschaftsbetriebe verbunden, die sich derzeit nur bei größeren Betrieben oder bei kostenintensiveren Bereichen der Landwirtschaft tragen und amortisieren lassen. Ein einzigartiges Beispiel hinsichtlich State of the Art in Österreich bietet das COMET Projekt D4Dairy¹⁵, in dem die Nutzung und Vernetzung von Genomdaten, Fütterungsdaten, Temperatursensoren, veterinärmedizinischen Datenbanken und anderen Sensoren im Herdenmanagement getestet wird.

Aus technologischer Sicht noch weiterzuentwickeln bzw. zu öffnen und zu standardisieren, um den besten Nutzen aus den Daten zu ermöglichen, ist der Datenaustausch bzw. die Interoperabilität der Daten. Bei Datenformaten, -semantik und Schnittstellen gibt es eine Vielzahl an proprietäre und offene Standards, die nur schrittweise zusammengeführt und vernetzt werden können, mit hohen Aufwänden verbunden, trotz Initiativen zur Standardisierung und zu Open Standards.

Eine wesentliche Frage in diesem Zusammenhang betrifft die österreichischen Rahmenbedingungen: Wird eine Infrastruktur auf nationaler Ebene aufgebaut, die den Einsatz der Landwirtschaftsdaten im Land selbst ermöglicht? Wer hat die Datenhoheit, den Zugang und wer profitiert von den Daten, die von den Betrieben via Sensoren und Software bereitgestellt werden? Diese landen derzeit nämlich öfter auf

¹⁵ Siehe <https://d4dairy.com/de/#start>

internationale Plattformen der Hardware- und Softwarehersteller, wo sie zwar für einzelne Betriebe einen Nutzen generieren (den der Betrieb selbst bezahlt), aber nicht für den österreichischen Landwirtschaftssektor im Allgemeinen.

Potenzial zur Marktdurchdringung und Einfluss auf Energieverbrauch / THG-Emissionen

Das zu erwartende hohe Potenzial betrifft insgesamt den Einsatz von Betriebsmitteln und somit lediglich indirekt den Stromverbrauch. Direkter lässt sich der Nutzen im Sinne einer Reduktion der Treibhausgasemissionen zuordnen, sowohl in der Außen- als auch in der Innenwirtschaft. Bei der Feldwirtschaft liegt ein hohes Potenzial z.B. in der teilschlagspezifischen Düngung; in der Tierwirtschaft zeigen Daten aus Holland eine Reduktion der Methanemissionen von bis zu 20-30% bei Rindern durch spezifische Zuchtmaßnahmen. Es wäre somit notwendig, eine ähnliche Datengrundlage auch in Österreich zu schaffen.

Für eine höhere Marktdurchdringung und Nutzengenerierung bedarf es auf alle Fälle einer besseren Vernetzung im Sinne von standardisierter Kommunikation und Schnittstellen zwischen verschiedenen Systemen und Anbietern. Während die Definitionen zum Teil bereits vorhanden sind, stellt die Datennutzung bzw. Datenhoheit oft ein Problem dar.

Übersicht

Folgende Tabelle fasst die dargestellten Technologiekombinationen für den Sektor Landwirtschaft zusammen, wobei unter Potenzial 2040 die Gesamtschätzung bzgl. der direkten und indirekten Effekte auf Energieverbrauch und THG-Emissionen angegeben ist (++ steht für hohes Potenzial, + für niedriges Potenzial, +/- für unklar oder gleichbleibend, - und – für steigenden Energiebedarf bzw. steigende Emissionen).

Technologiekombination	TRL 2021	Potenzial 2040
Automatische Fütterungs-, Melk- und Entmistungssysteme	4-9	+/-
Farmmanagement- und -informationssysteme	9	+/-
Automatisierung der Fahrzeugsteuerung bis zu (semi-) autonomen Fahrzeugen	8-9	++
Mobile Roboter inkl. Drohnen	4-9	++
Smart (Livestock) und Precision Farming	4-9	+

Weitere Technologien

Wie im Haushaltssektor, spielen auch in und rund um Landwirtschaftsgebäuden und -infrastrukturen Systeme für das automatisierte und optimierte Energiemanagement eine immer größer werdende Rolle. Die entsprechenden Digitalisierungstechnologien werden in diesem Kapitel nicht gesondert aufgelistet, da sie weitestgehend mit denen im Sektor Haushalte überlappen.

In diesem Kapitel nicht berücksichtigt, obwohl Thema einiger ExpertInnen-Gespräche, sind u.a.:

- In-Vitro Fleisch (cultured meat),
- Vertical Farming,
- automatisierte Systeme für Algen und Indoorfischerei,
- PV-Anlagen auf Dachflächen von Landwirtschaftsbetrieben,
- Elektrifizierung der Antriebe in der Landwirtschaft

Diese Technologien sind zwar für die zukünftige Energie- und Treibhausgasbilanz des Landwirtschaftssektors relevant, aber bestehen nicht als wesentliches Merkmal aus Digitalisierungstechnologien und fallen somit aus dem Rahmen dieser Betrachtung raus.

Akteure in Österreich

In der Forschung sind hauptsächlich die Universität für Bodenkultur Wien und die HBLFA Francisco Josephinum in Wieselburg sowie die HBLFA Raumberg-Gumpenstein, darüber hinaus das AIT tätig. Erst im

April 2021 haben das Land Niederösterreich und AIT unter dem Titel „d4agrotech“ eine große Initiative rund um die „Landwirtschaft 4.0“ ins Leben gerufen.

Ebenfalls zu nennen, vor allem mit Bezug auf IT- und mechatronische Systeme für die Landwirtschaft, sind die TU Wien und die TU Graz. In diesem Zusammenhang aktiv ist auch die Veterinärmedizinische Universität Wien und auf Projektebene das Complexity Science Hub Vienna (im bereits erwähnten Projekt d4dairy).

Unter den Fachhochschulen ist besonders die FH Oberösterreich zu nennen. Unter den nicht-akademischen Forschungsplayern sind u.a. das Umweltbundesamt und das FFoQSI, Austrian Competence Centre for Feed and Food Quality, Safety and Innovation, sowie auch Joanneum Research aktiv.

Auf Seite der Unternehmen können einige Gruppierungen getroffen und für jede Gruppe einige Beispiele angegeben werden:

- Landwirtschaftsmaschinen und Gerätehersteller: Lindner Traktoren, Pöttinger Landtechnik GmbH, Einböck GmbH, Fritzmeier GmbH, Hatzenbichler Agro-Technik GmbH, CLAAS KGaA mbH, CNH Industrial Österreich GmbH (STEYR Traktoren).
- Automatisierungstechnik in der Landwirtschaft: Hetwin Automation Systems GmbH, Wasserbauer Fütterungssysteme, Schauer Agrotronic GmbH.
- Sensorik und Software: Pessl Instruments, Smartbow GmbH und auch Waldland.
- Hersteller von Informationssystemen für die Landwirtschaft: AgrarCommander GmbH, FARM-DOK GmbH, wobei hier auch die Raiffeisen Ware Austria KG tätig ist.
- Verbände und Interessensvertretungen sowie ihre Töchterunternehmen, wie zum Beispiel Zucht-Data EDV-Dienstleistungen GmbH der Zentralen Arbeitsgemeinschaft österreichischer Rindzüchter (ZAR); die Österreichische Qualitätsgeflügelvereinigung.

X. Technologien über Sektoren hinweg

Das vorliegende Kapitel stellt den Versuch einer sektorübergreifenden Betrachtung der identifizierten Digitalisierungstechnologien dar, wobei Folgendes zu beachten ist: die angegebenen TRLs variieren über Sektoren hinweg insofern, dass die jeweiligen Anwendungen unterschiedliche Reifegrade ausweisen, obwohl die darunter liegenden technologischen Ansätze allen Sektoren gemeinsam sind; der potenzielle Beitrag einer Technologiekombination den Einsparungen an Energieverbrauch und THG-Emissionen ist per Definition je Sektor sehr unterschiedlich. Beide Aspekte bedingen eine schwierige Vergleichbarkeit über Sektoren hinweg, dennoch ist eine nur technologiebezogene Betrachtung auch interessant, wenn es um die (spätere) Identifizierung und Diskussion von möglichen FTI-politischen Maßnahmen geht. Die reine Zusammenführung der Übersichtstabellen aus den vorangegangenen Kapiteln ergibt folgendes Bild:

Technologiekombination	TRL 2021	Potenzial 2040
Industrie		
Künstliche Intelligenz	1-9	++
Cloud und Edge Computing	1-9	+
Simulation und Digitaler Zwilling	1-9	+/-
Additive Fertigung	3-9	+
Internet of Things	7-9	+/-
Robotik und Autonomous Guided Vehicles	3-9	+
Extended Reality und Virtual Reality	6-9	+
Verkehr		
Condition-Based Maintenance und Predictive Maintenance	3-9	+
Simulation und Digitaler Zwilling	5-9	+
Automatisierte Betriebsführung im Schienenverkehr	9	++
Digitale automatisierte Kupplung / Güterzugautomatisierung	9	++
Künstliche Intelligenz in der Fahrzeugregelung	3-9	+
Big Data	Ab 3	++
Autonomes Fahren	2-9	+/-

Haushalte		
Automatisierung und Regelungstechnik	5-9	+
Data Analytics und Simulation	4-8	+
Digitaler Zwilling und Internet of Things	4-8	++
Energiemarktplatz Cloud	4-8	++
Mobile Robotik und Augmented Reality	4-8	+
Dienstleistungen		
Gebäudeautomatisierung	5-9	++
e-Commerce, e-Government, e-Learning	9	+
Storage, Dienstleistungen und Gaming in der Cloud	8-9	+
Data Analytics und Künstliche Intelligenz	4-9	+/-
Virtual Reality und Augmented Reality	9	+
KI für Bilder, Videos, Texte und Stimmen	4-7	+/-
Landwirtschaft		
Automatische Fütterungs-, Melk- und Entmistungssysteme	4-9	+/-
Farmmanagement- und -informationssysteme	9	+/-
Automatisierung der Fahrzeugsteuerung bis zu (semi-) autonomen Fahrzeugen	8-9	++
Mobile Roboter inkl. Drohnen	4-9	++
Smart (Livestock) und Precision Farming	4-9	+

Eine mögliche Clusterung der identifizierten Technologiekombinationen über Sektoren ergibt folgendes Bild, wobei nur vereinzelte Technologiekombinationen sich nicht zuordnen lassen (z.B. die Additive Fertigung, die tatsächlich eigene Merkmale aufweist) und es bei den vorgeschlagenen Clustern sich per Definition um sehr breite Bereiche handelt:

- Automatisierungstechnik und (autonome) Robotik: Von der Regelungs- und Automatisierungstechnik in Gebäuden jeder Art, in der Landwirtschaft, in Industrieanlagen bis hin zu (semi-) autonomen Robotern, Autonomous Guided Vehicles, Autonomen Fahren, aber auch mobile Robotik sowohl im industriellen als auch im Dienstleistungsbereich – hin zur Vision der sozialen Robotik im Haushalts- und Gesundheitsbereich, und auch zu den innovativen Anwendungen der Drohrentechnologien.
- „Intelligente“ Nutzung von Daten für Simulationen und Optimierungen: Big Data und Data Analytics ermöglichen gemeinsam mit künstlicher Intelligenz und Machine Learning neuartige Formen der Vernetzung und Optimierung, der Modellierung und Simulation, bis hin zum digitalen Zwilling und zu den unendlichen Möglichkeiten, die sich aus den Daten des Internet of Things in allen Wirtschaftssektoren ergeben.
- Durch Cloud und Edge Computing neue Möglichkeiten, Speicherung und Verarbeitung von Daten und deren Anwendungen flexibler und effizienter zu steuern, unabhängig von den physikalischen Gegebenheiten vor Ort, in lokalen Netzen mit sehr variablen und Rahmenbedingungen und ihren Playern, seien es Komponenten einer industriellen Produktionsanlage oder Akteure eines Energiemarktplatzes.
- Virtual / Extended / Augmented Reality: Diese bieten neue Zugänge zur „Realität“ und bereichern / ergänzen diese um weitere relevante Informationen. Eine physische Erfahrung kann dadurch vorbereitet, ersetzt und/oder ergänzt werden, ob es sich dabei ums Lernen, ums Reisen, um einen chirurgischen Eingriff, oder um Wartung und Kontrolle einer technischen Anlage.

Das Internet of Things als dichtes und komplexes Kommunikationsnetz fungiert somit als wesentliches Bindeglied zwischen dem ersten und dem zweiten identifizierten Cluster, in dem eine enge und direkte Kommunikation zwischen Hardware bzw. Sensoren und Aktuatoren ermöglicht, die generierten Daten vernetzt und die daraus resultierenden Erkenntnisse bzw. Aktionen an die jeweils weiter betroffenen Geräte und Komponenten zukommen lässt.

Wenn man nun die oben angeführte Tabelle nach diesen Clustern umsortiert, ergibt sich (versuchsweise) eine sektorübergreifende Betrachtung¹⁶:

¹⁶ Wo erforderlich, wurde eine Eintragung aus der ursprünglichen Tabelle auf zwei Eintragungen in dieser Tabelle aufgesplittet – dies ist kursiv dargestellt

Cluster / Kombination	Sektor	TRL 2021	Potenzial 2040
Automatisierungstechnik und (autonome) Robotik			
Robotik und Autonomous Guided Vehicles	Industrie	3-9	+
Automatisierung der Fahrzeugsteuerung bis zu (semi-) autonomen Fahrzeugen	Landwirtschaft	8-9	++
Autonomes Fahren	Verkehr	2-9	+/-
Mobile Robotik (<i>und Augmented Reality</i>)	Haushalte	4-8	+
Mobile Roboter inkl. Drohnen	Landwirtschaft	4-9	++
Automatisierte Betriebsführung im Schienenverkehr	Verkehr	9	++
Digitale automatisierte Kupplung / Güterzugautomatisierung	Verkehr	9	++
Gebäudeautomatisierung	Dienstleistungen	5-9	++
Automatisierung und Regelungstechnik	Haushalte	5-9	+
Automatische Fütterungs-, Melk- und Entmischungssysteme	Landwirtschaft	4-9	+/-
Intelligente Nutzung von Daten für Simulationen und Optimierungen			
Künstliche Intelligenz	Industrie	1-9	++
KI für Bilder, Videos, Texte und Stimmen	Dienstleistungen	4-7	+/-
Künstliche Intelligenz in der Fahrzeugregelung	Verkehr	5-9	+
Simulation und digitaler Zwilling	Industrie	1-9	+/-
Simulation und digitaler Zwilling	Verkehr	5-9	+
Digitaler Zwilling (<i>und Internet of Things</i>)	Haushalte	4-8	++
Data Analytics und Simulation	Haushalte	4-8	+
Data Analytics und Künstliche Intelligenz	Dienstleistungen	4-9	+/-
Big Data	Verkehr	Ab 3	++
Condition-Based Maintenance und Predictive Maintenance	Verkehr	3-9	+
Smart (Livestock) und Precision Farming	Landwirtschaft	4-9	+
Farmmanagement- und -informationssysteme	Landwirtschaft	9	+/-
e-Commerce, e-Government, e-Learning	Dienstleistungen	9	+
Cloud und Edge Computing zur Speicherung / Verarbeitung von Daten und Anwendungen			
Cloud und Edge Computing	Industrie	1-9	+
Energiemarktplatz Cloud	Haushalte	4-8	++
Storage, Dienstleistungen und Gaming in der Cloud	Dienstleistungen	8-9	+
Virtual / Extended / Augmented Reality			
Extended Reality und Virtual Reality	Industrie	6-9	+
(<i>Mobile Robotik und</i>) Augmented Reality	Haushalte	4-8	+
Virtual Reality und Augmented Reality	Dienstleistungen	9	+

Nicht überraschend zeigt diese Tabelle, dass die meisten Entwicklungen rund um einerseits die intelligente Nutzung der Daten (Stichworte Big Data, Data Analytics, Künstliche Intelligenz, Machine Learning), andererseits die Automatisierung physikalischer Abläufe dank einem Netzwerk an Sensoren und Aktuatoren, die immer autonomer werden, geschehen.

Darüber hinaus zeigt die Tabelle auch, dass die Streuung hinsichtlich TRLs sehr groß ist, vor allem betreffend die intelligente Nutzung von Daten und die Möglichkeiten von Cloud und Edge Computing: Forschung und Anwendung entwickeln sich parallel, oftmals ist nicht der Reifegrad der Technologien der Grund einer noch nicht hohen Marktdurchdringung, sondern diverse Barrieren wirtschaftlicher, rechtlicher und gesellschaftlicher Natur.

Wenn man die Potenziale im Hinblick auf direkte und indirekte Auswirkungen auf Energieverbrauch und THG-Emissionen betrachtet, erwarten Experten und Expertinnen von diesen Kombinationen aus Technologien und Sektoren die größten Effekte:

- Künstliche Intelligenz in der Industrie
- Automatisierte Betriebsführung und digitale Kupplung im Schienenverkehr
- Internet of Things im Zusammenhang mit dem Energiemarktplatz Cloud bezogen auf Haushalte, aber auch im Allgemeinen auf Gebäude jeder Art
- Gebäudeautomatisierung vor allem im Dienstleistungsbereich
- (Autonome) Fahrzeuge und Robotik inkl. Drohnen in der Landwirtschaft

Bei dieser Betrachtung ist es dem Projektteam wichtig, nochmals zu betonen, dass es sich um eine qualitative Erhebung handelt, auf Basis von Interviews und Screening-Gesprächen, welche die Basis weiterer Projektschritten zur Plausibilisierung und Quantifizierung in Szenarien liefert.

Bibliografie

- AIT (2019). *Trends und Entwicklungen in der österreichischen Produktion. Highlights aus dem European Manufacturing Survey 2018*. Wien.
- APCC (2020). *APCC Special Report Tourismus und Klimawandel (ASR19) – Zusammenfassung für Entscheidungstragende*. Wien.
- Bayer, G., Sturm & T., Hinterseer, S. (2011). *Kennzahlen zum Energieverbrauch in Dienstleistungsgebäuden*. ÖGUT. Wien.
- BMK (2020). *PoviMob. Potentiale virtueller Mobilität – Rahmen und Maßnahmen für eine bestmögliche Verknüpfung virtueller und physischer Mobilität*. Wien.
- BMK (2021). *Mobilitätsmasterplan 2030 für Österreich. Der neue Klimaschutz-Rahmen für den Verkehrssektor. Nachhaltig – resilient – digital*. Wien.
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2018). *Digitalisierung in der Landwirtschaft. Entwicklung, Herausforderungen und Nutzen der neuen Technologien für die Landwirtschaft*. Wien.
- Deutsche Energie-Agentur (2017). *Rolle der Digitalisierung im Gebäudebereich. Eine Analyse von Potenzialen, Hemmnissen, Akteuren und Handlungsoptionen*. Berlin.
- e7 Energie Markt Analyse (2012). *Energieverbrauch im Dienstleistungssektor. Kennwerte und Hochrechnung*. Wien.
- Iddri, FING, WWF France, GreenIT.fr (2018). *White Paper Digital Technology and Environment*.
- International Energy Agency (2017). *Digitalization & Energy*.
- Jauschnegg, H. (1999). *Einsatz des Betriebsmittels elektrischer Strom in der österreichischen Rinder-, Schweine- und Geflügelhaltung und Möglichkeiten einer Optimierung*. Wien: Universität für Bodenkultur, Dissertation.
- Mell, P. & Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. National Institute of Standards and Technology Special Publication, 53, 1-7.
- Reinhart, G. (2017). *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. Carl Hanser Verlag.
- The Shift Project (2019). *Lean ICT. Towards Digital Sobriety*. Paris.