

 **Bundesministerium**  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

# Tech4Green

Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

Wien, 2022

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: Nadine Brunnhuber, Marcus Feldbaumer, Karin Granzer-Sudra, Thomas Steffl, Hannes Warmuth und Bernhard Windsperger

Gesamtumsetzung: Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT), Institut für Industrielle Ökologie, IIÖ, scenario editor

Wien, 2022. Stand: 13. Mai 2022

### **Copyright und Haftung:**

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundeskanzleramtes und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.



## Inhalt

<b>Executive Summary.....</b>	<b>7</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>13</b>
1.1 Motivation, Ausgangssituation und Ziele.....	13
1.2 Theoretischer Kontext .....	15
1.2.1 Innovation als Impuls für die wirtschaftliche Entwicklung.....	15
1.2.2 Was ist Innovation? .....	15
1.2.3 Die besonderen Charakteristika disruptiver Technologien.....	17
1.2.4 Technologiebewertung im Kontext der Sachgüterproduktion.....	19
1.2.5 Disruptive Technologien im Kontext der Technologiefolgenabschätzung.....	20
1.2.6 Nachhaltigkeit in der Sachgüterproduktion .....	20
1.2.7 Disruptive Technologien in der Forschungsförderung .....	22
1.3 Methode .....	23
1.3.1 Technologieabgrenzungen und Betrachtungsebenen.....	23
1.3.2 Technologietaxonomie und Branchenscreening.....	23
1.3.3 Nachhaltigkeitsbewertung der Technologien.....	25
1.3.4 Online-Umfragen .....	28
1.3.5 Analyse von Good Practices internationaler Programme .....	29
1.3.6 Policy-Workshop.....	29
<b>2 Technologietaxonomie .....</b>	<b>31</b>
2.1 Innovationsleistungen in Österreich.....	31
2.2 Metaanalyse der identifizierten Patentrecherchen .....	34
2.2.1 Überblick über die Patentrecherchen .....	34
2.2.2 Industrie 4.0.....	35
2.2.3 Photonik.....	40
2.2.4 Robotik und Künstliche Intelligenz .....	41
2.2.5 Biobasierte Industrie.....	45
2.2.6 Resümee Patentrecherchen .....	48
2.3 Ergebnisse der Befragung.....	48
2.4 Technologietaxonomie .....	50
2.5 Relevanz für die österreichische Sachgüterproduktion .....	54
2.5.1 Kriterien für die Auswahl der relevantesten Technologien.....	54
2.5.2 Auswahl der relevanten Technologien .....	54
2.6 Fazit der Entwicklung der Technologietaxonomie .....	63
<b>3 Nachhaltigkeitsanalyse .....</b>	<b>65</b>
3.1 Soziale Nachhaltigkeitsdimension .....	68

3.1.1	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen .....	70
3.1.2	Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter:innen und Kund:innen .....	72
3.2	Ökonomische Nachhaltigkeitsdimension .....	74
3.2.1	Kostendeckung.....	76
3.2.2	Innovation und F&E bei Produktion, Produkten und Dienstleistungen .....	78
3.3	Ökologische Nachhaltigkeitsdimension.....	80
3.3.1	Effiziente Energie- und Ressourcennutzung.....	83
3.3.2	Stoffliche Nutzung erneuerbarer und rezyklierbarer Rohstoffe, sparsame Nutzung von Umweltmedien .....	85
3.3.3	Klimaschutz .....	86
3.4	Potenziale disruptiver Technologien für die Nachhaltigkeit ausgewählter Branchen der Sachgüterproduktion.....	88
3.4.1	Chemische Industrie .....	89
3.4.2	Holzindustrie .....	90
3.4.3	Metallindustrie.....	90
3.4.4	Papierindustrie.....	91
3.4.5	Stein- und Keramikindustrie .....	92
3.4.6	Textilindustrie .....	92
3.5	Fazit der Nachhaltigkeitsbewertung disruptiver Technologien .....	93
<b>4</b>	<b>Stärkung disruptiver Technologien durch die FTI-Politik .....</b>	<b>95</b>
4.1	Die Innovationskraft Österreichs im Ländervergleich .....	95
4.1.1	Global Innovation Index.....	96
4.1.2	Eco-Innovation Index .....	98
4.1.3	Schlussfolgerungen .....	101
4.2	Ergebnisse des Ländervergleichs .....	102
<b>5</b>	<b>Zentrale Ergebnisse und Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>103</b>
5.1	Handlungsempfehlungen zur Weiterentwicklung des österreichischen Innovationssystems.....	104
5.1.1	Maßnahmen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des österreichischen Innovationssystems.....	105
5.1.2	Maßnahmen zur Verbesserung der Wirkung des österreichischen Innovationssystems.....	108
5.1.3	Maßnahmen zur zielgerichteten Lenkung des österreichischen Innovationssystems.....	110
	<b>Glossar.....</b>	<b>116</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>118</b>

<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>127</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>128</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>130</b>
Technologietaxonomie.....	131
Handlungsempfehlungen auf Technologieebene .....	156
Technologie-Steckbriefe.....	162

# Executive Summary

## Hintergrund

Die Sachgüterproduktion trägt in Österreich mit rund 60 Mrd. Euro Bruttowertschöpfung und einem Anteil von rund 18 % am Bruttoinlandsprodukt wesentlich zur österreichischen Wirtschaftsleistung bei. Jedoch ist die Sachgüterproduktion auch für einen bedeutenden Anteil der österreichischen Treibhausgas-Emissionen verantwortlich. Die großen Herausforderungen, die die fortschreitende Umweltzerstörung und die Klimakrise an die Gesellschaft stellen, machen auch in der Sachgüterproduktion ein Umdenken notwendig. Um die Klimaziele zu erreichen, die Wettbewerbsfähigkeit sowie Resilienz der österreichischen Wirtschaft zu steigern, braucht es eine breite Palette an Maßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Neben dem Ausbau von erneuerbaren Energien, einer Verbesserung der Energie- und Ressourceneffizienz sowie der Implementierung einer kreislauffähigen Wirtschaft erfordert es den Einsatz von nachhaltigen innovativen Technologien, den sogenannten **Tech4Green**.

## Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Studie war es, gemeinsam mit Akteur:innen der Forschung und Industrie einen Beispielkatalog für potenziell disruptive Technologien im Bereich der nachhaltigen Sachgüterproduktion zu erarbeiten sowie Handlungsempfehlungen und Forschungsschwerpunkte für die österreichische Innovationspolitik im Bereich Tech4Green abzuleiten. Gemäß den strategischen Zielen der FTI-Initiative Produktion der Zukunft sollen die Ergebnisse dazu beitragen, die Innovationsleistung der nationalen Sachgüterproduktion zu steigern und den gezielten Aufbau von einschlägiger Forschungskompetenz zu unterstützen.

## Methode

Für die Identifikation von potenziell disruptiven Technologien mit Bezug zur österreichischen Sachgüterproduktion wurden im Projekt eine umfangreiche Patent- und Literaturrecherche sowie zwei Online-Umfragen durchgeführt. Darauf aufbauend wurde eine Technologietaxonomie entwickelt und im Anschluss die ausgewählten Technologien einer Nachhaltigkeitsbewertung (anhand einer Nachhaltigkeitsmatrix) unterzogen. Im Rahmen von zwei interaktiven Workshops wurden unter Einbindung zahlreicher

Stakeholder aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung, Projekt-Ergebnisse abgestimmt und diskutiert sowie Handlungsempfehlungen für die FTI-Politik erarbeitet.

## **Ergebnisse**

*Was macht Technologien zu disruptiven Technologien? Wie funktionieren bzw. wie wirken sie?*

Disruptive Technologien verdrängen oder haben bereits die konventionellen Technologien im relevanten Markt verdrängt. Technologien können sowohl durch inkrementelle als auch radikale Innovationen ihre Marktdiffusion derart beschleunigen, dass sie als disruptiv einzustufen sind. Dabei können disruptive Technologien ganze Marktgefüge (Geschäftsmodelle, Marktteilnehmer:innen, Kund:innen-Anforderungen etc.) nachhaltig verändern.

Nach Christensen (1997) unterscheiden sich disruptive Technologien deutlich von stützenden Technologien. Im Gegensatz zu letzteren verändern diese die Nutzendarstellung in einem bestimmten Markt. Dabei sind disruptive im Vergleich zu etablierten Technologien bei Markteinführung fast immer unterlegen bezüglich kund:innenrelevanter Produkteigenschaften. Dennoch verfügen sie über gewisse andere Eigenschaften, die sie für einen kleinen Kund:innenkreis – oft Neukund:innen – attraktiv machen. Typischerweise sind sie günstiger, kleiner und einfacher sowie leichter zu bedienen. Damit schaffen sie neue Märkte. Durch Produktweiterentwicklung und ausreichend Investitionskapital, können sie in weiterer Folge auch größere Märkte bedienen und angestammte Marktteilnehmer:innen verdrängen. Disruptive Technologien bewirken demnach nicht sofort einen Fortschritt, da sie sich nicht an einer bestehenden Anforderungskurve orientieren (vgl. Christensen, 1997).

Während radikale Technologien einen Entwicklungssprung bewirken ohne zwangsläufige Auswirkungen auf die Marktteilnehmer:innen zu haben, sind disruptive Technologien dadurch gekennzeichnet, dass sie das Marktgefüge grundlegend verändern. Daraus ergeben sich für Marktteilnehmer:innen sowohl Chancen als auch Risiken.

Aufgrund ihrer Eigenschaft, Märkte zu verändern, können disruptive Technologien weitreichende sozioökonomische und ökologische Auswirkungen haben. Dazu gehören neben einer veränderten Unternehmenslandschaft auch Veränderungen auf dem

Arbeitsmarkt, ein kultureller Wandel sowie auch ökologische Chancen und Risiken. Daraus folgt, dass disruptive Technologien nicht per se als nachhaltig einzuordnen sind.

*Welche Effekte lösen sie aus und welche Auswirkungen haben sie auf die Sachgüterproduktion?*

Im Zuge der Arbeiten zu vorliegender Studie hat sich gezeigt, dass speziell im Bereich „Tech4Green“ deren Auswirkungen auf Produktivität, Materialeffizienz, Energieeffizienz, Produktqualität, Kreislauffähigkeit, Arbeitsbedingungen, Klima- und Umweltschutz eine zentrale Rolle einnehmen. In Abhängigkeit der jeweiligen disruptiver Technologie werden diese Aspekte im unterschiedlichen Maße (teils positiv, teils negativ) beeinflusst. Ein detailliertes Bild dazu liefert die Technologietaxonomie im Anhang.

*Welche der im letzten Jahrzehnt entwickelten Technologien waren disruptiv?*

Betrachtet wurden sowohl disruptive Technologien mit Bezug zur Sachgüterproduktion als auch radikale Innovationen mit einem erkennbaren Potenzial für einen disruptiven Technologiewechsel in der Sachgüterproduktion.

Folgende disruptive „Tech4Greens“ wurden mit einer besonderen Relevanz für die österreichische Sachgüterproduktion identifiziert (Tab. 1). Zu betonen ist, dass die Disruptionen, die diese Technologien ausgelöst haben, noch nicht vollständig abgeschlossen sind und mitunter noch ganz am Anfang stehen.

Tabelle 1: ausgewählte disruptive „Tech4Greens“ für die österreichische Sachgüterproduktion

Additive Fertigung	Fertigung 4.0	Mikrobielle Brennstoffzelle
Augmented Reality	Fertigung mittels Ultrakurzpuls-laser	Mikroelektromechanische Systeme
Biologisch abbaubare Sensoren	Hologramme	Nanotechnologien
Carbon Capture & Utilization	Hydrothermal Liquefaction	Organische Leuchtdioden (OLED)
Chemisches Recycling	Intelligente Sensoren (Edge Computing)	Smarte Textilien

Distributed Ledger Technologien	IT mittels Optoelektronik	Virtual Reality
Drohnen	Künstliche Intelligenz	Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger
Enzymatische Abfallaufbereitung	Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen	
Exoskelette	Logistik 4.0	

*Welche der disruptiven Technologien konnten einen Beitrag für eine nachhaltige Sachgüterindustrie leisten?*

Die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung haben gezeigt, dass die Nachhaltigkeitswirkung in den drei Dimensionen (ökologisch, ökonomisch und sozial) sowie auch die Breitenwirkung der betrachteten Technologien sehr unterschiedlich sind. Der Schwerpunkt dieses Projektes wurde auf die **ökologische Nachhaltigkeitsdimension** gelegt. An dieser Stelle ist festzuhalten, dass Technologien, die positive Wirkungen in der ökologischen Nachhaltigkeitsdimension aufweisen, negative Wirkungen in der ökonomischen oder sozialen Nachhaltigkeitsdimension aufweisen können. Diese müssen ebenfalls mitberücksichtigt werden, um den ganzheitlichen Beitrag der Technologien zur Verbesserung der Nachhaltigkeit beurteilen zu können. Im Rahmen der Untersuchung haben sich einige Technologien herauskristallisiert, die sehr großes Potential im Kontext einer nachhaltigen Sachgüterproduktion haben. Im Bereich der **Ressourcen- und Energieeffizienz** sind dabei die bedeutendsten Technologien *CCU, Intelligente Sensoren, Logistik 4.0, Mikroelektromechanik und OLED*. Liegt der Schwerpunkt im Bereich der **stofflichen Nutzung erneuerbarer und rezyklierbarer Stoffe**, dann kommt aus Sicht der Nachhaltigkeitsbewertung den Technologien *Biologisch abbaubare Sensoren, Distributed-Ledger-Technologien, Enzymatische Abfallaufbereitung, Hydrothermale Verflüssigung und Lichtbogenöfen* eine große Bedeutung zu. Bei den Technologien mit dem höchstem **Klimaschutzpotenzial** finden sich energiespezifische Technologien wieder. Dabei werden *CCU, Logistik 4.0, OLED, Wasserstoff, Intelligente Sensoren und Virtual Reality* die größten Potenziale zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen zuerkannt.

*Für welche dieser disruptiven Technologien kommt Österreich zukünftig eine besondere Bedeutung zu?*

In Hinblick auf die unterschiedlichen **Branchen der österreichischen Sachgüterproduktion** ist ebenfalls eine sehr große Streuung hinsichtlich der dominierenden Technologien auf dem Weg zur Nachhaltigkeit zu erkennen. So beschränkt sich der Einsatz mancher Technologien, wie beispielsweise das chemische Recycling auf einzelne Branchen (z. B. Chemie, Textil). Andere Technologien hingegen sind grundsätzlich breit einsetzbar, können aber wegen ihrer Fokussierung auf einzelne Aspekte der Wertschöpfungskette nur in einer begrenzten Anzahl an Unternehmen angewandt werden. Über fast alle Branchen hinweg konnten dennoch Technologien identifiziert werden, die für den Großteil der österreichischen Sachgüterproduktion in Hinblick auf eine gesteigerte Nachhaltigkeit von Bedeutung sind.

Eine Schlüsselrolle im Kontext einer **nachhaltigen Sachgüterproduktion** werden Technologien zur klimaneutralen **Energiebereitstellung** sowie **Dekarbonisierungstechnologien wie CCU sowie oder auch Wasserstoff** spielen. Sie bewirken die größten positiven Effekte hinsichtlich der Implementierung einer klimaneutralen Wirtschaft und bieten gleichzeitig Chancen für eine reduzierte Abhängigkeit von Rohstoff- und Energieimporten, wodurch der Wirtschaftsstandort Österreich gestärkt werden kann. Darüber hinaus sind auch **Digitalisierungstechnologien wie OLED, Fertigung 4.0 sowie auch Logistik 4.0** sehr breit einsetzbar und tragen ebenfalls zu einer energieeffizienteren und damit klimaschonenderen bzw. nachhaltigeren Sachgüterproduktion bei.

Die Ergebnisse aus der Technologiematrix und der Nachhaltigkeitsbewertung wurden in einen Beispielskatalog, der 25 Technologiesteckbriefe umfasst, zusammengeführt.

*Welche Maßnahmen soll die öffentliche Hand setzen, um diese zu stärken?*

Die österreichischen Ausgaben für F&E im Bereich Umwelt und Energie liegen derzeit unter dem EU-Schnitt, obwohl Österreich hier eine große Anzahl an Forschenden aufweist, die einen überdurchschnittlich hohen Output an einschlägigen Publikationen und Patenten generieren. Österreichische grüne Unternehmen schaffen zudem eine überdurchschnittlich hohe Anzahl an Arbeitsplätzen. Im Bereich Eco-Innovation gehört Österreich aktuell zu den Innovation Leaders. Österreichs FTI-System weist im Bereich Eco-Innovation ein gutes Input-Output-Verhältnis auf und ist demnach in diesem Bereich sehr effizient. Hier sollte sich die Innovationspolitik verstärkt engagieren, um die Innovationskraft im Bereich Eco-Innovation noch weiter zu stärken. Durch die gezielte Förderung dieser Stärkefelder kann die Leistungsfähigkeit des österreichischen Innovationssystems als Ganzes verbessert werden.

Dazu sind jedoch die richtigen regulatorischen Rahmenbedingungen sowie Anreize notwendig, da grüne Technologien in der Startphase wirtschaftlich oftmals nicht selbsttragend sind. Um die Diffusion innovativer grüner Technologien in die Realwirtschaft zu unterstützen, müssen insbesondere innovative junge Unternehmen zielgerichtet gefördert werden. Neben einer erleichterten Unternehmensgründung sind hier weiters eine ausreichende Finanzierung sowie Vernetzung und Kooperation unterschiedlicher Stakeholder von entscheidender Bedeutung.

Innovation sollte immer einen Beitrag zur Lösung von gesellschaftlichen Herausforderungen leisten. Damit eine Transformation gelingt, sollte sich die Innovationspolitik an den gesellschaftlichen Zielen orientieren und konkrete Missionen formulieren. Diese definierten Missionen für die Transformation hin zu einer nachhaltigen und klimaneutralen Produktion zeigen die prioritären Handlungsfelder auf und bilden dadurch die Leitlinien für die wichtigsten Forschungsthemen. In Kapitel 5 sind FTI-Schwerpunkte für jene Technologien zusammenfassend dargestellt, die sehr großes Potenzial für eine klimafreundliche Sachgüterproduktion aufweisen.

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation, Ausgangssituation und Ziele

Die Sachgüterproduktion trägt in Österreich mit rund 60 Mrd. Euro Bruttowertschöpfung und einem Anteil von rund 18 % am Bruttoinlandsprodukt wesentlich zur österreichischen Wirtschaftsleistung bei. Mit 669.264 Arbeitsplätzen im Jahr 2020 ist sie eine bedeutende Arbeitgeberin und weist mit einer Exportquote von 58,5 % eine starke internationale Verflechtung auf (vgl. WKO 2020). Mit einem Anteil an F&E-Ausgaben des privaten Sektors von rund 65,5 % und einer F&E-Quote von 8,3 % stellt sie einen wichtigen Faktor im nationalen Innovationssystem dar (vgl. BMBWF, BMK & BMDW, 2020).

Jedoch ist die Sachgüterproduktion auch für einen wesentlichen Anteil der österreichischen Treibhausgas-Emissionen verantwortlich. Die österreichischen Sektoren Industrie & Energie (inkl. Emissionshandel) verursachen 43,8 % der nationalen THG-Emissionen. 2019 waren es 35 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente, wobei auf den Sektor Industrie 24,9 Millionen Tonnen entfielen (vgl. UBA, 2021).

Die großen Herausforderungen, die die fortschreitende Umweltzerstörung und der Klimawandel an die Gesellschaft stellen, machen auch in der Sachgüterproduktion ein Umdenken notwendig. Im österreichischen Regierungsprogramm 2020-2024 wird in diesem Zusammenhang die Umsetzung der Klima- und Umweltziele durch Industrie- und produzierende Unternehmen adressiert. Einen wesentlichen Beitrag dazu sollen dabei auch F&E-Tätigkeiten innerhalb der Sachgüterproduktion leisten. Durch eine ökologischere, ressourcenschonendere und treibhausgasärmere Produktion soll den Auswirkungen des Klimawandels entgegengewirkt werden, um das Ziel der Klimaneutralität bis 2040 zu ermöglichen. Im Zuge dessen soll sich Österreich als Vorreiter für ökologische Produktionsweisen positionieren (vgl. Bundeskanzleramt, 2020).

Die EU verfolgt das Ziel die Netto-THG-Emissionen bis 2030, um mindestens 55 % im Vergleich zum Referenzjahr 1990 zu senken. Laut der im Herbst 2021 veröffentlichten Studie "Klimaneutralität Österreichs bis 2040" ist im Industriesektor, um das EU-Ziel bis 2030 zu erreichen, dazu eine Reduktion der THG-Emissionen um 61 % der THG-Emissionen im Vergleich zu 2019 in der Industrie notwendig. Damit würde das Sektorziel von 10,5 Millionen Tonnen THG-Emissionen erreicht werden (vgl. Gahleitner et al., 2021). Demnach

sind in der Sachgüterproduktion umfassende Maßnahmen zur Emissionsreduktion u. a. durch Forcierung der Kreislaufwirtschaft und den Einsatz von nachhaltigen innovativen Technologien (Tech4Green) zu setzen.

Neben der Ökologisierung ist auch die Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Wirtschaft von besonderem Interesse. Da die österreichische Sachgüterproduktion im ständigen globalen Wettbewerb steht, ist eine hohe Innovationskraft der heimischen Unternehmen ein zentraler Erfolgsfaktor, um deren Wettbewerbsfähigkeit dauerhaft zu sichern. Durch die stetige Beschleunigung des technologischen Wandels und den damit einhergehenden Möglichkeiten für eine gesellschaftliche und wirtschaftliche Transformation sind besonders disruptive wie auch radikale Innovationen von hoher Relevanz. Diese haben das Potenzial, Märkte und bestehende Marktsituationen grundlegend zu verändern.

Auf EU-Ebene hat man sich im April 2021 auf eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um mindestens 55 % bis 2030 im Vergleich zu 1990 geeinigt. Notwendige Maßnahmen zur Emissionsreduktion werden auch die Sachgüterproduktion betreffen, die hier zeitgerecht auf nachhaltige technologische Optionen setzen muss.

Ziel der Studie war es, in einem Screening-Prozess gemeinsam mit Akteur:innen der Wissenschaft, Industrie und Verwaltung einen Beispielskatalog für disruptive Technologien im Bereich „Tech4Green“ zu erarbeiten und beispielhaft anhand der identifizierten Technologien und Querschnittsmaterien Handlungsempfehlungen zur weiteren Ausrichtung der österreichischen FTI-Politik abzuleiten.

Darüber hinaus wurden in der Ausschreibung für die gegenständliche Studie folgende Fragestellung vorgegeben, die durch die Studie vollständig beantwortet wurden:

- Was macht Technologien zu disruptiven Technologien? Wie funktionieren bzw. wie wirken sie? Welche Effekte lösen sie aus und welche Auswirkungen haben sie auf die Sachgüterproduktion?
- Welche der im letzten Jahrzehnt entwickelten Technologien waren disruptiv bzw. welche davon konnten einen Beitrag für eine nachhaltige Sachgüterindustrie leisten?
- Für welche dieser disruptiven Technologien kommt Österreich zukünftig eine besondere Bedeutung zu? Welche Maßnahmen soll die öffentliche Hand setzen, um diese zu stärken?

## 1.2 Theoretischer Kontext

### 1.2.1 Innovation als Impuls für die wirtschaftliche Entwicklung

Innovation ist im globalen Wettbewerb ein wichtiger Erfolgsfaktor und trägt maßgeblich zur Entwicklung einer Volkswirtschaft bei. Der Zusammenhang von Innovation und wirtschaftlicher Entwicklung wurde von Joseph A. Schumpeter in seinem Werk „Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung“ bereits 1911 herausgearbeitet. Schumpeters Konzept der wirtschaftlichen Entwicklung beruht auf drei wesentlichen Kennzeichen:

- Wirtschaftliche Entwicklung kommt aus dem Wirtschaftssystem und ist nicht nur eine Anpassung an Veränderungen externer Daten.
- Sie tritt diskontinuierlich auf und weist kürzere Marktreife-Zyklen von Produkten auf.
- Sie bringt qualitative Veränderungen oder “Revolutionen” mit sich, die alte Gleichgewichte grundlegend verdrängen und radikal neue Bedingungen schaffen.

Der Impuls für die wirtschaftliche Entwicklung in Schumpeters Analyse ist somit Innovation. Dabei handelt es sich um die kommerzielle oder industrielle Anwendung von etwas Neuem – eines neuen Produkts, Prozesses oder Produktionsverfahrens; ein neuer Markt oder eine neue Angebotsquelle; eine neue Form der Handels-, Geschäfts- oder Finanzorganisation.

Kennzeichnend für Innovation ist dabei auch die Fähigkeit und Bereitschaft der akademischen sowie industriellen Forschung, einen substanziellen Beitrag zu anwendungsrelevanten Themen zu leisten.

### 1.2.2 Was ist Innovation?

Joseph A. Schumpeter war der erste, der die Innovation als primäre Leistung der Unternehmer:innen hervorhob. Er unterscheidet zwischen Inventionen (Erfindungen) und Innovationen (vgl. Immerthal, 2007). Die Erfindung/Invention oder Novation – die technische sowie die Design-Dimension – ist ökonomisch unerheblich, wenn sie nicht in Produktion und Verkauf gebracht wird. Erst das unternehmerische Wagnis, etwas Neues in den Markt zu bringen, sowie dessen erfolgreiche Etablierung, lässt die Invention zur Innovation werden. Die Einführung von neuen Produktlinien oder die Umsetzung neuer Technologien in neuartigen Produkten führt in weiterer Folge zu einem Ausbau der Geschäftstätigkeit des Unternehmens. Als Innovationen gelten jedoch nicht nur neue

Produkte. Auch neuartige Prozesse und Geschäftsmodelle werden unter diesem Begriff subsummiert. Besonders erstere spielen in der Sachgüterproduktion eine wichtige Rolle.

Innovationen können als Motor des Erneuerungsprozesses eines Unternehmens bezeichnet werden. Sie fungieren dabei als Basis für die Weiterentwicklung bestehender und den Aufbau neuer Kompetenzen. Seit der Definition von Schumpeter (1947): “[Innovation] ... ist das Tun neuer Dinge oder das Tun bekannter Dinge auf eine neue Art“ ist allgemein anerkannt, dass die Fähigkeit, wiederholt etwas Neues hervorzubringen, ein wirtschaftlicher Erfolgsfaktor ist. Ferner hat sich die Sichtweise der „schöpferische Zerstörung“ als relevant erwiesen. Im Marktwettbewerbsprozess sind die innovativen „Verbesserungen“ bzw. „Neuheiten“ entscheidend, um Kunden zu halten bzw. die Nachfrage auszuweiten.

Innovationen können in verschiedenen Disziplinen zur Anwendung kommen. Einerseits können diese eingesetzt werden, um Geschäftstätigkeiten auf etablierten Märkten zu sichern, Herstellungs- oder Logistikprozesse zu verbessern die Produktivität im Produktionsprozess zu optimieren (Prozessinnovation) sowie um im Rahmen von Produktinnovationen bestehende Produkte weiterzuentwickeln. Andererseits können Innovationen auch dazu genutzt werden, um zusätzliche Geschäftstätigkeiten in alten und neuen Märkten aufzubauen.

In der Literatur werden mehrere Arten von Innovationen unterschieden. Für die Innovationsforschung und die Betrachtung vielversprechender Technologien ist die Unterscheidung von inkrementeller (evolutionärer) und radikaler Innovation besonders relevant.

**Inkrementelle Innovationen** stellen evolutionäre Entwicklungen dar, die eine schrittweise Verbesserung und Optimierung von bereits bestehenden Produkten und Prozessen bedeuten. Diese Innovationen zielen oft auf Kostenreduktionen, Nutzenoptimierungen oder Marktadaptionen ab (vgl. Vahs & Brehm, 2015).

Kund:innen erwarten zum Beispiel bei digitalen Produkten wie Betriebssystemen regelmäßige Updates, was auch als Anzeichen verstanden wird, dass Hersteller das Produkt stetig weiterentwickeln.

**Radikale Innovationen** zeichnen sich durch einen hohen Innovationsgrad aus. Es sind revolutionäre und bahnbrechende Produkte und Prozesse wie zum Beispiel die

Dampfmaschine, Eisenbahn, Elektrizität oder Flugzeuge aber auch neue Informationstechnologien (vgl. Goffin et al., 2009). Radikale Innovationen ohne disruptiven Charakter, können bestehende Marktstrukturen zwar verändern, zerstören diese meist jedoch nicht.

Radikale Innovationen sind nicht nur auf vollständig neuartige Produkte beschränkt. Auch bahnbrechende neue Komponenten stellen eine radikale Innovation dar, die unter Umständen revolutionäre Nutzungsmöglichkeiten eröffnen. Zum Beispiel hat Apple mit der Integration der PC-Maus und der Etablierung von Touchscreens bei Mobiltelefonen bis dahin völlig neuartige Eingabemöglichkeiten und damit eine radikale Innovation geschaffen, während der Kern des eigentlichen Produkts in diesem Entwicklungsschritt „nur“ inkrementell weiterentwickelt wurde.

Zusätzlich zu dieser klassischen Einteilung, können noch **disruptive Innovationen** unterschieden werden. Während inkrementelle sowie radikale Innovationen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der auf den Kernmärkten angebotenen Produkte führen und aus diesem Grund auch als stützende Innovationen bezeichnet werden, verfügen disruptive Technologien über neue Eigenschaften, die in der Regel neue Märkte und Kunden ansprechen und wesentlich günstiger, einfacher, kleiner und häufig bequemer zu benutzen sind. Diese Differenzierung von Innovationen nach ihrer Wirkung wurde erstmals von Clayton Christensen in dem in der Literatur viel beachteten Werk „The Innovator's Dilemma“ vorgenommen (vgl. Christensen et al., 2011).

### **1.2.3 Die besonderen Charakteristika disruptiver Technologien**

Nach Christensen (1997) unterscheiden sich disruptive Technologien deutlich von stützenden Technologien. Im Gegensatz zu letzteren verändern diese die Nutzendarstellung in einem bestimmten Markt. Dabei sind disruptive im Vergleich zu etablierten Technologien bei Markteinführung fast immer unterlegen bezüglich kundenrelevanter Produkteigenschaften. Dennoch verfügen sie über gewisse andere Eigenschaften, die sie für einen kleinen Kundenkreis – oft Neukunden – attraktiv machen. Typischerweise sind sie günstiger, kleiner und einfacher sowie leichter zu bedienen. Damit schaffen sie neue Märkte. Durch Produktweiterentwicklung und ausreichend Investitionskapital, können sie in weiter Folge auch ältere Märkte bedienen und angestammte Marktteilnehmer verdrängen. Disruptive Technologien bewirken demnach nicht sofort einen Fortschritt, da sie sich nicht an einer bestehenden Anforderungskurve orientieren (vgl. Christensen, 1997).

Allgemein kann zwischen zwei Arten von disruptiver Innovation unterschieden werden, „low end“- und „new market“-Disruption. Erstere beschreibt den Markteintritt mit vergleichsweise einfacheren, kostengünstigeren Produkten, in für etablierte Marktteilnehmer wenig profitablen unteren Marktsegmenten. Durch Weiterentwicklung kann das anfängliche Nischenprodukt in weiterer Folge schnell Marktanteile gewinnen und mitunter etablierte Marktteilnehmer völlig verdrängen. Im Gegensatz dazu schafft die „new end“-Disruption einen neuen Markt im unteren Marktsegment mit kostengünstigen Produkten und macht somit ein Produkt für Konsumenten erschwinglich, die zuvor vom Konsum ausgeschlossen waren. Treiber für disruptive Innovationen sind dabei vornehmlich neue Marktteilnehmer wie Start-Ups, da diese flexibler und unkonventioneller agieren können (vgl. Larson, 2016).

Durch die Fehlinterpretation sowie durch die inflationäre Verwendung des Begriffes „Disruption“ ist Christensens Theorie (vielfach auch zu Unrecht) in der Literatur kritisiert worden. Auch der selektive fallstudienbasierte Ansatz der Theorie sowie ihre begrenzte Aussagekraft hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen einer Branche wurden kritisiert. Abweichungen vom idealtypischen Muster der Disruption sind jedoch nicht als Schwäche der Theorie zu werten, sondern dadurch bedingt, dass Unternehmen auch Maßnahmen setzen, um mit den Veränderungen in der Branche umzugehen. Darüber hinaus sind Ergebnisprognosen von Veränderungsprozessen immer mit hohen Unsicherheiten verbunden. (z.B. vgl. Schultz, 2019).

Christensens aufgestellte These wurde bis in jüngster Vergangenheit vielfach erweitert. Nach (Schimpf, 2019) ist zwischen den Auswirkungen im Umsetzungsfeld und der Steigerung der Leistungsfähigkeit zu unterscheiden. Im Umsetzungsfeld, also dem Anwendungsgebiet bzw. Markt der Technologie, muss ein Technologiewechsel bzw. eine weitgehende Verdrängung der etablierten Technologien erfolgen, um als Disruption zu gelten. Schimpf spricht hierbei sogar von einer grundlegenden Veränderung der Machtverhältnisse im Markt. Davon zu unterscheiden sind radikale und inkrementelle Innovationen, die sich dadurch unterscheiden, wie sprunghaft die Leistungssteigerung erfolgt.

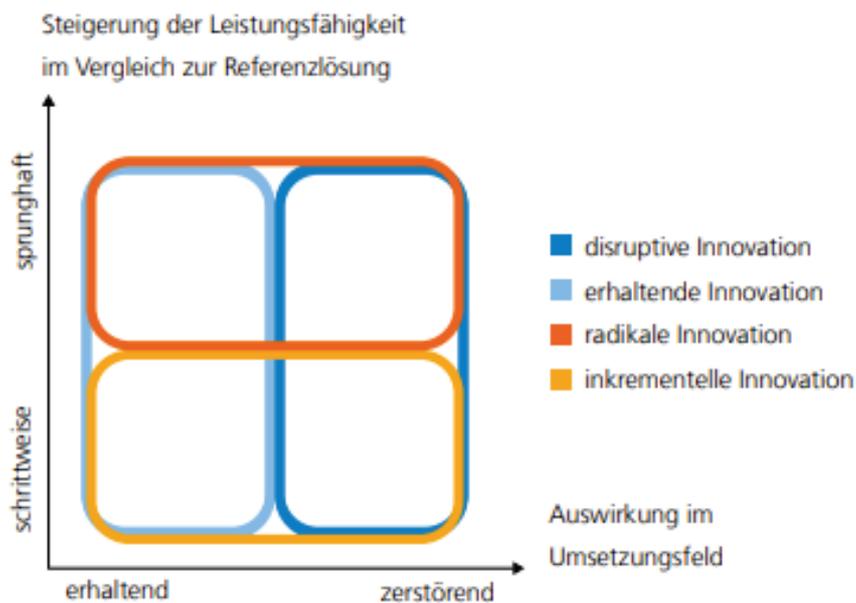


Abbildung 1: Begriffsabgrenzung anhand der Leistungsfähigkeit und der Auswirkung (Schimpf, 2019)

Nach Schimpf (2019) ergibt sich eine Schnittmenge im Bereich der radikalen Innovationen und disruptiven Technologien. Eine disruptive Technologie kann in Bezug auf ihre Leistungssteigerung als radikal oder inkrementell eingeordnet werden. Auch kann eine radikale Innovation einen erhaltenden oder disruptiven Charakter aufweisen. Der Blick in die Vergangenheit hat gezeigt, dass disruptive Technologien jedoch meistens in späterer Folge mit radikalen Leistungssteigerungen einhergehen.

In der vorliegenden Studie werden sowohl disruptive Technologien mit Bezug zur Sachgüterproduktion als auch radikale Innovationen mit einem erkennbaren Potenzial für einen disruptiven Technologiewechsel in der Sachgüterproduktion betrachtet. Eine Technologie wird in vorliegender Studie durch ihren S-förmigen Lernkurvenverlauf charakterisiert. Ein Wechsel von einer S-Kurve auf eine andere stellt somit einen Technologiewechsel dar. Disruption beschreibt die Verdrängung einer bestehenden Technologie durch eine Neuartige, wobei sich weitreichende Änderungen am Markt ergeben können.

#### 1.2.4 Technologiebewertung im Kontext der Sachgüterproduktion

Wie einleitend bereits erwähnt, spielen Innovationen für die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Sachgüterproduktion eine herausragende Rolle. Insbesondere die nähere Betrachtung von potenziell disruptiven Technologien ist, ob ihrer marktverändernden

Wirkung, in diesem Zusammenhang zentral. Beispiele für potenziell disruptive Technologien, die in den kommenden Jahren einen starken Auftrieb erfahren könnten, sind Schlüsseltechnologien aus den Bereichen Nanotechnologie, Mikro- und Nanoelektronik, Photonik, Werkstoffe, Biotechnologie und innovativer Produktionstechnologien. Zudem stehen die Begriffe Industrie 4.0 und das Internet der Dinge (IoT, Internet of Things) für einen Paradigmenwechsel in Wirtschaft und Gesellschaft. In produzierenden Branchen steigt die Zahl zunehmend vernetzter und automatisierter Geräte, Anwendungen, Maschinen und Produkte. Damit verbunden sind neue Möglichkeiten in der Gestaltung von Produktions- und Arbeitsprozessen hinsichtlich Flexibilität, Kostensenkung und Nachhaltigkeit.

### **1.2.5 Disruptive Technologien im Kontext der Technologiefolgenabschätzung**

Disruptive Technologien können für etablierte Unternehmen sowohl Chancen als auch Bedrohungen darstellen. Mithilfe der Szenarienanalyse und Technikfolgenabschätzung können Auswirkungen von disruptiven Technologien auf bestehende wirtschaftliche Ökosysteme und das Verhalten von Konsument:innen und Nutzer:innen aufgezeigt werden. Dadurch können Chancen genutzt und Risiken vermieden werden.

Die Technikfolgenabschätzung entstand in den 1960er Jahren in den USA und ist heute eine weltweit institutionalisierte Form der Technologiepolitikberatung. Sie befasst sich mit der Beobachtung und Analyse von Trends in Wissenschaft und Technik sowie den damit zusammenhängenden gesellschaftlichen Entwicklungen, insbesondere der Abschätzung der Chancen und Risiken. (vgl. Bröchler et al., 1999)

Abgrenzende Beschreibungen von Technologien und die Ausarbeitung von Bewertungskriterien bilden einen zentralen Bestandteil in jeder Studie zur Technikfolgenabschätzung. Insbesondere sind Kriterien zur Nachhaltigkeit relevant. (vgl. Kopfmüller et al., 2001, Grunwald & Kopfmüller, 2006)

### **1.2.6 Nachhaltigkeit in der Sachgüterproduktion**

Das Konzept der Nachhaltigkeit wird bereits 1713 erstmalig im ersten forstwissenschaftlichen Werk *Sylvicultura oeconomica*, verfasst vom damaligen sächsischen Oberberghauptmann Johann Carl von Carlowitz, erwähnt. Dieser postulierte darin, dass nur so viel Holz genutzt werden sollte, wie auch durch Aufforstungen wieder nachwachsen könne. Es folgten zahlreiche weitere Definitionen und eine allmähliche Ausdehnung des Begriffsumfangs auf das gesamte Ökosystem sowie sozioökonomische

Kriterien. Der im Jahr 1987 präsentierte Brundtland-Bericht definiert Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Entwicklung schließlich wie folgt:

“Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs” (Volker Hauff [Hrsg.], 1987).

Diese Definition konnte sich in der Fachliteratur wie keine andere durchsetzen. Obwohl es heute unstrittig ist, dass mit nachhaltiger Entwicklung die Verfolgung von ökologischen, ökonomischen und sozialen Zielen gemeint ist, war es bisher nicht möglich eine einheitliche Definition zu entwickeln, die zur Schärfung des Begriffs beiträgt.

- Nachdem sich eine Bewertung von (bestehenden und neuen) Technologien in der Sachgüterproduktion zunächst vor allem auf ihren möglichen Beitrag zu einem systemischen Wandel (als Beispiel: dekarbonisierte Produktionsverfahren) beziehen muss, bildet auch Literatur aus dem Bereich der nachhaltigkeitsorientierten Transitionsforschung wie bei Elzen et al. (2004) und Verbong & Loorbach (2017) eine weitere wichtige Grundlage für die Folgen- und Wirkungsabschätzung von Produktionstechnologien.
- Innovationen, ganz gleich welcher Art, müssen per se nicht nachhaltig sein, um als Innovation zu gelten, da hier die Neuartigkeit im Vordergrund steht. Das Konzept der Kreislaufwirtschaft bietet jedoch eine Möglichkeit, Innovationen in puncto Suffizienz, Effizienz und / oder Konsistenz ökologisch einzuordnen. Im Kontext der Sachgüterproduktion spielen vor allem eine intelligente Produktherstellung- und -nutzung, eine verlängerte Lebensdauer von Produkten sowie Ressourceneffizienz eine wesentliche Rolle. Schon im Produktdesign kann hier positiv eingewirkt werden, in dem Sekundärrohstoffe eingeplant sowie halt-, reparier- bzw. aufrüstbare Produkte konzipiert werden. Um die Nachhaltigkeit einer Entwicklung abschätzen zu können, ist weiters immer eine systemische ganzheitliche Betrachtung über gesamte Wertschöpfungsketten hinweg und die Vermeidung etwaiger Trade-Offs notwendig.

Durch Technologiewechsel und eine mögliche Neuausrichtung von Märkten können disruptive Technologien dazu beitragen, dass ökologische Aspekte intrinsisch werden und so zur Nachhaltigkeit beitragen. Etwa durch die Etablierung eines nahezu geschlossenen Wirtschaftskreislaufs wird die Ressourceneffizienz zum Selbstverständnis der Produzenten und zur Mindestanforderung von Kund:innen. Hierzu bedarf es Technologien, die

Produktionsprozesse vereinfachen, den Einsatz von Sekundärrohstoffen erlauben, die Lebensdauer der Produkte erhöhen, sowie ihre Wart-, Reparier-, Aufrüst- und letztendlich das Schließen des Kreislaufs ermöglichen.

### **1.2.7 Disruptive Technologien in der Forschungsförderung**

Da es sich bei disruptiven Technologien im Kontext einer nachhaltigeren Sachgüterproduktion nur um eine Teilmenge potenziell disruptiver als auch grüner Technologien handelt, werden Best Practices zu deren Förderung und Umsetzung in einschlägiger Literatur bisher nicht explizit thematisiert.

Im Gegensatz zu grünen Technologien liegt der Fokus bei potenziell disruptiven Technologien nicht nur auf deren Förderung und Umsetzung. Da letztere per Definition zu größeren Verwerfungen am Markt führen und somit auch eine Gefahr darstellen können, thematisieren viele Arbeiten vielmehr das frühzeitige Erkennen sowie den richtigen Umgang mit jenen Technologien (z. B. OECD, 2018). Weiters sei hier erwähnt, dass disruptive Technologien grün sein können, aber dies keinesfalls müssen, um als solche zu gelten.

Die erfolgreiche Etablierung von disruptiven Technologien gelingt dabei weniger in großen etablierten Unternehmen als vielmehr in Start-Ups sowie jungen Unternehmen, da eine zu starre Unternehmenskultur sich nachteilig auf deren Umsetzung auswirkt (vgl. Christensen, 1997).

Als Maßnahmen, die zur gezielten Förderung von disruptiven Technologien eingesetzt werden können, gelten folgende:

- Reallabore als kooperative F&E- Projekte mit Einbindung der Zivilgesellschaft
- Sektorübergreifende Kollaborationen sowie die Schaffung von einschlägigen Kollaborationen und Testfeldern, in denen neue Entwicklungen in einer Umgebung getestet werden können, die der realen Welt ähnelt
- Forcierte Förderung von Start-Ups
- Förderung von „Out of the Box“ Thinking und ergebnisoffener Forschung
- Testen neuer Technologien in Märkten als Teil der Entwicklung fördern

Auch in der Forschungsförderung ist zu berücksichtigen, dass die Entstehung disruptiver Innovationen vielfach auch von Zufällen abhängt. Hier sollte genug Freiraum geschaffen werden, um das Prinzip des Zufalls auch zu ermöglichen. Diesem Umstand wird

beispielsweise im Konzept des „Innovations Roulette“ Rechnung getragen (vgl. Schimpf, 2019).

Gerade im Bereich von grünen Technologien können auch Marktregulierungen Innovationen anstoßen. Michael Porter (1990) stellte die Hypothese auf, dass gerade soziale- und im speziellen Regulationen im Bereich Umwelt- zur Konkurrenzfähigkeit von Industrien beitragen, indem sie Ressourceneffizienz und verbesserte Produkte einfordern. Eine frühzeitige Regulation kann dabei zu einem First-Mover-Vorteil führen.

## 1.3 Methode

### 1.3.1 Technologieabgrenzungen und Betrachtungsebenen

Technologie als Begriff ist nicht exakt definiert. Damit bringt die Betrachtung von unterschiedlichen Technologien automatisch gewisse Unschärfen und diverse Betrachtungsebenen mit sich. Konkret im Kontext der gegenständlichen Studie bedeutet das, dass Technologien mit unterschiedlichem Umfang verglichen werden müssen - etwa die relativ klar abgrenzbare „Mikrobielle Brennstoffzelle“ mit dem eher weiten Technologiefeld „Chemisches Recycling“. Auch werden wesentliche Detailtechnologien durch den Betrachtungswinkel in den untersuchten Technologien integriert, ohne dass diese Detailtechnologien eigens genannt werden. Zum Beispiel werden alle Detailtechnologien, von der innovativen Thyristorbauart bis zur Disruption am Markt von LKW-Antriebssträngen. in der Technologie „Logistik 4.0“ subsummiert. Dadurch verlieren diese Detailtechnologien jedoch nicht an Wichtigkeit, da diese bei entsprechender Detailbetrachtung weiterhin ihre Relevanz behalten. In der Gesamtschau – wie es die gegenständliche Studie darstellt – benötigt es allerdings eine übersichtliche Darstellung und handhabbare Komponenten.

Für „Tech4Green“ wurde deswegen angestrebt, eine möglichst praktikable Abgrenzung, individuell für jede betrachtete Technologie, zu finden. Die damit erarbeiteten Technologien sind für die gegenständliche Betrachtung gut anwendbar, können aber selbstverständlich keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit erheben.

### 1.3.2 Technologietaxonomie und Branchenscreening

Die Identifikation und Kategorisierung relevanter Technologien erfolgte über eine breit angelegte Literaturrecherche, eine Metaanalyse von themenrelevanten Patentrecherchen,

Ergebnisse aus Vorprojekten und zwei umfassende Online-Befragungen von Technologie- und Branchen-Expert:innen.

Die **Literaturrecherche** orientierte sich vor allem an Studien und Papers über innovative Technologien und disruptive Innovationen. Darüber hinaus wurde auf Websites von typischerweise innovativen Unternehmen nach neuesten Entwicklungen gesucht. Vorgehend wurden Literaturquellen und praktikable Erklärungen für die Begriffe Innovation, Technologie und Disruption recherchiert und aufbereitet.

Die **Metaanalyse von Patentrecherchen** hatte zum Ziel, weitere Technologien und Unternehmen zu identifizieren. Darüber hinaus wurden Aspekte miterfasst, die in den spezifischen Themenbereichen mitbetrachtet wurden.

Die **Stakeholder-Einbindung** erfolgte systematisch. Zur Identifizierung und Vorbewertung disruptiver Technologien wurden **zwei Online-Befragungen** durchgeführt. Eine Befragung adressierte dabei österreichische Unternehmen der Sachgüterproduktion, eine zweite Umfrage österreichische Forschungseinrichtungen. Den Teilnehmer:innen wurde ein umfangreiches Fragenset vorgelegt – etwa wie sehr die eigenen F&E-Aktivitäten von disruptiven Technologien geprägt sind oder welche disruptiven Technologien sich in der eigenen Branche wie ausgewirkt haben. Eine weitere Stakeholder-Einbindung erfolgte im Rahmen des Policy-Workshops.

Anschließend an die Identifikation von potenziell disruptiven Technologien mit Bezug zur österreichischen Sachgüterproduktion wurde die **Technologietaxonomie** entwickelt. Diese baut auf Janke & Burkhardt (2018) auf und umfasst folgende Kategorisierungen:

- Zuordnung zu einem Technologiefeld (Robotik & Assistenzsysteme, Photonik usw.)
- Innovationstyp (inkrementell, radikal)
- Technology Readiness Level (TRL)
- Manufacturing Readiness Level (MRL)
- Produktlebenszyklusphase (Entwicklung, Einführung, Wachstum, Reife usw.)
- Popcorn-Potenzial (Potenzial zur schnell wachsenden Schlüsseltechnologie)
- Technologieart (Produkttechnologie, Produktionstechnologie)
- Branchenzuordnung (nach ÖNACE: Textilien, chemische Erzeugnisse usw.)
- Abschätzung des Impacts durch die Technologie (auf die Produktivität, Materialeffizienz, Energieeffizienz, Produktqualität, Kreislauffähigkeit, Arbeitsbedingungen, Klimaschutz und Umweltschutz)

Die **Auswahl der Technologien**, die in der detaillierten Nachhaltigkeitsbewertung betrachtet wurden, erfolgte danach, wie häufig diese in der Expert:innen-Befragung genannt wurden, nach dem disruptiven Charakter der Technologie, nach der Relevanz für die österreichische Sachgüterproduktion, nach dem Potenzial als österreichisches Stärkefeld in der Forschung und unternehmerisch sowie nach der (ersten) Impact-Abschätzung im Rahmen der Technologierecherche.

**1.3.3 Nachhaltigkeitsbewertung der Technologien**

Die ausgewählten Technologien wurden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit der österreichischen Sachgüterproduktion bewertet. Dabei wurden die soziale, ökonomische und ökologische Nachhaltigkeitsdimension getrennt betrachtet. Für jede dieser Dimensionen wurden drei Zielbereiche, welche zusätzlich in verschiedene Wirkungskategorien unterteilt sind, bewertet. Dafür wurde die Nachhaltigkeitsmatrix nach Wallner et al. (2002) in abgewandelter Form verwendet (siehe Tabelle 2). Die Nachhaltigkeitsbewertung basiert auf den Ergebnissen der Online-Umfragen, einer Literaturrecherche sowie auf den Inputs von Expert:innen, die im Rahmen eines Workshops eingeholt wurden. Im Rahmen der Umfrage wurden Technologieexpert:innen aus Unternehmen der Sachgüterproduktion sowie aus Forschungsinstitutionen befragt, um u. a. Effekte und Auswirkungen, die aktuelle und zukünftige Marktdiffusion sowie Entwicklungs- und Handlungsbedarf abzuschätzen. Für eine vollständige Bewertung der technologiebezogenen Nachhaltigkeitsaspekte wurde ergänzend zur Umfrage eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung wurden anschließend im Rahmen eines Projektworkshops Branchenvertreter:innen und Expert:innen vorgestellt und das Feedback der Teilnehmer:innen anschließend eingearbeitet.

Tabelle 2: Wirkungskategorien und Zielbereiche je Nachhaltigkeitsdimension für die Nachhaltigkeitsbewertung der ausgewählten Technologien

Dimension	Zielbereich	Wirkungskategorie
Sozial	Sozialkapital	Infrastruktur für die Region
		Ideelle Werte
		Regionale Einbindung
	Soziale Aktivität	Kommunikation und Feedback

Dimension	Zielbereich	Wirkungskategorie
	Soziale Stabilität	Chancengleichheit
		Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen
		Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter:innen und Kund:innen
		Zufriedenheit
<b>Ökonomie</b>	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen	Kostendeckung
		Wertschöpfung für Regionen
		Sicherung der Ressourcen
	Wissens- und Wirtschaftsentwicklung	Wirtschaftsleistung und -dynamik
		Innovation und F&E bei Produktion, Produkten und Dienstleistungen
		Struktur- und Systeminnovation, Netzwerke, Kooperationen, Wissenschaft
	Ökonomische Situation des Landes	Nachhaltiges Wachstum
		Identifikation - Image
		Produktqualität
	<b>Ökologie</b>	Ressourcenverfügbarkeit und Ressourcenschonung
Effiziente Energie- und Ressourcennutzung		
Stoffliche Nutzung erneuerbarer und rezyklierbarer Rohstoffe, sparsame Nutzung von Umweltmedien		
Belastungsreduktion		Klimaschutz - Reduktion und Vermeidung von THG-Emissionen
		Reduktion/Vermeidung von Abfall und Abwasseremissionen
		Reduktion/Vermeidung von konventionellen Luftschadstoffen, Lärm und Geruch
Qualität des Ökosystems		Erhalt eines guten Umweltzustands - Luft- und Wasserqualität

Dimension	Zielbereich	Wirkungskategorie
		Erhalt von Bodenproduktivität - Naturnahe Produktionssysteme
		Beitrag zum Erhalt der biologischen Vielfalt und des Landschaftsbilds

Die zu erwartenden Auswirkungen der Technologien in den jeweiligen Wirkungskategorien wurden qualitativ beschrieben. Anschließend wurde bewertet, wie stark positiv oder negativ der Nachhaltigkeitseffekt in der respektiven Wirkungskategorie ist. Dafür wird eine Skala genutzt, welche in Tabelle 3 dargestellt ist.

Tabelle 3: Skala zur Bewertung der Nachhaltigkeitseffekte

Bewertung	Beschreibung
+++	Starke positive Wirkung auf Nachhaltigkeit
++	Mittlere positive Wirkung auf Nachhaltigkeit
+	Schwache positive Wirkung auf Nachhaltigkeit
-	Schwache negative Wirkung auf Nachhaltigkeit
--	Mittlere negative Wirkung auf Nachhaltigkeit
---	Starke negative Wirkung auf Nachhaltigkeit

Um das Nachhaltigkeitspotenzial bewerten zu können, wurde auch die Anwendungsbreite der jeweiligen Technologie in der österreichischen Sachgüterproduktion miteinbezogen und anhand einer Skala von eins bis fünf bewertet (siehe Tabelle 4). Dabei wurde bewertet, für wie viele Branchen und in wie vielen Unternehmen aus diesen Branchen die Technologie anwendbar ist. Zusätzlich wurde die CO<sub>2</sub>-Relevanz der Technologien miteinbezogen und mittels einer fünfstufigen Skala bewertet. Ausschlaggebend dabei war, welchen Einfluss die Technologie auf das Entstehen von CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Industrie hat.

Tabelle 4: Bewertungsskala für die Anwendungsbreite und CO<sub>2</sub>-Relevanz der Technologien in der österreichischen Sachgüterproduktion

Anwendungsbreite		CO <sub>2</sub> -Relevanz	
1	Technologie nur für einzelne Branchen und Unternehmen anwendbar	A	sehr geringe CO <sub>2</sub> -Relevanz für die gesamte Industrie
2	Technologie für einzelne Branchen in jeweils Großteil der Unternehmen oder für viele Branchen in jeweils wenigen Unternehmen anwendbar	B	geringe CO <sub>2</sub> -Relevanz für die gesamte Industrie
3	Technologie für alle Branchen in wenigen Unternehmen oder für wenige Branchen in allen Unternehmen anwendbar	C	mittlere CO <sub>2</sub> -Relevanz für die gesamte Industrie
4	Technologie für alle Branchen in einigen Unternehmen oder für einige Branchen in allen Unternehmen anwendbar	D	hohe CO <sub>2</sub> -Relevanz für die gesamte Industrie
5	Technologie für alle Branchen und einen Großteil der Unternehmen anwendbar	E	sehr hohe CO <sub>2</sub> -Relevanz für die gesamte Industrie

Anwendungsbreite und CO<sub>2</sub>-Relevanz haben einen wesentlichen Einfluss auf das Nachhaltigkeitspotenzial einer Technologie. Diese beiden Faktoren wirken als Multiplikatoren für die Nachhaltigkeitswirkung. Je größer die Anwendungsbreite und CO<sub>2</sub>-Relevanz einer Technologie, desto größer ist ihre Hebelwirkung in Bezug auf Nachhaltigkeit. So hat beispielsweise eine Technologie mit sehr positiven Nachhaltigkeitseffekten und sehr geringer Anwendungsbreite und CO<sub>2</sub>-Relevanz ein geringeres Nachhaltigkeitspotenzial für die österreichische Sachgüterproduktion als eine Technologie mit mittleren positiven Nachhaltigkeitseffekten aber einer sehr hohen Anwendungsbreite und CO<sub>2</sub>-Relevanz.

### 1.3.4 Online-Umfragen

Zur Identifizierung möglicher disruptiver Technologien, wurden neben einer umfangreichen Literatur- sowie Patentrecherche auch zwei Online-Umfragen durchgeführt. Eine Umfrage adressierte dabei österreichische Unternehmen, die zweite Umfrage richtete sich an österreichische Forschungseinrichtungen. Den Teilnehmern wurde ein umfangreiches Fragenset vorgelegt. Von Interesse war zum einen, wie sehr die Teilnehmer in ihrem beruflichen Alltag mit disruptiven Technologien befasst sind, welche Technologien in der näheren Vergangenheit in ihrer Branche bzw. Forschungsfeld

disruptiv in Erscheinung getreten sind und welche Technologien sie in Zukunft als potenziell disruptiv erachten.

Zu den konkreten potenziell disruptiven Technologien wurden weiters deren sozioökonomische wie ökologische Wirkungen, Fördermöglichkeiten sowie derzeitige und künftige Marktdiffusion abgefragt.

Im Anhang ist eine Auflistung der Fragen zu finden. Die Ergebnisse der Befragungen dienten als Ausgangspunkt für die weitere Rechercharbeit sowie zur Vervollständigung der Technologiematrix.

### **1.3.5 Analyse von Good Practices internationaler Programme**

Um die Stärken und Schwächen des österreichischen Innovationssystems im internationalen wie europäischen Vergleich zu erörtern, wurden die Indizes Global Innovation Index und Eco-Innovation Index dahingehend untersucht. Der Global Innovation Index bewertet die gesamtheitliche Innovationskraft von 132 Volkswirtschaften im internationalen Kontext, im Gegensatz dazu vergleicht Eco-Innovation Index die Innovationskraft im Bereich Umwelt und Energie im EU-Raum.

Bei beiden Indizes wurden die Stärken den Schwächen gegenübergestellt sowie nach Gemeinsamkeiten und Divergenzen gesucht. Aufgrund der Interpretation der Ergebnisse und dem Verschnitt mit den anderen Studienergebnissen konnten Handlungsempfehlungen zur Stärkung des österreichischen Innovationssystems abgeleitet werden.

### **1.3.6 Policy-Workshop**

Um Feedback zu den erarbeiteten Technologie-Steckbriefen einzuholen und handlungsleitende Empfehlungen zur gezielten Förderung der thematisierten Technologien sowie zur Weiterentwicklung der österreichischen FTI-Politik abzuleiten, wurde ein Policy-Workshop mit rund 70 Branchenexpert:innen durchgeführt.

Im Zuge des Online-Workshops am 11. März 2022 wurden erst die Projektergebnisse präsentiert und anschließenden in zwei Breakout-Sessions in jeweils vier Kleingruppen mögliche Maßnahmen erarbeitet. Zu deren Sammlung und Dokumentation diente ein Miroboard, dass im Vorfeld erstellt wurde.

Die erste Breakout-Session thematisierte mögliche Maßnahmen zur FTI-Politik. Dazu wurde eine Leitfrage „Welche Maßnahmen in der Forschungs- und Innovationspolitik soll die öffentliche Hand setzen, um mittel- bis langfristig eine nachhaltige Produktion zu erreichen?“ und zusätzlich drei Detailfragen formuliert, die die Förderung von Green-Innovation-Hubs, Möglichkeiten zur Risikofinanzierung und verstärkte Vernetzung von Akteur:innen behandelten.

Die zweite Breakout-Session thematisierte Maßnahmen zur gezielten Förderung der Technologiefelder CCU, Wasserstoff, Hydrothermal Liquefaction, Logistik 4.0, Intelligente Sensoren und Virtual Reality. Die Ergebnisse der beiden Breakout-Session wurden anschließend im Plenum vorgestellt und diskutiert.

## 2 Technologietaxonomie

Im folgenden Kapitel werden die Metaanalyse der identifizierten Patentrecherchen, die Ergebnisse der Expert:innen-Befragung, die entwickelte Technologietaxonomie und die Auswahl der für die österreichische Sachgüterproduktion relevanten disruptiven Technologien vorgestellt.

### 2.1 Innovationsleistungen in Österreich

Seit 2001 wird das „European Innovation Scoreboard“ (von 2010 bis 2015 als „Innovation Union Scoreboard“ benannt) jährlich erstellt und publiziert. In diesem findet sich auch ein **globaler Vergleich**. Im aktuellen „European Innovation Scoreboard 2020“ (EU, 2020) haben Südkorea und Kanada die höchste Innovationsleistung erzielt. Dahinter liegen Australien, Japan, die Europäische Union, die USA und China, die aufgrund ihrer ähnlichen Punktebewertungen in eine Gruppe zusammengefasst wurden. Mit deutlichem Abstand dahinter liegt Brasilien und die Gruppe mit der geringsten Innovationsleistung bildet Russland, Südafrika und Indien. Hohe relative Zuwächse konnten seit 2012 China, Südkorea, Russland und Japan verzeichnen (EU, 2020).

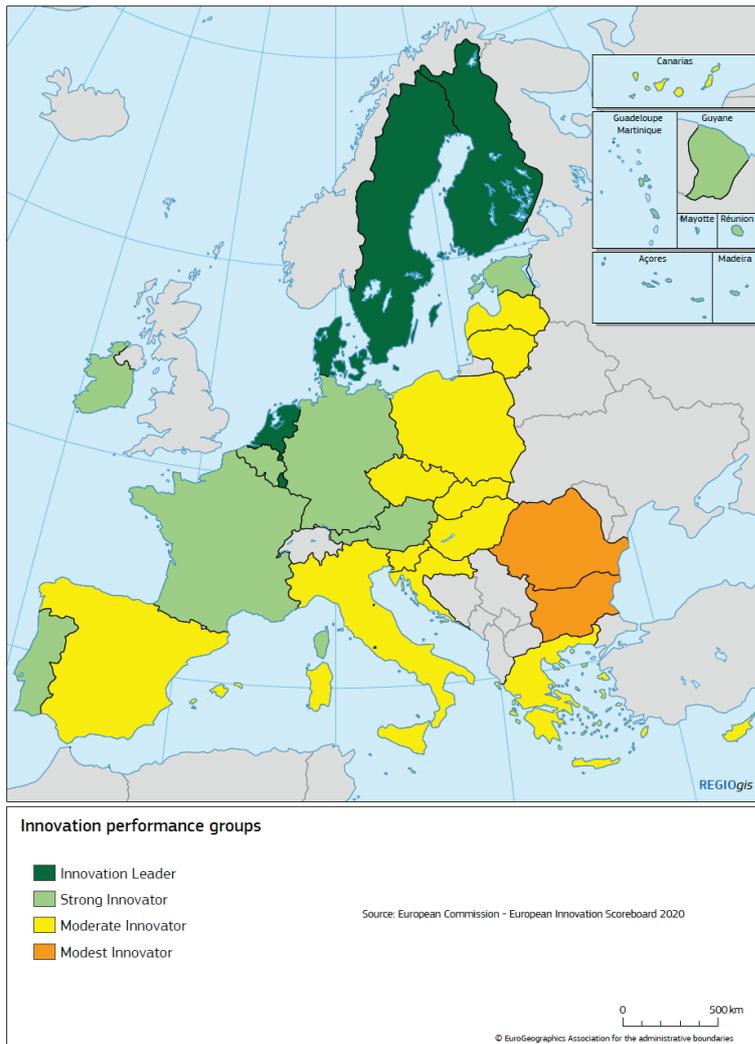


Abbildung 2: Landkarte der Klassifizierung nach Innovationsleistungsgruppen (EU, 2020, S. 14)

Innerhalb der **Europäischen Union** ist Österreich in der Gruppe der „Strong Innovators“, neben Ländern wie Belgien, Deutschland, Irland, Frankreich, Estland und Portugal, positioniert. Die „Innovation Leaders“ stellen Schweden, Finnland, Dänemark, die Niederlande und Luxemburg dar. Österreich belegte Platz 8 von 27. (EU, 2020)

Im Bewertungssystem des „European Innovation Scoreboard“ punktete **Österreich** (in Relation zum EU-Durchschnitt) vor allem durch die gute Verknüpfung von KMUs untereinander und durch öffentlich-private Ko-Publikationen. Auch die vielen internationalen, wissenschaftlichen Ko-Publikationen, die zahlreichen ausländischen Doktorant:innen, die hohen F&E-Ausgaben im öffentlichen und im privaten Sektor sowie die hohe Zahl an innovierenden KMUs führte zu dem Bewertungsergebnis. Vergleichsweise schlecht hat Österreich durch eher wenige, schnell wachsende

Unternehmen (gemessen in der Beschäftigtenzahl), wenig bereitgestelltes Risikokapital und geringe Exporte von wissensbasierten Dienstleistungen abgeschnitten. (EU, 2020)

Der Rat für Forschung und Technologieentwicklung publiziert jährlich den „Bericht zur wissenschaftlichen und technologischen Leistungsfähigkeit Österreichs“ (RFTE, 2021). In diesem werden unter anderem die Stärken und Schwächen des österreichischen FTI-Systems mit jenen der „**Innovation Leader**“ verglichen, welche aus dem „European Innovation Scoreboard“ übernommen werden.

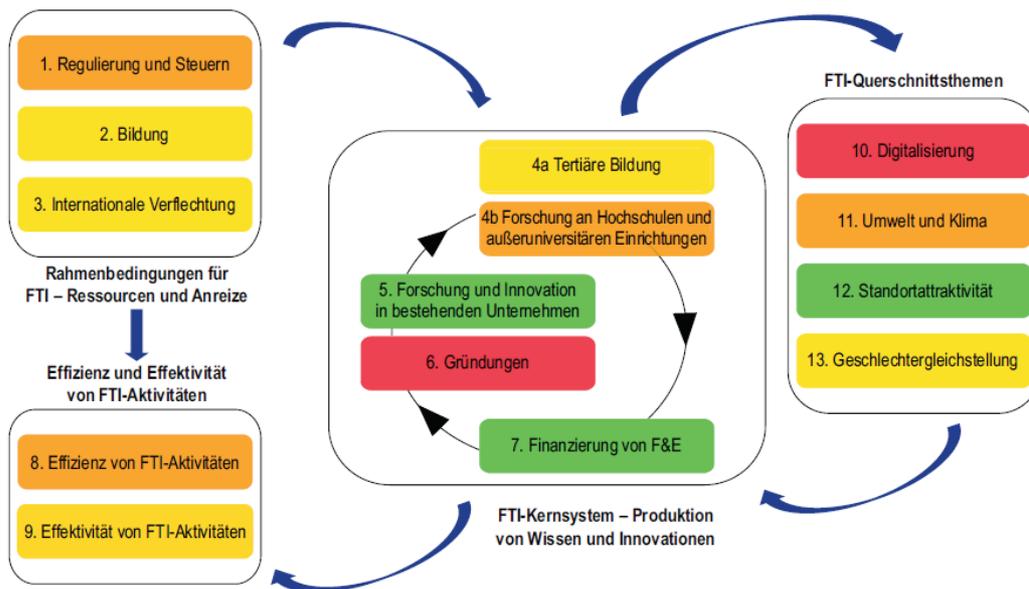


Abbildung 3: Stärken und Schwächen des österreichischen FTI-Systems im Vergleich zu Schweden, Finnland, Dänemark, die Niederlande und Luxemburg (RFTE, 2021, S. 34)

Die österreichischen Stärken im Vergleich zu den „Innovation Leaders“ liegen bei der Forschungsfinanzierung, der Standortattraktivität und den F&E-Tätigkeiten in den bestehenden Unternehmen. Deutlichen Nachholbedarf hat Österreich in dieser Bewertung in den Bereichen Forschung an Hochschulen und außeruniversitären Einrichtungen, Regulierung und Steuern, Umwelt und Klima sowie bei der Effizienz von FTI-Aktivitäten. Noch weiter abgeschlagen ist Österreich in den Bereichen Digitalisierung und Unternehmensgründungen. (RFTE, 2021)

## 2.2 Metaanalyse der identifizierten Patentrecherchen

Insgesamt wurden vier aktuelle und themenrelevante Patentrecherchen identifiziert, analysiert und die Aussagekraft in Bezug auf die „Tech4Greens“ hervorgehoben.

### 2.2.1 Überblick über die Patentrecherchen

#### Patents and the Fourth Industrial Revolution

- Europäisches Patentamt: (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017)
- Betrachtete Branchen bzw. Technologien: sehr breites Betrachtungsfeld (Anwendungsfelder, Basisinnovationen und Kerntechnologien) allerdings nicht sehr detailliert in puncto Einzeltechnologien
- Geographische und zeitliche Relevanz: Europa, 1990 – 2016
- Themenschwerpunkte: 4. industrielle Revolution
- Aussagekraft der Studie: sehr hoch, da äußerst fundiert aufbereitet

#### Patent Technology Network Analysis of Machine-Learning Technologies and Applications in Optical Communications

- Science and Technology Policy Research and Information Center: (Chang, 2020)
- Betrachtete Branchen bzw. Technologien: maschinelles Lernen im Kontext mit optischer Nachrichtentechnik
- Geographische und zeitliche Relevanz: USA, 2015 – 2019
- Themenschwerpunkte: Netzwerkanalyse von Patentanmeldungen
- Aussagekraft der Studie: eher gering, da geographischer Bezug auf die USA beschränkt ist

#### Artificial Intelligence – WIPO Technology Trends 2019

- World Intellectual Property Organization: (WIPO, 2019)
- Betrachtete Branchen bzw. Technologien: Künstliche Intelligenz in allen Anwendungsgebieten/Branchen
- Geographische und zeitliche Relevanz: global, Historie bis 2018
- Themenschwerpunkte: sehr detaillierte Auswertungen
- Aussagekraft der Studie: hoch, da sehr detailliert ausgearbeitet

#### Quantitative Indikatoren für die Biobasierte Industrie in Österreich

- ÖGUT & AIT: (Ganglberger, Sturm, Zahradnik & Scherngell, 2016)

- Betrachtete Branchen bzw. Technologien: Biobasierte Industrie gegliedert in 13 Detailbranchen
- Geographische und zeitliche Relevanz: Österreich im Vergleich zum EU-Raum (ERA), 2010 – 2014
- Themenschwerpunkte: Patentaktivitäten Österreichs im Vergleich zum EU-Schnitt
- Aussagekraft der Studie: sehr hoch, da unmittelbarer Bezug zu Österreich

### 2.2.2 Industrie 4.0

Zum Themenbereich Industrie 4.0 wurde unter dem Titel „Patents and the Fourth Industrial Revolution“ (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017) eine eigene, umfassende Patentstudie durch das Europäische Patentamt durchgeführt.

Bezüglich des disruptiven Charakters der Innovation wird folgende Beobachtung gemacht:

„In contrast with the early days of digitisation, the truly disruptive nature of 4IR [Fourth Industrial Revolution] originates in the combined use of a wide range of new technologies in a large variety of sectors of the economy.“ (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 17)

Die einzelnen Technologien werden nicht aufgezählt, allerdings wurden diese in drei Kategorien gegliedert (Application domains, Enabling technologies und Core technologies) und die Entwicklung der Patentanmeldungen seit 1990 dargestellt.

Trends in patent applications by sector 1990-2016

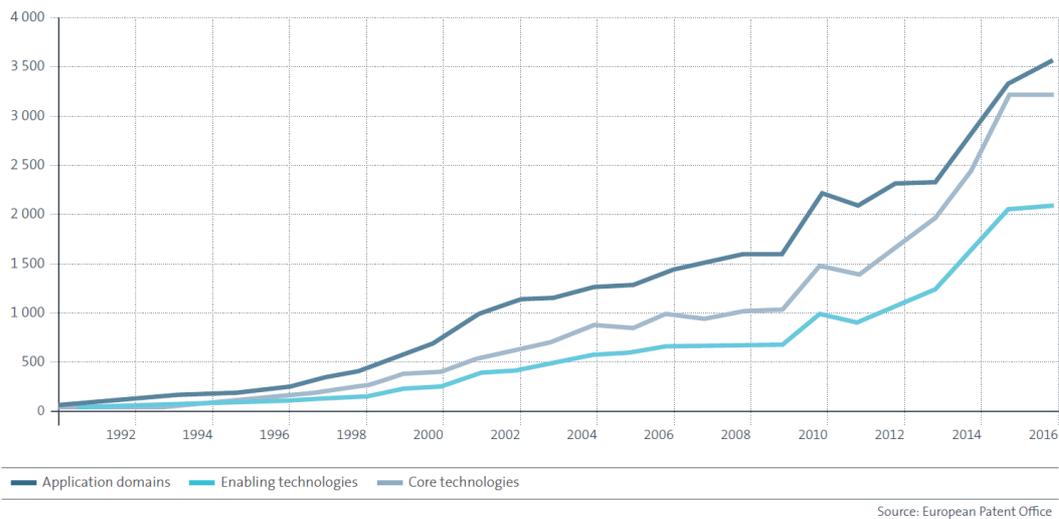


Abbildung 4: Trends bei den Patentanmeldungen zum Themenfeld Industrie 4.0 von 1990 bis 2016 (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 28)

Innerhalb dieser Kategorien wird darüber hinaus in weiteren Subkategorien unterschieden.

Patent applications in 4IR applications 1990-2016

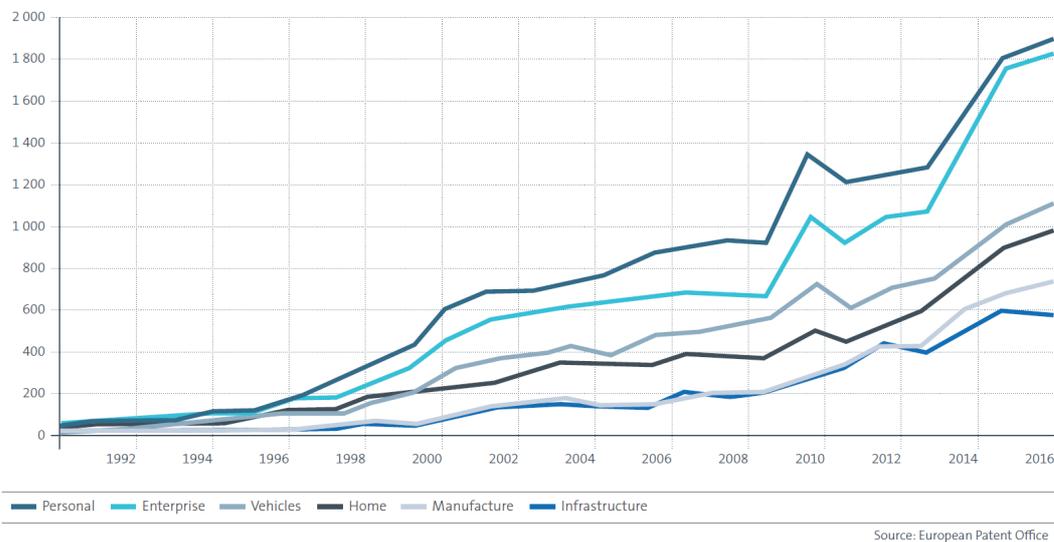


Abbildung 5: Trends bei den Patentanmeldungen 1990 bis 2016 nach Anwendungsfeldern (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 32)

Ersichtlich ist bei der Detailbetrachtung der Anwendungsfelder, dass am europäischen Patentamt in Bezug auf das Themenfeld Industrie 4.0 vor allem die Anwendungsfelder „Personal“ (z. B. tragbare Geräte zur persönlichen Gesundheitsüberwachung, „smart wearables“ oder Unterhaltungselektronik) und „Enterprise“ (z. B. intelligente Systeme für

den Einzelhandel oder das Gesundheitswesen, autonome Systeme für Büros oder die Landwirtschaft) Patente angemeldet haben. Etwas mehr als halb so viele Patente wurden in den Anwendungsfeldern „Vehicles“ (z. B. Autonomes Fahren oder Flottenavigation) und „Home“ (z. B. „smart homes“, Automatisierung oder Sicherheitssysteme) angemeldet. Deutlich dahinter aber ebenso mit einer imposanten Entwicklungskurve folgen die Anwendungsfelder „Manufacture“ (z. B. „smart factories“, intelligente Robotik oder Energieeffizienz) und „Infrastructure“ (z. B. intelligente Energieverteilungssysteme oder intelligente Transportnetzwerke).

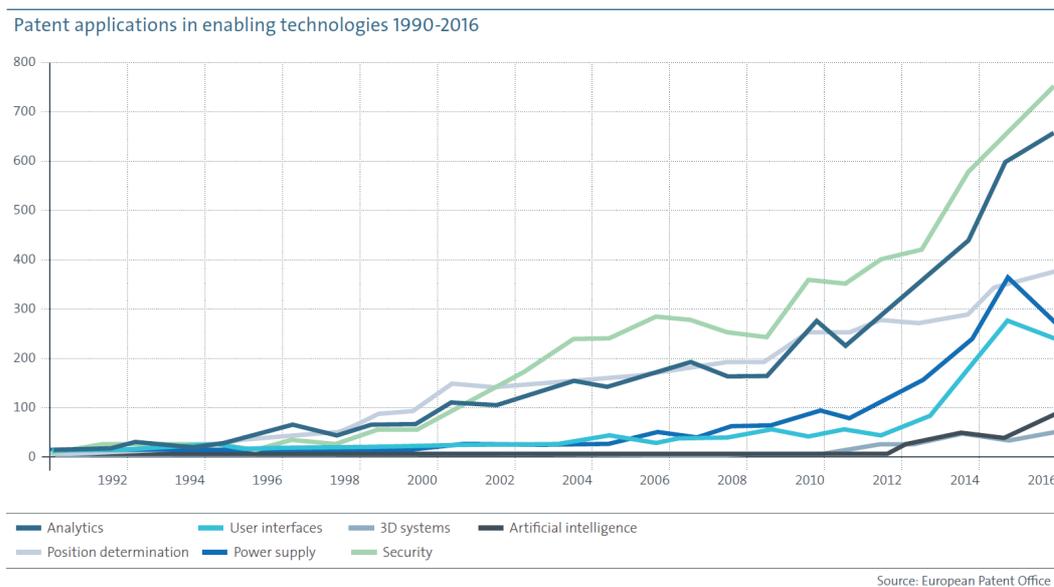


Abbildung 6: Trends bei den Patentanmeldungen 1990 bis 2016 nach Basisinnovationen (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 31)

Unter den Basisinnovationen, die als zugrundeliegende und wegbereitende Innovationen zu verstehen sind, finden sich vor allem Patentanmeldungen im Bereich „Security“ (z. B. adaptive und intelligente Sicherheitssysteme) und „Analytics“ (z. B. systematische Diagnose großer Datenmengen). In einer Art Mittelfeld finden sich „Position determination“ (z. B. „Enhanced GPS“ oder weitere Technologien zur Bestimmung von Positionen), „Power supply“ (z. B. situationsspezifische Ladesysteme oder gemeinschaftliche Energiesysteme) und „User interfaces“ (z. B. „Virtual Reality“ oder integrierte Bildschirme und Anzeigen). Deutlich weniger wurden Patente zu „Artificial Intelligence“ (z. B. maschinelles Lernen oder neurale Netzwerke) und „3D-Systems“ (z. B. 3D-Scanner, 3D-Drucker, 3D-Design oder 3D-Simulationen) angemeldet.

Patent applications in core technologies 1990-2016

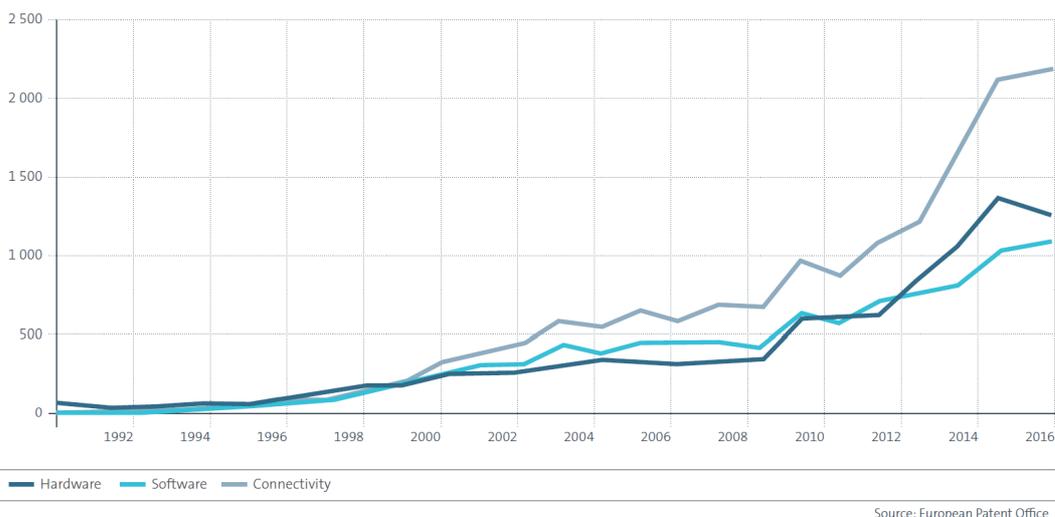


Abbildung 7: Trends bei den Patentanmeldungen 1990 bis 2016 nach Kerntechnologien (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 30)

Bei den Kerntechnologien wurden besonders häufig Patente im Bereich „Connectivity“ (z. B. Netzwerkprotokolle oder adaptive Datensysteme) angemeldet. Patente im Bereich „Hardware“ (z. B. Sensoren, Speicher, Prozessoren oder Displays) und „Software“ (z. B. adaptive Datenbanken, Betriebssysteme für mobile Endgeräte, Virtualisierungen, intelligente Cloud-Speicher oder Verarbeitungsstrukturen) liegen gemessen an ihrer Anzahl in derselben Größenordnung.

Neben der Analyse der Patentkategorien findet sich auch eine Auswertung der 2011 bis 2016 eingereichten Patente zum Themenfeld Industrie 4.0 nach dem geographischen Standort der Patenteinreicher:innen. Hierfür wurde sogar eine Auswertung auf Ebene der NUTS-2-Regionen erstellt.

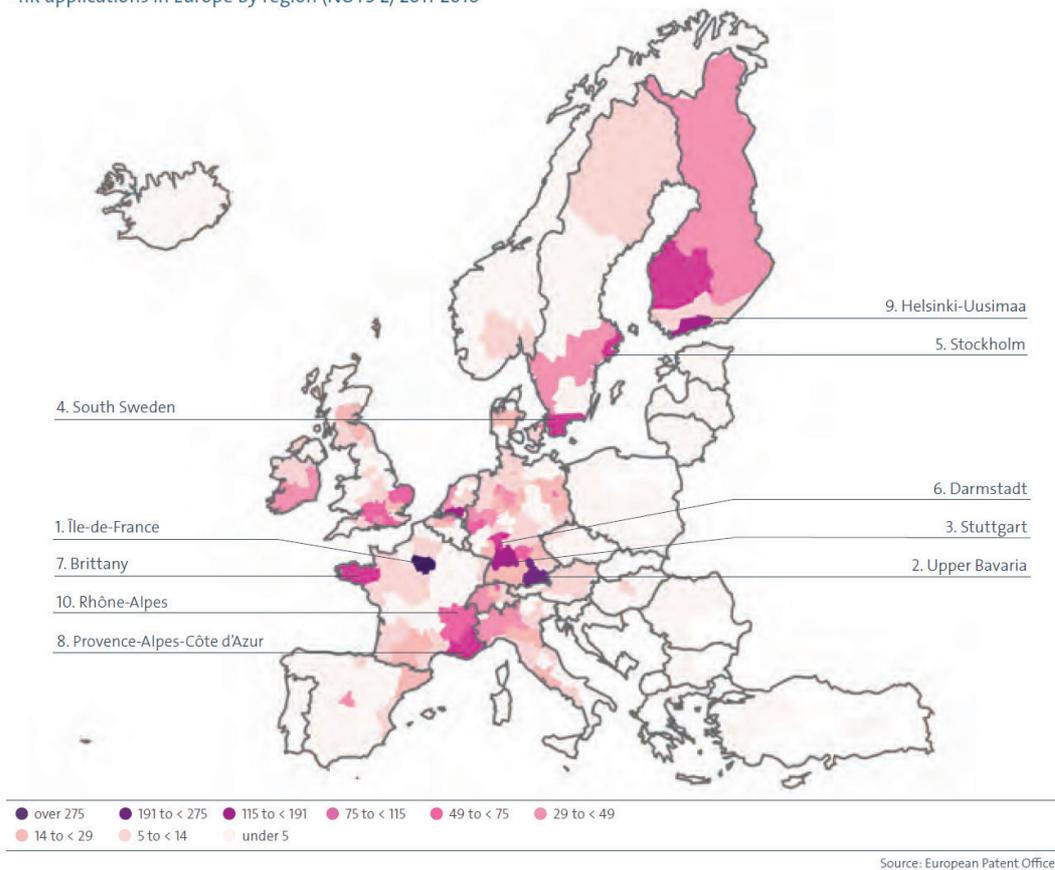


Abbildung 8: Patentanmeldungen in Europa im Themenfeld Industrie 4.0 von 2011 bis 2016 verortet nach NUTS 2 Regionen (Ménier, Rudyk & Valdes, 2017, S. 82)

Als europäische, industrielle „Patentzentren“ haben sich in den letzten Jahren der Ballungsraum Paris, Oberbayern, Stuttgart, Südschweden und Stockholm herauskristallisiert.

Zur Frage, welche Unternehmen in Europa Patente zum Themenfeld Industrie 4.0 einreichen, findet sich folgende Grafik in der Patentstudie.

Top 25 4IR applicants at the EPO 2011-2016

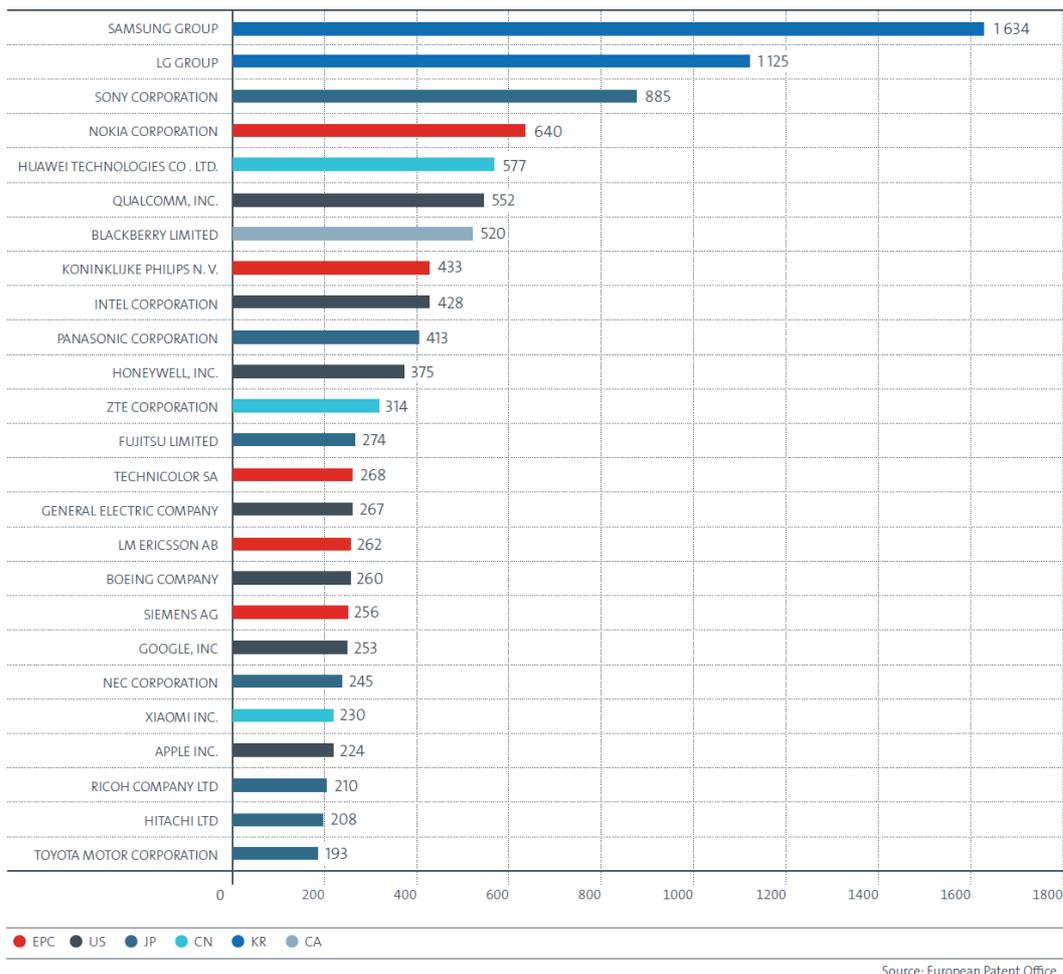


Abbildung 9: Patentanmeldungen in Europa im Themenfeld Industrie 4.0 von 2011 bis 2016 nach anmeldenden Unternehmen (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 57)

Insbesondere die Unternehmen Samsung, LG und Sony sind bei den europäischen Patentanmeldungen im Themenfeld Industrie 4.0 stark vertreten. Mit Nokia findet sich das bestplatzierte in Europa verwurzelte Unternehmen auf Platz 4. Im Bereich „Manufacture“ sind vor allem General Electric, LG, Samsung, Panasonic, Boeing, Siemens und Honeywell in Europa „patentaktiv“.

### 2.2.3 Photonik

Für das Themenfeld Machine Learning und optische Nachrichtentechnik wählte (Chang, 2020) einen Ansatz zur Netzwerkanalyse von Patenten mit Daten des United States Patent and Trademark Office aus den Jahren 2015 bis 2019.

Die konventionelle Auswertung führte zu folgendem Ranking an Unternehmen, die Patente angemeldet haben.

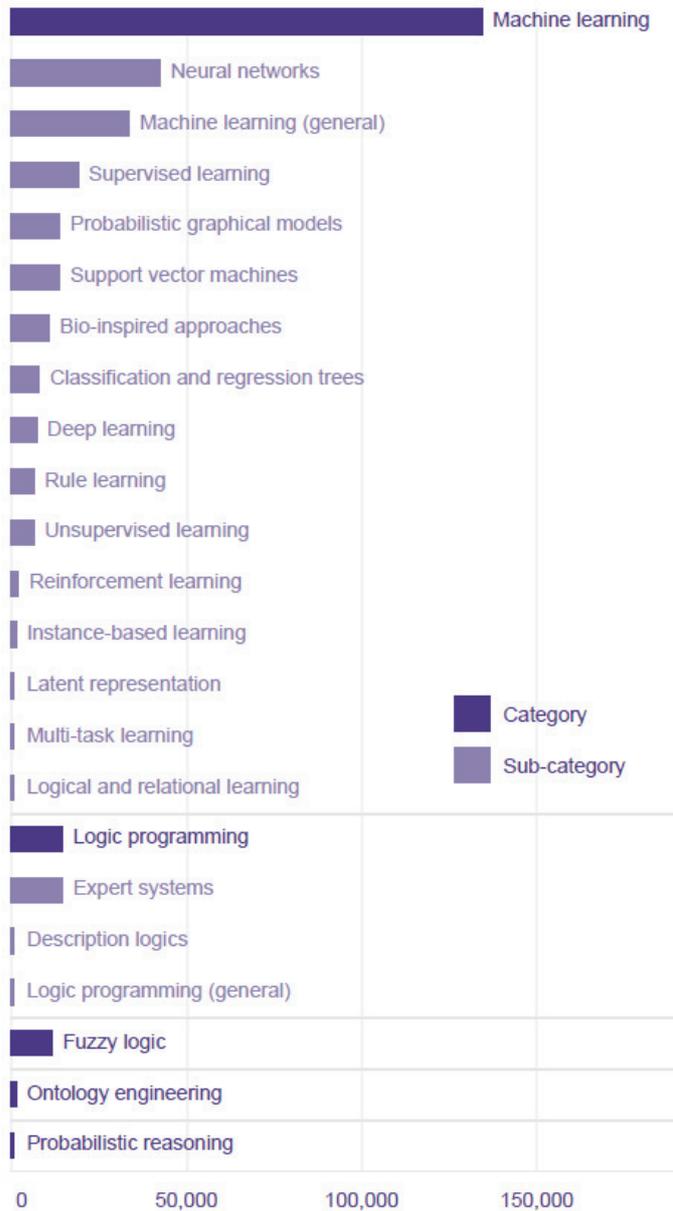
Ranking	Patentee	Patents	Percentage	No. of Inventors
1	Apple Inc.	67	8.15%	142
2	SAS Institute Inc.	51	6.20%	92
3	Intel Corporation	33	4.01%	65
4	International Business Machines Corporation	24	2.92%	67
5	Volcano Corporation	29	3.53%	29
6	Elwha LLC	28	3.41%	33
7	Microsoft Technology Licensing, LLC	17	2.07%	51
8	Google LLC	16	1.95%	42
9	Fitbit, Inc.	14	1.70%	10
10	HPS Investment partners, LLC, as Collateral Agent	13	1.58%	18

Abbildung 10: Top Unternehmen in Bezug Patentanmeldungen im Themenfeld Machine Learning und optische Nachrichtentechnik in den USA von 2015-2019 (Chang 2020, S. 5)

Durch die angewandte Netzwerkanalyse konnte (Chang, 2020) herausarbeiten, dass bei Daten- Eingabe/Ausgabe-Geräten vor allem Datenverarbeitungsmethoden, drahtlose Kommunikationsnetzwerke und digitale Informationsübertragung Schlüsseltechnologien darstellen, die nicht spezifischen Technologiefeldern zugeordnet werden können. Darüber hinaus zeigt die Analyse, dass maschinelles Lernen im Rahmen der optischen Nachrichtentechnik zunehmend für die medizinische Diagnostik relevant ist.

#### 2.2.4 Robotik und Künstliche Intelligenz

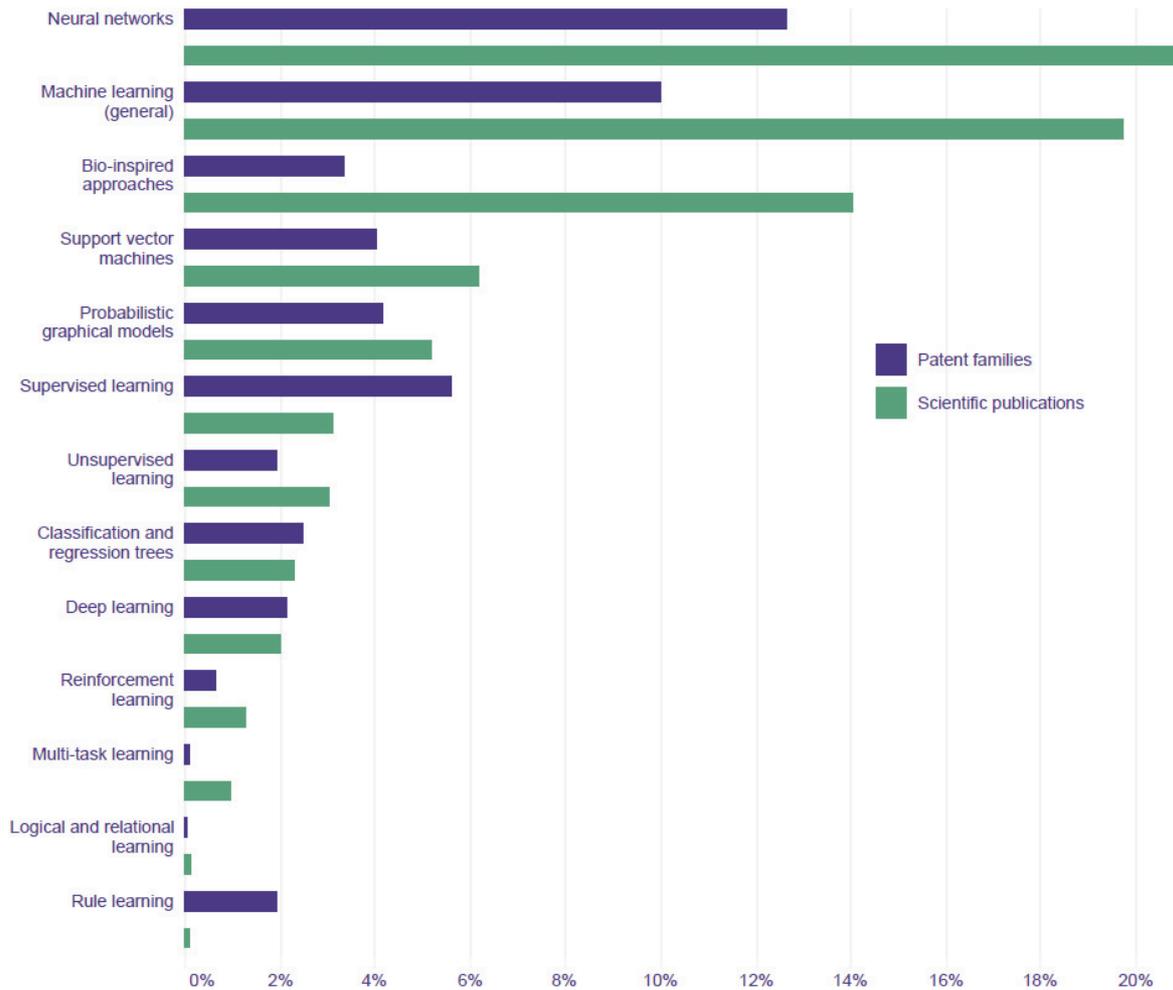
Im „WIPO Technology Trends 2019“-Report zum Thema „Artificial Intelligence“ (WIPO, 2019), für den eine weltweite Patentrecherche bis zum Jahr 2018 durchgeführt wurde, wird aufgezeigt, dass maschinelles Lernen innerhalb des Themenfelds Künstliche Intelligenz die dominante Technologie darstellt.



Note: A patent may refer to more than one category or sub-category

Abbildung 11: Patentfamilien zum Themenfeld Künstliche Intelligenz (WIPO, 2019, S. 42)

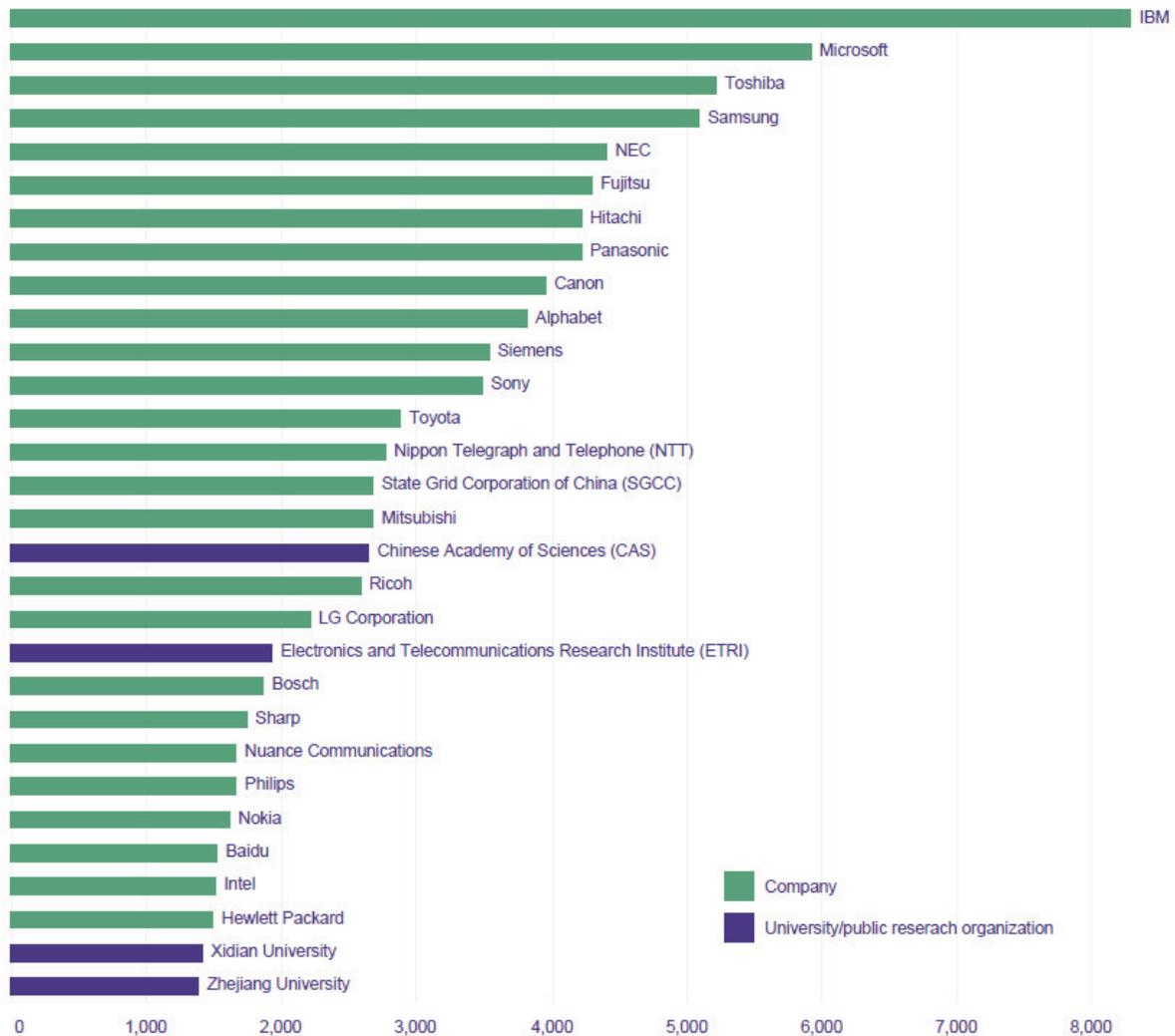
Innerhalb des maschinellen Lernens sind neurale Netzwerke und das maschinelle Lernen im Allgemeinen von besonderer Bedeutung.



Note: A patent or scientific publication may refer to more than one sub-category

Abbildung 12: Gegenüberstellung von Patentfamilien und wissenschaftlichen Publikationen zum Thema maschinelles Lernen als Anteil des gesamten Themenfelds Künstliche Intelligenz dargestellt (WIPO, 2019, S. 44)

Es zeigt sich deutlich, dass die Anzahl der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen nicht automatisch miteinander korrelieren, sondern sich je nach Detailthema spezifische Unterschiede ergeben.



Note: Fujitsu includes PFU; Panasonic includes Sanyo; Alphabet includes Google, Deepmind Technologies, Waymo and X Development; Toyota includes Denso; and Nokia includes Alcatel

Abbildung 13: Top 30 patentanmeldende Unternehmen und Institutionen gemessen an der Anzahl der eingereichten Patentfamilien (WIPO, 2019, S. 60)

Weltweit betrachtet führt IBM das Ranking zu Patenten im Bereich der Künstlichen Intelligenz an. Mit Abstand dahinter liegen Microsoft, Toshiba und Samsung. An 17. Stelle konnte die Chinesische Akademie der Wissenschaften die beste Platzierung einer Universität erreichen.

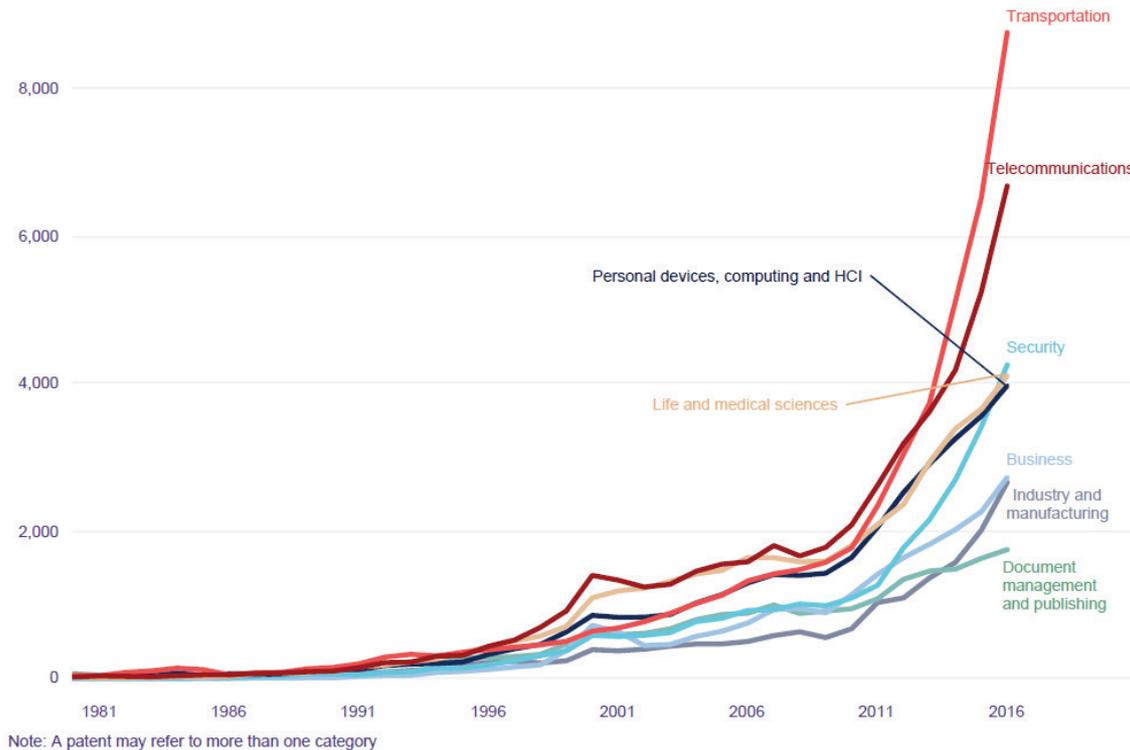


Abbildung 14: Entwicklung der Patentzahlen zum Thema Künstliche Intelligenz nach Anwendungsbereichen (WIPO, 2019, S. 52)

Betrachtet man die Entwicklung der Patentzahlen im Themenfeld Künstliche Intelligenz, erkennt man, dass sich der Transportsektor und die Telekommunikation als Hauptanwendungsgebiete absetzen, wenngleich in allen Bereichen eine starke Zunahme der Patentanmeldungen erfolgt ist. Insbesondere der Anwendungsbereich Industrie und Produktion hat seit 2011 stark zugelegt und könnte in den nächsten Jahren diesem Trend folgen.

### 2.2.5 Biobasierte Industrie

Als „Quantitative Indikatoren für die Biobasierte Industrie in Österreich“ (Ganglberger et al., 2016) wurde eine weitreichende Patentrecherche (für den Zeitraum 2010 bis 2014) mit direktem Österreich-Bezug und im Kontext mit dem gesamten europäischen Forschungsraum (ERA) erarbeitet.

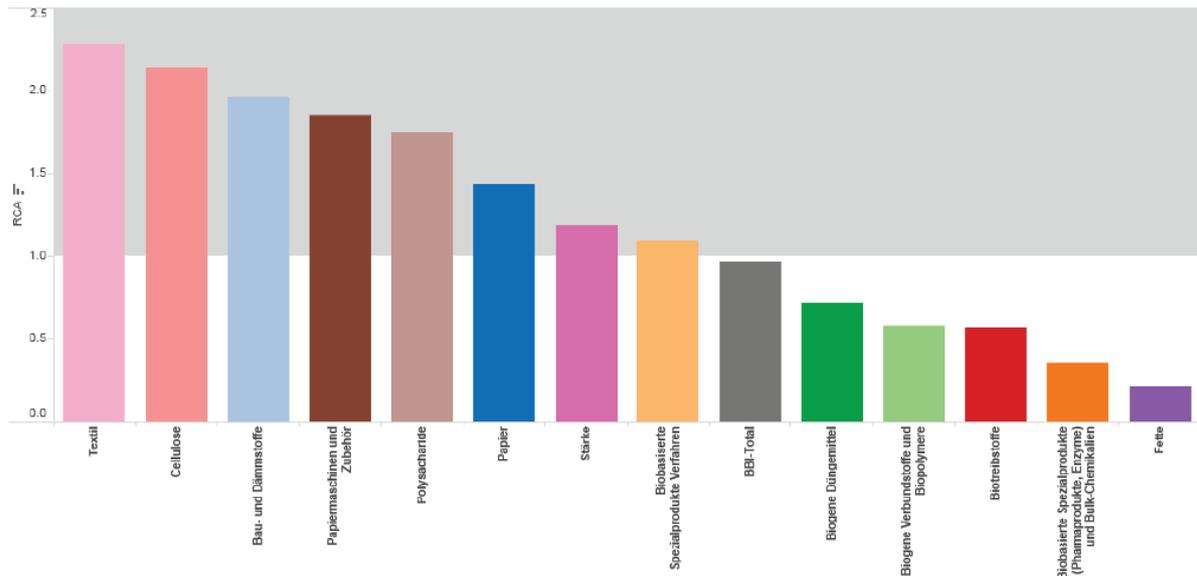


Abbildung 15: Vergleich der einzelnen Teilsparten der Biobasierten Industrie anhand des RCA-Index (Ganglberger et al., 2016, S. 19)

Insgesamt liegt die österreichische Biobasierte Industrie bei Betrachtung der themenrelevanten Patentanmeldungen in etwa im Durchschnitt des gesamten europäischen Forschungsraums, wobei die Teilbereiche Textilien, Cellulose sowie Bau- und Dämmstoffe einen deutlichen Vorsprung vor den anderen EU-Staaten aufzeigen.

Die österreichischen Top-Patentanmelder der Biobasierten Industrie wurden in (Ganglberger et al., 2016) wie folgt zusammengefasst:

### Textilien

- Lenzing AG
- Borealis
- Aurotec GmbH
- Hi Tech Textile Holding GmbH
- Teufelberger Gesellschaft m.b.H.

### Cellulose

- Andritz AG
- Lenzing
- Annikki GmbH
- Mayr-Melnhof Karton AG

### **Bau- und Dämmstoffe**

- Leitinger, Hans-Peter (Hasslacher Norica Timber?)
- NAPORO Klima Dämmstoff GmbH
- Fritz Egger GmbH & Co. OG

### **Papiermaschinen und Zubehör**

- Andritz AG
- Mayr-Melnhof Karton AG

### **Polysaccharide**

- Lenzing AG
- Agrana

### **Papier**

- delfortgroup AG
- Andritz AG
- Lenzing AG
- Mondi AG
- Mayr-Melnhof Karton AG

### **Stärke**

- Lenzing

### **Biobasierte Spezialprodukte – Herstellverfahren**

- Annikki GmbH
- Krajete GmbH
- ACIB GmbH
- Scheuringer, Kim (CARE diagnostica)
- Technische Universität Wien

### **Biogene Düngemittel**

- 2 Anmelder mit je einem Patent

### **Biogene Verbundstoffe und Biopolymere**

- Annikki GmbH

### **Biotreibstoffe (exkl. Fette)**

- Krajete GmbH

### **Biobasierte Spezialprodukte (Pharma, Enzyme, Bulk-Chemikalien)**

- Hairdreams Haarhandels GmbH
- Neufeld, Klaus (Agromed Austria GmbH)
- 13 weitere Anmelder mit je einem Patent

### **Fette**

- Nauer, Gerhard (Gesellschafter in Unternehmen im Bereich Biodiesel, Biogas, Solarenergie)
- Schell, Klaus (Ko-Patente mit Nauer)

## **2.2.6 Resümee Patentrecherchen**

Die Metaanalyse der Patentrecherchen zeigte, dass österreichische Unternehmen im Vergleich mit dem gesamten europäischen Raum in puncto Patentanmeldungen im Bereich der biobasierten Industrie im Mittelfeld liegen. Im weltweiten Vergleich schafften es im Bereich Industrie 4.0 fünf europäische Unternehmen in die Top 25. Auch im Bereich der Robotik und Künstlichen Intelligenz finden sich nur wenige europäische Technologiekonzerne unter den Top-Patentanmeldern. Generell lässt sich daraus ableiten, dass aktuell viele Innovationspotenziale in Nordamerika und Ostasien liegen. Österreichische Unternehmen stachen in den untersuchten Patentrecherchen nicht hervor. Da in den untersuchten Patentrecherchen die Anzahl der Patentanmeldungen ohne weitere Bezugsgröße untersucht wurden, lässt sich dies auch mit der kleinteiligen KMU-Struktur in Österreich und damit weniger Patenten aufgrund der geringeren Unternehmensgröße begründen. Ein weiterer Aspekt könnte sein, dass in Österreich eine konservativere Patentkultur herrscht, da auch im Bereich der biobasierten Industrie, in der Österreich auch größere Unternehmen aufweist, eine durchschnittliche Anzahl an Patentanmeldungen erzielt wurde.

## **2.3 Ergebnisse der Befragung**

Die Ergebnisse der Befragungen lieferten einen wertvollen Input für die Befüllung der Technologiematrix, für die Bewertung der Einzeltechnologien sowie wichtige Inputs für die Erarbeitung der Handlungsempfehlungen.

Im Rahmen der Unternehmensumfrage konnten in allen wesentlichen NACE-Abteilungen Beantwortungen erzielt werden. Die NACE-Abteilung "Chemische Erzeugnisse" war dabei überdurchschnittlich vertreten. Mehr als die Hälfte der Befragten gaben dabei an, in einem Großunternehmen tätig zu sein und ca. die Hälfte gab an, dass ihr Unternehmen besonders, stark bzw. eher von disruptiven Technologien geprägt ist.

Bei der Online-Umfrage, die sich an Forschungseinrichtungen richtete, wurde nach Schwerpunktthemen der FTI-Initiative Produktion der Zukunft geclustert. Auch hier konnten in allen Kategorien Beantwortungen erzielt werden, wobei die Kategorie "Sonstiges" die größte Gruppe war, gefolgt von der Gruppe "Werkstofftechnologien". Weiters gaben hier knapp zwei Drittel der Befragten an, sich besonders, stark oder eher mit disruptiven Technologien zu beschäftigen.

Die Detailfragen bezüglich vergangener disruptiver Technologien wurden in beiden Umfragen nur von einem Teil der Befragten beantwortet und lagen auf unterschiedlicher Flughöhe vor. Im Themenbereich Photonik wurden beispielsweise folgende Technologien genannt:

- Laser Powder Bed Fusion
- Coherent Beam Combining (schnelle Strahlformung bei Hochleistungslasern)
- Oberflächenstrukturierung mit Ultrakurzpuls-Laser
- Festkörperlichtquellen (LED)

Auch die Frage nach zukünftigen disruptiven Technologien wurde von den Befragten nur zum Teil beantwortet, wobei die Antworten sehr divers waren und ebenfalls auf unterschiedlicher Flughöhe vorlagen. Sehr häufig wurden dabei folgende Themenbereiche angesprochen:

- Additive Fertigung
- CCU
- Wasserstoff

Die Antworten dienten als Ausgangspunkt für eine weitere Literaturrecherche und die Ergebnisse flossen in die Technologiematrix sowie Nachhaltigkeitsbewertung ein.

## 2.4 Technologietaxonomie

Die im Rahmen der vorliegenden Studie entwickelte Technologietaxonomie stellt eine umfassende Matrix bestehend aus der Technologielliste verschnitten mit voneinander unabhängigen Klassifizierungen dar. Die Klassifizierungen der einzelnen Technologien sollen mit geringem Aufwand erfolgen können und haben zum Ziel, eine vorwiegend qualitative bis in einzelnen Aspekten semiquantitative Vorbewertung der Technologien zu ermöglichen. Dadurch erhielt die breit angelegte Recherche einen strukturierten Rahmen, der die Vielschichtigkeit und Individualität der Technologien bestens berücksichtigen konnte und bei der weiteren Auswahl der relevanten Technologien wesentlich unterstützt hat. Darüber hinaus kann die Technologietaxonomie auch nach der Fertigstellung der Studie weiterverwendet werden – und steht auch für Projekte außerhalb des Konsortiums zur Verfügung.

Insgesamt wurden neben einer verbalen Kurzbeschreibung und einer Quellenangabe für jede Technologie **neun aussagekräftige und gut anwendbare Klassifizierungen** erarbeitet, die im Folgenden beschrieben werden.

Für eine schnelle und einfache Clusterung wurde die **Zuordnung zu einem Technologiefeld** ergänzt. Die identifizierten Technologiefelder decken sich weitestgehend mit den Themenbereichen, wie sie sich in der Praxis der FFG als gut praktikabel herauskristallisiert haben. Für den Bereich der Sachgüterproduktion wurden folgende Technologiefelder für die Taxonomie herausgearbeitet:

- Additive Fertigung
- Biotechnologien
- Hochleistungstechnologien
- Industrie 4.0
- Künstliche Intelligenz
- Nanotechnologien
- Photonik
- Robotik & Assistenzsysteme
- Sensorik
- Smarte Werkstoffe
- Werkstofftechnologien

Auf die Auswahl und Abgrenzung der Technologiefelder trifft dieselbe Problematik wie im Methodenteil in Kapitel 1.3.1 für die Technologien beschrieben zu. Mit dem Anspruch der

vorliegenden Studie, einen sehr breiten Technologie- und Anwendungsbereich abzudecken, ist eine exakte und gleichmäßige Abgrenzung zwischen den Technologiefeldern nicht möglich und nicht notwendig. Einerseits sollen Querschnittsthematiken mit eher eng gefassten Technologiefeldern gegenübergestellt werden, andererseits verlieren Technologien nicht an Wichtigkeit, weil sie der Übersichtlichkeit geschuldet in Technologiefeldern zusammengefasst werden.

Eine weitere Klassifizierung erfolgte anhand des **Innovationstyps**. Hierbei wurde zwischen inkrementellen und radikalen Innovationen unterschieden.

Das **Technology Readiness Level (TRL)** ist eine mittlerweile immer gebräuchlichere Methode, um den Entwicklungsstand einer Innovation zu beschreiben. Hierbei wird anhand von bestimmten Entwicklungsschritten eine Klassifizierung vorgenommen. Für die gegenständliche Studie wurde diese neunstufige Skala auf fünf wesentliche Entwicklungsbereiche reduziert, wodurch die Klassifizierung von Technologien erleichtert wird.

Tabelle 5: Technology Readiness Levels in Anlehnung an (FFG, 2021)

verwendete Kategorisierung	etablierte Kategorisierung	TRL	Beschreibung
TRL 1	Orientierte Grundlagenforschung	1	Nachweis der Grundprinzipien
		2	Ausgearbeitetes (Technologie-)Konzept
TRL 2 bis 4	Industrielle Forschung	3	Experimentelle Bestätigung des (Technologie-)Konzepts auf Komponentenebene
		4	Funktionsnachweis der Technologie im Labor (-maßstab) auf Systemebene
TRL 5 bis 6	Experimentelle Entwicklung	5	Funktionsnachweis der Technologie in simulierter, dem späteren Einsatz entsprechender Umgebung – beim industriellen Einsatz im Fall von Schlüsseltechnologien
		6	Demonstration der Technologie in simulierter, dem späteren Einsatz entsprechender Umgebung – beim industriellen Einsatz im Fall von Schlüsseltechnologien
TRL 7 bis 8		7	Demonstration des Prototyps in Einsatzumgebung

verwendete Kategorisierung	etablierte Kategorisierung	TRL	Beschreibung
		8	System technisch fertig entwickelt, abgenommen bzw. zertifiziert
<b>TRL 9</b>	Markteinführung	9	System hat sich in Einsatzumgebung bewährt, wettbewerbsfähige Produktion im Fall von Schlüsseltechnologien

Die TRL-Klassifizierung wurde für die gegenständliche Studie um das **Manufacturing Readiness Level (MRL)** ergänzt, um den besonderen Fokus auf die Sachgüterproduktion direkt abbilden zu können.

Tabelle 6: Manufacturing Readiness Levels in Anlehnung an (DOD, 2018)

verwendete Kategorisierung	etablierte Kategorisierung	MRL	Beschreibung
<b>MRL 1 bis 4</b>	Material solutions analysis	1	grundlegender Fertigungsrahmen identifiziert
		2	Fertigungskonzept identifiziert
		3	Machbarkeitsnachweis für die Fertigung erarbeitet
		4	Fertigung im Labormaßstab
<b>MRL 5 bis 6</b>	Technology maturation and risk reduction	5	Fertigung von prototypischen Einzelkomponenten
		6	Fertigung von prototypischen Systemen
<b>MRL 7 bis 8</b>	Engineering and manufacturing development	7	Fertigung von Einzelkomponenten oder des gesamten Systems in einer für Massenproduktion relevanten Umgebung
		8	Pilot-Fertigungsstraße erarbeitet
<b>MRL 9</b>	Production and Deployment	9	Fertigung in niedrigen Stückzahlen
<b>MRL 10</b>	Operations and Support	10	Serienproduktion

Darüber hinaus wurden für alle recherchierten Technologien die zugehörigen **Produktlebenszyklusphasen** bestimmt, welche wie folgt definiert wurden:

- Entwicklung (Schrittmachertechnologie)
- Einführung
- Wachstum (Schlüsseltechnologie)
- Reife (Basistechnologie)
- Sättigung
- Degeneration

Aus dem Vorprojekt von Teilen des Konsortiums „Potenzialstudie von Popcorn-Technologien für das österreichische Energiesystem“ (Warmuth, Steffl & Zillner, 2021) wurde der Begriff des **Popcorn-Potenzials** übernommen. Das Popcorn-Potenzial soll umschreiben, wie wahrscheinlich es ist, dass die jeweilige Technologie unter passenden Bedingungen in kurzer Zeit und in einem neuen Anwendungsbereich zur schnell wachsenden Schlüsseltechnologie werden kann. Bildlich gesprochen, also wie ein Popcorn-Maiskorn sehr schnell, sehr deutlich an Volumen zuzunehmen. Die Klassifizierung erfolgte in den Stufen niedrig, mittel und hoch.

Zusätzlich wurde die **Technologieart** bestimmt, wodurch eine sehr schnelle und hilfreiche Unterteilung in Produkttechnologien und Produktionstechnologien ermöglicht wurde. Um die Anwendungsbreite der Technologien abbilden zu können, wurde für jede Technologie zugeordnet, in welcher **Branche der Sachgüterproduktion** sie gut einsetzbar wäre. Die Gliederung der Branchen erfolgte nach der ÖNACE-Klassifizierung.

Abschließend wurde in acht Kriterien eine erste **Impact-Abschätzung** für jede Technologie vorgenommen. Die dafür verwendete fünfstufige Skala gliedert sich in sehr negativ, eher negativ, neutral, eher positiv und sehr positiv. Betrachtet wurden die erwarteten Auswirkungen auf folgende Aspekte:

- Produktivität
- Materialeffizienz
- Energieeffizienz
- Produktqualität
- Kreislauffähigkeit
- Arbeitsbedingungen
- Klimaschutz
- Umweltschutz

Unter der im Anhang gelisteten Tabelle 15 findet sich die Longlist der Technologiematrix. Technologien die mehrfach erfasst wurden, weisen im Detail unterschiedliche Abgrenzungen auf. In welchem Rahmen welche Technologien für die österreichische Sachgüterproduktion relevant sind, wurde im Anschluss mit den Informationen aus der Technologietaxonomie herausgearbeitet.

## **2.5 Relevanz für die österreichische Sachgüterproduktion**

### **2.5.1 Kriterien für die Auswahl der relevantesten Technologien**

Die 57 Technologien der Longlist wurden auf 25 Technologien für die Shortlist, die vollständig der detaillierten Nachhaltigkeitsbewertung unterzogen wurde, gekürzt. Diese Auswahl erfolgte anhand folgender Kriterien:

- Herangezogen wurde die Anzahl der Nennungen in den Expert:innen-Befragungen, die im Projektrahmen durchgeführt wurden.
- Darüber hinaus war der disruptive Charakter der Technologie ein Auswahlkriterium, um dem Fokus der Beauftragung zu entsprechen.
- Die Relevanz für die österreichische Sachgüterproduktion war ein weiteres Auswahlkriterium.
- Ebenso wurde das Potenzial als österreichisches Stärkefeld berücksichtigt, sprich, ob es bereits F&E-Kapazitäten oder sogar erste Erfolge in Österreich gibt.
- Zusätzlich wurde auch die Impact-Abschätzung bei Etablierung der Technologie in Österreich mitberücksichtigt.

### **2.5.2 Auswahl der relevanten Technologien**

Für die österreichische Sachgüterproduktion wurden 25 „Tech4Greens“ identifiziert und im weiteren Projektverlauf einer Nachhaltigkeitsbewertung unterzogen. In Abbildung 16 sind diese ausgewählten Technologien übersichtlich nach Technologiefeldern dargestellt. Im Anschluss an das Diagramm werden alle 25 Technologien kurz beschrieben.

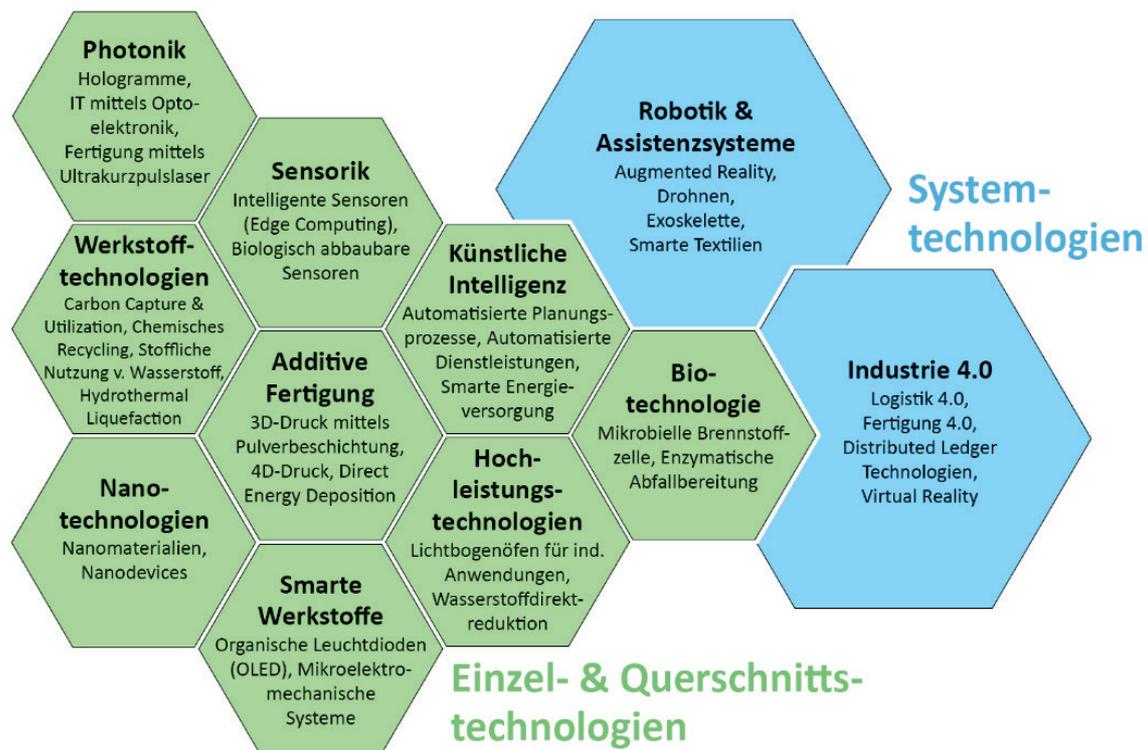


Abbildung 16: Die ausgewählten „Tech4Green“ für die österreichische Sachgüterproduktion (eigene Darstellung)

Mit **additiven Fertigungsverfahren** werden aus formlosen Materialien dreidimensionale Bauteile gefertigt. Die Vielfalt an möglichen Anwendungen (Mobilität, Prototypenbau, Werkzeug- und Vorrichtungsbau, Medizintechnik, Reparatur und Instandhaltung etc.) und nutzbaren Materialien (Kunststoff, Metall, Keramik, Hybridmaterialien etc.) sowie an verfügbaren Technologien ist sehr groß. Die Potenziale additiver Fertigungsprozesse liegen unter anderem in einem effizienten Produktdesign und einer gesteigerten Prozesseffizienz, aber auch in der neuartigen Konfiguration des Produktionssystems (on Demand und personalisiert). Weiters kann durch den Aufbau von additiven Fertigungskapazitäten zur Resilienz der Produktion beigetragen werden und auch Anreize für kreislauffähige Geschäftsmodelle geschaffen werden. Ein Beispiel für ein innovatives AF-Verfahren ist die drahtbasierte additive Fertigung mittels Lichtbogen, die das schnelle und äußerst effiziente Anfertigen von Metallteilen ermöglicht und dadurch herkömmliche Techniken wie Gießen und Schmieden ersetzen kann. Als Weiterentwicklung des 3D-Drucks nimmt der 4D-Druck eine Sonderstellung ein. Dabei transformiert sich ein im 3D-Druck hergestelltes Objekt durch den Einfluss einer externen Energie in eine andere Struktur. Dadurch können völlig neue Produktinnovationen wie beispielsweise Formgedächtnismaterialien oder sich selbst reparierende Infrastrukturen entstehen.

**Augmented Reality (AR)** bezeichnet die virtuelle Erweiterung der Realität durch die Darstellung zusätzlicher Informationen. In der Sachgüterproduktion bieten sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, die komplexe Arbeitsprozesse vereinfachen können. Ein wichtiger Anwendungsbereich ist Assistenz in Form von eingeblendeten Arbeitsanweisungen. Bei Fertigungsprozessen können mittels AR direkt die notwendigen Arbeitsschritte für Monteur:innen eingeblendet oder zusätzlich bei Reparaturen fehlerhafte Teile identifiziert und automatisiert nachbestellt werden. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Kombination von virtuellen und physischen Objekten mittels AR. Etwa im Prototypenbau von Maschinenteilen kann die Passgenauigkeit bereits bei der Fertigung umfassend überprüft werden. Auf der anderen Seite können auch vor Ort mögliche Modifikationen an Anlagen sichtbar gemacht werden. Potenziale liegen in der Produktivitätssteigerung durch gezielte Information und Vernetzung einzelner Arbeitsschritte und ganzer Prozesse.

**Biologisch abbaubare Sensoren** sind elektronische Komponenten mit begrenzter Lebensdauer, die im Gesundheitswesen, in der Landwirtschaft sowie im Lebensmittelsektor eingesetzt werden. Im Gesundheitswesen können aufwändige Untersuchungen, Beobachtungen oder Nachkontrollen mit entsprechenden Sensoren automatisiert und auch abseits der Krankenhäuser erfolgen. Im Lebensmittelsektor können biologisch abbaubaren Sensoren, zur Optimierung der Kühlketten und damit auch zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen eingesetzt werden. In der Landwirtschaft geht man von einer Produktivitätssteigerung aus, wobei gleichzeitig Düngemittel- und Wasserverbräuche signifikant optimiert werden können. Nachdem sich diese Sensoren am Ende ihrer Lebensdauer auflösen ohne Schadstoffe zu hinterlassen, können sie auch einen positiven Beitrag zur Verringerung des elektronischen Müllberges leisten.

**Carbon Capture and Utilization (CCU)**, also die Abscheidung von Kohlendioxid aus Verbrennungsabgasen mit nachfolgender Nutzung als Rohstoffquelle für weiterführende industrielle Prozesse, stellt eine mögliche Perspektive für emissionsintensive Industriebereiche dar. CCU bietet diesen Branchen damit die Möglichkeit weiter ihre hochwertigen Produkte herzustellen und klimarelevante Emissionen nicht nur zu reduzieren, sondern sie einer weiteren Verwertung als Rohstoff für neue Wertschöpfungsketten zur Verfügung zu stellen und damit einen Mehrwert aus der Verwertung von Kohlendioxid zu erzielen.

Das **chemische Recycling** geht über die mechanischen Verarbeitungsschritte des werkstofflichen Recyclings hinaus und löst die Feststoffe in Lösungsmitteln mit oder ohne

Depolymerisation oder spaltet die Verbindungen in kleinere Einheiten, die Ausgangsstoffe für Neusynthesen sein können. Grundsätzlich wird beim chemischen Recycling zwischen Lösungsverfahren und thermochemischen Verfahren unterschieden. In den meisten Fällen können dabei auch Schadstoffe aus dem Rezyklat entfernt und damit die Qualität der Produkte gesteigert werden.

**Distributed-Ledger** ist die bekannteste Anwendung der Blockchain-Technologie und bezeichnet eine dezentrale Datenbank, bei der die gesamte Datenbank auf jedem Knotenpunkt im Netz hinterlegt ist. Die Änderung der Datenbank eines Computers wird über das dezentrale Netzwerk weitergegeben, sodass die Datenbanken aller Computer identisch bleiben. Die kryptografisch gesicherte Datenstruktur besteht aus einer verknüpften Liste, sodass ihre Elemente nicht geändert werden können, nachdem sie festgelegt wurden. Damit werden digitale Transaktionen sicher, nicht manipulierbar und für die Teilnehmer:innen nachvollziehbar dokumentiert. Gerade die für die Kreislaufwirtschaft notwendige Transparenz der Lieferketten (z. B. Rückverfolgbarkeit von Rohstoffen oder Produkten) kann durch diese Technologie stark verbessert werden. Ineffizienzen, Umweltverstöße und Manipulationen in den globalen Lieferprozessen werden sichtbar. Die Blockchain-Technologie hat enormes Potenzial, um digitale Prozesse effizienter zu gestalten und Innovationen in vielen Wirtschaftsbereichen anzustoßen.

**Drohnen** (auch UAS – unmanned aircraft systems) sind typischerweise kleine unbemannte Flugobjekte. Drohnen können unterschiedlichste Zwecke erfüllen: Warentransport in relativ kleinem Rahmen (Gewicht, Reichweite usw.), Träger für spezielle Ausrüstung (z. B. Wärmebildkamera, um im Ackerbau ein Rehkitz im Feld zu entdecken) oder zur Inspektion von großen und/oder schlecht erreichbaren Anlagen. Ähnlich wie es aktuell schon Angebote gibt, ein Gebäude mit einer Wärmebildkamera aufzunehmen und die gemachten Bilder auszuwerten, werden sich Dienstleistungen rund um Schädlingsbefall, Unkrautererkennung und eventuell auch -beseitigung und in der industriellen Instandhaltung bilden. Alles das führt zu Produktivitätssteigerungen. Im Wesentlichen könnten Drohnen Rohrpostsysteme ersetzen, die außerhalb von Gebäuden verlaufen. Stark von der politischen Ausgestaltung abhängig ist, ob sich Botendienste via Drohnen bilden dürfen und falls ja, in welchem Ausmaß.

Neben dem chemischen Recycling existieren bereits weitere zahlreiche Ansätze, **Abfälle enzymatisch aufzubereiten**, um direkt oder indirekt Grundchemikalien daraus zu gewinnen oder die Abfälle entsprechend abzubauen. Enzyme sind in der Lage aus Abfällen, die aus unterschiedlichen Materialkombinationen bestehen, Rohstoffe wie

beispielsweise Zellstofffasern oder Polymere für die Kunststoffproduktion zu gewinnen. Bislang stofflich nicht genutzte Abfallströme können durch die enzymatische Abfallaufbereitung in einen Stoffkreislauf überführt werden und damit den Verbrauch an fossilen Rohstoffen reduzieren. Durch die Etablierung von regionalen Kreisläufen können hierbei gezielt Anlagen in Österreich angesiedelt werden. Auch kann durch enzymatischen Kunststoffabbau ein Beitrag zur Reduktion der Umweltbelastung durch Mikroplastik geleistet werden (z. B. Einsatz zur Abwasserreinigung).

**Exoskelette** sind am Körper getragene Stützstrukturen, die durch elektrische oder mechanische Unterstützung physische Arbeitsbelastungen reduzieren. Bisher vor allem in der medizinischen Rehabilitation eingesetzt, können diese technischen Assistenzsysteme auch in der Fertigung, Montage oder Logistik schwere Arbeiten deutlich erleichtern und die Arbeitsleistung sowie -sicherheit verbessern. Neben Steigerung der Leistungsfähigkeit und damit der Produktivität bieten sie die Möglichkeit die betriebliche im Sinne der Inklusion, Mitarbeitende mit körperlichen Einschränkungen zu unterstützen.

Unter **Fertigung 4.0** wird hier sowohl die intelligente Automatisierung von Fertigungsprozessen als auch Cloud Manufacturing verstanden. Hierzu zählt insbesondere die Modernisierung der Produktionsanlagen mit smarten Steuerungen und Sensoren, um eine möglichst fehlerfreie Fertigung zu erreichen, sowie die digitalisierte Vernetzung von mehreren Produktionsanlagen und -stätten, um den Output weitestmöglich zu optimieren. Durch die Kombination dieser Technologien können Energie- und Ressourcenverbrauch gesenkt, Treibhausgas-Emissionen reduziert und die Effizienz der Produktion gesteigert werden.

Das Technologiefeld Photonik umfasst die Optoelektronik und optische Nachrichtentechnik, Holografie sowie Lasertechnik. **Ultrakurzpulslaser** sind sehr gut dosierbare Laser, um mit höchster Präzision die unterschiedlichsten Materialien schneiden oder gravieren zu können. Kleine Maschinenbauteile können mittels Ultrakurzpulslaser-Technologie hergestellt werden. Die Möglichkeit, Oberflächen besonders fein zu strukturieren, kann z. B. bei Solarzellen, Halbleiterchips oder LEDs zu Effizienzsteigerungen genutzt werden. Ultrakurzpulslaser schneiden gratfrei, wodurch ein Nachbearbeitungsschritt entfällt, was bei entsprechend hochskalierter Produktion von Ultrakurzpulslasern zu Kosteneinsparungen führen kann.

Ein **Hologramm** bezeichnet ein dreidimensionales Bild, das eine physische Präsenz im realen Raum hat bzw. ein dreidimensionales Abbild einer Aufnahme. Hologramme werden

momentan u. a. dazu beforscht, um dreidimensionale Displays zu erzeugen sowie akustische oder berührbare Hologramme zu erhalten. Darüber hinaus sind Hologramme in der aktuellen Forschung auch im Bereich der Mikroskopie interessant, um dreidimensionale Bilder zu erarbeiten. Auch Drucker für Hologramme sind derzeit ein Forschungsthema. Vor allem akustische und haptische Hologramme können zu deutlich barriereärmeren Eingabe- und Ausgabegeräten führen, was in weiterer Folge die Inklusion von Menschen mit Beeinträchtigungen verbessert. Darüber hinaus können holographische Displays den Einsatz von VR-Brillen bei manchen Anwendungen obsolet machen, da auf jeder Oberfläche eine 3D-Darstellung ermöglicht wird.

Die **HydroThermal Liquefaction** (abgekürzt: HTL / deutsch: hydrothermale Verflüssigung) ist ein thermisches Verfahren, bei dem aus feuchter Biomasse ein Rohöl-ähnliches Produkt gewonnen wird. Die wesentlichen Unterschiede zu einem Pyrolyse-Verfahren sind, dass die Ausgangsmaterialien nicht eigens getrocknet werden müssen und die etwa doppelt so hohe Energiedichte des Endprodukts. Dadurch haben HTL-Öle den Vorteil, dass sie als „Drop in“ in bestehende fossile Raffinerien eingesetzt werden können. HTL-Öle können nicht nur für energetische Anwendungen verwendet werden. Somit sind auch kleinere Anlagen mit einer rein stofflichen Nutzung denkbar.

**Intelligente Sensoren** werten unmittelbar bei der Messung die Messwerte eigenständig aus (Edge Computing). Große Anwendungsfelder hierfür werden in den Bereichen Digital Health und Bioinformatik gesehen. Auch bei Industrieanlagen werden intelligente Sensoren zu deutlichen Produktivitätssteigerungen und einer verbesserten Anlagenverfügbarkeit führen. Einerseits können dadurch notwendige Instandhaltungsmaßnahmen besser prognostiziert und auch veranlasst werden, andererseits sind auch bei Industrieanlagen kleinere Regelkreise ein Zugewinn für die Gesamtregelung.

Die **Optoelektronik** bietet die Möglichkeit zur Langstreckendatenübertragung mittels Glasfaserkabel, energiesparende und schnellere Chiptechnik und via Lasertechnik bzw. zur dauerhaften Speicherung von Daten. Durch die höhere Leistungsfähigkeit und den geringeren Energieverbrauch von Glasfaserleitungen sowie der gesamten optischen Nachrichtentechnik sind Effizienzgewinne zu erwarten. Insbesondere durch den Technologiewechsel bei Datenträgern für Archivierungsaufgaben sinkt der Energieaufwand im Betrieb und für die Herstellung enorm. Durch die Effizienzgewinne und die wesentlich längere Lebensdauer sinkt der Ressourcenverbrauch (materiell und energetisch) pro Serviceeinheit durch die Optoelektronik.

**Künstliche Intelligenz** beschreibt die Fähigkeit von Maschinen, basierend auf Algorithmen Aufgaben autonom auszuführen und dabei anpassungsfähig auf unbekannte Situationen zu reagieren. Ihr Verhalten ähnelt damit dem menschlichen: Sie führen nicht nur repetitive Aufgaben aus, sondern lernen aus Erfolg und Misserfolg und passen ihr Verhalten entsprechend an. Zukünftig sollen Künstliche-Intelligenz-Maschinen (KIM) auch in der Lage sein, wie Menschen zu denken und zu kommunizieren. Wesentliche Teilbereiche sind: Machine Learning, künstliche neuronale Netzwerke, Deep Learning, Knowledge Repräsentation und Natural Language Processing. KI ist in allen Branchen einsetzbar und ermöglicht es Industrieunternehmen bestehende Geschäftsprozesse zu revolutionieren und neue Geschäftsmodelle zu entwickeln.

**Lichtbogenöfen** sind spezielle Elektroöfen, welche aktuell in einigen industriellen Anwendungen verwendet werden. Die derzeitigen Hauptanwendungsgebiete liegen in der Metallurgie bei der Roheisenherstellung oder auch bei der Verarbeitung von z. B. Titan oder Wolfram. Die Technologie bietet die Möglichkeit, schwer zu elektrifizierende Hochtemperatur-Wärmeprozesse wie z. B. bei der Zementherstellung oder der Verarbeitung von Aluminiumoxid zu ersetzen. Derzeit werden in der EU 42 % des Roheisens mittels Lichtbogenöfen hergestellt, weltweit sind es 26 %. Die Technologie ist also bereits etabliert und benötigt noch eine Anpassung an weitere Anwendungsfelder. Da es sich bei den bestehenden Schmelz- und Brennöfen um energieintensive Produktionsprozesse handelt, führt der Wechsel hin zu erneuerbaren Energien zu deutlichen Reduktionen bei den Treibhausgas-Emissionen. Insbesondere da in der Zementindustrie vor allem brennbare („fossile“) Abfälle und Kohle als Brennstoff eingesetzt werden. Im Hinblick auf den Ersatz von Abfällen und Kohle als Brennstoff ist durch den Wechsel auf Lichtbogenöfen auch von einer entsprechenden Reduktion an Luftschadstoffen auszugehen. Durch die mitunter höheren Kosten von Lichtbogenöfen und etwaige Adaptionen und Modernisierungen in den vor- und nachgelagerten Produktionsprozessen wird wahrscheinlich eine Verschiebung in Richtung höherwertiger Produktionsgüter zu beobachten sein

Unter **Logistik 4.0** wird die intelligente Vernetzung interner und externer logistischer Prozesse von Unternehmen verstanden. Verstärkt zum Einsatz kommen in der Transportlogistik autonome Straßen- und Schienenfahrzeuge. Die Ein-, Um- und Auslagerung sowie die Be- und Entladung erfolgt so weit wie möglich automatisiert. Die Lagerlogistik wird durch intelligente Roboter unterstützt. Durch Automatisierung, Prozessgeschwindigkeit, Fehlerreduktion und Bündelung ermöglicht Logistik 4.0

Effizienzsteigerungen und höhere Effektivität, z. B. durch Flexibilität und individualisierte Dienstleistungen, Prozesse und Produkte.

**Mikrobielle Brennstoffzellen** können zur Stromgewinnung oder auch zur Wasserstoffproduktion genutzt werden. Bei üblicherweise geringeren Betriebstemperaturen als bei konventionellen Brennstoffzellen ergibt sich ein sehr ähnliches Funktionsprinzip. Relevant ist diese Technologie vor allem für Kläranlagen, da durch die im Klärprozess verankerte Stromgewinnungstechnologie, die benötigten Stromlieferungen deutlich gesenkt werden und in weiterer Folge die damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen. Alternativ oder auch ergänzend kann statt der Eigenversorgung mit Strom auch die Wasserstoffproduktion in den Fokus gerückt werden.

**Mikroelektromechanische Systeme (MEMS)** sind Mikro-Bauelemente, die Logikelemente und mikromechanische Strukturen in einem Chip vereinen. Diese Mechatronik-Chips werden in den meisten Fällen aus Silizium gefertigt und können mechanische und elektrische Informationen verarbeiten. Die meisten MEMS übernehmen Aufgaben als Sensoren und Aktoren, aber auch als Oszillatoren und Filter. Vom Airbag (Sicherheitstechnik) über Dehnungsstreifen (Bau- & Anlagentechnik) bis zum Controller einer Spielkonsole (Unterhaltungselektronik) oder Mikroaktoren in der Medizintechnik sind MEMS in vielen Branchen einsetzbar. Die fortschreitende Miniaturisierung kann den Ressourcenverbrauch verringern und die Kosten minimieren.

**Nanotechnologien** umfassen die Bereiche Nanomaterialien und Nanodevices und sind als Querschnittstechnologien eng mit weiteren Technologiefeldern wie beispielsweise Werkstoff- oder Biotechnologien verknüpft. Unter Nanomaterialien versteht man Werkstoffe und Flüssigkeiten, die selbst Strukturen im Nanometerbereich aufweisen, und Beschichtungen mit Strukturen im Nanometerbereich, die als Verschleißschutz, Klebeschicht oder anders funktionell eingesetzt werden. Nanodevices sind Nanosensoren, Nanomaschinen, Nanoelektronik und Nanostrukturen, die in der Photonik eingesetzt werden. Nanotechnologien werden in zahlreichen Industriebranchen für die Verbesserung von bestehenden Verfahren oder Produkten eingesetzt, ermöglichen aber auch die Etablierung von gänzlich neuen Produkten oder Verfahren. Ein ökologischer Mehrwert ergibt sich durch die gesteigerte Material- und Energieeffizienz. Teilweise kann durch Nanotechnologien auch auf „einfachere“ Materialien (etwa weniger aufwändige Legierungen) umgestellt werden, wodurch die Kreislauffähigkeit steigt. Aktuell führen Nanotechnologien dazu, dass Luft- und Wasserfilter, Photovoltaikanlagen und Beleuchtungen einen höheren Wirkungsgrad haben. Auch gibt es im industriellen

Verschleißschutz viele Anwendungsfelder. Darüber hinaus besteht in der Medizin eine Vielzahl an neuen Therapie- und Arzneimitteloptionen.

**Organische Leuchtdioden (OLED)** zeichnen sich als Displays vor allem dadurch aus, dass sie sich in deutlich dünneren Schichten als anorganische LED realisieren lassen und die Option bieten, dass das Display sehr biegsam ist. In der Produktion können OLED direkt auf das Trägermedium gedruckt werden, was gegenüber anorganischen LED einen deutlichen Kostenvorteil bedeutet, sofern eine entsprechende Skalierung realisiert werden kann. Derzeit weisen OLED aber noch eine geringere Lebensdauer und niedrigere Lichtausbeute auf. Displays werden zunehmend mit OLED hergestellt, welche aufgrund des geringen Energieverbrauchs und der Flexibilität neue Flächen dafür ermöglichen. Denkbar sind hier OLED statt Fototapeten oder Werbeflächen und Hinweisschilder an (runden) Säulen. Ohne Berücksichtigung der derzeit nicht abschätzbaren Rebound-Effekte werden Displays mit der OLED-Technologie weniger Material und Energie verbrauchen. Aktuell ist davon auszugehen, dass die Haltbarkeit von stationären Geräten (z.B. TV-Geräte) kaum bis gar nicht beeinflusst wird. Bei mobilen Geräten (z. B. Smartphone, Tablets) wird durch das belastbarere Display die Lebensdauer wahrscheinlich verlängert. Bei der Raumbelichtung stellen OLED einen weiteren Effizienzschrift über die bestehende LED-Technologie hinaus dar.

**Smart Textiles** ermöglichen eine Neugestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion. Es sind Textilien und Kleidungsstücke, die mit Sensoren, Aktuatoren oder zusätzlich auch mit Steuerungseinheiten versehen sind. Textile Sensoren messen Körperfunktionen wie Herzschlag und Atemfrequenz oder Umweltdaten wie die Umgebungstemperatur. Druck- und Dehnungssensoren, Solarzellen zur Selbstversorgung mit Energie, Microchips (RFID/NFC) können integriert werden. Im Sportbereich, im Bereich der Arbeitskleidung oder auch im Gesundheitswesen gibt es viel Anwendungspotenzial. Smart Textiles bieten der Textilindustrie vor allem in Kooperation mit der Elektroindustrie die Möglichkeit neue innovative Produkte und Geschäftsmodelle zu entwickeln. Herausforderungen bestehen derzeit vor allem in Hinblick auf die Kreislauffähigkeit und Langlebigkeit sowie die Kosten der Produkte.

Unter **Virtual Reality (VR)** wird eine durch spezielle Hard- und Software erzeugte künstliche Wirklichkeit verstanden. Die virtuelle Umgebung wird möglichst in ihrer Gesamtheit dargestellt und Aufgaben vollständig virtuell erledigt. Für das vollständige Eintauchen einer User:in in eine rein virtuelle Welt braucht es zumindest eine VR-Brille, Kopfhörer und ein Eingabegerät für die Hände. Zusätzlich wird der/die User:in meistens

mit Kameras überwacht, um sämtliche Bewegungen in die Animation der virtuellen Welt einbauen zu können. Für die industrielle Anwendung können Konzepte erstellt, Produkte und Prozesse getestet und erlebt werden, bevor sie real produziert werden. Auch im Bereich der Instandhaltung und Wartung kommt der VR hohe Bedeutung zu.

In der energieintensiven Industrie bestehen erhebliche Potenziale für den Einsatz von **Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff**. Dies gilt u. a. für die Stahlindustrie. Das Gas wird im Prozess der Stahlproduktion bereits getestet: Wasserstoff ersetzt hierbei Kohlenstaub und wird in den unteren Schachtbereich des Hochofens als Reduktionsmittel eingeblasen, als Emission entsteht Wasserdampf. So kann in der Produktion bis zu 20 % Kohlendioxid eingespart werden. Durch eine vollständige Umstellung auf Direktreduktionsreaktoren, in denen auch Koks durch Wasserstoff und Erdgas ersetzt wird, könnten sogar 80 % der Emissionen vermieden werden. Die komplette Transformation des Herstellungsprozesses benötigt jedoch eine Erneuerung der Infrastruktur. Als Ptx-Ausgangsstoff kann Wasserstoff zu Herstellung von E-Fuels, Ammoniak, Methan und Methanol dienen.

## 2.6 Fazit der Entwicklung der Technologietaxonomie

Die **Metaanalyse von Patentrecherchen** zeigte, dass aktuell viele Innovationspotenziale in Nordamerika und Ostasien liegen. Österreichische Unternehmen stachen in den untersuchten Patentrecherchen (Industrie 4.0, Photonik, Robotik und Künstliche Intelligenz sowie Biobasierte Industrie) nicht besonders hervor. Da in den untersuchten Patentrecherchen die Anzahl der Patentanmeldungen ohne weitere Bezugsgröße untersucht wurden, lässt sich dies auch mit der kleinteiligen KMU-Struktur in Österreich und damit weniger Patenten aufgrund der geringeren Unternehmensgröße oder einer konservativeren Patentkultur in Österreich begründen.

In beiden Umfragen konnten in allen Forschungsfeldern bzw. NACE- Sektoren Beantwortungen verzeichnet werden. Dennoch wurden Detailfragen zu vergangenen und zukünftigen disruptiven Technologien nur von einem Bruchteil der Befragten beantwortet. Dies kann damit begründet werden, dass viele Befragte mit dem abstrakten Thema „disruptive Technologien“ nicht oder nur unzureichend vertraut sind. In jener Umfrage, die sich an Forschungsinstitute richtete, konnten mehr und teils detailliertere Antworten erzielt werden, was den Schluss nahelegt, dass „disruptive Technologien“ stärker in der Forschung als in Unternehmen thematisiert werden. Weiters wurden in beiden Umfragen

jeweils verschiedenste Technologien auf sehr unterschiedlicher Flughöhe genannt, die weitere Literaturrecherchen zu deren Einordnung notwendig machte. Obwohl der Stichprobenumfang der Umfrage eher gering ist, kann dennoch angenommen werden, dass es sich um valide Ergebnisse handelt, da dezidiert ausgewiesene Expert:innen aus Forschung und Wirtschaft befragt wurden. Die eigens für die vorliegende Studie entwickelte **Technologietaxonomie** stellt für den Bereich Sachgüterproduktion ein handliches und mit relativ geringem Aufwand einsetzbares Werkzeug dar, um sich einen schnellen Überblick zu verschaffen und ggf. die Taxonomie für die eigenen spezifischen Anforderungen zu adaptieren. Darüber hinaus wurde u. a. mittels der Taxonomie eine robuste Auswahl getroffen, bei welchen Technologien sich eine detailliertere Betrachtung im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung lohnt. Zusätzlich eignet sich die Technologietaxonomie für die Verwendung in weiteren Projekten, auch von weiteren Projektkonsortien und in anderen Themenbereichen.

# 3 Nachhaltigkeitsanalyse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung, für die auf Basis der Technologietaxonomie ausgewählten Technologien, behandelt.

Für die detaillierte Nachhaltigkeitsbewertung im Rahmen dieser Studie wurden 25 Technologien ausgewählt (siehe nachfolgende Tabelle 12). Ziel dieser Nachhaltigkeitsanalyse war es die positiven und negativen Auswirkungen in den einzelnen Dimensionen der Nachhaltigkeit für die jeweiligen disruptiven Technologien zu identifizieren. Daraus sollen schließlich die Technologien mit dem höchsten Beitrag zu einer nachhaltigen Sachgüterproduktion dargestellt werden. Im Rahmen der Nachhaltigkeitsanalyse wurde methodisch eine Nachhaltigkeitsmatrix verwendet, die im Zuge eines Forschungsprojektes entwickelt wurde (vgl. Wallner et al., 2002). Diese Matrix besteht aus unterschiedlichen Zielbereichen (jeweils drei) sowie weiteren drei Wirkungskategorien je Zielbereich für jede Dimension der Nachhaltigkeit (siehe Abbildung 17). Insgesamt ergeben sich daraus 27 Wirkungskategorien der Nachhaltigkeit. Diese Matrix wurde für dieses Projekt hinsichtlich der Relevanz für die Sachgüterproduktion angepasst.

Sozial	Sozialkapital
	Soziale Aktivität
	Soziale Stabilität
Ökonomie	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen
	Wissens- und Wirtschaftsentwicklung
	Ökonomische Situation des Landes
Ökologie	Ressourcenverfügbarkeit - Ressourcenschonung
	Belastungsreduktion
	Qualität des Ökosystems

Abbildung 17: Dimensionen und Wirkungskategorien der Nachhaltigkeitsmatrix (nach Wallner et al., 2002)

Die Bewertung setzte sich aus zwei Bewertungsrichtungen zusammen. Einerseits wurde das Wirkungsausmaß der jeweiligen disruptiven Technologie für die einzelnen Themenfelder der Nachhaltigkeit ermittelt. Diese Bewertung erfolgte auf qualitativer Ebene anhand eines Schemas von --- bis +++. Andererseits wurde die Breite je Technologie beurteilt, inwieweit die gesamte österreichische Sachgüterproduktion oder nur einzelne

Branchen betroffen sind. Darüber hinaus wurde, durch den im Zuge dieses Projektes vermehrten Fokus auf den Klimaschutz, der CO<sub>2</sub>-Emissionsanteil, der durch die jeweilige Technologie beeinflusst wird, hinzugezogen. Aus diesen beiden Analysen wurde ergänzend zum Wirkungsmaß die Bedeutung für die gesamte Sachgüterproduktion sowie den Klimaschutz beurteilt. Die Bewertung erfolgte aufbauend auf den Rückmeldungen aus der Online-Umfrage und einer ergänzenden Literaturrecherche, wobei auch die Erkenntnisse aus dem Workshop zur Nachhaltigkeitsbewertung herangezogen wurden.

In nachfolgender Abbildung wird das Bewertungsschema für die CO<sub>2</sub>-Relevanz (A= niedrige Relevanz, E= hohe Relevanz) sowie die Anwendungsbreite bzw. die Branchenbetroffenheit (1= geringe Anwendungsbreite – 5= gesamte Industrie betroffen) dargestellt.

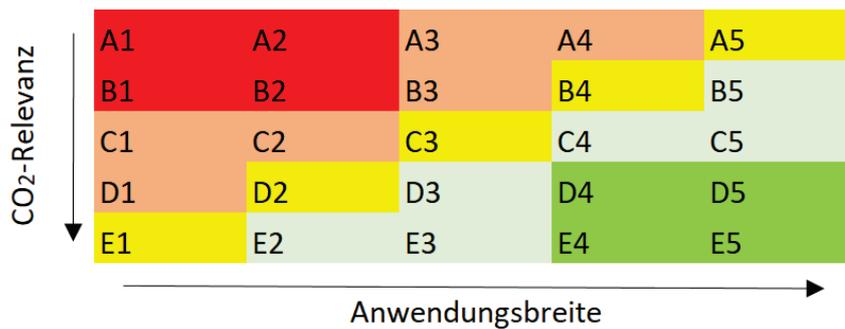


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Anwendungsbreite in der Industrie und CO<sub>2</sub>-Relevanz der Technologie

Nachfolgende Tabelle 7 zeigt nun die Anwendungsbreite in der Industrie und CO<sub>2</sub>-Relevanz der bewerteten Technologien analog zu Abbildung 18. Diese Faktoren sind für den Gesamtbeitrag der Technologien zur Nachhaltigkeit wichtig. Umso höher die industrielle Anwendungsbreite und CO<sub>2</sub>-Relevanz einer Technologie ist, desto mehr verstärkt sie die Nachhaltigkeitswirkung.

Tabelle 7: Anwendungsbreite in der Industrie und CO<sub>2</sub>-Relevanz der bewerteten Technologien

Technologie	Anwendungsbreite und CO <sub>2</sub> -Relevanz
Additive Fertigung	A3
Augmented Reality	A3
Biologisch abbaubare Sensoren	A2
CCU	D3
Chemisches Recycling	B2
Distributed-Ledger-Technologie	B4
Drohnen	B2
Enzymatische Abfallaufbereitung	B2
Exoskelette	A2
Fertigung 4.0	C3
Hologramme	A4
Hydrothermale Verflüssigung	D2
Intelligente Sensoren	B4
Künstliche Intelligenz	C4
Lichtbogenöfen	D1
Logistik 4.0	D5
Mikrobielle Brennstoffzellen	B1
Mikroelektromechanik	B5
Nanotechnologie	A2
OLED	B5
Optoelektronik	C2
Smarte Textilien	A5
Ultrakurzpuls laser	B3
Virtual Reality	C3
Wasserstoff	D5

Aus obiger Tabelle lässt sich ableiten, dass die Technologien Wasserstoff und Logistik 4.0 als einziges sowohl eine überdurchschnittliche Anwendbarkeit für die Sachgüterproduktion als auch eine hohe CO<sub>2</sub>-Relevanz und somit hohes Klimaschutzpotenzial besitzen. Daneben sind einige weitere Technologien wie CCU, hydrothermal Verflüssigung oder Lichtbogenöfen von großer Bedeutung für den Klimaschutz in den jeweiligen Branchen, besitzen aber nicht die große Breite wie beispielsweise OLED oder Mikroelektromechanik, die demgegenüber dafür wieder geringeres Klimaschutzpotenzial aufweisen.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung hinsichtlich der sozialen (Kapitel 3.1), ökonomischen (Kapitel 3.2) und ökologischen Nachhaltigkeitsdimension (Kapitel 3.3) dargestellt. Dabei wird in jedem Kapitel in einem ersten Schritt das Wirkungsausmaß der disruptiven Technologien für die Themenfelder der jeweiligen Nachhaltigkeitsdimension (Tabelle 8 bis Tabelle 10) und in einem zweiten Schritt Ergebnisdarstellungen (Abbildung 19 bis Abbildung 25) für die Technologien mit den insgesamt höchsten Beiträgen zur Nachhaltigkeit dargestellt.

### **3.1 Soziale Nachhaltigkeitsdimension**

Das nachfolgende Kapitel zeigt die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung für die soziale Nachhaltigkeit. Die soziale Nachhaltigkeitsdimension umfasst dabei folgende Wirkungskategorien:

- Infrastruktur für die Region
- Ideelle Werte
- Soziale Einbindung und Akzeptanz
- Regionale Einbindung
- Kommunikation und Feedback
- Chancengleichheit
- Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen
- Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter:innen und Kund:innen
- Materielle Leistungen

Tabelle 8 stellt die soziale Nachhaltigkeitsbewertung für die verschiedenen Technologien dar. Daraus ist zu erkennen, dass die Wirkungskategorien Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen sowie Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter:innen und Kund:innen die häufigsten Bewertungen aufweisen und deshalb nachfolgend detaillierter erläutert werden. Dafür wurden die Technologien mit dem größten Beitrag in diesen beiden Wirkungskategorien ausgewählt.

Tabelle 8: Soziale Nachhaltigkeitsbewertung für die ausgewählten Technologien

	Infrastruktur für die Region	Ideelle Werte	Soziale Einbindung und Akzeptanz	Regionale Einbindung	Kommunikation und Feedback	Chancengleichheit	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen	Gesundheit und Sicherheit	Materielle Leistungen
Additive Fertigung							++		
Augmented Reality			++				+++		
Biologisch abbaubare Sensoren								+	
CCU			++				+		
Chemisches Recycling	+		++				++		
Distributed-Ledger-Technologie					+				
Drohnen								-	
Enzymatische Abfallaufbereitung								+	
Exoskelette								++	
Fertigung 4.0	-						++		
Hologramme					++	+	++	++	
Hydrothermale Verflüssigung									
Intelligente Sensoren								++	
Künstliche Intelligenz					---	--	++	++	

	Infrastruktur für die Region	Ideelle Werte	Soziale Einbindung und Akzeptanz	Regionale Einbindung	Kommunikation und Feedback	Chancengleichheit	Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen	Gesundheit und Sicherheit	Materielle Leistungen
Lichtbogenöfen									
Logistik 4.0					-	--	++		-
Mikrobielle Brennstoffzellen									
Mikroelektromechanik					+			++	
Nanotechnologie								-	
OLED									
Optoelektronik									++
Smarte Textilien								+++	
Ultrakurzpuls laser								+	
Virtual Reality							++		+
Wasserstoff	++						+		

### 3.1.1 Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen

Abbildung 19 zeigt das Ergebnis der sozialen Nachhaltigkeitsbewertung für die Wirkungskategorie Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen. Das Ausmaß der Nachhaltigkeitswirkung ist auf der x-Achse dargestellt und die Anwendungsbreite für die Industrie auf der y-Achse. Die Technologien mit dem stärksten positiven Beitrag sind additive Fertigung, Augmented Reality, Fertigung 4.0, Hologramme, künstliche Intelligenz, Logistik 4.0 und Virtual Reality und werden nachfolgend näher beschrieben.

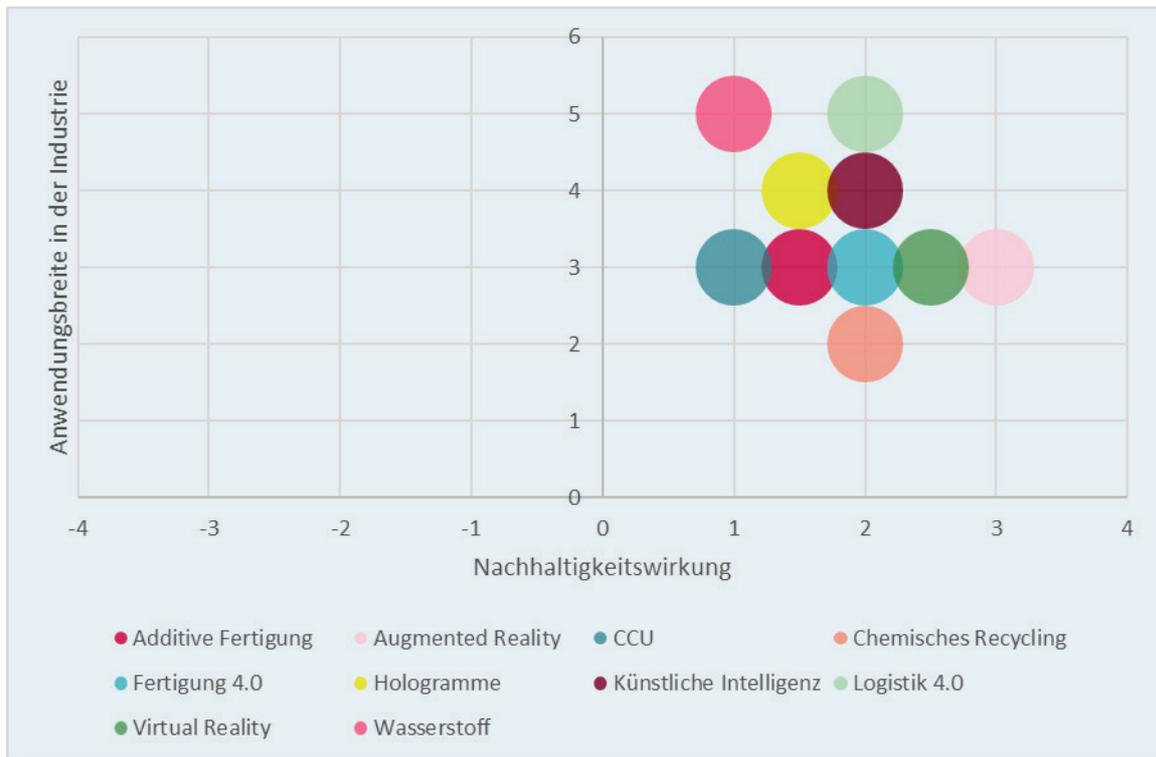


Abbildung 19: Beitrag der Technologien zur Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen basierend auf Ausmaß der sozialen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse)

**Additive Fertigung** benötigt Mitarbeiter:innen mit entsprechender Qualifikation, was Arbeitsplätze für qualifiziertes Personal schafft. Das Lehrangebot sollte dementsprechend angepasst und Fortbildungen forciert werden (vgl. Bierdel et al., 2019). Diese Technologie ist vor allem für die Fertigungsindustrie relevant, allerdings hauptsächlich im Bereich der Formgebung. Da durch die Formgebung vergleichsweise wenige Emissionen anfallen, hat die additive Fertigung eine geringe CO<sub>2</sub>-Relevanz.

Durch **Augmented Reality (AR)** werden Arbeitsplätze für qualifizierte Fachkräfte geschaffen. Zusätzlich unterstützt diese Technologie bei der Ein- und Nachschulung von Mitarbeiter:innen. Schulungsunterlagen können mittels AR-Technologie an den Wissensstand und die Bedürfnisse der Mitarbeiter:innen angepasst werden (vgl. Sidiropoulos et al., 2021). Augmented Reality ist grundsätzlich in vielen Branchen anwendbar. In der Sachgüterproduktion ist AR vor allem für Montage und Produktentwicklung relevant. Die CO<sub>2</sub>-Relevanz dieser Technologie ist gering.

Durch die intelligente Automatisierung im Zuge der **Fertigung 4.0** werden Fertigungsprozesse optimiert. Für diese Technologie wird qualifiziertes Personal benötigt. Darum werden Arbeitsplätze für beispielsweise Programmierer:innen und

Softwareentwickler:innen geschaffen (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2020). Diese Technologie betrifft die gesamte Fertigungsindustrie. Da Emissionsreduktionen nur indirekt durch Prozessoptimierungen bedingt sind, hat die Fertigung 4.0 eine mittlere CO<sub>2</sub>-Relevanz.

**Hologramme** erleichtern die Einschulung von Mitarbeiter:innen durch 3D-Visualisierung der Schulungsunterlagen. Der Unterricht an 3D-Objekten (z. B. 3D-Darstellung von Organen und Körperteilen im Medizinstudium oder Produktkomponenten in der Fertigungseinschulung) erleichtern das Lernen (vgl. Bischofberger, 2021). Hologramme sind in fast allen Branchen und in vielen Unternehmen anwendbar. Da sie keinen Einfluss auf CO<sub>2</sub>-Emissionen haben, ist die CO<sub>2</sub>-Relevanz dieser Technologie gering.

**Künstliche Intelligenz** schafft Arbeitsplätze, die tendenziell höhere Qualifizierungen hinsichtlich technologischer Kompetenzen voraussetzen. So werden Arbeitsplätze für qualifizierte Fachkräfte geschaffen (vgl. Rohde et al., 2021). Künstliche Intelligenz ist in fast allen Branchen anwendbar. Da diese Technologie sehr CO<sub>2</sub>-intensiv ist, hat sie eine hohe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die gesamte Industrie.

In der **Logistik 4.0** entstehen Arbeitsplätze für qualifiziertes Personal. Fachkräfte zur Erstellung von Software und Entwicklung autonomer Fahrzeuge werden benötigt (vgl. Institut für Integrierte Produktion Hannover, s.a.). Logistik 4.0 ist in allen Branchen und Unternehmen die Warenlieferungen versenden oder erhalten anwendbar und hat eine hohe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die Industrie.

**Virtual Reality** unterstützt eine praxisnahe Ausbildung und Einschulung der Mitarbeiter:innen. Zusätzlich werden Arbeitsplätze, die ein höheres Qualifikationsniveau erfordern, geschaffen (Salah et al., 2019). Virtual Reality ist für wenig Branchen mit den meisten Unternehmen relevant, insbesondere für Fertigung, Architektur oder Produktentwicklung und hat eine mittlere CO<sub>2</sub>-Relevanz.

### **3.1.2 Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter:innen und Kund:innen**

Abbildung 20 zeigt das Ergebnis der sozialen Nachhaltigkeitsbewertung für die Wirkungskategorie Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter:innen und Kund:innen. Das Ausmaß der Nachhaltigkeitswirkung ist auf der x-Achse dargestellt und die Anwendungsbreite für die Industrie auf der y-Achse. Die Technologien mit dem stärksten positiven Beitrag sind Hologramme, intelligente Sensoren, künstliche Intelligenz, Mikroelektromechanik und smarte Textilien und werden nachfolgend näher beschrieben.

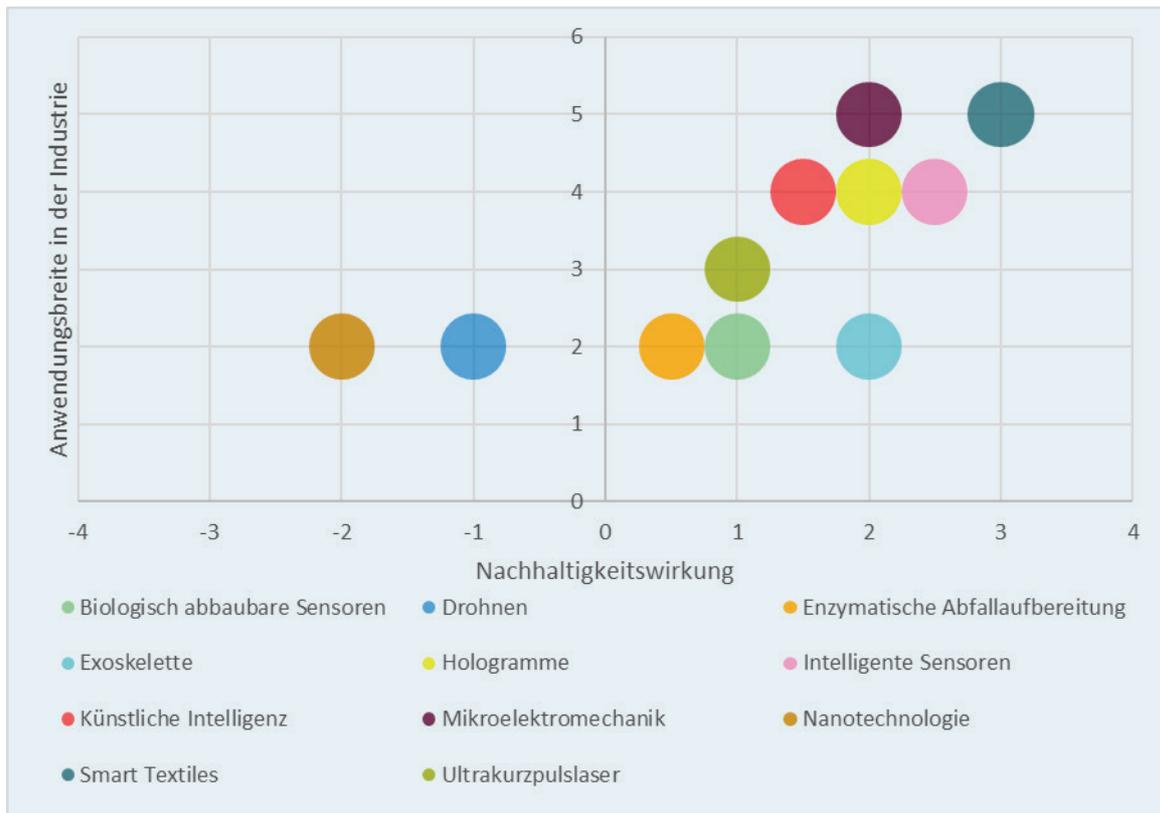


Abbildung 20: Beitrag der Technologien zur Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter:innen und Kund:innen basierend auf Ausmaß der sozialen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse)

Durch **Hologramme** können in der Medizin Körperteile und Organe von Patient:innen vollständig in 3D visualisiert werden. Dadurch ist eine genauere Diagnostik und eine leichtere Visualisierung bei Operationen möglich, was Vorteile für die Patient:innen hat (vgl. Bischofberger, 2021). Hologramme sind in fast allen Branchen und Unternehmen anwendbar, allerdings hauptsächlich in den Bereichen Kommunikation und Visualisierung von Produkten. Diese Technologie hat keinen Einfluss auf das Aufkommen an CO<sub>2</sub>-Emissionen.

**Intelligente Sensoren** leisten einen positiven Beitrag zur Gesundheit von Mitarbeiter:innen. Beispielsweise kann mittels Sensorik die Beleuchtung automatisch an die Witterungsbedingungen angepasst werden. In der Medizin liefern intelligente Sensoren Daten für eine bessere Diagnostik (vgl. Robool, 2019). Intelligente Sensoren können in fast allen Branchen eingesetzt werden. Allerdings haben sie eine geringe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die Industrie.

**Künstliche Intelligenz** kann im Medizinbereich bei der Auswertung visueller Informationen, wie beispielsweise von CT-Scans oder Röntgenaufnahmen, assistieren (vgl. Rohde et al., 2021). Dies trägt zu einer Verbesserung der Diagnostik bei. Diese Technologie ist in fast allen Branchen und einigen Unternehmen der betroffenen Branchen anwendbar. Künstliche Intelligenz hat eine hohe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die Industrie, da diese Technologie sehr CO<sub>2</sub>-intensiv ist.

**Mikroelektromechanische Systeme (MEMS)** können zur Überwachung von Wasserqualität, CO<sub>2</sub>-Pegeln in der Nähe von CO<sub>2</sub>-Speichern und Schadstoffgehalten in Umweltmedien eingesetzt werden (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2021). So tragen sie zur Sicherstellung von Sicherheit am Arbeitsplatz bei. Alle Branchen und ein Großteil der Unternehmen sind von dieser Technologie betroffen.

**Smarte Textilien** ermöglichen neue Anwendungen in der Medizintechnik. Diese sind zum Beispiel flexible und selbstheilende elektronische Haut (z. B. für Prothesen oder Transplantationen) oder smarte Wearables wie Hautpflaster, die mit Apps kommunizieren und den Blutzucker von Diabetiker:innen überwachen. Andere Anwendungsbeispiele sind Textilien mit integrierten Fitnesstrackern oder LED-Kleidung für bessere Sichtbarkeit im Straßenverkehr (vgl. Kist, s.a.). Smarte Textilien sind grundsätzlich in allen Branchen anwendbar. Da sie zu keiner Emissionsreduktion führen, haben sie eine geringe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die Industrie.

## 3.2 Ökonomische Nachhaltigkeitsdimension

Das nachfolgende Kapitel zeigt die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung für die ökonomische Nachhaltigkeit, wobei diese die folgenden Wirkungskategorien umfasst:

- Kostendeckung
- Wertschöpfung für die Region
- Sicherung der Ressourcen
- Wirtschaftsleistung und -dynamik
- Innovation und F&E bei Produktion, Produkten und Dienstleistungen
- Struktur- und Systeminnovation, Netzwerke, Kooperationen, Wissenschaft
- Nachhaltiges Wachstum
- Identifikation, Image
- Produktqualität

Tabelle 9 zeigt die ökonomische Nachhaltigkeitsbewertung für die verschiedenen Technologien. Daraus ist zu erkennen, dass die Wirkungskategorien Kostendeckung und Innovation und F&E bei Produktion, Produkten und Dienstleistungen die häufigsten Bewertungen aufweisen und deshalb nachfolgend detaillierter erläutert werden. Dafür wurden die Technologien mit dem größten Beitrag in diesen beiden Wirkungskategorien ausgewählt.

Tabelle 9: Ökonomische Nachhaltigkeitsbewertung für die ausgewählten Technologien

	Kostendeckung	Wertschöpfung für die Region	Sicherung der Ressourcen	Wirtschaftsleistung und -dynamik	Innovation bei Produkten	Systeminnovation	Nachhaltiges Wachstum	Identifikation, Image	Produktqualität
Additive Fertigung	+			++					
Augmented Reality	+				++				++
Biologisch abbaubare Sensoren	--				+				
CCU	--		++		++		++		
Chemisches Recycling	--	+	++		+		++		-
Distributed-Ledger-Technologie			++			+++		+	+
Drohnen	+++				++				-
Enzymatische Abfallaufbereitung		+	+		++		+		
Exoskelette	+								
Fertigung 4.0	++				+				
Hologramme					+			+	
Hydrothermale Verflüssigung	+++	+	+						
Intelligente Sensoren	++								+
Künstliche Intelligenz				++	+		-	++	-

	Kostendeckung	Wertschöpfung für die Region	Sicherung der Ressourcen	Wirtschaftsleistung und -dynamik	Innovation bei Produkten	Systeminnovation	Nachhaltiges Wachstum	Identifikation, Image	Produktqualität
Lichtbogenöfen	++								
Logistik 4.0	++								
Mikrobielle Brennstoffzellen					+				
Mikroelektromechanik	++				++				++
Nanotechnologie					+				++
OLED	--				+				++
Optoelektronik	--				++				++
Smarte Textilien					+++				-
Ultrakurzpulslaser	-				++				++
Virtual Reality	+				+				++
Wasserstoff	--				++		++		

### 3.2.1 Kostendeckung

Abbildung 21 zeigt das Ergebnis der ökonomischen Nachhaltigkeitsbewertung für die Wirkungskategorie Kostendeckung. Das Ausmaß der Nachhaltigkeitswirkung ist auf der x-Achse dargestellt und die Anwendungsbreite für die Industrie auf der y-Achse. Die Technologien mit dem stärksten positiven Beitrag sind Drohnen, hydrothermale Verflüssigung, intelligente Sensoren, Logistik 4.0 und Mikroelektromechanik und werden nachfolgend näher beschrieben.

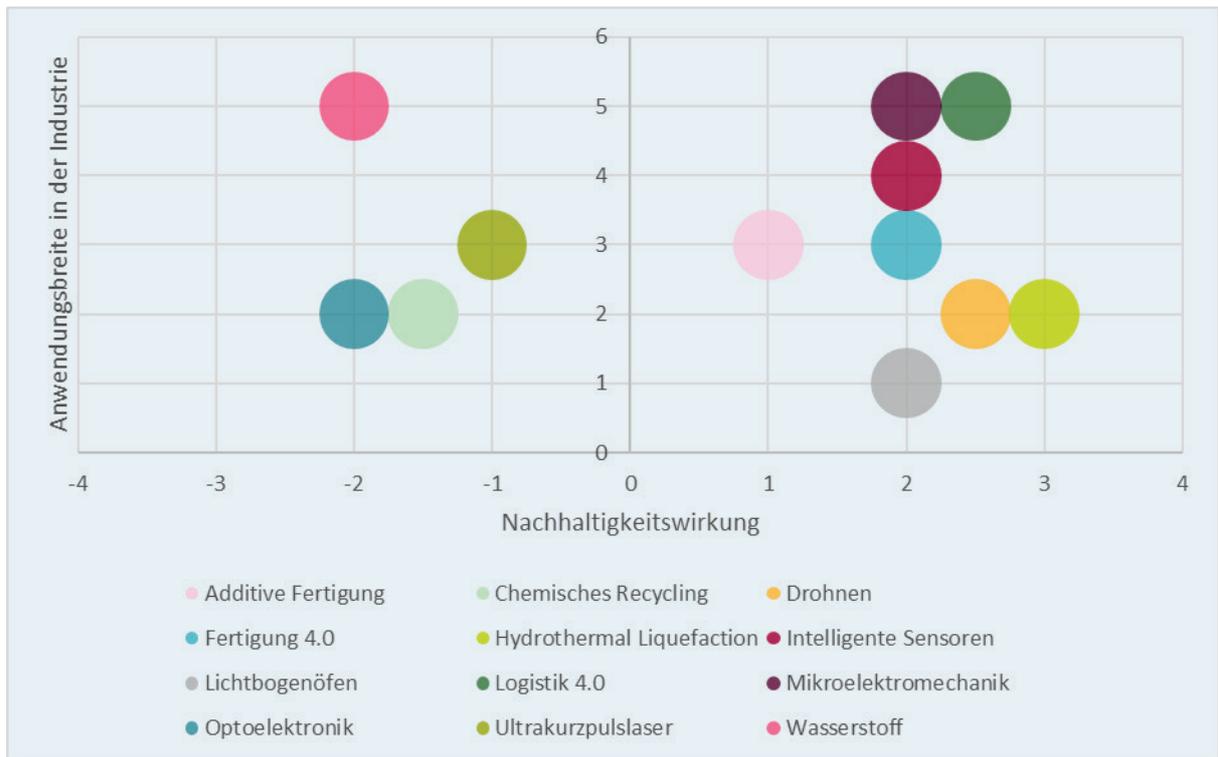


Abbildung 21: Kostendeckung der Technologien basierend auf Ausmaß der ökonomischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse)

**Drohnen** können für das Erstellen von Luftaufnahmen eingesetzt werden. Dabei stellen sie eine kosteneffizientere Alternative zu Satellitenbildern oder Ortsbegehungen dar. Beispielsweise kann so aus der Luft der Instandhaltungsbedarf von Anlagen (z. B. Photovoltaikanlagen) oder Daten über Pflanzen- und Bodengesundheit von Agrarflächen ermittelt werden (vgl. Stolaroff et al., 2018). Drohnen finden nur in einzelnen Branchen (z. B. Baubranche, Landwirtschaft, Anlagentechnik) Einsatz und haben eine sehr geringe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die gesamte Industrie.

Aufgrund der hohen Ausbeute im Vergleich zu den Investitionskosten hat die **hydrothermale Verflüssigung** eine hohe Kosteneffizienz (vgl. Tzanetis et al., 2017). Die hydrothermale Verflüssigung ist nur für einzelne Branchen, allerdings einen Großteil der Unternehmen dieser Branchen, relevant. Diese sind zum Beispiel Raffinerien, Energieproduzenten oder Abfallbehandler. Die CO<sub>2</sub>-Relevanz dieser Technologie ist hoch, da durch die Substitution von fossilem Rohöl CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden.

**Intelligente Sensoren** können zur Optimierung von Prozessen (z.B. Produktionsprozesse, Raumheizung) genutzt werden (vgl. Roobol, 2019). So werden durch die Effizienzsteigerung der Produktion und des Energieverbrauchs Kosten reduziert.

Intelligente Sensoren sind fast überall einsetzbar, unabhängig von Branche und Unternehmensgröße.

Autonome Logistik (**Logistik 4.0**) ermöglicht durch eine größere Menge an verfügbaren Informationen und lernfähigen Algorithmen effizientere und dezentrale Steuerungsprozesse umzusetzen (vgl. Institut für Integrierte Produktion Hannover, s.a.; Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft, 2020). So wird in der Logistik die Effizienz gesteigert und dadurch Kosten reduziert. Zusätzlich können durch autonomes Fahren und Be- und Entladen Personalkosten verringert werden. Die Logistik 4.0 ist für alle Branchen und Unternehmen relevant, die Warenlieferungen versenden oder erhalten und hat eine hohe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die Industrie.

**Mikroelektromechanische Systeme (MEMS)** können zur effizienten Steuerung von Material- und Energieflüssen, Mobilität, Logistik oder Infrastruktur eingesetzt werden (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2021). Diese Effizienzsteigerung führt zu einer Kostenreduktion für das Unternehmen. Diese Technologie ist in allen Branchen anwendbar.

### **3.2.2 Innovation und F&E bei Produktion, Produkten und Dienstleistungen**

Abbildung 22 zeigt das Ergebnis der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung für die Wirkungskategorie Innovation und F&E bei Produktion, Produkten und Dienstleistungen. Das Ausmaß der Nachhaltigkeitswirkung ist auf der x-Achse dargestellt und die Anwendungsbreite für die Industrie auf der y-Achse. Die Technologien mit dem stärksten positiven Beitrag zur Innovation von Produkten und Dienstleistungen sind Augmented Reality, CCU, Mikroelektromechanik, smarte Textilien, Ultrakurzpulslaser und Wasserstoff und werden nachfolgend näher beschrieben.

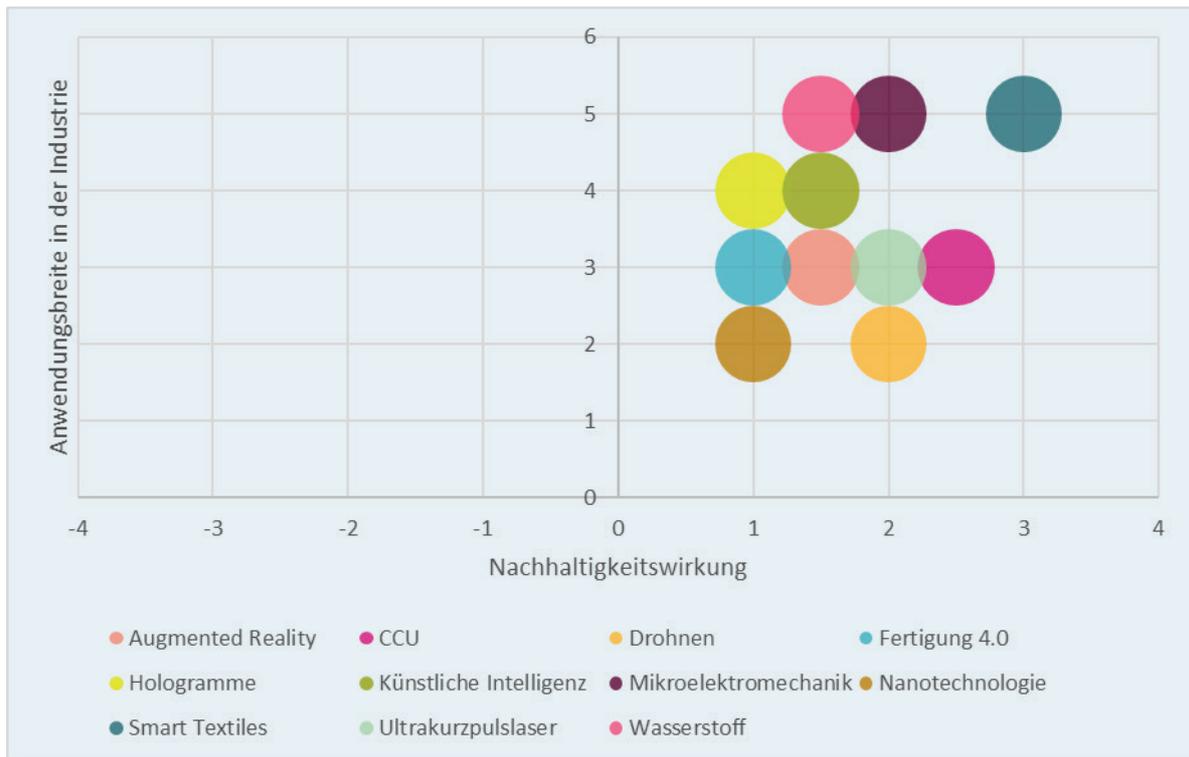


Abbildung 22: Beitrag der Technologien zur Innovation basierend auf Ausmaß der ökonomischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse)

Mit **Augmented Reality** können Prototypen und Änderungen im Produktdesign digital simuliert werden. Da Änderungen im Produktdesign digital ausprobiert werden können, muss nicht für jede Designänderung eigens ein physischer Prototyp angefertigt werden (vgl. Sidiropoulos et al., 2021). Dadurch wird die Produktentwicklung (v. a. bei der Betrachtung verschiedener Designmöglichkeiten) effizienter, kürzer und kostengünstiger. Augmented Reality ist grundsätzlich in vielen Branchen anwendbar (z. B. Entertainment, Tourismus, Medizin), aber für die Sachgüterproduktion spielt sie vor allem im Bereich der Montage oder im Produktdesign eine Rolle.

Bezüglich **Carbon Capture and Utilisation (CCU)** besteht noch weiterer Forschungsbedarf. Weitere Innovationen für die Technologieentwicklung müssen noch angestoßen werden. Das bietet gleichzeitig die Chance für Marktführerschaft oder die Entwicklung neuer Wertschöpfungsketten. CCU ist für die meisten Industriebranchen relevant, allerdings vor allem für größere Unternehmen.

Ein Anwendungsbeispiel für **mikroelektromechanische Systeme (MEMS)** ist die Sensorik. Die Sensorik ist für viele Zukunftstechnologien, wie beispielsweise autonomes Fahren oder Drohnen, bedeutend. Die Mikroelektromechanik wird hier eine große Rolle spielen und

die Entwicklung neuer Produkte und Technologien fördern (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2021). In der Industrie hat die Mikroelektromechanik durch die große Bedeutung der Sensorik eine sehr große Anwendungsbreite.

Bei **smarten Textilien** besteht derzeit noch Forschungsbedarf. Allerdings bieten sie ein großes Innovationspotenzial, da sie viele neue Anwendungen ermöglichen. Beispiele für smarte Textilien sind spezielle Funktionskleidung (z. B. mit inkludierten Fitnessstrackern oder LED-Beleuchtung) oder Stoff der kinetische in elektrische Energie umwandelt (vgl. Kist, s.a.). Diese Technologie ist für alle Branchen relevant, da smarte Textilien in vielen Bereichen und von allen Menschen verwendet werden können. Die CO<sub>2</sub>-Relevanz für die gesamte Industrie ist allerdings sehr gering.

Durch **Ultrakurzpuls-laser** ist eine präzisere und schonendere Materialbearbeitung möglich. Das ermöglicht die Entwicklung neuer Produkte, beispielsweise in der Herstellung von medizinischen Prothesen oder Wasserfilter für Mikroplastik (vgl. Fraunhofer ILT, 2020; Schäfer, 2013). Diese Technologie kann viele Industriebereiche betreffen, allerdings hauptsächlich im Bereich der Formgebung. Die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen ist kein primäres Ziel dieser Technologie. Durch den Energieverbrauch werden CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht.

An Wasserstofferzeugungs- und -anwendungstechnologien wird in Österreich bereits seit vielen Jahren geforscht. **Wasserstofftechnologien** gelten als wichtiger Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität und Innovationstreiber für die Energiewende (vgl. Energy Innovation Austria, 2022). Für fast alle Industriebereiche und auch fast alle Unternehmen sind Wasserstofftechnologien relevant. Da durch die Substitution fossiler Energieträger CO<sub>2</sub>-Remissionen reduziert werden, hat Wasserstoff eine hohe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die Industrie.

### 3.3 Ökologische Nachhaltigkeitsdimension

Das nachfolgende Kapitel zeigt die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung für die Ökologie. Die ökologische Nachhaltigkeitsdimension umfasst folgende Wirkungskategorien:

- Verbesserung der Verfügbarkeit und verstärkte Nutzung erneuerbarer Energieformen

- effiziente Energie- und Ressourcennutzung
- stoffliche Nutzung erneuerbarer und rezyklierbare Rohstoffe, sparsame Nutzung von Umweltmedien
- Klimaschutz - Reduktion und Vermeidung von THG-Emissionen
- Reduktion und Vermeidung von Abfall und Abwasseremissionen
- Reduktion und Vermeidung von konventionellen Luftschadstoffen, Lärm und Geruch
- Erhalt von Bodenproduktivität - Luft- und Wasserqualität
- Erhalt von Bodenproduktivität - naturnahe Produktionssysteme
- Beitrag zum Erhalt der biologischen Vielfalt und des Landschaftsbilds

Tabelle 10 zeigt die ökologische Nachhaltigkeitsbewertung für die verschiedenen Technologien. Daraus wird ersichtlich, dass die Wirkungskategorien effiziente Energie- und Ressourcennutzung, erneuerbare und rezyklierbare Rohstoffe sowie Klimaschutz die häufigsten Bewertungen aufweisen und deshalb nachfolgend detaillierter erläutert werden. Dafür wurden die Technologien mit dem größten Beitrag in diesen Wirkungskategorien ausgewählt.

Tabelle 10: Ökologische Nachhaltigkeitsbewertung für die ausgewählten Technologien

	Erneuerbare Energien	Energie- und Ressourceneffizienz	Erneuerbare und rezyklierbare Rohstoffe	Klimaschutz	Vermeidung von Abfall und Abwasser	Vermeidung von Luftschadstoffen	Erhalt von guter Luft- und Wasserqualität	Erhalt von naturnahen Produktionssystemen	Erhalt der biologischen Vielfalt
Additive Fertigung									
Augmented Reality			+++	+	+++		++		
Biologisch abbaubare Sensoren		--	+	--	+				
CCU		+++		++					+
Chemisches Recycling		---			-	--		+	
Distributed-Ledger-Technologie		+++		+++					++
Drohnen		+++	+++	++	++	+	+		

	Erneuerbare Energien	Energie- und Ressourceneffizienz	Erneuerbare und rezyklierbare Rohstoffe	Klimaschutz	Vermeidung von Abfall und Abwasser	Vermeidung von Luftschadstoffen	Erhalt von guter Luft- und Wasserqualität	Erhalt von naturnahen Produktionssystemen	Erhalt der biologischen Vielfalt
Enzymatische Abfallaufbereitung		+							
Exoskelette		+		++					
Fertigung 4.0									
Hologramme	+++	++	+++	+++	++			+	
Hydrothermale Verflüssigung		++		++		+			
Intelligente Sensoren	+	-		--	-		-		
Künstliche Intelligenz	++	--	+++	+++		-			
Lichtbogenöfen		+++		++					
Logistik 4.0	+++	++		+	++				
Mikrobielle Brennstoffzellen		++		+			+		
Mikroelektromechanik	+	++					-		
Nanotechnologie		+++		++	--				
OLED		+++		++					
Optoelektronik	++								
Smarte Textilien		--		--	+				
Ultrakurzpulslaser				++					
Virtual Reality		--		+++					
Wasserstoff									

### 3.3.1 Effiziente Energie- und Ressourcennutzung

Abbildung 23 zeigt das Ergebnis der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung für die Wirkungskategorie effiziente Energie- und Ressourcennutzung. Das Ausmaß der Nachhaltigkeitswirkung ist auf der x-Achse dargestellt und die Anwendungsbreite für die Industrie auf der y-Achse. Die Technologien mit dem stärksten positiven Beitrag zur effizienten Energie- und Ressourcennutzung sind CCU, intelligente Sensoren, Logistik 4.0, Mikroelektromechanik, OLED und Optoelektronik und werden nachfolgend näher beschrieben.

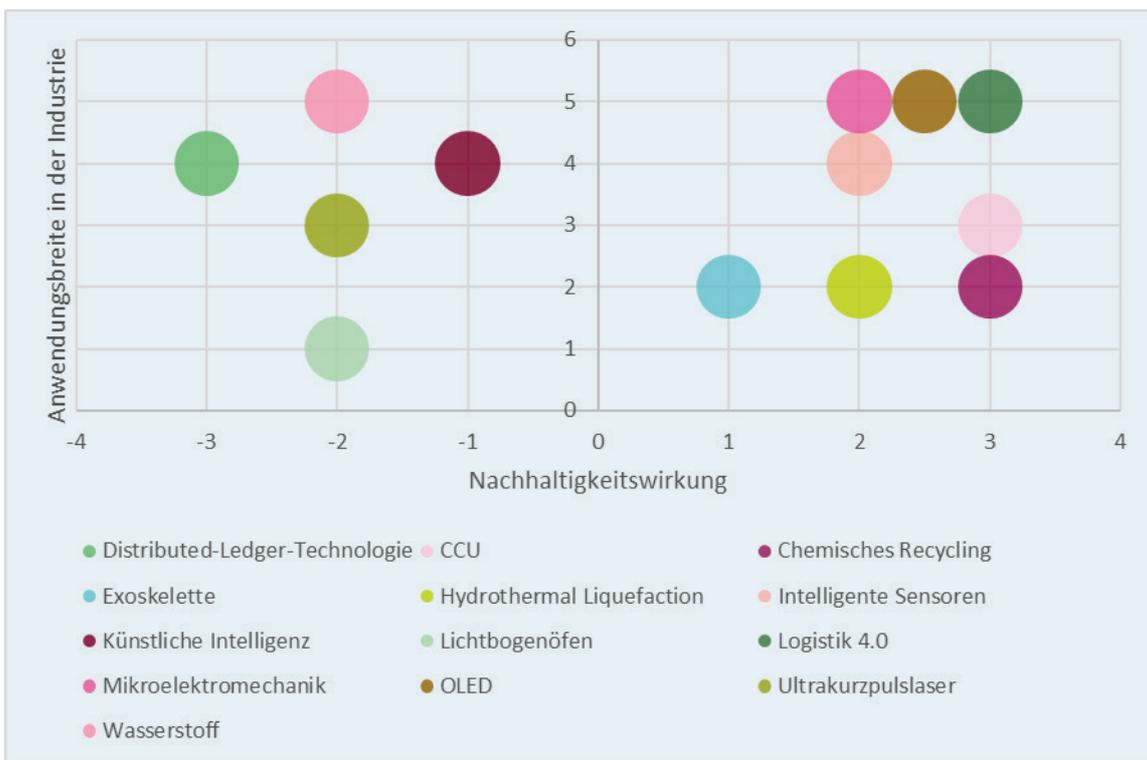


Abbildung 23: Beitrag der Technologien zu einer effizienten Energie- und Ressourcennutzung basierend auf Ausmaß der ökologischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse)

**Carbon Capture and Utilization (CCU)** ermöglicht die Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Verbrennungsabgasen. Das abgeschiedene CO<sub>2</sub> kann anschließend als Rohstoff für weitere industrielle Prozesse genutzt werden. So wird es einer weiteren Verwertung als Rohstoff für neue Wertschöpfungsketten zur Verfügung gestellt und damit ein Mehrwert aus der Verwertung von CO<sub>2</sub> erzielt (vgl. Gabrielli et al., 2020). Dabei werden fossile Ressourcen substituiert und dadurch der Einsatz von Primärressourcen reduziert. CCU ist in den meisten Industriebranchen anwendbar, allerdings nicht in allen Unternehmen einer Branche, sondern vor allem in größeren Unternehmen. CCU hat eine sehr hohe Relevanz

für das CO<sub>2</sub>-Emissionsaufkommen. Allerdings kommt es zu keiner absoluten Vermeidung der Emissionen, sondern lediglich zu einer Verzögerung der Freisetzung des CO<sub>2</sub>.

**Intelligente Sensoren** können zur automatisierten Prozessoptimierung eingesetzt werden. Dadurch kann der Energieverbrauch von beispielsweise Heizung, Kühlung oder Beleuchtung reduziert werden (vgl. Roobol, 2019). Der Einsatz von intelligenten Sensoren ist fast überall möglich. Auf CO<sub>2</sub>-Emissionen haben sie nur eine indirekte Reduktionswirkung, da ihre Nachhaltigkeitswirkung vor allem in der Regelung und Optimierung von Energieverbräuchen liegt.

Der autonome Verkehr und die autonome Logistik als Teil der **Logistik 4.0** tragen zur Reduktion des Energie- und Ressourcenverbrauchs bei. Autonome Logistik kann durch vorausschauendes Fahren Treibstoffverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren (vgl. Institut für Integrierte Produktion Hannover, s.a.; Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft, 2020). Durch optimierte Routenplanung können Leerfahrten vermieden und Routen effizienter geplant werden. So wird ebenfalls Treibstoff eingespart. Diese Technologie betrifft alle Branchen und Unternehmen, die Waren versenden oder Warenlieferungen erhalten. Da Verkehr ein wesentlicher Verursacher von Treibhausgasemissionen ist, hat diese Technologie eine hohe CO<sub>2</sub>-Relevanz.

**Mikroelektromechanische Systeme (MEMS)** sind in der Regel Mikromaschinen, die häufig Sensoraufgaben übernehmen. Dadurch wird eine ressourceneffiziente Prozesskontrolle ermöglicht, was wiederum zur Steigerung von Energie- und Ressourceneffizienz genutzt werden kann (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2021). So wird beispielsweise der Wasserverbrauch reduziert oder kraftstoffsparendes Fahren ermöglicht. MEMS sind in allen Branchen und einem Großteil der Unternehmen anwendbar, beispielsweise in Automobilindustrie, Logistik, Entertainment, Forschung oder Energiegewinnung. Allerdings haben sie nur eine geringe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die gesamte Industrie, da die Emissionsreduktion nur ein indirekter Effekt durch Effizienzsteigerungen ist.

**Organische Leuchtdioden (OLED)** haben eine höhere Energieeffizienz als derzeit marktübliche Displaytechnologien. OLED-Displays von Smartphones oder Fernsehern haben einen geringeren Energieverbrauch als die derzeit gängigen Displaytechnologien (vgl. Kaur et al., 2016; Yeom et al., 2018). Durch die weite Verbreitung von Displays, sowohl im Arbeitsalltag als auch im Privatbereich, und der Tatsache, dass diese Technologie in allen Unternehmen, die mit Displays oder Bildschirmen arbeiten (z. B. PCs,

Smartphones), ergibt sich ein großes Potenzial für die Reduktion des Energieverbrauchs. Dadurch tragen OLEDs positiv zur Steigerung der Energieeffizienz und damit zur Reduktion des Energieverbrauchs bei.

### 3.3.2 Stoffliche Nutzung erneuerbarer und rezyklierbarer Rohstoffe, sparsame Nutzung von Umweltmedien

Der Beitrag der ausgewählten Technologie zur Nutzung von erneuerbaren und rezyklierten Rohstoffen ist in Abbildung 24 dargestellt. Biologisch abbaubare Sensoren, Distributed-Ledger-Technologie, enzymatische Abfallaufbereitung und Lichtbogenöfen tragen hierzu positiv bei und werden nachfolgend näher beschrieben. Die anderen Technologien haben in dieser Wirkungskategorie keinen Einfluss auf die Nachhaltigkeit.

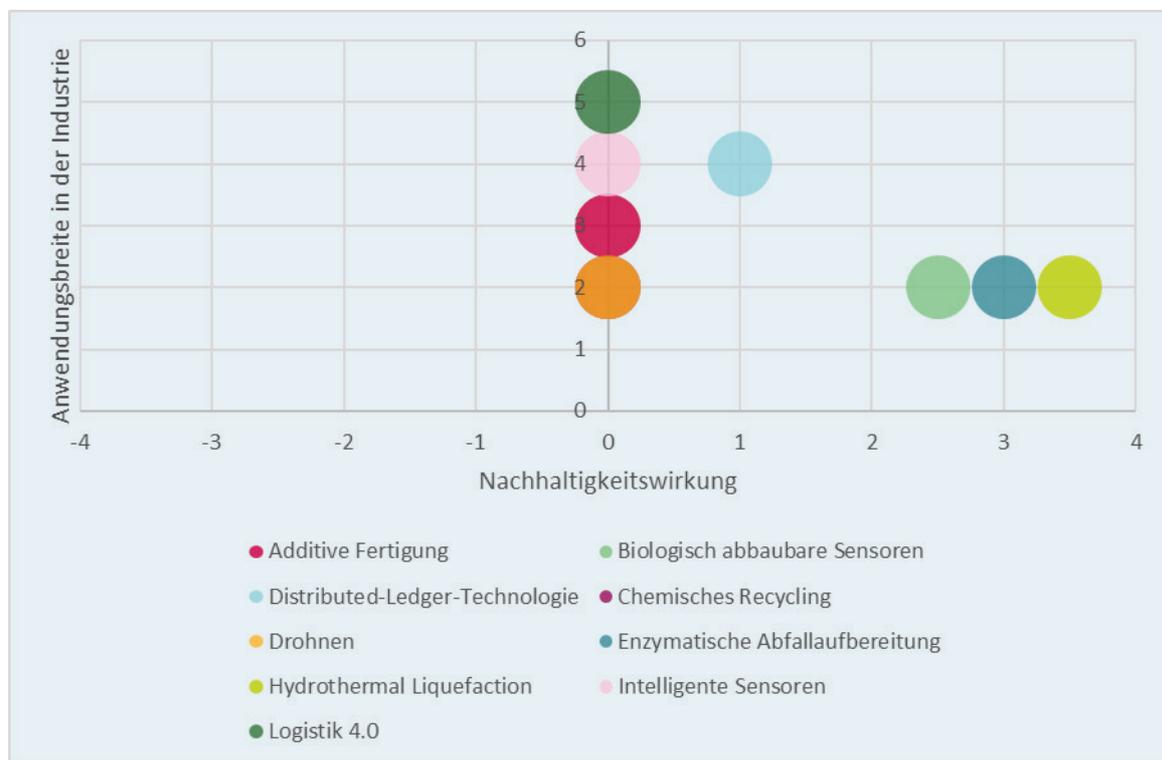


Abbildung 24: Beitrag der Technologien zur Nutzung von erneuerbaren und rezyklierten Rohstoffen basierend auf Ausmaß der ökologischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse)

Für **biologisch abbaubare Sensoren** wird das Trägermaterial des Chips aus biologischen Rohstoffen hergestellt. Diese Rohstoffe sind beispielsweise Zellulose, Seidenprotein und Mais- oder Kartoffelstärke (vgl. Fischer, 2021; Wörner, 2017). Dadurch sind diese Sensoren zumindest teilweise biologisch abbaubar und tragen zur forcierten Nutzung erneuerbarer Rohstoffe bei. Anwendungsbereiche für biologisch abbaubare Sensoren sind Medizin (z. B.

für Diagnostik), Landwirtschaft (z. B. Überwachung von Pflanzengesundheit) oder Lebensmittelindustrie (z. B. Monitoring der Kühlung während des Transports). Somit sind sie nur für einzelne Branchen und wenige Unternehmen relevant. Da die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen kein primäres Ziel ist, haben biologisch abbaubare Sensoren nur eine geringe CO<sub>2</sub>-Relevanz.

Die **Distributed-Ledger-Technologie** ermöglicht unter anderem die transparente Rückverfolgung von Rohstoffen und Lieferketten. Diese Transparenz erleichtert die Auswahl nachhaltiger Rohstoffe in der Materialbeschaffung (vgl. Sinistra, 2020; Zimmermann, 2021). So wird Unternehmen die gezielte Auswahl erneuerbarer Materialien oder Sekundärrohstoffen erleichtert. Diese Technologie ist für viele Branchen, aber insbesondere für größere Unternehmen, anwendbar.

Die **enzymatische Abfallaufbereitung** trägt zum Schließen von Rohstoffkreisläufen bei. Altkunststoffe können zu hochwertigen Sekundärkunststoffen rezykliert werden, was zum strukturellen Wandel hin zur Kreislaufwirtschaft beiträgt (vgl. Wille, 2018). Diese Technologie ist relevant für einzelne Branchen, wie beispielsweise die Kunststoffindustrie, und einen großen Teil der Unternehmen dieser Branchen. Die enzymatische Abfallaufbereitung hat eine geringe CO<sub>2</sub>-Relevanz für die Industrie, da die CO<sub>2</sub>-Reduktion durch diese Technologie nur indirekt erfolgt.

Bei der **hydrothermalen Verflüssigung** wird aus Biomasse ein Rohölersatzprodukt hergestellt. Als Rohstoff dafür können biogene Abfälle (z. B. Lebensmittelabfälle) verwendet werden (vgl. Guran, 2018). Das so hergestellte Rohöl ist somit ein rezykliertes Produkt. Diese Technologie ist für einzelne Branchen und einen Großteil der zugehörigen Unternehmen (z. B. Raffinerien, Energieproduktion, Abfallwirtschaft) anwendbar. Da durch die Substitution von fossilem Rohöl CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden, hat die hydrothermale Verflüssigung eine hohe CO<sub>2</sub>-Relevanz.

Mittels **Lichtbogenöfen** werden Altmetalle (z. B. Kupfer, Aluminium, Stahl) eingeschmolzen (vgl. Valentini et al., 2007). So werden Sekundärrohstoffe für die metallverarbeitende Industrie erzeugt und Primärrohstoffe substituiert. Diese Technologie betrifft nur die Stahl- und Metallindustrie, hat aber eine sehr hohe CO<sub>2</sub>-Relevanz.

### 3.3.3 Klimaschutz

Abbildung 25 zeigt das Ergebnis der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung für die Wirkungskategorie Klimaschutz. Das Ausmaß der Nachhaltigkeitswirkung ist auf der x-

Achse dargestellt und die Anwendungsbreite für die Industrie auf der y-Achse. Die Technologien mit dem stärksten positiven Beitrag zum Klimaschutz sind CCU, intelligente Sensoren, Logistik 4.0, OLED, Virtual Reality und Wasserstoff und werden nachfolgend näher beschrieben.

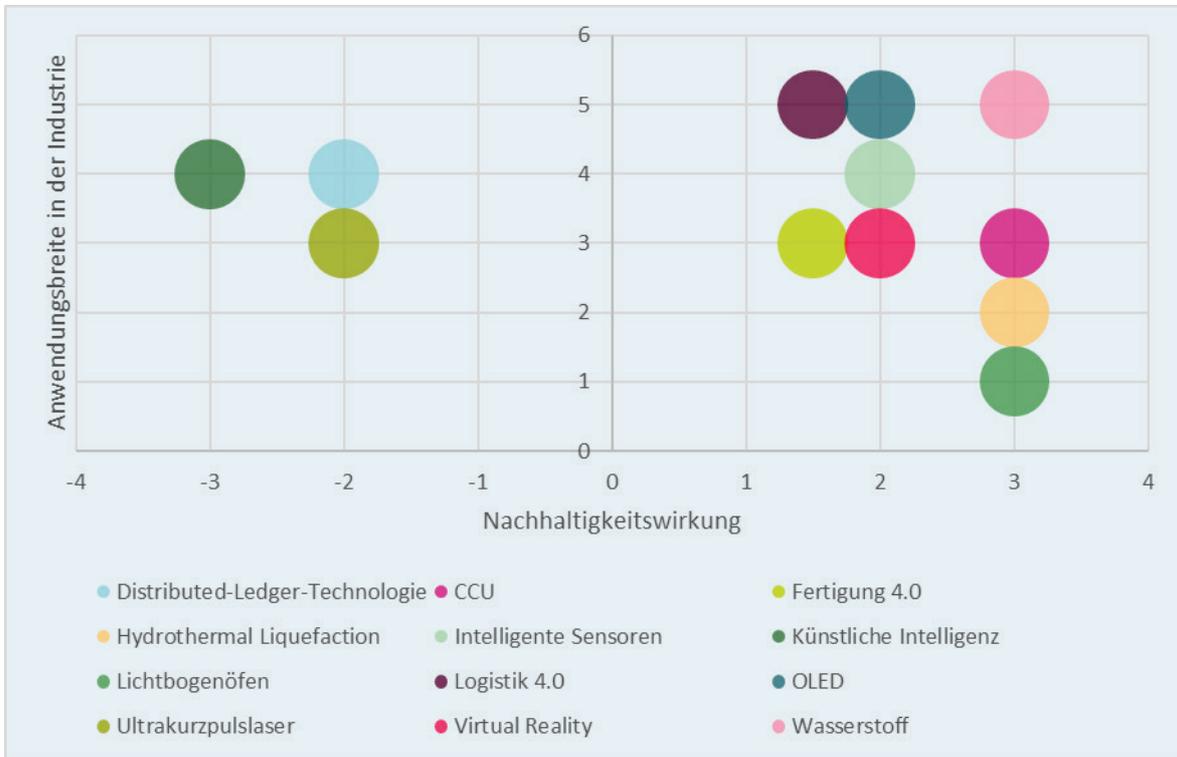


Abbildung 25: Beitrag der Technologien zum Klimaschutz basierend auf Ausmaß der ökologischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse)

Bei **Carbon Capture and Utilization (CCU)** wird  $\text{CO}_2$  aus Verbrennungsabgasen abgeschieden und anschließend als Rohstoff für weitere industrielle Prozesse genutzt (vgl. Gabrielli et al., 2020). So wird die Freisetzung der  $\text{CO}_2$ -Emissionen verzögert, was einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leistet. CCU ist besonders für emissionsintensive Branchen eine Möglichkeit ihre  $\text{CO}_2$ -Emissionen zu reduzieren.

**Intelligente Sensoren** können durch optimierten Energieverbrauch von Prozessen die emittierten Treibhausgase reduzieren (vgl. Roobol, 2019). Zusätzlich kann mit ihrer Hilfe die Einhaltung von Emissionsgrenzwerten überwacht werden. Intelligente Sensoren können in fast allen Betrieben eingesetzt werden, beispielsweise zur Überwachung und Regulierung von Heizung oder Stromverbrauch. Dadurch ergibt sich ein hoher Beitrag zum Klimaschutz, obwohl sie nur indirekt Treibhausgasemissionen reduzieren.

Durch die optimierte Routenplanung der **Logistik 4.0** werden Lieferstrecken effizienter geplant, Leerfahrten vermieden und Treibstoff gespart (vgl. Institut für Integrierte Produktion Hannover, s.a.). Da diese Technologie für alle Unternehmen relevant ist, die Waren versenden oder erhalten und die CO<sub>2</sub>-Relevanz dieser Technologie hoch ist, ergibt sich ein wesentlicher Beitrag zum Klimaschutz.

**OLED**-Displays haben im Vergleich mit anderen Displaytechnologien einen geringeren Energieverbrauch (Kaur et al., 2016; Yeom et al., 2018). Dadurch werden die Treibhausgasemissionen reduziert. Da diese Technologie in allen Branchen und Unternehmen die Displays und Bildschirme verwenden anwendbar ist, ergibt sich ein großes Klimaschutzpotenzial.

Mittels **Virtual Reality** können Meetings oder auch größere Veranstaltungen online und in einer virtuellen Umgebung abgehalten werden (vgl. Salah et al., 2019). So müssen die Teilnehmer:innen nicht anreisen, sondern können in Echtzeit von überall auf der Welt teilnehmen. Virtual Reality erweitert auch die Möglichkeiten von Mitarbeiter:innen von zu Hause aus arbeiten zu können, was die Anzahl der Pendler reduziert. Durch die reduzierte Reisetätigkeit werden Treibhausgasemissionen vermieden. Da Virtual Reality grundsätzlich in allen Unternehmen mit Reisetätigkeit der Mitarbeiter:innen angewandt werden kann, ergibt sich für diese Technologie ein großes Klimaschutzpotenzial.

**Wasserstoff** verursacht im Gegensatz zu herkömmlichen Brennstoffen (z. B. Kohle, Öl, Erdgas) bei der Verbrennung kaum klimarelevante Abgase. Deshalb kann Wasserstoff diese Energieträger ersetzen und dadurch CO<sub>2</sub>-Emissionen erheblich reduzieren und gilt als immer wichtiger werdender Energiespeicher (vgl. Klimafonds, 2021). Voraussetzung für diese Emissionsreduktion ist allerdings, dass der Wasserstoff mit Strom aus erneuerbaren Quellen hergestellt wurde.

### **3.4 Potenziale disruptiver Technologien für die Nachhaltigkeit ausgewählter Branchen der Sachgüterproduktion**

Im folgenden Unterkapitel werden jene Branchen der österreichischen Sachgüterproduktion dargestellt, die am Bruttoinlandsprodukt und den nationalen Treibhausgas-Emissionen einen großen Anteil haben. Diese Branchen sind die chemische Industrie, Holzindustrie, Metallindustrie, Papierindustrie, Stein- und Keramikindustrie sowie Textilindustrie.

Zuerst wurde eine Vorauswahl der relevantesten Technologien für die verschiedenen Industriebranchen basierend auf der Expertise und des Fachwissens des Instituts für Industrielle Ökologie getroffen. Anschließend wurden anhand der Ergebnisse der Nachhaltigkeitsanalyse die Technologien mit dem größten Beitrag zur Nachhaltigkeit (mit Fokus auf den Klimaschutz) für die jeweiligen Industriebranchen ausgewählt.

### 3.4.1 Chemische Industrie

In diesem Kapitel werden ausgewählte, für die chemische Industrie wesentliche Technologien dargestellt und deren Potenziale beschrieben.

**Wasserstoff** wird zukünftig ein wichtiger Rohstoff für die chemische Industrie sein. Wird dieser klimaschonend erzeugt, wirkt sich das positiv auf die Klimabilanz der chemischen Industrie aus. Durch den Einsatz von mit erneuerbarer Energie hergestellten Wasserstoff wird beispielsweise eine emissionsfreie Ammoniaksynthese oder auch die Herstellung von chemischen Grundstoffen wie Ethylen ausgehend von CO<sub>2</sub> über die Watergas-Shift-Reaktion möglich (Verband der Chemischen Industrie, 2020). Grüner Wasserstoff ist somit eine Voraussetzung für die Dekarbonisierung der chemischen Industrie.

Mittels **Carbon Capture and Utilization (CCU)** wird das bei Industrieprozessen entstehende CO<sub>2</sub> aus den Abgasströmen abgeschieden. Dieses CO<sub>2</sub> kann anschließend in der chemischen Industrie als Rohstoff im Kreislauf geführt werden. Es kann beispielsweise für die Erzeugung von Grundstoffen für die Kunststoffproduktion (z. B. Methanol) oder die Herstellung synthetischer Energieträger (z. B. Flugzeugkerosin) verwendet werden (vgl. acatech, 2018). Somit besitzt CCU großes Potenzial für die Erreichung einer klimafreundlichen und kreislauforientierten chemischen Industrie (vgl. Windsperger, 2020).

Die **enzymatische Abfallaufbereitung** ermöglicht es aus Altkunststoffen (besonders Verpackungskunststoffen wie beispielsweise PET) neue Kunststoffprodukte herzustellen, die in ihrer Qualität mit Neuware vergleichbar sind (vgl. Tournier et al., 2020). Durch **chemisches Recycling** können Kunststoffabfälle, die nicht werkstofflich verwertbar sind, recycelt werden (vgl. Vogel et al., 2020). Somit ermöglicht diese Technologie eine Erhöhung der stofflichen Recyclingraten und trägt zur Erreichbarkeit der gesetzlichen Kunststoffrecyclingquoten bei. Durch diese beiden Technologien können Kunststoffabfälle als Rohstoff genutzt werden, was die Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffimporten erhöht und die Schließung von Rohstoffkreisläufen fördert.

### 3.4.2 Holzindustrie

In diesem Kapitel werden einige für die Holzindustrie wesentliche Technologien im Kontext einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise dargestellt und deren Potenziale beschrieben:

Eine effiziente Logistik ist für die Holzindustrie von großer Bedeutung. Die **Logistik 4.0** ermöglicht eine softwaregestützte Optimierung der Transportrouten (vgl. Institut für Integrierte Produktion Hannover, s.a.). Dadurch werden Leerfahrten vermieden und Treibstoff durch vorausschauendes Fahren eingespart, was CO<sub>2</sub>-Emissionen und auch Kosten reduziert. Der intermodale Verkehr mit LKW und Bahn wird (u.a. in Hinblick auf den Klimaschutz) zunehmend bedeutend. Durch autonomes Be- und Entladen kann dabei Zeit und Geld gespart werden (vgl. Huber und Korten, 2008).

**Intelligente Sensoren** überwachen Material- und Energieströme in der Produktion. Die smarten Produktionsanlagen der **Fertigung 4.0** können zur Steigerung der Effizienz und Flexibilität der Holzverarbeitung eingesetzt werden. Gemeinsam ermöglichen diese beiden Technologien eine Produktivitätssteigerung in der Säge-, Bau- und Möbelindustrie (vgl. Gronalt und Teischinger, 2015).

### 3.4.3 Metallindustrie

In diesem Kapitel werden einige für die Metallindustrie wesentliche Technologien auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise dargestellt und deren Potenziale beschrieben.

**Carbon Capture and Utilization (CCU)** hat ein großes Nachhaltigkeitspotenzial für die Metallindustrie. Bei der Stahlherstellung anfallende Kuppelgase können abgeschieden und anschließend als Rohstoff (z. B. für die Herstellung von Basischemikalien) genutzt werden (Industrie Energieforschung, 2022). So können CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden werden.

Die Direktreduktion mit **Wasserstoff** ist eine Alternative zur Stahlproduktion im Hochofen. Dabei wird dem Eisenerz Wasserstoff zugegeben. Neben dem Eisenschwamm, welcher danach in einem Lichtbogenofen eingeschmolzen wird, entsteht nur Wasser als Abfallprodukt (Industrie Energieforschung, 2022). So ist eine Reduktion der Treibhausgasemissionen der Stahlindustrie möglich.

Die Stahlerzeugung mittels **Lichtbogenöfen** ist im Vergleich zur Herstellung in Hochöfen besonders energie- und rohstoffeffizient. Das trägt zur Klimafreundlichkeit der

Stahlproduktion bei. In Lichtbogenöfen werden Altmetalle und Stahlschrotte eingeschmolzen und anschließend als Sekundärmetalle genutzt (Aichinger, 2015). So wird die Schließung von Rohstoffkreisläufen unterstützt und die Unabhängigkeit von Rohstoffimporten gefördert.

**Intelligente Sensoren** überwachen die Prozesse der Stahlerzeugung. So kann durch automatisierte Steuerung der **Fertigung 4.0** die Produktivität der Anlagen gesteigert werden (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2020). Das führt zu einer Reduktion des ökologischen Fußabdrucks der Stahlerzeugung.

**Virtual Reality** sorgt in der Produktionsplanung für einen optimal abgestimmten Aufbau des Produktionsprozesses. In der Fertigung, beispielsweise von Bauteilen aus Metall, kann Virtual Reality die Produktgestaltung erleichtern. Anhand von virtuellen 3D-Modellen können fundierte Entscheidungen über Änderungen an Gieß- und Schmelzlinien getroffen und so Probleme behoben werden bevor sie entstehen (Grohganz, 2019).

#### **3.4.4 Papierindustrie**

In diesem Kapitel werden einige für die Papierindustrie wesentliche Technologien auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise dargestellt und deren Potenziale beschrieben.

Bei der **Fertigung 4.0** werden Produktionsanlagen automatisiert und mit intelligenten Softwarelösungen verbunden (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2020). **Intelligente Sensoren** unterstützen die automatisierte Überwachung von Produktionsprozessen (vgl. Robool, 2019). Durch die Kombination dieser Technologien können Energie- und Ressourcenverbrauch in der Papierherstellung reduziert werden. So werden CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert und die Effizienz der Produktion gesteigert.

Die automatisierte Transportlogistik der **Logistik 4.0** reduziert Leerfahrten und den Treibstoffverbrauch. Dadurch wird weniger CO<sub>2</sub> freigesetzt und Kosten können reduziert werden. Durch autonomes Be- und Entladen wird Zeit und somit Geld gespart (Huber und Korten, 2008).

Die **Nanotechnologie** bietet ein hohes Innovationspotential für die Papierindustrie. Die Beforschung dieser Technologie wird viele neue Anwendungsfelder für Papierprodukte ermöglichen. Durch eine nanotechnologische Beschichtung hat die Papieroberfläche spezielle Funktionen oder Eigenschaften. So können unter anderem magnetisches oder

leitfähiges Papier hergestellt werden (ingenieur.de, 2017) und so neue Märkte erschlossen werden.

### 3.4.5 Stein- und Keramikindustrie

In diesem Kapitel werden einige für die Stein- und Keramikindustrie wesentliche Technologien auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise dargestellt und deren Potenziale beschrieben.

**Wasserstoff** als Energieträger für die Brennöfen kann die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Brennstoffeinsatz bei der Ziegelherstellung deutlich senken. Klimarelevante Emissionen aus der Zementherstellung lassen sich durch den Kalkanteil und möglichen klimarelevanten Kohlenstoff in Porosierungsmitteln nicht vollständig vermeiden. **Carbon Capture and Utilization (CCU)** bietet hier die Möglichkeit, die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen abzuscheiden und als Rohstoff zu nutzen (Umweltbundesamt, 2021). Beispielsweise kann es zur Herstellung von Klinkerersatzstoffen oder zur Karbonatisierung von Feianteilen recycelten Betons verwendet werden. Dabei entsteht ein Material, das für die Herstellung neuer Kompositzemente verwendet werden kann (Zajac, s.a.).

Die **additive Fertigung** hat das Potenzial, die Standardtechnologien für die Herstellung von Betonbauteilen zu verändern. Diese Technologie führt zu einer höheren Präzision und Flexibilität beim Design (Vasilic, 2020). Dadurch wird die Entwicklung neuer architektonischer Formen möglich. Ebenso ist das Bauen ohne Schalung möglich, was Arbeitskräfte und dadurch Kosten reduziert (vgl. Vasilic, 2020). Durch die Automatisierung wird die Bauzeit reduziert und dadurch die Produktivität gesteigert und die Herstellkosten gesenkt.

### 3.4.6 Textilindustrie

In diesem Kapitel werden einige für die Textilindustrie wesentliche Technologien auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise dargestellt und deren Potenziale beschrieben.

**Smarte Textilien** ermöglichen viele neue Anwendungen. Fitness- oder Gesundheitstracker können in Kleidungsstücke integriert werden. Auch Kleidung mit automatischer und an die Helligkeit der Umgebung angepasster Beleuchtung ist möglich (vgl. Kist, s.a.). Dadurch kann beispielsweise die Sichtbarkeit von Fußgänger:innen oder Radfahrer:innen im Straßenverkehr erhöht werden. An einem Stoff, der kinetische in elektrische Energie

umwandelt, wird derzeit geforscht (vgl. Kist, s.a.). Diese Technologie bietet ein großes Potenzial für Innovationen in der Textilindustrie.

Durch **Virtual Reality** und **Augmented Reality** können verschiedene Designs virtuell durchprobiert werden. So müssen nicht extra Probemodelle für Kleidungsdesigns hergestellt werden und Kund:innenwünsche können vor der Fertigung noch berücksichtigt werden. Außerdem kann Kleidung durch diese Technologien, noch bevor sie hergestellt wurde, virtuell anprobiert werden. Die Kleidungsstücke können dann erst nach Bestellung durch die Kund:innen hergestellt werden. Ebenso sind Modenschauen in virtuellen Showrooms möglich (Virtual Reality Magazin, 2019). Die Herstellung von Kleidung und Textilien verursacht viele Umweltbelastungen. Virtual Reality und Augmented Reality bieten eine Möglichkeit vor allem im Bereich der Fast Fashion eine nachfrageorientiertere Produktion zu etablieren.

**Fertigung 4.0** kann für die Optimierung von Verfahren in der gesamten Prozesskette der Textilproduktion sorgen (vgl. Plattform Industrie 4.0, 2020). So kann beispielsweise bei der Herstellung synthetischer Fasern, dem Weben von Stoffen oder dem Vernähen der Stoffe zu Kleidung effizienter erfolgen und damit Energie eingespart werden. Dadurch werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Textilherstellung reduziert.

Ein großer Teil der produzierten Textilfasern ist synthetisch und basiert auf fossilen Rohstoffen. **Chemisches Recycling** ermöglicht die Verwertung dieser Fasern (vgl. Vogel et al., 2020). So können Sekundärkunststoffe hergestellt und Rohstoffkreisläufe im Sinne der Kreislaufwirtschaft geschlossen werden.

### 3.5 Fazit der Nachhaltigkeitsbewertung disruptiver Technologien

Die Ergebnisse der Nachhaltigkeitsbewertung haben gezeigt, dass die Schwerpunkte sowie auch die Breitenwirkung der jeweiligen disruptiven Technologien sehr unterschiedlich sind und demnach je nach Priorisierung im Bereich der Nachhaltigkeit oder je nach Branchenfokussierung die Technologien stark variieren können. Der Schwerpunkt dieses Projektes wurde auf den Bereich der **Ökologie** gelegt. Dabei müssen im Speziellen mögliche negative Folgen in anderen Nachhaltigkeitsdimensionen ebenfalls mitberücksichtigt werden, um die tatsächlichen Beiträge zur Verbesserung der Nachhaltigkeit beurteilen zu können.

Insgesamt haben sich einige Technologien herauskristallisiert, die sehr großes Potential für eine nachhaltige Sachgüterproduktion haben. Im Bereich der **Ressourcen- und Energieeffizienz** sind dabei die bedeutendsten Technologien:

*CCU, Intelligente Sensoren, Logistik 4.0, Mikroelektromechanik und OLED.*

Wenn der Schwerpunkt im Bereich der **stofflichen Nutzung erneuerbarer und rezyklierbarer Stoffe** liegt, dann ändern sich auch hier die favorisierten Technologien, die dann die Folgenden sind:

*Biologisch abbaubare Sensoren, Distributed-Ledger-Technologie, Enzymatische Abfallaufbereitung, Hydrothermale Verflüssigung und Lichtbogenöfen.*

Technologien mit dem höchstem **Klimaschutzpotenzial** zeigen wiederum einen deutlichen Fokus auf energiespezifische Technologien, welchen das größte Potenzial zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen zugeschrieben wird:

*CCU, Logistik 4.0, OLED, Wasserstoff, Intelligente Sensoren und Virtual Reality.*

In Hinblick auf die unterschiedlichen **Branchen der österreichischen Sachgüterproduktion** ist ebenfalls eine sehr große Streuung hinsichtlich der dominierenden Technologien auf dem Weg zur Nachhaltigkeit zu erkennen. Einige Technologien, wie beispielsweise das chemische Recycling, sind auf einzelne Branchen (z. B. Chemie, Textil) fokussiert. Andere Technologien hingegen sind grundsätzlich breit einsetzbar, können aber wegen ihrer Fokussierung auf einzelne Aspekte der Wertschöpfungskette nur in einer begrenzten Anzahl an Unternehmen angewandt werden (z. B. additive Fertigung im Bereich der Formgebung). Über fast alle Branchen hinweg zeigen sich allerdings einige wenige Technologien, die für den Großteil der österreichischen Sachgüterproduktion in Hinblick auf eine gesteigerte Nachhaltigkeit von Bedeutung sind. Es handelt sich dabei mit **Fertigung 4.0 und Logistik 4.0** um Digitalisierungstechnologien auf der einen Seite und um die beiden Werkstofftechnologien **CCU und Wasserstoff** auf der anderen Seite.

# 4 Stärkung disruptiver Technologien durch die FTI-Politik

Die Anregungen zur Weiterentwicklung und Verbesserung des österreichischen Innovationsystems sowie die konkrete Förderung der vielversprechendsten Technologien im Kontext einer (ökologisch) nachhaltigen Sachgüterproduktion wurden auf Basis folgender Aktivitäten, die im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden, entwickelt:

- eine umfangreiche Literaturrecherche
- eine Analyse des Global Innovation Index sowie des Eco-Innovation Index,
- ein Ländervergleich der fünf „Innovation-Leaders“ auf Basis der Ländersteckbriefe des Eco-Innovation Index 2019 (siehe Anhang)
- Inputs aus den beiden Online-Umfragen
- Inputs aus den beiden Expert:innen-Workshops

## 4.1 Die Innovationskraft Österreichs im Ländervergleich

Vergleicht man die Innovationskraft von Volkswirtschaften anhand verschiedener Indizes, zeigt sich, dass Österreich im Ländervergleich häufig im oberen Mittelfeld positioniert ist. Seit 2007 ist allerdings ein stagnierender Trend bzw. eine Verschlechterung zu beobachten (Abbildung 26). Die pinke Line repräsentiert die jeweiligen Mittelwerte der fünf abgebildeten Indizes von 2007 bis 2018.

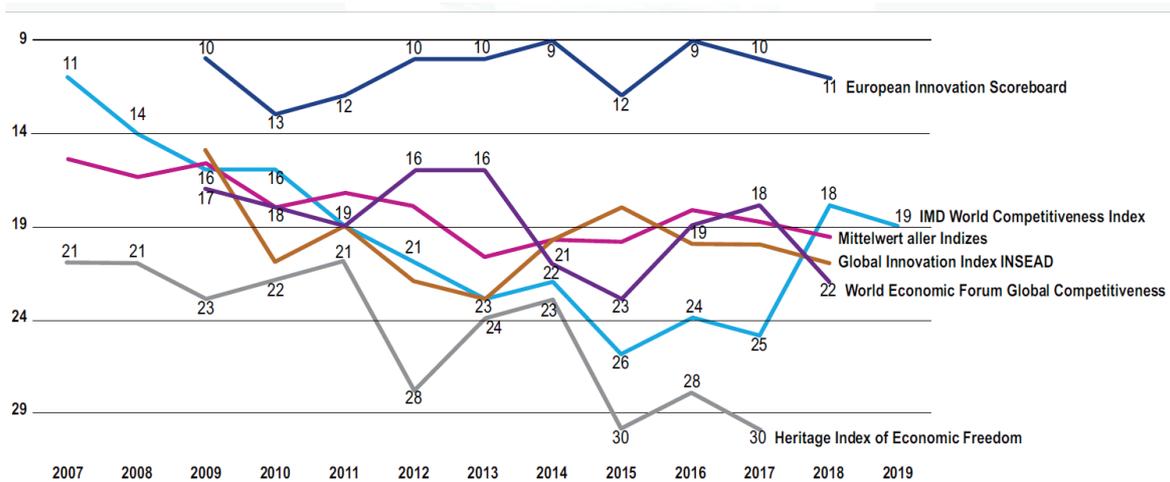


Abbildung 26: Übersicht über die Positionierung Österreichs in 5 einschlägigen internationalen Rankings (austrian council, 2019)

Die österreichische Forschungsquote liegt deutlich über dem EU-Durchschnitt. Sie betrug für 2019 3,10 % und ist, hinter Schweden (3,40 %) und Deutschland (3,18 %), die dritthöchste in der EU-27 (vgl. Statistik Austria, 2021). Im Folgenden wird die Position Österreichs im Ranking des Global Innovation Index und des Eco-Innovation Index detaillierter analysiert.

#### 4.1.1 Global Innovation Index

Der GII 2021 vergleicht 132 Länder, die 94,3 % der Weltbevölkerung und 99,0 % des globalen BIP repräsentierten. Die Innovationskraft der Länder wird dabei anhand von 81 Indikatoren bewertet, die thematisch nach "Institutions", "Human Capital and Research", "Infrastructure", "Market Sophistication", "Business Sophistication", "Knowledge and Technology Output" und „Creative Outputs“ untergliedert werden. Auch das Abschneiden Österreichs im Global Innovation Index (GII) (Abbildung 26, gelbe Linie) zeigte in den letzten Jahren einen negativen Trend (vgl. Global Innovation Index, 2022).

Österreich belegte im Jahr 2021 global den 18. und innereuropäisch den 10. Platz. Die länderspezifischen Stärken und Schwächen Österreichs sind in Tabelle 11 dargestellt (vgl. Global Innovation Index, 2021).

Tabelle 12: Gegenüberstellung länderspezifischer Stärken und Schwächen Österreichs anhand ausgewählter Indikatoren des GII 2021 (Global Innovation Index, 2021)

### Strengths and weaknesses for Austria

Strengths			Weaknesses		
Code	Indicator name	Rank	Code	Indicator name	Rank
1.2	Regulatory environment	6	1.3.1	Ease of starting a business	98
1.2.2	Rule of law	7	4.1.1	Ease of getting credit	88
1.2.3	Cost of redundancy dismissal	1	4.2	Investment	71
2.2	Tertiary education	4	4.2.2	Market capitalization, % GDP	46
2.3.1	Researchers, FTE/mn pop.	8	4.2.4	Venture capital recipients, deals/bn PPP\$ GDP	41
2.3.2	Gross expenditure on R&D, % GDP	5	5.3.2	High-tech imports, % total trade	61
3.1.3	Government's online service	7	5.3.4	FDI net inflows, % GDP	126
3.1.4	E-participation	6	6.1.3	Utility models by origin/bn PPP\$ GDP	34
3.2.2	Logistics performance	4	6.2.1	Labor productivity growth, %	91
3.3.2	Environmental performance	6	6.2.2	New businesses/th pop. 15–64	91
4.3.2	Domestic industry diversification	5	7.2.4	Printing and other media, % manufacturing	52
5.2.3	GERD financed by abroad, % GDP	4			
6.3.2	Production and export complexity	6			

Im Kontext einer nachhaltigen Sachgüterproduktion können als Stärken unter anderem die große Anzahl an Forscher:innen (Vollzeitäquivalente pro Million Einwohner:innen), die hohen Nettoausgaben für F&E (% BIP), die sehr gute ökologische Performance sowie die hohe Diversität der österreichischen Wirtschaft hervorgehoben werden. Relative Schwächen bestehen hingegen in den Bereichen Unternehmensgründung, Kreditvergabe, Marktkapitalisierung (% BIP) sowie bei der Verfügbarkeit von Risikokapital.

Betrachtet man das Input- zu Outputverhältnis von Innovationssystemen im Ländervergleich, so zeigt sich, dass Österreich hier unter dem Durchschnitt der betrachteten Volkswirtschaften liegt (Abbildung 27).

## Innovation input to output performance

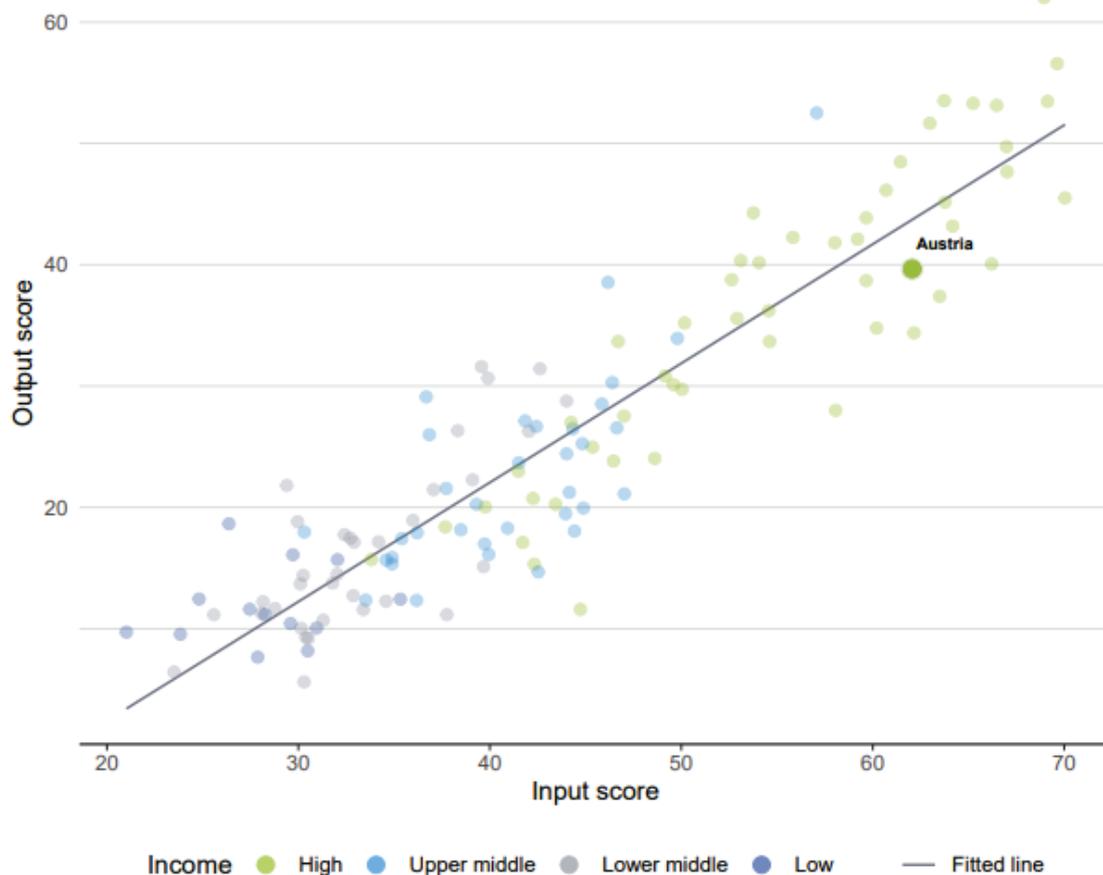


Abbildung 27: Das Streudiagramm stellt Innovations-Inputs (x-Achse) und –Outputs (y-Achse) gegenüber. Anhand der Regressionsgeraden wird deutlich, dass Österreich hier unterdurchschnittlich abschneidet (Global-Innovation-Index, 2021)

### 4.1.2 Eco-Innovation Index

Im Kontext einer innovativen nachhaltigen Sachgüterproduktion ist auch der Eco-Innovation Index von besonderem Interesse. Dieser bewertet die Performance der europäischen Länder im Bereich Eco-Innovationen anhand von 16 Indikatoren, die den fünf Gruppen "Eco-Innovation Inputs", "Eco-Innovation Outputs", "Ressource Efficiency Outcomes", "Socioeconomic Outcomes und "Eco-Innovation Activities" zugeordnet werden. Österreich belegte im Jahr 2021 mit 150 Punkten den dritten Platz hinter Luxemburg und Finnland (vgl. Europäische Kommission, 2021).

Dabei schneidet Österreich in den fünf Kategorien sehr unterschiedlich ab. Abbildung 28 veranschaulicht diesen Sachverhalt auf Basis von Daten aus dem Jahr 2019.

Damals belegte Österreich “nur“ den fünften Rang mit einem Gesamtergebnis von 141 Punkten.

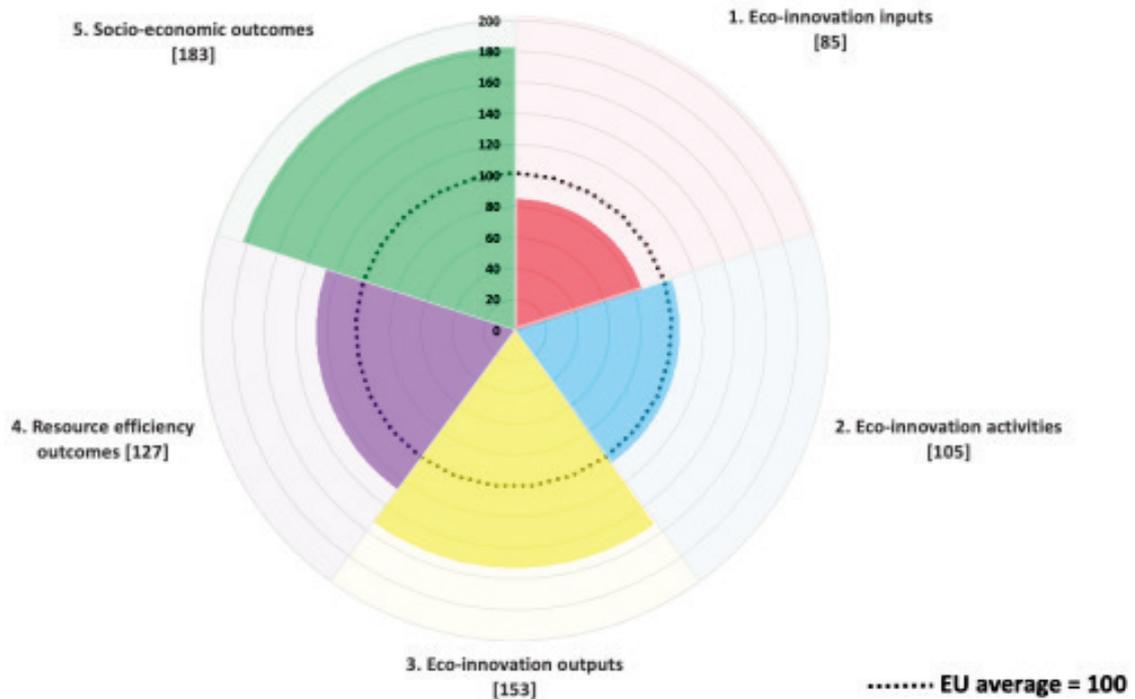


Abbildung 28: Performance der 5 Kategorien im Verhältnis zum EU-Schnitt (punktiertes Ring), Quelle: Eco-Innovation Index 2019

Es zeigt sich, dass alle Bereiche, mit Ausnahme der “Eco-Innovation Inputs“, über dem EU-Durchschnitt (gestrichelter Ring) liegen. Besonders hervorzuheben ist dabei der Bereich “Socio-economic Outcomes“.

Betrachtet man die Performance Österreichs auf Basis der 16 Indikatoren, werden die Unterschiede noch deutlicher (Abbildung 29). Der Indikator “Employment in eco-Industries“ liegt fast vierfach über dem europäischen Durchschnitt und der Indikator “Turnover in eco-industries“ entspricht 200 % des europäischen Durchschnitts.

Im Gegensatz zeigen die Indikatoren “Governments environmental and energy R&D appropriations and outlays“ sowie “Total value of green early stage investments (per capita)“ eine unterdurchschnittliche Leistung Österreichs.

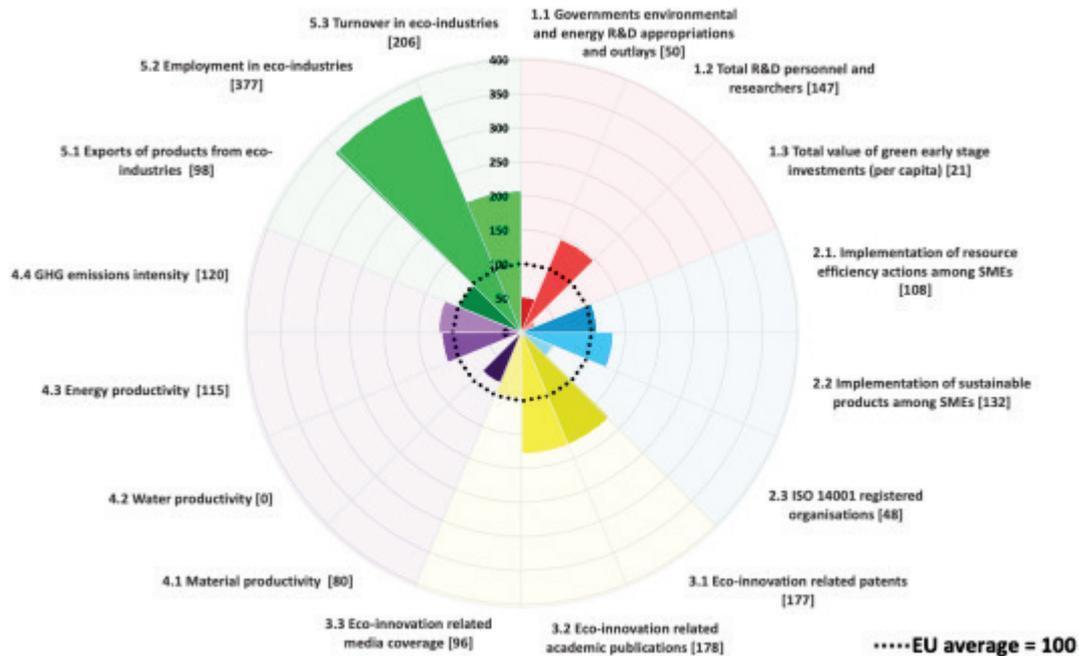


Abbildung 29: Performance Österreichs anhand der 16 Indikatoren des Eco-Innovation Index relativ zum EU-Durchschnitt (Eco-Innovation Index, 2019)

Es zeigt sich allerdings auch, dass Österreich einen starken Output im Bereich einschlägiger wissenschaftlicher Publikationen “Eco-innovation related academic publications“ und “Eco-Innovation Patents“ aufweist. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 30 dargestellt. Hier werden die relativen staatlichen Ausgaben für F&E im Bereich Umwelt und Energie (in % des BIP) dem Output an grünen Patenten relativ zu Bevölkerungsanzahl gegenübergestellt. Im Streudiagramm liegt Österreich deutlich über der Regressionsgeraden, was auf ein positives Input- zu Outputverhältnis schließen lässt.

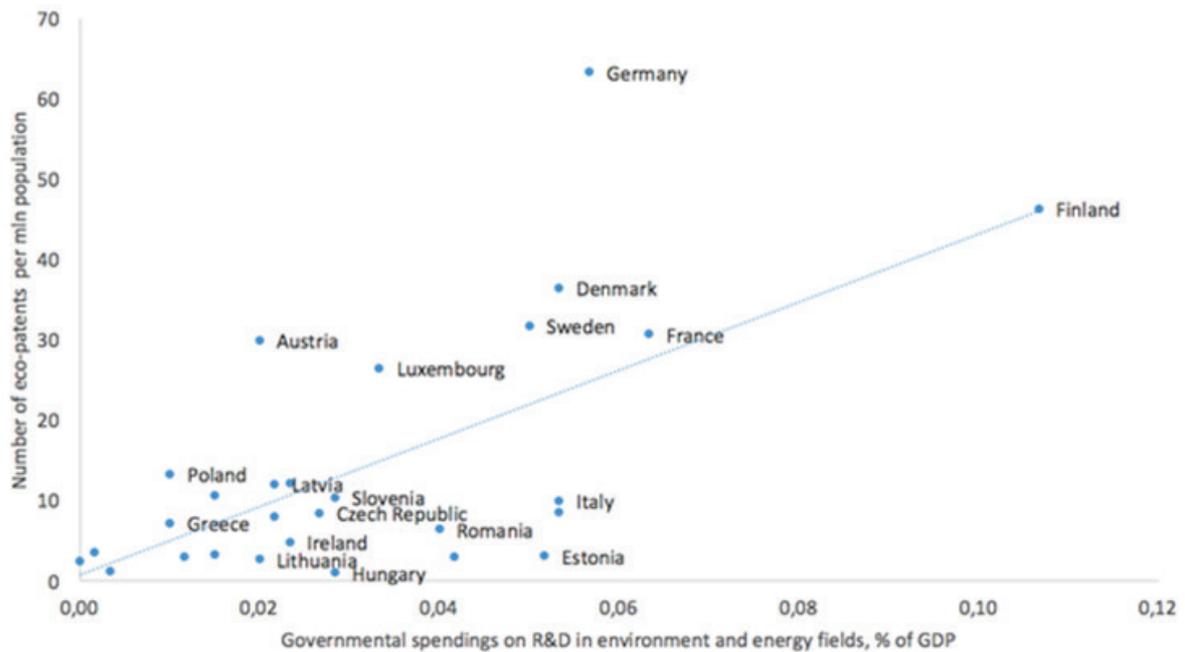


Abbildung 30 Gegenüberstellung der prozentuellen Ausgaben für Einschlüsse F&E-Forschung (x-Achse) mit dem Output an Patenten relativ zur Bevölkerungsanzahl (y-Achse) (Eco-Innovation, Index 2021)

### 4.1.3 Schlussfolgerungen

In vielen Indizes, einschließlich des GII, nimmt Österreich eine Platzierung im oberen Mittelfeld ein. Der Trend der letzten Jahre ist allerdings stagnierend bis rückläufig.

Laut GII liegt das Verhältnis von Inputs- zu Outputs, d. h. die Effizienz des FTI-Systems unter dem EU-Durchschnitt. Die größten Schwachpunkte sind im Bereich der Unternehmensgründung und Finanzierung verortet.

Im Bereich Eco-Innovation gehört Österreich aktuell zu den Innovation Leaders. Auch wenn GII und Eco-Innovation-Index nicht vollumfänglich vergleichbar sind, da sie auf unterschiedlichen Indikatoren fußen, kann man dennoch davon ausgehen, dass sich Österreichs FTI-System im Bereich Eco-Innovation effizienter zeigt, als wenn man Innovation gesamtheitlich betrachtet. Es kann also angenommen werden, dass Österreich im Bereich Eco-Innovation kompetitive Vorteile besitzt.

## 4.2 Ergebnisse des Ländervergleichs

In dem Kurzbericht „Good Practices“ (siehe Anhang) wird die Innovationspolitik im Bereich Eco-Innovation von Luxemburg, Finnland, Schweden, Dänemark und Deutschland zusammengefasst. Diese Länder führen das Ranking des Eco-Innovation Index an und werden als „Innovation-Leader“ bezeichnet. Aus diesem Ländervergleich können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Zur Identifizierung von Best-Practice Ansätzen im Bereich der Innovationspolitik im Kontext einer nachhaltigen Sachgüterproduktion eignen sich Ländervergleiche nur bedingt, zu verschieden sind die jeweiligen länderspezifischen Gegebenheiten. So können Maßnahmen nicht ohne weiteres von einem Land auf ein anderes umgelegt werden.
- Jene Länder, die als Innovation Leader gelten, fördern gezielt ihre jeweiligen Stärkefelder. So engagiert sich beispielsweise Finnland verstärkt im Bereich der holzbasierten Bioökonomie.
- Laut Eco-Innovation Index gehört Österreich aktuell (Stand 2021) zu den Innovation Leadern, mit einem sehr guten Output zu Input Verhältnis im Bereich der Ökoinnovationen.
- Von den behandelten Ländern ist das Innovationssystem Deutschlands am ehesten mit Österreich vergleichbar. Ein hervorzuhebender Unterschied sind die höheren staatlichen Ausgaben für F&E im Bereich Umwelt und Energie.
- Der Eco-Innovation Index 2019 nennt als besondere Herausforderungen für das österreichische Innovationssystem:
  - Die Kleinteiligkeit der österreichischen Unternehmenslandschaft wirkt sich limitierend auf Personal- und Kapitalressourcen aus. Diese limitierten Mittel können im Kontext von Entwicklungsaktivitäten, internationaler Vernetzung und Großprojekten zu Einschränkungen führen.
  - Diese strukturellen Gegebenheiten erschweren die Schaffung einer gemeinsamen F&E-Infrastruktur und Synergien zwischen einzelnen Unternehmen und Regionen.
  - Als weitere Hemmnisse werden regulatorische Rahmenbedingungen wie beispielsweise unzureichende steuerliche Anreize für grüne Innovationen gesehen.

# 5 Zentrale Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Zentrale Ergebnisse des Projekts Tech4Green sind der Beispielkatalog für disruptive Technologien sowie die Handlungsempfehlungen für die österreichische FTI-Politik.

Der Beispielkatalog umfasst 25 Technologiesteckbriefe, die die Ergebnisse aus Technologiematrix und Nachhaltigkeitsbewertung zusammenfassen. Zentrale Elemente der Steckbriefe sind eine Kurzbeschreibung der Technologien, die konsolidierte Darstellung der Nachhaltigkeitsbewertung, eine Beschreibung des disruptiven Charakters sowie des Forschungsbedarfes. Darüber hinaus zeigen die Steckbriefe die Entwicklung der Technologie hinsichtlich des Technology Readiness Levels (TRL) und des Manufacturing Readiness Levels (MRL) sowie die Anwendungsbreite und Treibhausgasrelevanz. Die Steckbriefe wurden für folgende disruptive bzw. potenziell disruptive Technologien in der Sachgüterproduktion ausgearbeitet:

Tabelle 13: Steckbriefe „Ausgewählte Technologien für die Sachgüterproduktion“

Additive Fertigung	Fertigung 4.0	Mikrobielle Brennstoffzelle
Augmented Reality	Fertigung mittels Ultrakurzpuls laser	Mikroelektromechanische Systeme
Biologisch abbaubare Sensoren	Hologramme	Nanotechnologien
Carbon Capture & Utilization	Hydrothermal Liquefaction	Organische Leuchtdioden (OLED)
Chemisches Recycling	Intelligente Sensoren (Edge Computing)	Smarte Textilien
Distributed Ledger Technologien	IT mittels Optoelektronik	Virtual Reality
Drohnen	Künstliche Intelligenz	Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger
Enzymatische Abfallaufbereitung	Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen	
Exoskelette	Logistik 4.0	

Der Beispielkatalog inklusive der 25 Technologie-Steckbriefe befindet sich im Anhang.

## 5.1 Handlungsempfehlungen zur Weiterentwicklung des österreichischen Innovationssystems

Die im Projekt Tech4Green erarbeiteten Handlungsempfehlungen für die österreichische FTI-Politik leiten sich aus der Synthese der Ergebnisse folgender Projektaktivitäten ab:

- den Online-Umfragen,
- der Metaanalyse themenrelevanter Patentrecherchen,
- einer umfassenden technologiespezifischen Recherche relevanter wissenschaftlicher Literatur,
- Inputs aus zwei Stakeholder- Workshops,
- der durchgeführten Nachhaltigkeitsanalyse,
- einer umfassenden Recherche zur Innovationspolitik im Kontext grüner und disruptiver Technologien sowie
- einer Analyse des Rankings Österreichs im Rahmen der Global Innovation Index und des Eco-Innovation-Index, und des Ländervergleichs ab.

Die identifizierten Maßnahmen wurden strukturiert und den drei Dimensionen des von Janger und König (2020) entwickelten Zielsystems zugeordnet. Die drei Zieldimensionen der Leistungsfähigkeit eines FTI-Systems umfassen (vgl. Janger & König 2020):

- die Leistung des FTI-Systems (Quantität und Qualität der Wissensproduktion),
- die Wirkung (wirtschaftliche und gesellschaftliche Wissensnutzung) und
- die Richtung (in Hinblick auf gesellschaftliche Prioritäten und Herausforderungen – Wo soll das Wissen angewandt werden?).

In den folgenden Unterkapiteln werden daher die identifizierten Maßnahmen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des FTI-Systems im Kontext einer nachhaltigen Sachgüterproduktion anhand dieses Zielsystems dargestellt.

## Dimensionen der Innovationskraft des FTI-Systems

Missionsorientierung - F&E-Beitrag zur Lösung gesellschaftlicher Probleme



Abbildung 31: Dimensionen der Innovationskraft des FTI-Systems (eigene Darstellung, angelehnt an Janger & König 2020)

### 5.1.1 Maßnahmen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit des österreichischen Innovationssystems

#### Finanzierung und Förderung

- Erhöhung der staatlichen F&E- Ausgaben: Verstärktes Augenmerk sollte hier auf die gezielte Förderung von österreichischen Stärkefeldern besonders im Bereich Eco-Innovation gelegt werden. Als Benchmark kann hier Deutschland dienen, da das Land 0,08 % des BIPs für F&E im Bereich Umwelt und Energie aufwendet, was dem Doppelten des EU-Durchschnitts entspricht. Weiteres sollten Fördermittel verstärkt in die Grundlagenforschung fließen, da diese das Fundament für jegliche Art von Innovation darstellt.
- Adaptierung der Instrumente: Zur Förderung potenziell disruptiver Technologien sollten vermehrt brachenübergreifende kooperative F&E-Projekte sowie Reallabore (bspw. Living Labs) unter Einbindung der Zivilgesellschaft im Fokus

stehen. Die eingesetzten Förderinstrumente sollten zudem ein Out-of-the-Box-Thinking ermöglichen und Raum für ergebnisoffene Forschung lassen. Besonders zu berücksichtigen ist weiters die umfangreiche Testung neuer Technologien insbesondere auch auf ihr potenzielles Wirken am Markt. Ein weiterer Fokus sollte demnach auf der Förderung von Pilotanlagen, Reallaboren sowie Marktsimulationen liegen. Der Umstand, dass disruptive Innovationen nicht zwangsläufig große technologische Sprünge bedingen, sondern auch bestehende Technologien in neuem Kontext verknüpft werden können, sollte insbesondere bei der Festlegung der förderbaren TRLs mitbedacht werden. Förderinstrumente sollten zudem so gestaltet werden, dass auch kleine Start-Ups die Förderanforderungen erfüllen können. Hier könnte eine Strategie sein, viele kleinere Projekte zu fördern, da die Ausfallquote recht hoch ist. Die Bevorzugung von Low-risk-Forschung erhöht in der Regel nicht die Wahrscheinlichkeit der Entstehung neuer Technologien, es sollte somit die Bereitschaft, risikobehaftete Projekte zu fördern, erhöht werden.

- **Stärkung des österreichischen Risikokapitalökosystems:** Die Verfügbarkeit von Venture Capital sollte forciert werden. Maßnahmen dazu sind beispielweise die Einführung eines Investitionsfreibetrags, Venture Fonds sowie die Schaffung weiterer gezielter Anreize für private wie auch institutionelle Investor:innen. Auch eine verstärkte Bewusstseinsbildung von Anleger:innen ist anzustreben.

### **Strukturelle Aspekte**

- **Internationale Arbeitskräfte:** Die Attraktivität des Standorts Österreich für hochqualifizierte internationale Arbeitskräfte sollte erhöht, sowie der Abwanderung heimischer Schlüsselkräfte entgegengewirkt werden. Im Kontext einer wissenschaftlichen Karrierelaufbahn in Österreich müssen diesbezüglich verstärkt Anreize gesetzt werden. Da universitäre Forschung im Vergleich zu einer akademischen Tätigkeit in der Privatwirtschaft im Allgemeinen schlechter entlohnt wird, müssen die Rahmenbedingungen für Forscher:innen ungleich attraktiver gestaltet werden. Bürokratieabbau im Forschungsbetrieb sowie die Schaffung von langfristigen Perspektiven gerade für junge Forscher:innen werden von Stakeholdern diesbezüglich thematisiert. Die Umsetzung von Maßnahmen, die zu einer Attraktivierung einer wissenschaftlichen Karriere beitragen, ist ein wesentlicher Hebel, um Innovationen voranzutreiben, ohne dazu zwangsläufig finanzielle Mittel einsetzen zu müssen.
- **Tertiärer Bildungsbereich:** Im tertiären Bildungsbereich sollte die Quote der MINT-Studiengangabsolvent:innen erhöht werden. Einschlägige Informationsangebote, attraktive Studien- und Weiterbildungsangebote sowie die stärkere

Berücksichtigung von Diversität würden hier positive Anreize setzen. Eine konkrete Maßnahme zur Steigerung der Attraktivität einschlägiger Studiengänge ist die Schaffung von bezahlten Praktikumsstellen. Auch die Perspektive auf attraktive Stellen in der Wissenschaft erhöht die Attraktivität dieser Studiengänge. Um die Abschlussquoten zu erhöhen, sollte weiters die Lehre an die Lebensrealität der Student:innen angepasst werden. Einen Ausbau des Online-Angebots sowie Möglichkeiten zur flexiblen Zeiteinteilung, bspw. Durch Teilzeitmodelle u. ä., würden hier positive Effekte bewirken.

### **Allokation von Fördermitteln**

- Langfristige Verankerung von Nachhaltigkeitsaspekten: Die Erfüllung von Nachhaltigkeitsaspekten sollte eine verpflichtende Anforderung für den Erhalt von Fördermitteln sein. Hier sind Bewertungskriterien zu etablieren, die eine bestmögliche Plausibilisierung ermöglichen. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die Kriterien aussagekräftig sind, die Antragsteller:innen aber auch nicht überfordern. Eine quantitative Abschätzung ist zwar wünschenswert, jedoch nicht immer realisierbar. Gerade bei sehr innovativen neuartigen Projekten kann eine seriöse Abschätzung schwierig sein.
- LCA fördern: Methoden wie LCA (Life Cycle Assessment) ermöglichen die Abschätzung sowie Vergleichbarkeit von Projekten und können ein Hilfsmittel für eine effektive Allokation von Fördermitteln darstellen. Da eine genaue Analyse die Möglichkeiten vieler Förderwerber:innen übersteigt, sollte vorrangig auf vereinfachte Abschätzungen und Skizzierungen fokussiert werden.
- Gezielte Förderung von Schlüsseltechnologien: Schlüsseltechnologien zur Etablierung einer nachhaltigen Sachgüterproduktion sollten gezielt gefördert werden. Vielversprechende Technologien und deren mögliche Forschungsschwerpunkte wurden im Rahmen der gegenständlichen Studie erarbeitet und in einem Beispielkatalog für disruptive Technologien (siehe Anhang) zusammengefasst.
- Im Rahmen der Marktpotenzialabschätzung könnte eine Skizzierung in Form eines Trajectory Mappings nach Clayton Christensen dazu beitragen, mögliche disruptive Technologien zu detektieren.
- Förderanträge und Verfahren sollten verkürzt und rationalisiert werden. Von zu umfangreichen Antragsanforderungen sollte abgesehen werden, um gerade Unternehmen und Start-Ups eine Einreichung zu ermöglichen. Diese können die Treiber für disruptive Innovationen sein. Auch im Bereich von Projektreporting sowie Management sollten Rationalisierungsmaßnahmen ergriffen werden, um

Ressourcen in der eigentlichen Forschungsarbeit zu bündeln. Derzeit müssen Forschende sehr viel Zeit für Nebentätigkeiten aufwenden, die folglich für die eigentliche Forschungstätigkeit fehlt (nach Stakeholderaussagen tlw. über 70 % der Zeit).

## **5.1.2 Maßnahmen zur Verbesserung der Wirkung des österreichischen Innovationssystems**

### **Finanzielle Anreize und Kapitalbeschaffung**

- Anreize für private und institutionelle Anleger:innen schaffen: Finanzielle Anreize für private Anleger:innen können beispielsweise mithilfe eines Investitionsfreibetrags realisiert werden. Die Etablierung eines Dachfonds für Venture Capital würde im Bereich der institutionellen Anleger:innen wie bspw. Pensionsfonds zusätzliche Anlegemöglichkeiten schaffen.
- Bewusstseinsbildung von Anleger:innen: Österreichische Anleger:innen investieren eher konservativ und risikoavers. Durch Bildungsmaßnahmen im Bereich Investment könnte die Bereitschaft zu Risikokapitalinvestments erhöht werden.
- Etablierung einer Business Angel Kultur: Die individuelle Förderung von Jungunternehmen durch Business Angels sollte als zusätzliches Standbein der Frühfinanzierung gefördert werden.
- Verpflichtende ESG Kriterien schaffen: ESG-Kriterien (Environment Social Governance) bieten eine Hilfestellung für Investoren, die nachhaltige Investments tätigen möchten. Im Zuge der EU-Taxonomie sind Maßnahmen, die in diese Richtung gehen bereits in Vorbereitung.
- Drastische Erhöhung von Fördermitteln für Start-Ups und SMEs besonders im Bereich High-Tech. Hier ist das Ausfallrisiko sehr hoch, jedoch wird die Reputation des Forschungsstandorts Österreich dadurch gestärkt und die Chance auf die Entstehung disruptiver Innovationen erhöht.

### **Ausbau von Netzwerken und Kooperationen**

- Zukunftsgründer:innen in Netzwerken begleiten und fördern: Gerade innovative Start-Ups und Jungunternehmen profitieren von einer zielgerichteten Begleitung und Förderung. Fehlt diese, können auch vielversprechende Vorhaben scheitern. Die Möglichkeiten diese Unterstützung effektiv zu gewährleisten, sollten

sukzessive ausgebaut und weiterentwickelt werden. Die gezielte Vernetzung österreichischer PostDocs kann hier als weitere sinnvolle Maßnahme dienen.

- **Branchenübergreifende Vernetzung:** Die Etablierung einer kreislauffähigen Ökonomie macht eine engmaschige Vernetzung quer über Branchen und Wertschöpfungsketten hinweg immer wichtiger. Hier besteht noch großer Optimierungsbedarf. Gerade auch der sichere Austausch von unternehmensinternen Daten ist ein sensibles wie auch wichtiges Thema.
- **Verstärkte internationale Kooperationen:** Gerade Kerntechnologien wie Wasserstoff und CCU (Carbon Capture & Utilization) können nur paneuropäisch effektiv etabliert werden. Hier bedarf es das verstärkte Engagement in europäischen Projekten. Aber auch internationale Kooperationen außerhalb Europas, nicht zuletzt mit Innovation Leadern wie beispielsweise den USA oder Südkorea, tragen zur Stärkung des heimischen Innovationssystems bei.
- **Förderung von Green Innovation Hubs:** Green Innovation Hubs als räumliche Interaktionszone von Start-Ups und Technologieführern sollten verstärkt gefördert werden. Sie ermöglichen einen noch intensiveren Austausch der Akteure. Dazu ist es erforderlich, die notwendige Infrastruktur sowie für Technologieführer Anreize zu schaffen, sich hier stärker zu engagieren. Skandinavische Länder wie Dänemark und Schweden haben Vorbildfunktion bei der Umsetzung von Green Innovation Hubs.

### **Verstärkte Dissemination von Forschungsergebnissen**

- **Anwendungspotenzial für bestehende Technologien aufzeigen:** Um die Diffusion von neuen Technologien zu fördern ist es wesentlich die Potenziale der Technologie potenziellen Anwender:innen näher zu bringen. Die Anwendungspotenziale von Forschungsergebnissen und Entwicklungen sollten folglich einem möglichst breiten Publikum zugänglich gemacht werden. Die Dissemination sollte sich demnach nicht auf ein Fachpublikum beschränken, sondern z. B. auch über nicht-wissenschaftliche Medien die breitere Öffentlichkeit berücksichtigen.

### **Bürokratieabbau / Vereinfachte Verwaltungsverfahren und Unternehmensgründungen**

- **Vereinfachte Unternehmensgründung:** Gerade Unternehmensgründungen sollten vereinfacht werden, um die Innovationsleistung des österreichischen Innovationssystems zu steigern. Dazu sollten bürokratische Prozesse entrepreneurfreundlicher gestaltet werden, um Unternehmensgründungen

möglichst niederschwellig zu ermöglichen. Als Best-Practice-Beispiel kann in diesem Zusammenhang Neuseeland genannt werden, das eine besonders einfache Unternehmensgründung innerhalb eines Tages ermöglicht. Bürokratieabbau kann hier einen wichtigen Hebel darstellen, der zudem kostengünstig zu realisieren ist.

- Vereinfachung von Verwaltungsverfahren: Unnötige bürokratische Hürden mindern die Wirkung des Innovationssystems. Hier sollten unter Einbeziehung aller Stakeholdern Regulatorien geschaffen werden, die eine schnelle und effiziente Erledigung von Verfahren ermöglicht. Als Beispiel können UVP-Verfahren angeführt werden. Obwohl diese ein wichtiges Instrument darstellen, sind diese oft sehr langwierig und somit auch kostenintensiv für Unternehmen.
- Verbesserte Konditionen für Green-Start-Ups: Eco-Innovation zählt zu den Stärkefeldern Österreichs. Start-Ups in diesem Bereich sollten in besonderem Maße unterstützt werden, um die Diffusion von Forschungsergebnissen in die Realwirtschaft zu beschleunigen. Steuerliche Anreize könnten hier beispielsweise einen wirksamen Hebel darstellen.

### **5.1.3 Maßnahmen zur zielgerichteten Lenkung des österreichischen Innovationssystems**

#### **Regulatorische Maßnahmen**

- Regulatorien bzgl. Treibhausgas-Emissionen: Die Internalisierung von Kosten, die durch Emissionen entstehen, sollte forciert werden, um den Shift in Richtung THG-neutraler Technologien zu beschleunigen und deren Konkurrenzfähigkeit zu erhöhen. In jedem Fall ist eine möglichst realistische Abschätzung der durch die THG-Emissionen entstandenen Kosten notwendig. Eine definierte einschlägige Roadmap schafft hier Planungssicherheit für Unternehmen und dient auch als Anhaltspunkt für F&E.
- Förderungen an langfristige Ergebnisse koppeln: Gerade die langfristigen Auswirkungen sollten im Fokus stehen, wenn das österreichische Innovationssystem effektiv nachhaltig ausgerichtet werden soll. Dabei sollte das Innovationssystem in regelmäßigen Abständen dahingehend evaluiert werden, inwieweit die gewünschten Ergebnisse erzielt werden, oder eine Adaption erforderlich ist.
- Faire, nachvollziehbare „Nicht-Nachhaltigkeitssteuern“: Eine Einführung von Steuern in Form eines Stufenplans hätte Lenkungseffekte hin zum nachhaltigen

Wirtschaften. Dabei sind nicht nur Treibhausgasemissionen von Belang, sondern auch der Ressourcenverbrauch und die Schadstoffbelastung der Umwelt.

- Etablierung der Kreislaufwirtschaft: Grüne Innovationen ermöglichen erst die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft. Um deren Entwicklung zu Beschleunigung sollten verbindliche Ziele vereinbart werden. Auch hier tragen verbindliche Ziele zur Planungssicherheit von Unternehmen und Forschungsinstitutionen bei.

### **Evidenzbasierte politische Entscheidungen**

- Politische Entscheidung auf Grundlage von LCAs: Um das österreichische Innovationssystem möglichst zielgerichtet nachhaltig auszurichten sollten Entscheidungen auf validen Daten beruhen. Dazu sind Instrumente von Nöten, die Nachhaltigkeit quantifizierbar machen. Der forcierte Einsatz einer LCA kann hier als mögliche Entscheidungsgrundlage dienen und wird von den befragten Stakeholdern oft thematisiert
- Verstärkte Anwendung von Bedarfsanalysen: Bedarfsanalysen sind ebenfalls ein Instrument datengestützte Entscheidungen zu treffen. Diesbezügliche Modelle müssen stets weiterentwickelt und verfeinert werden, um belastbare Aussagen treffen zu können.

### **Öffentliche Beschaffung**

- Erhöhung der Nachfrage nach innovativen Produkten: Die öffentliche Hand ist ein wichtiger Absatzmarkt für innovative österreichische Unternehmen. Mit dem Instrument der IÖB-Innovationsplattform (Innovationsfördernde Öffentliche Beschaffung) wurde bereits ein Meilenstein geschaffen, um die Nachfrage dahingehend positiv zu beeinflussen.

### **Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung**

- Best Practice Cases schaffen: Die Schaffung von Best Practice Cases kann als Aushängeschild fungieren und Nachahmer:innen inspirieren. Einschlägige Best Practice Cases sollten- wo immer möglich geschaffen- und entsprechend beworben werden.
- Bewusstseinsbildung: Steigt das Bewusstsein in der Bevölkerung steigt die Nachfrage nach nachhaltigen Produkten. Daraus ergibt sich ein unternehmerischer Anreiz einschlägige Entwicklungen voranzutreiben. Bewusstseinsbildung sollte demnach ein wesentliches Ziel öffentlicher Institutionen sein.

## **Missionsorientierung**

- Missionsorientierung der Forschung in Österreich weiter vorantreiben: Die forcierte Implementierung von missionsorientierten Programmen bzw. stärkere Orientierung bestehender Programme an den Missionen hat ebenfalls einen Lenkungseffekt, bezüglich des Engagements von Forschung und Entwicklung im Bereich der Lösung von ökologischen Herausforderungen sowie der nachhaltigen Transformation von Produktionssystemen.

## **Thematische Orientierung**

- Verstärkte thematische Ausrichtung der Forschungsförderung: Ein Großteil der österreichischen Forschungsförderung hat derzeit keinen thematischen Fokus. Die Aufstockung der Fördermittel der Forschungsförderung für die thematisch ausgerichteten Forschungsprogramme kann hier einen positiven Beitrag leisten, um das österreichische Produktionssystem in Richtung Nachhaltigkeit zu entwickeln. Dabei sollten vor allem Problemstellungen mit hoher Relevanz für die Nachhaltigkeit der Sachgüterproduktion, wie beispielsweise der Klimaschutz, adressiert werden.

In der Tabelle 21 im Anhang „Handlungsempfehlungen auf Technologieebene“ werden die oben dargestellten Handlungsempfehlungen hinsichtlich ihrer Eignung für die Förderung der in dieser Studie thematisierten Technologien qualitativ bewertet und dargestellt.

Abschließend werden in Tabelle 14 die FTI-Schwerpunkte für jene Technologien zusammenfassend dargestellt, die sehr großes Potenzial für eine ökologisch nachhaltige Sachgüterproduktion im Bereich Klimaschutz aufweisen.

Tabelle 14: Identifizierter Forschungsbedarf für disruptive Technologien mit großem Potenzial für eine nachhaltige Sachgüterproduktion im Bereich Klimaschutz

Technologie	Beitrag zum Klimaschutz	Forschungsbedarf
Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger	Diese Technologie kann fossile Energiequellen substituieren und somit einen erheblichen Teil der THG-Emissionen reduzieren, sofern der dafür benötigte Strom aus erneuerbaren Quellen kommt.	Elektrolyseure (z.B. Lebensdauer, Leistungsdichte); HER (hydrogen evolution reaction) Elektroden; Erhöhung des Wirkungsgrades im Stack; Verbesserung der Prozesseffizienz, Bedarf an Pilotanlagen; Photokatalytische Wasserstoffproduktion; Metallhydridbasierte Wasserstoffspeicher; grüne Wasserstoff für eine klimafreundliche Sektorkopplung; Leitprojekte, die die gesamte Wertschöpfungskette abbilden
Carbon Capture & Utilization	Die CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Nutzung verzögert die Freisetzung der CO <sub>2</sub> -Emissionen und leistet somit einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz. Bei fossilen verzögert sie, bei biogenen stellt sie eine Vertiefung der Nutzung biogener Ressourcen dar	Upscaling (Reaktorenauslegung), Chemische Synthese: geeignete Katalysatoren für höhere Ausbeuten entwickeln, Watergas-Shift Reaktion: geeignete Katalysatoren für höhere Ausbeuten entwickeln und technische Umsetzung von effizienten Elektrolyseverfahren, Biologische CO <sub>2</sub> -Fixierung durch Bakterien und Algen: Reaktorsysteme, Wirtschaftlichkeitsanalysen, Chemical looping zur Erzielung von hohen CO <sub>2</sub> -Konzentrationen im Abgas: Oxygen Carrier Auswahl, Kinetik und Prozessdesign, Sektor-Kopplung: Power-to-X mit CCU und Wasserstoff verknüpfen, Analyse Rohstoffbilanz für klimaschonende Kunststoffindustrie 2040, Leitprojekte
Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen	80% weniger THG-Emissionen als bei Stahlerzeugung über Hochofenroute	Feststellung der technischen Machbarkeit und Erprobung für die unterschiedlichen Industrieverfahren; Ermittlung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Auswirkungen für bzw. in den spezifischen Branchen; Prozessmodelle und Ökobilanzen zur Identifizierung von Verbesserungspotenzialen
Hydrothermal Liquefaction	Weniger THG-Emissionen durch Substitution von fossilem Erdöl.	HTL-Verfahren optimieren, Verfahren zur Weiterverarbeitung etablieren, Testläufe als Feed-in in die bestehende fossile Infrastruktur einpassen, Identifikation interessanter Rohstoffströme (Abfälle und Reststoffe), Konzepte zur ganzheitlichen Nutzung von Rohstoffen und Produkten, Nachhaltigkeitsbewertungen und bewusste Integration in die Kreislaufwirtschaft
Virtual Reality	Durch virtuelle Meetings THG-Emissionen für Anreise eingespart	Erarbeitung und Etablierung von internationalen Standards, Markt- und Branchenstudien zur Identifikation von möglichen Anwendungsfeldern und Geschäftsmodellen, Weiterentwicklung von virtuellen Umgebungen, um den Detaillierungsgrad zu steigern, Entwicklung von automatisierten Vermessungsverfahren, um reale Umgebungen relativ schnell virtualisieren zu können, Hardware-Entwicklung zur Verbesserung der Interaktionsmöglichkeiten in und mit der virtuellen Umgebung, Nutzen von VR/AR-Praxislösungen gezielt für Zukunftsszenarien einsetzen, z.B. Unterstützung/Ertüchtigung von Nicht-Fachkräften bei Fachkräftemangel, Quantifizierung der Wirkung in allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit

Technologie	Beitrag zum Klimaschutz	Forschungsbedarf
Chemisches Recycling	Der Einsatz von Sekundärmaterial reduziert die CO <sub>2</sub> -Emissionen der Herstellung fossiler Ressourcen.	chemisches Recycling gemischter Kunststoffabfälle, Erprobung von Pilot- und Demonstrationsanlagen im etablierten Sortierungssystem und bestehenden Prozessketten, Entwicklung von digitalen Modellen, Wasserstoffnutzung im chemischen Recyclingprozess, Untersuchung von Zuschlags- und Verstärkungstoffen, Prozessplastizität bei schwankenden Abfallqualitäten, Stoffstromanalysen und ganzheitliche Bewertungsverfahren (z. B. Abfallzusammensetzungen, Energiebilanzen), Wege zur Minimierung von Heteroatomen insbesondere Halogenen, WeitereEntwicklung von Depolymerisationsverfahren, Weiterentwicklung von Solvolyse-Verfahren, Rückgewinnung von Zellulose und Polyester aus textilen Mischfasern
Enzymatische Abfallaufbereitung	Durch Sekundärplastik wird Primärplastik ersetzt, dadurch werden weniger fossile Ressourcen verwendet und geringere THG-Emissionen verursacht.	Bereitstellung geeigneter Enzymsysteme; Prozessstabilität,-optimierung; Identifikation und Quantifizierung in Betracht kommender Abfallströme; Identifikation möglicher Anwendungen, Konzeptprüfungen und Erprobung von Anlagenprototypen; Upscaling; Umsetzung von ersten Pilotanlagen als Leuchtturmprojekte für weitere Anwendungen; Biotechnologie in der Umwelttechnik (bspw. Entfernung von Mikroplastik)
Intelligente Sensoren (Edge Computing)	Reduktion von THG-Emissionen durch reduzierten Energieverbrauch	Sensortechnik verbessern; Identifikation von Anwendungsfällen in der Industrie; Adaption der Steuerungstechnik hin zu mehreren und kleineren Regelkreisen; Erforschung und Etablierung von geeigneten Informationskanälen; Entwicklung von Konzepten zur Datensicherheit
Organische Leuchtdioden (OLED)	Weniger THG-Emissionen durch geringeren Energieverbrauch	Effizienz und Lichtausbeute weiter steigern; Verbesserung der Haltbarkeit; Etablierung von Wiederaufbereitungsanlagen und Recyclingprozessen; Resistenz gegen z. B. Wasser (Luftfeuchtigkeit) verbessern; verstärkte Nutzung durch die Anwendungsmöglichkeiten auf/in flexiblen Materialien
Fertigung 4.0	Weniger THG-Emissionen durch höhere Ressourcen- und Materialeffizienz.	Strategien des nachhaltigen Wirtschaftens in digitalen Wertschöpfungsnetzen entwickeln, Datengetriebene Geschäftsmodelle und Veränderungen der Erlösgenerierung, Flexible, modulare Produktionssysteme und ihre Systemarchitekturen, Weiterentwicklung der Komponenten (z. B. Künstliche Intelligenz, Sensorik, Aktorik oder Kommunikationstechnik), Virtualisierung von Produktionssystemen und Prozessen, Beherrschung von Komplexität, Software für kognitive Systeme – von reaktiver zu proaktiver Steuerung, Systems & Software Engineering für adaptive und zuverlässige Systeme, Physikalische und menschliche Schnittstellen und deren Integration, Extrahieren von Wissen aus heterogenen Datenquellen, Modellierung und Analyse von physischen und virtuellen Komponenten
Logistik 4.0	Autonomer Verkehr und autonome Logistik reduzieren Emissionen durch vorausschauendes Fahren	Demo- und Umsetzungsprojekte in sämtlichen Logistikbereichen etablieren; Augmented Reality in Logistik-Hubs erproben; halb- und vollautomatisierte Drohnen zur Unterstützung bei Inventurarbeiten entwickeln; Künstliche Intelligenz zur Optimierung von Arbeits- und Koordinationsaufgaben einbetten; Verifikation von AI-Systemen Sensordatenfusion: Synthetische Test- / Use Cases Entwicklung von Logistiknetzwerken

Technologie	Beitrag zum Klimaschutz	Forschungsbedarf
IT mittels Optoelektronik	Weniger THG-Emissionen durch bessere Energieeffizienz	Kostenreduktionen erzielen; neue Materialien erproben; Fertigung von Mikrostrukturen verbessern; Ressourceneffizienz weiter verbessern; Standardisierungen etablieren
Additive Fertigung	Die THG-Emissionen könnten durch den geringeren Energie- und Rohstoffeinsatz ebenfalls sinken.	Weitere industrielle Anwendungsfelder identifizieren; neue Materialien und Multimaterialien entwickeln; Etablierung von Materialdatenbanken und Normen; Verbesserung der Prozessstabilität; Weiterentwicklung von Prozesssimulationen;
Mikroelektromechanische Systeme	Reduktion von THG-Emissionen durch reduzierten Energie- und Kraftstoffverbrauch	Identifikation weiterer Anwendungen; Überführung von mikroelektronischen Erkenntnissen in den mikro-mechanischen Bereich; Etablierung von Bio-MEMS (Mikroelektromechanische Systeme); Kostenreduktionen bei bestehenden MEMS (Barometer, Mikrofone usw.)

# Glossar

**Innovationen** sind Produkte und Prozesse, die sich gegenüber dem vorangegangenen Zustand durch ihre Neuartigkeit unterscheiden. Diese Neuartigkeit muss in der Anwendung merkbar sein und das Produkt bzw. der Prozess auf dem Markt bzw. im innerbetrieblichen Prozess auch ankommen, also in diesem Punkt über die zugrundeliegende Invention hinausgehen (Hauschildt, 2005).

**Inkrementelle Innovationen** stellen evolutionäre Entwicklungen dar, die eine schrittweise Verbesserung und Optimierung von bereits bestehenden Produkten und Prozessen bedeuten. Diese Innovationen zielen oft auf Kostenreduktionen, Nutzenoptimierungen oder Marktadaptionen ab (Vahs & Brem, 2015).

**Radikale Innovationen** zeichnen sich durch einen hohen Innovationsgrad aus. Es sind revolutionäre und bahnbrechende Produkte und Prozesse wie zum Beispiel die Dampfmaschine, Eisenbahn, Elektrizität oder Flugzeuge aber auch neue Informationstechnologien oder Vermarktungskonzepte (Goffin et al., 2009).

Weniger häufig werden **semi-radikale Innovationen** in der Literatur genannt. Dabei wird unterschieden, ob die Innovation die eingesetzte Technologie, das jeweilige Geschäftsmodell oder beide Bereiche betrifft. Ändern sich beide Bereiche stark durch die Innovation, wird es als eine radikale Innovation eingestuft. Ist lediglich einer der beiden Bereiche neuartig, wird diese zu den semi-radikalen Innovationen gezählt. Sind sowohl Technologie als auch das Geschäftsmodell ähnlich dem bisherigen Status, ist es eine inkrementelle Innovation (Rustler, 2016).

**Disruptive Technologien** verdrängen oder haben bereits die konventionellen Technologien im relevanten Markt verdrängt. Technologien können sowohl durch inkrementelle als auch radikale Innovationen ihre Marktdiffusion derart beschleunigen, dass sie als disruptiv einzustufen sind. Dabei können disruptive Technologien ganze Marktgefüge (Geschäftsmodelle, Marktteilnehmer, Kund:innen-Anforderungen usw.) nachhaltig verändern.

## Sachgüterproduktion

“Wirtschaftliche Güter werden in Sachgüter, Dienstleistungen und Rechte gegliedert. Sachgüter sind materielle (körperliche) Güter, die unbeweglich (Immobilien) oder beweglich (Mobilien) sein können. Sachgüter werden in Produktionsgüter und Konsumgüter unterschieden. Produktionsgüter dienen der Herstellung anderer Güter. Diese können wie die Konsumgüter in Gebrauchs- und Verbrauchsgüter gegliedert werden. Gebrauchsgüter werden über einen längeren Zeitraum genutzt (z. B. Maschinen und Anlagen), Verbrauchsgüter dienen der einmaligen Nutzung (z. B. Material oder Treibstoff).” (Duden, 2016)

Die statistische Systematik der **Wirtschaftszweige** in der Europäischen Gemeinschaft (abgekürzt: NACE) dient der einheitlichen Klassifizierung von wirtschaftlichen Aktivitäten, wobei auf EG-Ebene ein weitreichendes Rahmenwerk vorgegeben wird, der auf nationaler Ebene nochmals weiter detailliert werden kann und soll. Aktuell wird die NACE-Revision 2 angewandt, die in Österreich zur ÖNACE 2008 weiter ausgearbeitet wurde. Die ÖNACE 2008 beruht auf fünf Ebenen, wobei die 21 Abschnitte die größte und die 701 Unterklassen die feinste Klassifizierung darstellen.

# Literaturverzeichnis

acatech (2018): CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie (acatech POSITION). München: Herbert Utz Verlag.

Aichinger, Michael (2015): Technologievergleich von Elektrostahlerzeugungsverfahren (Masterarbeit). Montanuniversität Leoben, Leoben.

austrian council (2019): Empfehlungen für die FTI-Politik in der XXVII. Gesetzgebungsperiode, Rat für Forschung und Technologieentwicklung. Online verfügbar unter: [https://www.rat-fte.at/files/rat-fte-pdf/einzelempfehlungen/2019/191016\\_Empfehlung\\_Input%20Regierungsprogramm.pdf](https://www.rat-fte.at/files/rat-fte-pdf/einzelempfehlungen/2019/191016_Empfehlung_Input%20Regierungsprogramm.pdf), zuletzt geprüft am 08.03.2022

Bierdel, Marius; Pfaff, Aron; Kilchert, Sebastian; Köhler, Andreas; Baron, Yifaat; Bulach, Winfried (2019): Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands - Additive Fertigungsverfahren in der industriellen Produktion. Berlin: VDI Zentrum Ressourceneffizienz.

Bischofberger, Catherine (2021): Eine holografische Zukunft. Online verfügbar unter: <https://www.dke.de/de/arbeitsfelder/home-building/news/eine-holografische-zukunft>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Bröchler, Stefan, Simonis; Georg, Sundermann, Karsten (1999): Handbuch Technikfolgenabschätzung. Berlin: Edition Sigma.

BMBWF, BMK und BMDW (2020): Österreichischer Forschungs- und Technologiebericht 2020: Lagebericht gem. § 8 (1) FOG über die aus Bundesmitteln geförderte Forschung, Technologie und Innovation in Österreich. Wien: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie sowie Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort. Online verfügbar unter: [https://www.bmbwf.gv.at/dam/jcr:b07912f4-b4af-4a78-a5ae-af720dc236fe/Forschungs-%20und%20Technologiebericht\\_2020\\_dt\\_bf.pdf](https://www.bmbwf.gv.at/dam/jcr:b07912f4-b4af-4a78-a5ae-af720dc236fe/Forschungs-%20und%20Technologiebericht_2020_dt_bf.pdf), zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2021): Mikroelektronik. Vertrauenswürdig und nachhaltig. Für Deutschland und Europa. Rahmenprogramm der Bundesregierung für Forschung und Innovation 2021-2024. Online verfügbar unter [https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/5/31639\\_Mikroelektronik\\_Vertrauenswuerdig\\_und\\_nachhaltig.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/5/31639_Mikroelektronik_Vertrauenswuerdig_und_nachhaltig.pdf?__blob=publicationFile&v=5), zuletzt geprüft am 01.02.2022.

Bundeskanzleramt Österreich (2020): Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020–2024. Online verfügbar unter: <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:7b9e6755-2115-440c-b2ec-cbf64a931aa8/RegProgramm-lang.pdf>, zuletzt geprüft am 13.02.2022.

Bundeszentrale für politische Bildung (2016) Hrsg.: Das Lexikon der Wirtschaft. In: Duden Wirtschaft von A bis Z: Grundlagenwissen für Schule und Studium, online verfügbar unter: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/20829/technologiepolitik/#:~:text=Technologiepolitik%20Forschungspolitik%20%20Innovationspolitik%2C%20Technologiezentren%2C,in%20der%20Wirtschaft%20zu%20f%C3%B6rdern>, zuletzt geprüft am 13.02.2022.

Chang, Shu-Hao (2020): Patent Technology Network Analysis of Machine-Learning Technologies and Applications in Optical Communications. MDPI Photonics.

Christensen, Clayton (1997). The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. Boston: Harvard Business School Press.

Christensen, Clayton; Matzler, Kurt & Friedrich von den Eichen, Stephan (2011): The Innovator's Dilemma - Warum etablierte Unternehmen den Wettbewerb um bahnbrechende Innovationen verlieren. München: Verlag Franz Vahlen GmbH.

Diendorfer, Christian; Gahleitner, Bernhard; Dachs, Bernhard; Kienberger, Thomas; Nagovnak, Peter; Böhm, Hans; Moser, Simon; Thenius, Gregor; Knaus, Knaus (2021): Klimaneutralität Österreichs bis 2040. Beitrag der Österreichischen Industrie. Online verfügbar unter: [https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:0ac604d1-7928-492f-991a-4845dce78c27/Begleitstudie\\_Endbericht.pdf](https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:0ac604d1-7928-492f-991a-4845dce78c27/Begleitstudie_Endbericht.pdf), zuletzt geprüft am 10.03.2022

DOD (2018): Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook, Version 2018. U. S. Department of Defense. Online verfügbar unter [http://www.dodmrl.com/MRL\\_Deskbook\\_2018.pdf](http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_2018.pdf), zuletzt geprüft am 15.03.2022.

Elzen, Boelie; Geels, Frank; Green, Ken (2004): System Innovation and the Transition to Sustainability - Theory, Evidence and Policy. S.n.: Cheltenham und Northampton.

Energy Innovation Austria (2022): Grüner Wasserstoff und Brennstoffzelle Schlüsseltechnologien auf dem Weg zur Klimaneutralität. Online verfügbar unter <https://www.energy-innovation-austria.at/article/gruener-wasserstoff-und-brennstoffzelle/>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

EU (2020): European Innovation Scoreboard 2020. European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1457a9d4-084f-11eb-a511->

01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-242412767, zuletzt geprüft am 15.03.2022.

EU (2021): Eco-Innovation. At the heart of European policies. Verfügbar unter: <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-economy>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

FFG (2021): Produktion der Zukunft, Ausschreibungsleitfaden, 41. Ausschreibung. Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft. Online verfügbar unter <https://www.ffg.at/41-ausschreibung-produktion-der-zukunft>, zuletzt geprüft am 15.03.2022.

Fischer, Birgit (2021): Biosensoren aus Zellulose: Wiederverwertbar und biologisch abbaubar. Online verfügbar unter <https://www.lebio.at/news/biosensoren-aus-zellulose-wiederverwertbar-und-biologisch-abbaubar/>, zuletzt geprüft am 01.02.2022.

Fraunhofer ILT (2020): Lasergebohrte Filter sorgen für sauberes Wasser: Projekt SimConDrill für Green Award nominiert. Online verfügbar unter <https://www.ultrakurzpuls laser.de/de/presse/2020-1-23-green-award-simcondrill.html>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Gabrielli, Paolo; Gazzani, Matteo; Mazzotti, Marco (2020): The Role of Carbon Capture and Utilization, Carbon Capture and Storage, and Biomass to Enable a Net-Zero-CO<sub>2</sub> Emissions Chemical Industry. Ind. Eng. Chem. Res. 59, 7033–7045.  
<https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b06579>

Ganglberger, Erika; Sturm, Thomas; Zahradnik, Georg; Scherngell, Thomas (2016): Quantitative Indikatoren für die Biobasierte Industrie in Österreich. Wien: ÖGUT & AIT im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Gausemeier, Jürgen; Fink, Alexander & Schlake, Oliver (1996): Szenario-Management - Planen und Führen mit Szenarien. München: Carl Hanser Verlag.

Global Innovation Index (2021): Analysis. Online verfügbar unter: <https://www.globalinnovationindex.org/analysis-economy>, zuletzt geprüft am 22.03.2022.

Global Innovation Index (2022): About the global innovation index. Online verfügbar unter: <https://www.globalinnovationindex.org/about-gii#history>, zuletzt geprüft am 22.03.2022.

Goffin, Keith; Mitchell, Rick & Herstatt, Cornelius (2009): Innovationsmanagement: Strategien und effektive Umsetzung von Innovationsprozessen mit dem Pentathlon-Prinzip. s.l.: FinanzBuch Verlag.

Grohgan, Christian (2019): Virtual Reality im Einsatz in der Industrie. Online verfügbar unter <https://www.virtualreality1.de/virtual-reality-im-einsatz-in-der-industrie/>, zuletzt geprüft am 03.03.2022.

Gronalt, Manfred; Teischinger, Alfred (2015): Industrie 4.0 – Die Produktion in der Holzwirtschaft von morgen? Holztechnologie 56(2015) 3, 5–9.

Grunwald, Armin; Kopfmüller, Jürgen (2006): Nachhaltigkeit. Frankfurt/Main und New York: campus.

Guran, Serpil (2018): Sustainable Waste-to-Energy Technologies: Hydrothermal Liquefaction. Sustainable Food Waste-To-Energy Systems, 159–175.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811157-4.00009-7>

Hanzl-Weiss, Doris; Stöllinger, Roman; Stehrer, Robert (2014): Die Sachgüterproduktion Österreichs: Entwicklung und gesamtwirtschaftliche Bedeutung im internationalen Vergleich. Materialien zu Wirtschaft und Gesellschaft. Working Paper-Reihe der AK Wien. Band 133. Wien

Hauschildt, Jürgen (2005): Dimensionen der Innovation. In: S. Albers & O. Gassmann, Hrsg. Handbuch Technologie- und Innovationsmanagement. Wiesbaden: s.n.

Hauff, Volker (Hrsg.) (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Grevén 1987, Eggenkamp Verlag, ISBN 3-923166-16-1

Huber, Thomas; Korten, Sven (2008): Logistik in der Forst- und Holzwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/holz-und-markt/transport-und-logistik/logistik-in-forst-und-holzwirtschaft>, zuletzt geprüft am 02.03.2022.

Immerthal, Lars (2017): Der Unternehmer. Zum Wandel von Ethos und Strategie des Unternehmertums im Ausgang der Moderne, München: Fink

Industrie Energieforschung (2022): Metallerzeugung und -verarbeitung. Online verfügbar unter <https://www.industrie-energieforschung.de/forschen/metallerzeugung-und-verarbeitung#:~:text=Die%20Alternative%20zur%20Stahlproduktion%20im,in%20die%20gew%C3%BCnschte%20Form%20gegossen>, zuletzt geprüft am 03.03.2022.

ingenieur.de (2017): Dieses intelligente Papier soll Lecks in Rohrleitungen aufspüren. Online verfügbar unter <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/nanotechnologie/dieses-intelligente-papier-lecks-in-rohrleitungen-aufspueren/>, zuletzt geprüft am 03.03.2022.

Institut für Integrierte Produktion Hannover (s.a.): Logistik 4.0: Definition, Ziele, Herausforderungen. Online verfügbar unter <https://www.iph-hannover.de/de/dienstleistungen/digitalisierung/logistik-4.0/>, zuletzt geprüft am 01.02.2022.

Janger, Jürgen; König, Thomas (2020): Forschungspolitik in Österreich Zentrale Ansatzpunkte für eine Leistungssteigerung in der Grundlagenforschung. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Institut für Höhere Studien. Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung. Online verfügbar unter: [https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person\\_dokument/person\\_dokument.jart?publikationsid=66625&mime\\_type=application/pdf](https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=66625&mime_type=application/pdf), zuletzt geprüft am 01.03.2022.

Janke, Angela & Burkhardt, Nicolas (2018): Disruptive Technologien im Mittelstand. Heidelberg: Springer Gabler.

Kaur, Palwinder; Karar, Vinod; Marriwala, Nikhil (2016): Study of Effect of Environmental Factors on Organic Light Emitting Diode (OLED) Displays: A Review. IOSR J. Electron. Commun. Eng. 01, 84–89. <https://doi.org/10.9790/2834-150108489>, zuletzt geprüft am 01.02.2022

Klimafonds (2021): Wasserstoff gehört die Zukunft. Online verfügbar unter <https://www.klimafonds.gv.at/dossier/wasserstoff-dossier/wasserstoff-gehoert-die-zukunft/>, zuletzt geprüft am 13.02.2022.

Kist, Fabian (s.a.): Smart Textiles: Das kann intelligente Kleidung. Online verfügbar unter <https://future-briefings.de/zukunft-mensch/leben/smart-textiles-das-kann-intelligente-kleidung/>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Kopfmüller, Jürgen et al. (2001): Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet - Konstitutive Elemente, Regeln, Indikatoren. Berlin: edition sigma.

Larson, Chris (2016): Disruptive Innovation Theory: What it is & 4 Key Concepts. Harvard Business School Online. Online verfügbar unter: <https://online.hbs.edu/blog/post/4-keys-to-understanding-clayton-christensens-theory-of-disruptive-innovation>, zuletzt geprüft am 24.03.2022.

Ménière, Rudyk; Valdes (2017): Patents and the Fourth Industrial Revolution. Europäisches Patentamt.

OECD (2018): Disruptive Technologies and Regional Innovation Policy. Online verfügbar unter: [https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/KoutroumpisLafond\(2018\)Disruptive%20](https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/KoutroumpisLafond(2018)Disruptive%20)

[technologies%20and%20regional%20innovation%20policy\\_FI.pdf](#), zuletzt geprüft am 21.02.2022

Plattform Industrie 4.0 (2020): Nachhaltige Produktion: Mit Industrie 4.0 die Ökologische Transformation aktiv gestalten. Online verfügbar unter [https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Nachhaltige-Produktion.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Nachhaltige-Produktion.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt geprüft am 31.01.2022.

Ploder, Michael; Streicher, Jürgen; Buchinger, Eva; Kienegger, Manuela (2019): IÖB Wirkungsanalyse 2019 - Tiefergehende, wirkungsorientierte Analyse von innovationsfördernden öffentlichen Beschaffungsprojekten in unterschiedlichen Anwendungsfeldern, Wien und Graz: Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie und des Bundesministeriums für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort.

Porter, M. E. (1990): The Competitive Advantage of Nations. New York: Free Press.

RFTE (2021): Bericht zur wissenschaftlichen und technologischen Leistungsfähigkeit Österreichs. Rat für Forschung und Technologieentwicklung. Online verfügbar unter <https://www.rat-fte.at/files/rat-fte-pdf/leistungsberichte/Leistungsbericht%202021.pdf>, zuletzt geprüft am 15.03. 2022.

Roobol, Edwin (2019): Können Überwachungskameras und Sensoren dazu beitragen, eine nachhaltigere Welt zu kreieren? Online verfügbar unter <https://www.axis.com/blog/secure-insights-de/kameras-und-sensoren-tragen-zu-nachhaltigeren-welt-bei/>, zuletzt geprüft am 01.02.2022.

Rustler, Florian (2016): Denkwerkzeuge der Kreativität und Innovation. Zürich: Midas Management Verlag.

Salah, Bashir; Abidi, Mustafa Haider; Mian, Syed Hammad; Krid, Mohammed; Alkhalefah, Hisham; Abdo, Ali (2019): Virtual Reality-Based Engineering Education to Enhance Manufacturing Sustainability in Industry 4.0. Sustainability 11, 1477. <https://doi.org/10.3390/su11051477>

Schäfer, Kathrin (2013): Ultrakurzpulslaser für die Medizin. Online verfügbar unter <https://www.devicemed.de/ultrakurzpulslaser-fuer-die-medizin-a-400060/>, zuletzt geprüft am 21.02.2022.

Schimpf, Sven (2019): Praxisstudie Disruption. Wie Unternehmen potenziell disruptive Technologien erkennen, bewerten, entwickeln und umsetzen. [http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-540819-38.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-540819-38.pdf) [Zugriff am 29 06 2021]

Schultz, Christian (2019): Theorie der disruptiven Innovation. In: WiSt Heft 7-8, S. 4-11.2019.

Schumpeter, Joseph (2006): Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung - Nachdruck der 1. Auflage von 1912. Berlin: Duncker & Humblot.

Sidiropoulos, Vasileios; Bechtsis, Dimitrios; Vlachos, Dimitrios (2021): An Augmented Reality Symbiosis Software Tool for Sustainable Logistics Activities. In: Sustainability 13 (19), S. 10929. <https://doi.org/10.3390/su131910929>

Sinistra, Patrizia (2020): Nachhaltige Blockchain-Lösungen 2020 - Ist das möglich? Online verfügbar unter <https://vaultsecurity.io/de/nachhaltige-blockchain-loesungen>, zuletzt geprüft am 02.02.2022.

Statistik Austria (2021): Globalschätzung/Forschungsquote. Online verfügbar unter: [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/forschung\\_und\\_innovation/globalschaetzung\\_forschungsquote\\_jaehrlich/125844.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/forschung_und_innovation/globalschaetzung_forschungsquote_jaehrlich/125844.html), zuletzt geprüft am 18.02.2022.

Stolaroff, Joshuah K.; Samaras, Constantine; O'Neill, Emma R.; Lubers, Alia; Mitchell, Alexandra S.; Ceperley, Daniel (2018): Energy use and life cycle greenhouse gas emissions of drones for commercial package delivery. In: Nature communications 9 (1), S. 409. DOI: 10.1038/s41467-017-02411-5.

Tournier, Veronique; Topham, Christopher M.; Gilles, Arnaud; David, Blanche; Folgoas, Clément; Moya-Leclair, Élisabeth; Kamionka, Emma; Desrousseaux, Marie-Laure; Texier, Hélène; Gavalda, Sabine; Cot, Marlénè; Guémard, Elodie; Dalibey, Mediha; Nomme, Julian; Cioci, Gianluca; Barbe, Sophie; Chateau, Michel; André, Isabelle; Duquesne, Sophie; Marty, Alain (2020): An engineered PET depolymerase to break down and recycle plastic bottles. Nature 580, 216–219. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2149-4>

Tzanetis, Konstantinos F.; Posada, John A.; Ramirez, Andrea (2017): Analysis of biomass hydrothermal liquefaction and biocrude-oil upgrading for renewable jet fuel production: The impact of reaction conditions on production costs and GHG emissions performance. Renewable Energy 113, 1388–1398. DOI: 10.1016/j.renene.2017.06.104.

Umweltbundesamt (2021): Klimaschutzbericht 2021. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0776.pdf>, zuletzt geprüft am 15.03.2022.

Umweltbundesamt (2021): Carbon Capture and Utilization (CCU). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/carbon-capture-utilization-ccu#Fazit>, zuletzt geprüft am 02.03.2022.

Vahs, Dietmar; Brem, Alexander (2015): Innovationsmanagement – Von der Idee zur erfolgreichen Vermarktung (5. Auflage). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

Valentini, Renzo; Colla, Valentina; Branca, Teresa Annunziata; Osta, Alessandro; Manthey, Sabine (2007): Innovation and Sustainability in Electric Arc Furnace Steel Production 7.

Vasilic, Ksenija (2020): Additive Fertigung im Betonbau – aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen. Online verfügbar unter [https://www.bft-international.com/de/artikel/bft\\_Additive\\_Fertigung\\_im\\_Betonbau\\_aktuelle\\_Entwicklungen\\_und\\_3504753.html](https://www.bft-international.com/de/artikel/bft_Additive_Fertigung_im_Betonbau_aktuelle_Entwicklungen_und_3504753.html), zuletzt geprüft am 03.03.2022.

Verband der Chemischen Industrie (2020): Wasserstoffstrategie. Online verfügbar unter <https://www.vci.de/services/vci-positionen-kompakt/wasserstoffstrategie-vci-position-kompakt.jsp>, zuletzt geprüft am 02.03.2022.

Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft (2020): Klima 2030. Nachhaltige Innovationen. S.I.: Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V.

Verbong, Geert; Loorbach, Derk (2017): Governing the Energy Transition - Reality, Illusion or Necessity? Routledge.

Virtual Reality Magazin (2019): Retail 4.0: VR und AR in der Modebranche. Online verfügbar unter <https://www.virtual-reality-magazin.de/retail-4-0-vr-und-ar-in-der-modebranche/>, zuletzt geprüft am 03.03.2022.

Vogel, Julia; Krüger, Franziska; Fabian, Matthias (2020): Chemisches Recycling. Dresden, Umweltbundesamt.

Wallner, Heinz Peter; Schauer, Kurt; Windsperger, Andreas; Strebel, Heinz; Schwarz, Erich; Lenz, Beatrix (2002): Projekt-Innovations-Matrix, Ein Instrument für die integrierte nachhaltige Entwicklung von Regionen. BMVIT, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, WKO – WIFI Österreich.

Warmuth, Hannes; Steffl, Thomas; Zillner, Laurin (2021): Potenzialstudie von Popcorn-Technologien für das österreichische Energiesystem. BMK, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 12/2021. Online verfügbar unter <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/publikationen/schriftenreihe-2021-12-popcorn-technologien.php>, zuletzt geprüft am 15.03.2022.

Wille, Joachim (2018): Plastikmüll heizt Klimawandel an. Online verfügbar unter <https://www.fr.de/wissen/plastikmuell-heizt-klimawandel-10969151.html>, zuletzt geprüft am 12.02.2022.

Windsperger Bernhard, Windsperger Andreas. (2020) Die chemische Industrie auf dem Weg zur Klimaneutralität 2040. Im Auftrag des Fachverbandes der chemischen Industrie.

WIPO (2019): Artificial Intelligence – WIPO Technology Trends 2019. World Intellectual Property Organization.

Wördenweber, Burkard; Wickord, Wiro (2008): Technologie- und Innovationsmanagement im Unternehmen. 3. Auflage Hrsg. Berlin und Heidelberg: Springer Verlag.

Wörner, Nicole (2017): Ist dieser Fisch wirklich frisch? Online verfügbar unter <https://www.elektroniknet.de/messen-testen/sensorik/ist-dieser-fisch-wirklich-frisch.146264/seite-2.html>, zuletzt geprüft am 01.02.2022.

WKO (2020): Statistische Daten für Industrie und Sachgüterproduktion. Online verfügbar unter <https://www.wko.at/service/zahlen-daten-fakten/industrie-sachgueterproduktion.html>, zuletzt geprüft am 05.07.2021.

Yeom, Ji-Min; Jung, Hye-Jin; Choi, Soo-Yeong; Lee, Dae Sung; Lim, Seong-Rrin (2018): Environmental Effects of the Technology Transition from Liquid–Crystal Display (LCD) to Organic Light-Emitting Diode (OLED) Display from an E-Waste Management Perspective. Int. J. Environ. Res. 12, 479–488. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0106-y>

Zajac, Maciej (s.a.): Neues CCU-Konzept – Betonabfälle aus Abbruchmaterial werden durch CO<sub>2</sub>-Mineralisierung zu einem Zement- und Klinkerersatzstoff. Online verfügbar unter <https://blog.heidelbergcement.com/de/ccu-betonabfalle-aus-abbruchmaterial-co2-mineralisierung-zement-und-klinkerersatzstoff>, zuletzt geprüft am 03.03.2022.

Zimmermann, Guido (2021): Wie kann Blockchain zur Nachhaltigkeit beitragen? Qualitätskontrolle, ESG-Kriterien und DLT-Green Bonds. Online verfügbar unter [https://www.lbbw.de/konzern/research/2021/blickpunkte/20210601-lbbw-research-blockchain-nachhaltigkeit\\_ac32t36y6h\\_m.pdf](https://www.lbbw.de/konzern/research/2021/blickpunkte/20210601-lbbw-research-blockchain-nachhaltigkeit_ac32t36y6h_m.pdf), zuletzt geprüft am 02.02.2022.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: ausgewählte disruptive „Tech4Greens“ für die österreichische Sachgüterproduktion.....	9
Tabelle 2: Wirkungskategorien und Zielbereiche je Nachhaltigkeitsdimension für die Nachhaltigkeitsbewertung der ausgewählten Technologien.....	25
Tabelle 3: Skala zur Bewertung der Nachhaltigkeitseffekte .....	27
Tabelle 4: Bewertungsskala für die Anwendungsbreite und CO <sub>2</sub> -Relevanz der Technologien in der österreichischen Sachgüterproduktion.....	28
Tabelle 5: Technology Readiness Levels in Anlehnung an (FFG, 2021).....	51
Tabelle 6: Manufacturing Readiness Levels in Anlehnung an (DOD, 2018).....	52
Tabelle 7: Anwendungsbreite in der Industrie und CO <sub>2</sub> -Relevanz der bewerteten Technologien .....	67
Tabelle 8: Soziale Nachhaltigkeitsbewertung für die ausgewählten Technologien.....	69
Tabelle 9: Ökonomische Nachhaltigkeitsbewertung für die ausgewählten Technologien .	75
Tabelle 10: Ökologische Nachhaltigkeitsbewertung für die ausgewählten Technologien ..	81
Österreich belegte im Jahr 2021 global den 18. und innereuropäisch den 10. Platz. Die länderspezifischen Stärken und Schwächen Österreichs sind in Tabelle 11 dargestellt (vgl. Global Innovation Index, 2021). .....	96
Tabelle 12: Gegenüberstellung länderspezifischer Stärken und Schwächen Österreichs anhand ausgewählter Indikatoren des GII 2021 (Global Innovation Index, 2021) .....	97
Tabelle 13: Steckbriefe „Ausgewählte Technologien für die Sachgüterproduktion“ .....	103
Tabelle 14: Identifizierter Forschungsbedarf für disruptive Technologien mit großem Potenzial für eine nachhaltige Sachgüterproduktion im Bereich Klimaschutz .....	113
Tabelle 15: Technologietaxonomie – Kurzbeschreibungen, Quellen und Weblinks .....	132
Tabelle 16: Technologietaxonomie – Technologiefelder, Innovationstypen, Technology Readiness Level und Manufacturing Readiness Level.....	137
Tabelle 17: Technologietaxonomie – Produktlebenszyklusphasen, Popcorn-Potenzial und Technologiearten .....	140
Tabelle 18: Technologietaxonomie – Zuordnung zu ÖNACE-Branchen (1 von 2) .....	144
Tabelle 19: Technologietaxonomie – Zuordnung zu ÖNACE-Branchen (2 von 2) .....	148
Tabelle 20: Technologietaxonomie – Abschätzungen zu den Impacts der Technologien .	151
Tabelle 21 Handlungsempfehlungen auf Technologieebene.....	157

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Begriffsabgrenzung anhand der Leistungsfähigkeit und der Auswirkung (Schimpf, 2019) .....	19
Abbildung 2: Landkarte der Klassifizierung nach Innovationsleistungsgruppen (EU, 2020, S. 14).....	32
Abbildung 3: Stärken und Schwächen des österreichischen FTI-Systems im Vergleich zu Schweden, Finnland, Dänemark, die Niederlande und Luxemburg (RFTE, 2021, S. 34).....	33
Abbildung 4: Trends bei den Patentanmeldungen zum Themenfeld Industrie 4.0 von 1990 bis 2016 (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 28) .....	36
Abbildung 5: Trends bei den Patentanmeldungen 1990 bis 2016 nach Anwendungsfeldern (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 32).....	36
Abbildung 6: Trends bei den Patentanmeldungen 1990 bis 2016 nach Basisinnovationen (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 31).....	37
Abbildung 7: Trends bei den Patentanmeldungen 1990 bis 2016 nach Kerntechnologien (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 30).....	38
Abbildung 8: Patentanmeldungen in Europa im Themenfeld Industrie 4.0 von 2011 bis 2016 verortet nach NUTS 2 Regionen (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 82).....	39
Abbildung 9: Patentanmeldungen in Europa im Themenfeld Industrie 4.0 von 2011 bis 2016 nach anmeldenden Unternehmen (Ménière, Rudyk & Valdes, 2017, S. 57).....	40
Abbildung 10: Top Unternehmen in Bezug Patentanmeldungen im Themenfeld Machine Learning und optische Nachrichtentechnik in den USA von 2015-2019 (Chang 2020, S. 5)	41
Abbildung 11: Patentfamilien zum Themenfeld Künstliche Intelligenz (WIPO, 2019, S. 42) .....	42
Abbildung 12: Gegenüberstellung von Patentfamilien und wissenschaftlichen Publikationen zum Thema maschinelles Lernen als Anteil des gesamten Themenfelds Künstliche Intelligenz dargestellt (WIPO, 2019, S. 44).....	43
Abbildung 13: Top 30 patentanmeldende Unternehmen und Institutionen gemessen an der Anzahl der eingereichten Patentfamilien (WIPO, 2019, S. 60).....	44
Abbildung 14: Entwicklung der Patentzahlen zum Thema Künstliche Intelligenz nach Anwendungsbereichen (WIPO, 2019, S. 52) .....	45
Abbildung 15: Vergleich der einzelnen Teilsparthen der Biobasierten Industrie anhand des RCA-Index (Ganglberger et al., 2016, S. 19) .....	46
Abbildung 16: Die ausgewählten „Tech4Green“ für die österreichische Sachgüterproduktion (eigene Darstellung).....	55
Abbildung 17: Dimensionen und Wirkungskategorien der Nachhaltigkeitsmatrix (nach Wallner et al., 2002) .....	65

Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Anwendungsbreite in der Industrie und CO <sub>2</sub> -Relevanz der Technologie .....	66
Abbildung 19: Beitrag der Technologien zur Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter:innen basierend auf Ausmaß der sozialen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse) .....	71
Abbildung 20: Beitrag der Technologien zur Gesundheit und Sicherheit der Mitarbeiter:innen und Kund:innen basierend auf Ausmaß der sozialen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse) .....	73
Abbildung 21: Kostendeckung der Technologien basierend auf Ausmaß der ökonomischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse) .....	77
Abbildung 22: Beitrag der Technologien zur Innovation basierend auf Ausmaß der ökonomischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse) .....	79
Abbildung 23: Beitrag der Technologien zu einer effizienten Energie- und Ressourcennutzung basierend auf Ausmaß der ökologischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse) .....	83
Abbildung 24: Beitrag der Technologien zur Nutzung von erneuerbaren und rezyklierten Rohstoffen basierend auf Ausmaß der ökologischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse) .....	85
Abbildung 25: Beitrag der Technologien zum Klimaschutz basierend auf Ausmaß der ökologischen Nachhaltigkeitswirkung (x-Achse) und Anwendungsbreite in der Industrie (y-Achse) .....	87
Abbildung 26: Übersicht über die Positionierung Österreichs in 5 einschlägigen internationalen Rankings (austrian council, 2019) .....	96
Abbildung 27: Das Streudiagramm stellt Innovations-Inputs (x-Achse) und –Outputs (y-Achse) gegenüber. Anhand der Regressionsgeraden wird deutlich, dass Österreich hier unterdurchschnittlich abschneidet (Global-Innovation-Index, 2021).....	98
Abbildung 28: Performance der 5 Kategorien im Verhältnis zum EU-Schnitt (punktierter Ring), Quelle: Eco-Innovation Index 2019 .....	99
Abbildung 29: Performance Österreichs anhand der 16 Indikatoren des Eco-Innovation Index relativ zum EU-Durchschnitt (Eco-Innovation Index, 2019).....	100
Abbildung 30 Gegenüberstellung der prozentuellen Ausgaben für Einschläge F&E-Forschung (x-Achse) mit dem Output an Patenten relativ zur Bevölkerungsanzahl (y-Achse) (Eco-Innovation, Index 2021) .....	101
Abbildung 31: Dimensionen der Innovationskraft des FTI-Systems (eigene Darstellung, Angelehnt an Janger & König 2020) .....	105

# Anhang

- Technologietaxonomie
- Handlungsempfehlungen auf Technologieebene
- Technologie-Steckbriefe

# Technologietaxonomie

Tabelle 15: Technologietaxonomie – Kurzbeschreibungen, Quellen und Weblinks

Technologie	Kurzbeschreibung	Quelle	
<b>Additive Fertigung</b>	Ein typisches Beispiel für additive Fertigung ist der 3D-Druck, bei dem das Produkt relativ gleichmäßig kontinuierlich aufgebaut wird.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Augmented Reality</b>	Augmented Reality wird bereits in PKW in angewandt. Dabei werden z. B. die Geschwindigkeit oder Warnungen direkt auf die Windschutzscheibe projiziert.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Augmented Reality in der Fertigung</b>	Montageanleitungen bzw. Fertigungsschritte können durch Augmented Reality direkt auf einer Brille oder einem Visier angezeigt werden.	Projekt: ASSIST 4.0	<a href="#">Weblink</a>
<b>Augmented Reality in der Logistik</b>	Mittels Augmented Reality können Lagerplätze, Fahrrouten usw. direkt auf einer Brille, einem Visier oder der Windschutzscheibe angezeigt werden.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Automated User Recognition</b>	Die Identifikation von Usern ist von der PC-Nutzung bis zum Car-Sharing ein Thema. Automatisierte Systeme können hier Erleichterungen bringen.	Climate KIC	<a href="#">Weblink</a>
<b>Automatisierung von wissensbasierten Dienstleistungen</b>	Dienstleistungen in u. a. den Bereichen Buchhaltung, Immobilien oder Consulting können zunehmend automatisiert in digitaler Form realisiert werden.	Manyika, J.; Chui, M.; Bughin, J.; Dobbs, R.; Bisson, P.; Marrs, A.; Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. 2013	<a href="#">Weblink</a>
<b>Autonome Lagerlogistik</b>	Vollautomatisierte Lagersysteme, die bei einheitlichen Gütern auch das Be- und Entladen der Transportfahrzeuge umfasst.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Autonomer Güterverkehr</b>	Fahrerlose Straßen- und Schienenfahrzeuge für den Gütertransport, bei denen zum Großteil die Be-, Um- und Entladung automatisiert erfolgt.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Biologisch abbaubare Sensoren</b>	Haben Sensoren nur eine kurze Einsatzdauer, liegt deren biologische Abbaubarkeit nahe, z. B. in der Landwirtschaft oder im Gesundheitswesen.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Biologisches Licht</b>	Die Nutzung von Biolumineszenzen könnte für die Beleuchtungstechnik ein radikaler Zugewinn sein und den Stromverbrauch reduzieren.	Scaling Disruptive Technologies to achieve Energy Transition. Discussion Paper. Friends of Europe. 2018	<a href="#">Weblink</a>

Technologie	Kurzbeschreibung	Quelle	
<b>Blockchain im Warenverkehr</b>	Die lückenlose Rückverfolgbarkeit von Rohstoffen und Produkten gewinnt zunehmend an Priorität. Mittels Blockchains ließe sich das realisieren.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Blockchain im Zahlungsverkehr</b>	Blockchains als nächste Technologie-Generation im betrieblichen Zahlungsverkehr auf nationaler und internationaler Ebene.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Carbon Capture &amp; Utilization</b>	Kohlendioxid aus der Umgebungsluft oder aus einem Abgas gewinnen und stofflich für einen Fertigungsprozess nutzen.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Carbon Nano Tubes</b>	Graphen-Nanoröhrchen haben ein breites Anwendungsfeld z. B. als Transistoren, Datenspeicher oder Displays.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Chemisches Recycling</b>	Das chemische Recycling geht über die mechanischen Verarbeitungsschritte des werkstofflichen Recyclings hinaus.	OMV	<a href="#">Weblink</a>
<b>Distributed Ledger Technologien</b>	Mit der Blockchain-Technologie wird eine Datenbank mit dezentralen Strukturen organisiert, die nachträgliche Datenmanipulationen verhindern kann.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Drohnen</b>	Drohnen können sowohl für den Transport von Ersatzteilen als auch zur Überwachung von Großanlagen verwendet werden.	Josephinum	<a href="#">Weblink</a>
<b>Drohnen für Transportzwecke</b>	Flugdrohnen für z. B. den Transport von Original-Dokumenten, dringend benötigten Ersatzteilen oder ähnlich leichten und/oder wichtigen Gütern.	International Transport Forum	<a href="#">Weblink</a>
<b>Drohnen für Überwachungszwecke</b>	Vor dem Mähen werden mittels Drohnen Rehkitze in Getreidefeldern aufgestöbert, Ähnliches ist auch für die Überwachung von Industrieanlagen denkbar.	ScienceDirect	<a href="#">Weblink</a>
<b>Elektrische Energiespeicher</b>	Elektrische Energiespeicher sind je nach benötigter Energiedichte, Sicherheitsansprüche usw. sehr unterschiedlich.	ITA & AIT	<a href="#">Weblink</a>
<b>Enzymatische Abfallaufbereitung</b>	Neben dem chemischen Recycling gibt es auch zahlreiche Ansätze, Abfälle enzymatisch aufzubereiten, um Grundchemikalien daraus zu gewinnen.	Projekt: Microbial Enzymes for treatment of non-recycled plastic fractions	<a href="#">Weblink</a>

Technologie	Kurzbeschreibung	Quelle	
<b>Erneuerbare Energien</b>	Naturverträgliche, regenerative Energiesysteme sind die Zukunft. Wind, Wasser, Sonne und Erdwärme werden dafür in wertvolle Elektrizität umgewandelt.	Manyika, J.; Chui, M.; Bughin, J.; Dobbs, R.; Bisson, P.; Marrs, A.; Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. 2013	<a href="#">Weblink</a>
<b>Exoskelette</b>	Exoskelette können z. B. in der Logistik dauerhaft einsetzbare Hebe- und Tragehilfen darstellen.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Fertigteilfertigung</b>	Die Vorfertigung von Bauteilen hat Vorteile, u. a. Wetterunabhängigkeit oder die leichtere Implementierung von Qualitätskontrollen.	Manyika, J.; Chui, M.; Bughin, J.; Dobbs, R.; Bisson, P.; Marrs, A.; Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. 2013	<a href="#">Weblink</a>
<b>Fertigung 4.0</b>	Unter Fertigung 4.0 wird sowohl die intelligente Automatisierung von Fertigungsprozessen als auch Cloud Manufacturing verstanden.	Lasnig, M.; Stabauer, P.; Güntner, G.; Breituß, G.; Mauthner, K.; Stummer, M.; Freiler, M.; & Meilinger, A.: Industrie 4.0 in Österreich, Kenntnisstand und Einstellung zur digitalen Transformation durch Industrie 4.0 und neue Geschäftsmodelle in österreichischen Unternehmen, Band 2. BMVIT, 2016.	<a href="#">Weblink</a>
<b>Fertigung mittels Ultrakurzpulslaser</b>	Ultrakurzpulslaser sind sehr gut dosierbare Laser, um unter höchster Präzision die unterschiedlichsten Materialien schneiden oder gravieren zu können.	IndustryArena: Ultrakurzpulslaser. Langenfeld, 2021	<a href="#">Weblink</a>
<b>Hologramme</b>	Hologramme werden momentan u. a. dazu beforscht, um dreidimensionale Displays zu erzeugen sowie akustische oder berührbare Hologramme zu erhalten.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Hydrothermal Liquefaction</b>	Die HydroThermal Liquefaction (HTL) ist ein thermisches Verfahren, bei dem aus feuchter Biomasse ein rohöl-ähnliches Produkt gewonnen wird.	Unternehmens-Website: bio2oil	<a href="#">Weblink</a>
<b>Hyperloops</b>	Evakuierte Röhrensysteme können eine effiziente Option bei Transportaufgaben sein, sofern die technischen Herausforderungen überwunden werden können.	Unternehmens-Website: Virgin hyperloop	<a href="#">Weblink</a>
<b>Intelligente Automatisierung von Fertigungsprozessen</b>	Machine Learning ermöglicht es, dass zu automatisierten Fertigungsprozessen eine selbstlernende Komponente ergänzt wird.	Desoutter Industrial	<a href="#">Weblink</a>

Technologie	Kurzbeschreibung	Quelle	
<b>Intelligente Sensoren (Edge Computing)</b>	Intelligente Sensoren, die z. B. bereits bei der Messung eigenständig die Messwerte umwerten können (Edge Computing).	Chabas, J. M.; Gnanasambandam, C.; Gupte, S.; Mahdavian, M.: New demand, new markets: What edge computing means for hardware companies. McKinsey & Company, 2018.	<a href="#">Weblink</a>
<b>Internet of Things</b>	Das Internet der Dinge ermöglicht u. a. die ständige Verfolgbarkeit von z. B. einzelnen Paletten oder auch die kabellose Installation von Messpunkten.	Manyika, J.; Chui, M.; Bughin, J.; Dobbs, R.; Bisson, P.; Marrs, A.; Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. 2013	<a href="#">Weblink</a>
<b>IT mittels Optoelektronik</b>	Die Optoelektronik ermöglicht Langstreckendatenübertragungen, energiesparende und schnellere Chiptechnik und dauerhafte Datenspeicherung.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Klinkersubstitution in der Zementindustrie</b>	Klinker ist ein kosten- und treibhausgasintensiver Bestandteil von Zement, der u. a. durch Hochofenschlacke oder Flugasche ersetzt werden kann.	Global Cement and Concrete Association	<a href="#">Weblink</a>
<b>Künstliche Intelligenz</b>	Künstliche Intelligenz beschreibt die Fähigkeit von Maschinen, Aufgaben autonom auszuführen und anpassungsfähig auf neue Situationen zu reagieren.	Girasa R. (2020) Artificial intelligence as a Disruptive Technology	<a href="#">Weblink</a>
<b>Künstliche Photosynthese</b>	Künstliche Photosynthese orientiert sich an der biotischen, sprich aus Sonnenlicht, Kohlendioxid und Wasser Produkte zu schaffen.	Max Planck Gesellschaft	<a href="#">Weblink</a>
<b>Leichtbau-Verbundwerkstoffe</b>	Verbundwerkstoffe bieten den Vorteil, dass oftmals weit bessere Materialeigenschaften als mit den einzelnen Materialien erzielt werden können.	CompositesLab	<a href="#">Weblink</a>
<b>Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen</b>	Lichtbogenöfen sind in der Stahlindustrie bereits gut bekannt. Für andere Hochtemperaturanwendungen werden sie gerade erprobt.	Warmuth, H.; Steffl, T.; Zillner, L.: Popcorn-Technologien – Potenzialstudie von Popcorn-Technologien für das österreichische Energiesystem. Projektbericht im Rahmen der Schriftenreihe Nachhaltig Wirtschaften, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, BMK. Wien, 2021	<a href="#">Weblink</a>
<b>Lithium Air Battery</b>	Lithium-Luft-Batterien werden aktuell viel beforscht, da sie eine hohe gravimetrische Energiedichte erzielen.	Climate KIC	<a href="#">Weblink</a>

Technologie	Kurzbeschreibung	Quelle	
<b>Logistik 4.0</b>	Unter Logistik 4.0 versteht man autonome Straßen- und Schienenfahrzeuge für den Gütertransport, bei denen Ein-, und Auslagerungen automatisiert sind.	vbw: Klima 2030 – Nachhaltige Innovationen. München, 2020	<a href="#">Weblink</a>
<b>Mikrobielle Brennstoffzelle</b>	Mikrobielle Brennstoffzellen können in Kombination mit Kläranlagen Strom und Wasserstoff gewinnen und im Zuge dessen Abwässer reinigen.	Fischer, F.: Mikrobielle Brennstoffzelle – Durch Abwasserreinigung Strom erzeugen und auch einsparen?. Aqua & Gas N° 1, Fachmagazin des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches. Zürich, 2018	<a href="#">Weblink</a>
<b>Mikroelektromechanische Systeme</b>	Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) sind in der Regel Mikromaschinen, die bereits in Airbags und Smartphones eingesetzt werden.	SAL: Microsystem Technologies. SAL – Silicon Austria Labs	<a href="#">Weblink</a>
<b>Nanotechnologien</b>	Mittels Nanotechnologie werden durch z. B. andere Kristallgefüge bei identen Materialien unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheiten erzielt.	Projekt: NanoCopy	<a href="#">Weblink</a>
<b>Organische Leuchtdioden (OLED)</b>	Organische Leuchtdioden (OLED) zeichnen sich als Displays vor allem durch die dünne Bauform und ihre Biegsamkeit aus.	Lääperi, A.: Disruptive Factors in the OLED Business Ecosystem. Information Display 9/09, Disruptive Technology. Wiley, 2009	<a href="#">Weblink</a>
<b>Quantencomputer</b>	Quantencomputer können z. B. durch die Möglichkeit sehr komplexer Simulationen die Produktentwicklung deutlich verbessern.	IBM	<a href="#">Weblink</a>
<b>Recyclingtechnologien</b>	Die Abfallwirtschaft ist eine hochinnovative Branche. Neue Recyclingtechnologien kommen laufend auf den Markt.	nachhaltigwirtschaften.at	<a href="#">Weblink</a>
<b>Selbstheilende Materialien</b>	Selbstheilende Materialien sind synthetische Werkstoffe, die kleinere Beschädigungen selbst und eigenständig reparieren können.	ITA & AIT	<a href="#">Weblink</a>
<b>Sensorik</b>	Messsensoren sind mittlerweile allgegenwärtig, was auch die Anforderungen an Sensoren ständig steigert.	Projekt: CFLIBS	<a href="#">Weblink</a>
<b>Smart Grids</b>	Mit Smart Grids wird der Schwerpunkt der Weiterentwicklung der Stromnetze auf den Informationsaustausch gelegt.	Smart Grids Austria	<a href="#">Weblink</a>
<b>Smarte Textilien</b>	Smarte Textilien können u. a. Vitalwerte überwachen oder sich als	Wepner, B.; Rhomberg, W.; Schartinger, D.; Zahradnik, G: Smart Textiles Studie. AIT, 2020	<a href="#">Weblink</a>

Technologie	Kurzbeschreibung	Quelle	
	Schutzkleidung der Umgebung entsprechend anpassen.		
<b>Synthetisches Methan</b>	Die Methan-Infrastruktur ist weit ausgebaut. Synthetisches Methan kann diese Nutzen, um als Kurzzeit- und Saisonspeicher für das Stromnetz zu dienen.	ISI Fraunhofer	<a href="#">Weblink</a>
<b>Thermoakustische Wärmepumpen</b>	Thermoakustische Wärmepumpen nutzen Schallwellen, um Luft zu komprimieren. Dadurch wird kein Kältemittel benötigt.	Projekt: Thermoacoustic_HP	<a href="#">Weblink</a>
<b>Urban Farming</b>	Urbane Landwirtschaft an vertikalen Fassadenflächen und auf Flachdächern oder in Grünanlagen.	nachhaltigwirtschaften.at	<a href="#">Weblink</a>
<b>Virtual Reality</b>	Bei der Virtual Reality wird die virtuelle Umgebung möglichst in ihrer Gesamtheit dargestellt und Aufgaben vollständig virtuell erledigt.	Ménière, Y., Rudyk, I., & Valdes, J. (2017). Patents and the Fourth Industrial Revolution - The inventions behind digital transformation. München: European Patent Office	<a href="#">Weblink</a>
<b>Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger</b>	Wasserstoff ist in unterschiedlichen Bereichen ein Zukunftsthema, etwa bei der Roheisenherstellung, im Energiesektor oder als Rohstoff.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Wasserstoff für PtX</b>	Überschussstrom kann in Elektrolyseuren Wasser aufspalten. Der gewonnene Wasserstoff kann dann u. a. als Kraftstoff verwendet werden.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>
<b>Wasserstoffdirektreduktion</b>	Anstelle von Hochofenkoks wird Wasserstoff als Reduktionsmittel verwendet und damit ein treibhausgasärmeres Roheisen hergestellt.	European Commission, Unit A.2 – Research & Innovation Strategy: 100 Radical Innovation Breakthroughs for the future. Brüssel, 2019	<a href="#">Weblink</a>

Tabelle 16: Technologietaxonomie – Technologiefelder, Innovationstypen, Technology Readiness Level und Manufacturing Readiness Level

Technologie	Technologiefeld	Innovationstyp	TRL	MRL
<b>Additive Fertigung</b>	Additive Fertigung	radikal	TRL 7-8	MRL 9
<b>Augmented Reality</b>	Robotik & Assistenzsysteme	radikal	TRL 7-8	MRL 9

Technologie	Technologiefeld	Innovationstyp	TRL	MRL
Augmented Reality in der Fertigung	Robotik & Assistenzsysteme	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Augmented Reality in der Logistik	Robotik & Assistenzsysteme	radikal	TRL 7-8	MRL 9
Automated User Recognition	Robotik & Assistenzsysteme	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8
Automatisierung von wissensbasierten Dienstleistungen	Künstliche Intelligenz	inkrementell	TRL 5-6	MRL 7-8
Autonome Lagerlogistik	Industrie 4.0	inkrementell	TRL 9	MRL 9
Autonomer Güterverkehr	Industrie 4.0	inkrementell	TRL 5-6	MRL 9
Biologisch abbaubare Sensoren	Sensorik	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Biologisches Licht	Photonik	radikal	TRL 5-6	MRL 7-8
Blockchain im Warenverkehr	Industrie 4.0	radikal	TRL 7-8	MRL 5-6
Blockchain im Zahlungsverkehr	Industrie 4.0	radikal	TRL 7-8	MRL 5-6
Carbon Capture & Utilization	Werkstofftechnologien	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Carbon Nano Tubes	Werkstofftechnologien	radikal	TRL 7-8	MRL 9
Chemisches Recycling	Werkstofftechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 9
Distributed Ledger Technologien	Industrie 4.0	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Drohnen	Robotik & Assistenzsysteme	inkrementell	TRL 9	MRL 9
Drohnen für Transportzwecke	Robotik & Assistenzsysteme	inkrementell	TRL 9	MRL 9
Drohnen für Überwachungszwecke	Robotik & Assistenzsysteme	inkrementell	TRL 9	MRL 9
Elektrische Energiespeicher	Hochleistungstechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 9
Enzymatische Abfallaufbereitung	Biotechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8
Erneuerbare Energien	Hochleistungstechnologien	inkrementell	TRL 9	MRL 9

Technologie	Technologiefeld	Innovationstyp	TRL	MRL
Exoskelette	Robotik & Assistenzsysteme	inkrementell	TRL 5-6	MRL 5-6
Fertigteilfertigung	Hochleistungstechnologien	inkrementell	TRL 9	MRL 10
Fertigung 4.0	Industrie 4.0	radikal	TRL 7-8	MRL 9
Fertigung mittels Ultrakurzpuls laser	Photonik	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Hologramme	Photonik	radikal	TRL 5-6	MRL 7-8
Hydrothermal Liquefaction	Werkstofftechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8
Hyperloops	Hochleistungstechnologien	radikal	TRL 5-6	MRL 7-8
Intelligente Automatisierung von Fertigungsprozessen	Industrie 4.0	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8
Intelligente Sensoren (Edge Computing)	Sensorik	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Internet of Things	Künstliche Intelligenz	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
IT mittels Optoelektronik	Photonik	inkrementell	TRL 7-8	MRL 9
Klinkersubstitution in der Zementindustrie	Werkstofftechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8
Künstliche Intelligenz	Künstliche Intelligenz	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Künstliche Photosynthese	Werkstofftechnologien	inkrementell	TRL 5-6	MRL 5-6
Leichtbau-Verbundwerkstoffe	Werkstofftechnologien	inkrementell	TRL 9	MRL 10
Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen	Hochleistungstechnologien	inkrementell	TRL 5-6	MRL 9
Lithium Air Battery	Hochleistungstechnologien	inkrementell	TRL 5-6	MRL 5-6
Logistik 4.0	Industrie 4.0	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Mikrobielle Brennstoffzelle	Biotechnologien	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Mikroelektromechanische Systeme	Smarte Werkstoffe	radikal	TRL 9	MRL 7-8
Nanotechnologien	Nanotechnologien	radikal	TRL 7-8	MRL 9

Technologie	Technologiefeld	Innovationstyp	TRL	MRL
Organische Leuchtdioden (OLED)	Smarte Werkstoffe	inkrementell	TRL 9	MRL 9
Quantencomputer	Photonik	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Recyclingtechnologien	Hochleistungstechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8
Selbstheilende Materialien	Werkstofftechnologien	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Sensorik	Sensorik	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8
Smart Grids	Künstliche Intelligenz	inkrementell	TRL 7-8	MRL 9
Smarte Textilien	Robotik & Assistenzsysteme	inkrementell	TRL 7-8	MRL 9
Synthetisches Methan	Hochleistungstechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 9
Thermoakustische Wärmepumpen	Hochleistungstechnologien	radikal	TRL 5-6	MRL 5-6
Urban Farming	Hochleistungstechnologien	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Virtual Reality	Industrie 4.0	radikal	TRL 7-8	MRL 7-8
Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger	Werkstofftechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8
Wasserstoff für PtX	Werkstofftechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8
Wasserstoffdirektreduktion	Werkstofftechnologien	inkrementell	TRL 7-8	MRL 7-8

Tabelle 17: Technologietaxonomie – Produktlebenszyklusphasen, Popcorn-Potenzial und Technologiearten

Technologie	Entwicklung	Einführung	Wachstum	Reife	Sättigung	Degeneration	Popcorn-Potenzial	Produkt-technologie	Produktions-technologie
Additive Fertigung	nein	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Augmented Reality	nein	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Augmented Reality in der Fertigung	nein	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein

Technologie	Entwicklung	Einführung	Wachstum	Reife	Sättigung	Degeneration	Popcorn-Potenzial	Produkt-technologie	Produktions-technologie
Augmented Reality in der Logistik	nein	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Automated User Recognition	nein	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Automatisierung von wissensbasierten Dienstleistungen	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Autonome Lagerlogistik	nein	ja	ja	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Autonomer Güterverkehr	ja	nein	nein	nein	nein	nein	niedrig	nein	ja
Biologisch abbaubare Sensoren	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Biologisches Licht	ja	nein	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Blockchain im Warenverkehr	ja	nein	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Blockchain im Zahlungsverkehr	ja	nein	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Carbon Capture & Utilization	ja	nein	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Carbon Nano Tubes	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Chemisches Recycling	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	nein	ja
Distributed Ledger Technologien	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Drohnen	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Drohnen für Transportzwecke	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Drohnen für Überwachungszwecke	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Elektrische Energiespeicher	ja	ja	ja	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Enzymatische Abfallaufbereitung	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	nein	ja
Erneuerbare Energien	ja	ja	ja	ja	nein	nein	hoch	nein	ja

Technologie	Entwicklung	Einführung	Wachstum	Reife	Sättigung	Degeneration	Popcorn-Potenzial	Produkt-technologie	Produktions-technologie
Exoskelette	ja	nein	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Fertigteilefertigung	nein	nein	ja	ja	nein	nein	hoch	nein	ja
Fertigung 4.0	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	nein	ja
Fertigung mittels Ultrakurzpuls laser	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	nein	ja
Hologramme	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Hydrothermal Liquefaction	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	nein	ja
Hyperloops	ja	nein	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Intelligente Automatisierung von Fertigungsprozessen	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Intelligente Sensoren (Edge Computing)	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Internet of Things	ja	ja	nein	nein	nein	nein	hoch	ja	nein
IT mittels Optoelektronik	ja	ja	ja	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Klinkersubstitution in der Zementindustrie	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Künstliche Intelligenz	ja	ja	ja	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Künstliche Photosynthese	ja	nein	nein	nein	nein	nein	niedrig	nein	ja
Leichtbau-Verbundwerkstoffe	nein	ja	ja	ja	nein	nein	hoch	ja	nein
Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Lithium Air Battery	ja	nein	nein	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Logistik 4.0	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Mikrobielle Brennstoffzelle	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Mikroelektromechanische Systeme	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein

Technologie	Entwicklung	Einführung	Wachstum	Reife	Sättigung	Degeneration	Popcorn-Potenzial	Produkt-technologie	Produktions-technologie
Nanotechnologien	ja	ja	ja	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Organische Leuchtdioden (OLED)	ja	ja	ja	nein	nein	nein	hoch	ja	nein
Quantencomputer	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Recyclingtechnologien	ja	ja	ja	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Selbsteheilende Materialien	ja	ja	ja	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Sensorik	ja	ja	ja	ja	nein	nein	mittel	ja	nein
Smart Grids	ja	ja	ja	ja	nein	nein	hoch	nein	ja
Smarte Textilien	ja	ja	ja	nein	nein	nein	mittel	ja	nein
Synthetisches Methan	ja	ja	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Thermoakustische Wärmepumpen	ja	nein	nein	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Urban Farming	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Virtual Reality	ja	ja	ja	nein	nein	nein	niedrig	ja	nein
Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Wasserstoff für PtX	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja
Wasserstoffdirektreduktion	ja	ja	nein	nein	nein	nein	mittel	nein	ja

Tabelle 18: Technologietaxonomie – Zuordnung zu ÖNACE-Branchen (1 von 2)

Technologie	C13 / Textilien	C14 / Bekleidung	C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe	C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren (ohne Möbel)	C17 / Papier, Pappe & Waren daraus	C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern	C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung	C20 / chemische Erzeugnisse	C21 / pharmazeutische Erzeugnisse	C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
Additive Fertigung	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	ja
Augmented Reality	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Augmented Reality in der Fertigung	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Augmented Reality in der Logistik	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Automated User Recognition	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Automatisierung von wissensbasierten Dienstleistungen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Autonome Lagerlogistik	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Autonomer Güterverkehr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Biologisch abbaubare Sensoren	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Biologisches Licht	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Blockchain im Warenverkehr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Blockchain im Zahlungsverkehr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Carbon Capture & Utilization	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	nein	ja
Carbon Nano Tubes	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	ja

Technologie	C13 / Textilien	C14 / Bekleidung	C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe	C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren (ohne Möbel)	C17 / Papier, Pappe & Waren daraus	C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern	C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung	C20 / chemische Erzeugnisse	C21 / pharmazeutische Erzeugnisse	C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
Chemisches Recycling	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Distributed Ledger Technologien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Drohnen	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja
Drohnen für Transportzwecke	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja
Drohnen für Überwachungszwecke	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja
Elektrische Energiespeicher	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	ja
Enzymatische Abfallaufbereitung	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Erneuerbare Energien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Exoskelette	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Fertigteilfertigung	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Fertigung 4.0	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Fertigung mittels Ultrakurzpuls laser	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein
Hologramme	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Hydrothermal Liquefaction	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Hyperloops	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Intelligente Automatisierung von Fertigungsprozessen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Technologie	C13 / Textilien	C14 / Bekleidung	C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe	C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren (ohne Möbel)	C17 / Papier, Pappe & Waren daraus	C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern	C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung	C20 / chemische Erzeugnisse	C21 / pharmazeutische Erzeugnisse	C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
Intelligente Sensoren (Edge Computing)	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Internet of Things	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
IT mittels Optoelektronik	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Klinkersubstitution in der Zementindustrie	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein
Künstliche Intelligenz	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Künstliche Photosynthese	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein
Leichtbau-Verbundwerkstoffe	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja
Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	nein	ja
Lithium Air Battery	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Logistik 4.0	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Mikrobielle Brennstoffzelle	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Mikroelektromechanische Systeme	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Nanotechnologien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Organische Leuchtdioden (OLED)	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja
Quantencomputer	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Recyclingtechnologien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Technologie	C13 / Textilien	C14 / Bekleidung	C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe	C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren (ohne Möbel)	C17 / Papier, Pappe & Waren daraus	C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern	C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung	C20 / chemische Erzeugnisse	C21 / pharmazeutische Erzeugnisse	C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
Selbsteilende Materialien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Sensorik	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Smart Grids	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Smarte Textilien	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Synthetisches Methan	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	ja
Thermoakustische Wärmepumpen	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	ja
Urban Farming	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Virtual Reality	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Wasserstoff für PtX	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	nein	ja
Wasserstoffdirektreduktion	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein

Tabelle 19: Technologietaxonomie – Zuordnung zu ÖNACE-Branchen (2 von 2)

Technologie	C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	C24 / Metallherzeugung und -bearbeitung	C25 / Metallherzeugnisse	C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse	C27 / elektrische Ausrüstung	C28 / Maschinenbau	C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile	C30 / sonstiger Fahrzeugbau	C31 / Möbel
Additive Fertigung	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Augmented Reality	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Augmented Reality in der Fertigung	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Augmented Reality in der Logistik	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Automated User Recognition	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Automatisierung von wissensbasierten Dienstleistungen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Autonome Lagerlogistik	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Autonomer Güterverkehr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Biologisch abbaubare Sensoren	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Biologisches Licht	nein	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Blockchain im Warenverkehr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Blockchain im Zahlungsverkehr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Carbon Capture & Utilization	ja	ja	ja	nein	nein	ja	ja	ja	ja
Carbon Nano Tubes	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nein
Chemisches Recycling	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Technologie	C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung	C25 / Metallerzeugnisse	C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse	C27 / elektrische Ausrüstung	C28 / Maschinenbau	C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile	C30 / sonstiger Fahrzeugbau	C31 / Möbel
Distributed Ledger Technologien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Drohnen	nein	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Drohnen für Transportzwecke	nein	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Drohnen für Überwachungszwecke	nein	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Elektrische Energiespeicher	nein	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Enzymatische Abfallaufbereitung	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Erneuerbare Energien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Exoskelette	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Fertigteilmontage	nein	nein	ja	nein	ja	ja	nein	nein	nein
Fertigung 4.0	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Fertigung mittels Ultrakurzpuls-Laser	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein
Hologramme	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Hydrothermal Liquefaction	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Hyperloops	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Intelligente Automatisierung von Fertigungsprozessen	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Intelligente Sensoren (Edge Computing)	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Technologie	C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	C24 / Metallherzeugung und -bearbeitung	C25 / Metallherzeugnisse	C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse	C27 / elektrische Ausrüstung	C28 / Maschinenbau	C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile	C30 / sonstiger Fahrzeugbau	C31 / Möbel
Internet of Things	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
IT mittels Optoelektronik	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Klinkersubstitution in der Zementindustrie	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Künstliche Intelligenz	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Künstliche Photosynthese	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Leichtbau-Verbundwerkstoffe	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Lithium Air Battery	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein
Logistik 4.0	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Mikrobielle Brennstoffzelle	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Mikroelektromechanische Systeme	nein	nein	nein	nein	ja	ja	nein	nein	nein
Nanotechnologien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Organische Leuchtdioden (OLED)	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Quantencomputer	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Recyclingtechnologien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Selbstheilende Materialien	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Sensorik	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Technologie	C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung	C25 / Metallerzeugnisse	C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse	C27 / elektrische Ausrüstung	C28 / Maschinenbau	C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile	C30 / sonstiger Fahrzeugbau	C31 / Möbel
Smart Grids	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Smarte Textilien	nein	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja	ja
Synthetisches Methan	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	nein
Thermoakustische Wärmepumpen	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	nein
Urban Farming	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Virtual Reality	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Wasserstoff für PtX	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	ja	nein
Wasserstoffdirektreduktion	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein

Tabelle 20: Technologietaxonomie – Abschätzungen zu den Impacts der Technologien

Technologie	Produktivität	Material-effizienz	Energie-effizienz	Produkt-qualität	Kreislauf-fähigkeit	Arbeitsbedingungen	Klimaschutz	Umwelt-schutz
Additive Fertigung	eher positiv	eher positiv	neutral	eher negativ	eher positiv	eher positiv	eher positiv	eher positiv
Augmented Reality	sehr positiv	neutral	neutral	neutral	neutral	eher positiv	neutral	neutral

Technologie	Produktivität	Material-effizienz	Energie-effizienz	Produkt-qualität	Kreislauf-fähigkeit	Arbeits-bedingungen	Klimaschutz	Umwelt-schutz
Augmented Reality in der Fertigung	sehr positiv	neutral	neutral	neutral	neutral	eher positiv	neutral	neutral
Augmented Reality in der Logistik	sehr positiv	neutral	neutral	neutral	neutral	eher positiv	neutral	neutral
Automated User Recognition	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral
Automatisierung von wissensbasierten Dienstleistungen	sehr positiv	neutral	neutral	eher negativ	neutral	eher positiv	neutral	neutral
Autonome Lagerlogistik	sehr positiv	neutral	eher positiv	neutral	neutral	eher positiv	eher positiv	eher positiv
Autonomer Güterverkehr	sehr positiv	neutral	eher positiv	neutral	neutral	eher positiv	eher positiv	eher positiv
Biologisch abbaubare Sensoren	neutral	eher negativ	neutral	eher positiv	sehr negativ	neutral	neutral	neutral
Biologisches Licht	neutral	eher positiv	eher positiv	eher negativ	sehr positiv	neutral	eher positiv	eher positiv
Blockchain im Warenverkehr	eher positiv	neutral	eher negativ	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral
Blockchain im Zahlungsverkehr	eher positiv	neutral	eher negativ	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral
Carbon Capture & Utilization	neutral	sehr positiv	eher negativ	eher positiv	sehr positiv	neutral	sehr positiv	eher positiv
Carbon Nano Tubes	neutral	neutral	neutral	eher positiv	eher negativ	neutral	neutral	neutral
Chemisches Recycling	eher positiv	eher positiv	eher negativ	eher positiv	sehr positiv	neutral	eher positiv	eher positiv
Distributed Ledger Technologien	eher positiv	neutral	eher negativ	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral
Drohnen	eher positiv	eher positiv	eher positiv	neutral	neutral	eher positiv	eher positiv	eher positiv
Drohnen für Transportzwecke	eher positiv	eher negativ	eher negativ	neutral	neutral	eher positiv	eher positiv	eher positiv

Technologie	Produktivität	Material-effizienz	Energie-effizienz	Produkt-qualität	Kreislauf-fähigkeit	Arbeits-bedingungen	Klimaschutz	Umwelt-schutz
Drohnen für Überwachungszwecke	eher positiv	sehr positiv	sehr positiv	eher positiv	neutral	eher positiv	eher positiv	eher positiv
Elektrische Energiespeicher	eher positiv	sehr negativ	neutral	eher positiv	neutral	neutral	sehr positiv	eher positiv
Enzymatische Abfallaufbereitung	neutral	neutral	eher positiv	eher positiv	sehr positiv	neutral	eher positiv	sehr positiv
Erneuerbare Energien	eher positiv	sehr positiv	sehr positiv	neutral	sehr positiv	eher positiv	sehr positiv	sehr positiv
Exoskelette	sehr positiv	eher negativ	eher negativ	neutral	neutral	eher positiv	neutral	neutral
Fertigteilfertigung	sehr positiv	eher positiv	eher positiv	eher positiv	eher positiv	sehr positiv	neutral	eher positiv
Fertigung 4.0	sehr positiv	eher positiv	eher positiv	eher positiv	eher positiv	neutral	eher positiv	eher positiv
Fertigung mittels Ultrakurzpuls-laser	eher positiv	sehr positiv	eher positiv	sehr positiv	neutral	neutral	neutral	neutral
Hologramme	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral	eher positiv	neutral	neutral
Hydrothermal Liquefaction	neutral	sehr positiv	eher negativ	eher positiv	sehr positiv	neutral	eher positiv	eher positiv
Hyperloops	eher positiv	sehr negativ	neutral	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral
Intelligente Automatisierung von Fertigungsprozessen	sehr positiv	eher positiv	eher positiv	eher positiv	neutral	eher positiv	eher positiv	eher positiv
Intelligente Sensoren (Edge Computing)	sehr positiv	eher positiv	sehr positiv	sehr positiv	neutral	eher positiv	eher positiv	eher positiv
Internet of Things	eher positiv	eher negativ	eher negativ	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral
IT mittels Optoelektronik	sehr positiv	sehr positiv	sehr positiv	eher positiv	eher positiv	eher positiv	sehr positiv	sehr positiv
Klinkersubstitution in der Zementindustrie	neutral	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral	sehr positiv	eher positiv

Technologie	Produktivität	Material-effizienz	Energie-effizienz	Produkt-qualität	Kreislauf-fähigkeit	Arbeits-bedingungen	Klimaschutz	Umwelt-schutz
Künstliche Intelligenz	sehr positiv	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral
Künstliche Photosynthese	eher negativ	eher positiv	eher positiv	neutral	eher positiv	neutral	eher positiv	neutral
Leichtbau-Verbundwerkstoffe	eher positiv	sehr positiv	sehr positiv	eher positiv	eher negativ	neutral	eher positiv	eher positiv
Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen	neutral	eher positiv	eher negativ	neutral	neutral	neutral	sehr positiv	eher positiv
Lithium Air Battery	neutral	sehr positiv	neutral	eher positiv	neutral	neutral	eher positiv	neutral
Logistik 4.0	sehr positiv	eher positiv	sehr positiv	eher positiv	neutral	neutral	sehr positiv	sehr positiv
Mikrobielle Brennstoffzelle	eher positiv	eher positiv	eher positiv	neutral	sehr positiv	neutral	eher positiv	eher positiv
Mikroelektromechanische Systeme	eher positiv	eher positiv	eher positiv	eher positiv	neutral	neutral	eher positiv	eher positiv
Nanotechnologien	eher positiv	sehr positiv	eher positiv	sehr positiv	eher negativ	neutral	neutral	eher positiv
Organische Leuchtdioden (OLED)	neutral	eher positiv	eher positiv	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral
Quantencomputer	sehr positiv	eher positiv	eher positiv	sehr positiv	neutral	neutral	neutral	neutral
Recyclingtechnologien	eher positiv	sehr positiv	eher negativ	eher positiv	sehr positiv	neutral	eher positiv	sehr positiv
Selbstheilende Materialien	eher positiv	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral
Sensorik	eher positiv	eher positiv	eher positiv	eher positiv	neutral	neutral	neutral	eher positiv
Smart Grids	sehr positiv	sehr positiv	sehr positiv	sehr positiv	neutral	neutral	sehr positiv	eher positiv
Smarte Textilien	eher positiv	eher negativ	eher negativ	eher positiv	eher negativ	neutral	neutral	neutral

Technologie	Produktivität	Material-effizienz	Energie-effizienz	Produkt-qualität	Kreislauf-fähigkeit	Arbeitsbedingungen	Klimaschutz	Umwelt-schutz
Synthetisches Methan	eher negativ	eher positiv	neutral	eher positiv	sehr positiv	neutral	sehr positiv	sehr positiv
Thermoakustische Wärmepumpen	eher positiv	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	eher positiv
Urban Farming	eher positiv	eher negativ	eher positiv	neutral	sehr positiv	neutral	eher positiv	neutral
Virtual Reality	eher positiv	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral	neutral
Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger	eher positiv	eher positiv	eher negativ	eher positiv	sehr positiv	neutral	eher positiv	eher positiv
Wasserstoff für PtX	eher positiv	eher positiv	eher negativ	eher positiv	sehr positiv	neutral	eher positiv	eher positiv
Wasserstoffdirektreduktion	eher positiv	eher positiv	eher negativ	neutral	sehr positiv	neutral	sehr positiv	eher positiv

# Handlungsempfehlungen auf Technologieebene

Tabelle 21 qualitative Bewertung der Handlungsempfehlungen auf Technologieebene

Legende:		Industrie 4.0	Robotik & Assistenzsysteme	Photonik	Sensorik	Künstliche Intelligenz	Biotechnologie	Werkstofftechnologien	Additive Fertigung	Hochleistungstechnologien	Nanotechnologien	Smarte Werkstoffe	
+++ - außerordentlich wichtig													
++ - sehr wichtig													
+ - wichtig													
		Distributed-Ledger-Technologie	Augmented Reality	Hologramme	Biologisch abbaubare Sensoren		Enzymatische Abfallaufbereitung	CCU		Lichtbogenöfen		Mikroelektromechanik	
		Fertigung 4.0	Drohnen	IT mittels Optoelektronik	Intelligente Sensoren (Edge Computing)		Mikrobielle Brennstoffzellen	Chemisches Recycling				Organische LED	
		Logistik 4.0	Exoskelette	Fertigung mittels Ultrakurz-puls-laser				Hydrothermale Verflüssigung					
		Virtual Reality	Smarte Textilien					Wasserstoff					
Verbesserung der Leistungsfähigkeit	<b>Finanzierung und Förderung</b>	Erhöhung der staatlichen F&E Ausgaben	++	++	++	++	++	++	+++	++	++	++	++
		Adaptierung der Instrumente	++	++	+	+	++	+	++	+	+	+	+
		Stärkung des österreichischen Risikokapitalökosystems	++	+	+	+	++		+	+			+

Verbesserung der Wirkung	<b>Strukturelle Aspekte</b>	Attraktivierung für internationale Arbeitskräfte	++	++	++	++	++	+++	++	+++	++	++	++	
		mehr MINT-Absolvent:innen	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	++	++
	<b>Allokation von Fördermitteln</b>	Verankerung von Nachhaltigkeitsaspekten							++					
		LCA fördern bzw. einfordern	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+++	++	++
		gezielte Förderung von Schlüsseltechnologien	++	++	++	+	+	+	++	++			++	+
		Verkürzung Förderanträge und -verfahren								++				
	<b>Finanzielle Anreize und Kapitalbeschaffung</b>	Anreize für private und institutionelle Anleger:innen	+	+	+	+	+	+	++	++	++	+	+	+
		Bewusstseinsbildung von Anleger:innen (hin zu Risikoinvests)	+	+	+	+	++	+	++	++	++	+	++	++
		Etablierung einer Business Angel Kultur	+	+	+	+	+	+			+		0	+
		verpflichtende ESG-Kriterien schaffen	+	++	+	+	++	+	++	++	+	++	++	++

	Erhöhung von Fördermitteln für Start-Ups und SMEs	++	++	++	++	++	++	+	++	+	++	++
<b>Ausbau von Netzwerken und Kooperationen</b>	Gründer:innen in Netzwerken begleiten und fördern	+	++		+	+	+	+	++		+	+
	branchenübergreifende Vernetzung	++	++	++	++	++	++	+++	++	+	++	++
	verstärkte internationale Kooperationen	+	++	++	++	+	++	++	+	+	+	++
	Förderung von Green Innovation Hubs	++	+	++	++	++	++	+	++	+	++	++
<b>Dissemination von Forschungsergebnissen</b>	Anwendungspotenziale für bestehende Technologien aufzeigen	++	++	++	++	++	+++	+++	++	++	++	++
<b>Bürokratieabbau</b>	Unternehmensgründungen vereinfachen	+	+		+	+	+	+	+		+	+
	Verwaltungsverfahren vereinfachen	+	+	+	+	+	+	++	+	+	+	+
	verbesserte Konditionen für Green-Start-Ups	+	+		+	+	++	+	++		+	+

Zielgerichtete Lenkung	<b>regulatorische Maßnahmen</b>	Internalisierung von THG-Kosten	++	++	++	++	++	++	+++	++	++	++	++	
		Förderungen an den langfristigen Outcome koppeln							++					
		mit Steuern steuern								+				
		Etablierung der Kreislaufwirtschaft	+	+	+	++	+	+++	+++	++	++	++	++	++
	<b>evidenzbasierte politische Entscheidungen</b>	politische Entscheidungen auf Basis von LCA treffen	++	++	++	++	++	++	+++	++	++	++	++	++
		verstärkte Anwendung von Bedarfsanalysen								++				
	<b>öffentliche Beschaffung</b>	Innovationsfördernde Öffentliche Beschaffung ankurbeln								++				
	<b>Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung</b>	Best Practice Cases schaffen, um Nachahmer:innen zu motivieren	+	+		+	+			++	+	+	+	+
		Nachfragesteigerung durch Bewusstseinsbildung	++	++		+	+	+	+	+	+	++		
	<b>Missionsorientierung</b>	Missionsorientierung d. Forschung vorantreiben								++				

---

**Thematische Orientierung**

verstärkte thematische Ausrichtung der Forschungsförderung

++

---

## Technologie-Steckbriefe

- Additive Fertigung
- Augmented Reality
- Biologisch abbaubare Sensoren
- CCU
- Chemisches Recycling
- Distributed-Ledger-Technologie
- Drohnen
- Enzymatische Abfallaufbereitung
- Exoskelette
- Fertigung 4.0
- Hologramme
- Hydrothermale Verflüssigung
- Intelligente Sensoren
- Künstliche Intelligenz
- Lichtbogenöfen
- Logistik 4.0
- Mikrobielle Brennstoffzellen
- Mikroelektromechanik
- Nanotechnologie
- Optoelektronik
- Organische LED
- Smarte Textilien
- Ultrakurzpuls laser
- Virtual Reality
- Wasserstoff

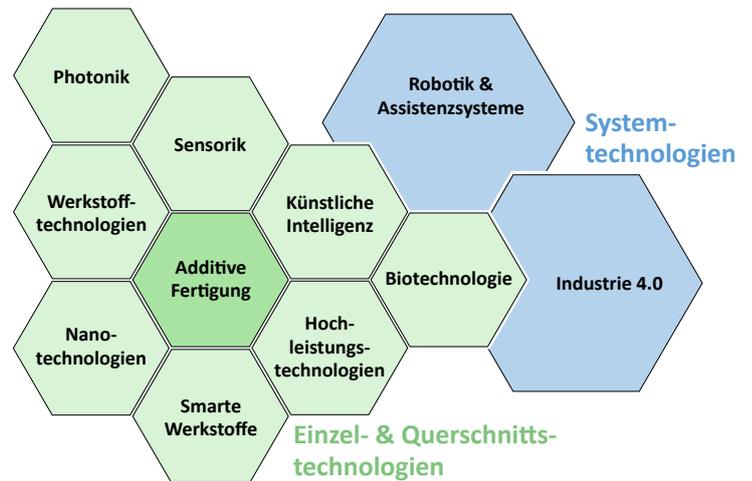
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Additive Fertigung

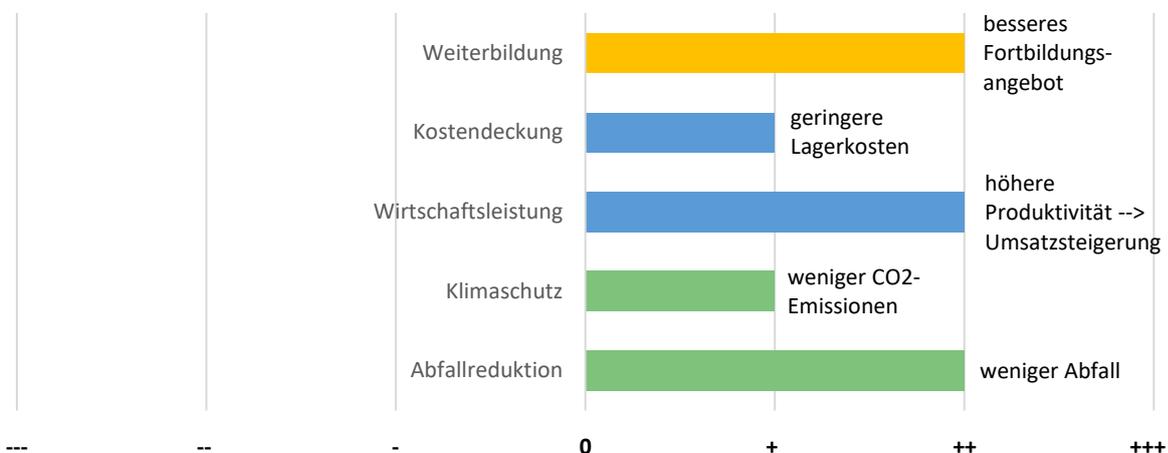
### KURZBESCHREIBUNG

Mit additiven Fertigungsverfahren werden aus formlosen Materialien dreidimensionale Bauteile gefertigt. Die Vielfalt an möglichen Anwendungen (Mobilität, Prototypenbau, Werkzeug- und Vorrichtungsbau, Medizintechnik, Reparatur und Instandhaltung, etc.) und nutzbaren Materialien (Kunststoff, Metall, Keramik, Hybridmaterialien, etc.) sowie an verfügbaren Technologien ist sehr groß. Die Potenziale additiver Fertigungsverfahren liegen unter anderem in einem effizienten Produktdesign und einer gesteigerten Prozesseffizienz, aber auch in der neuartigen Konfiguration des Produktionssystems (on Demand und personalisiert). Weiters kann durch den Aufbau von additiven Fertigungskapazitäten zur Resilienz der Produktion beigetragen werden und auch Anreize für kreislauffähige Geschäftsmodelle geschaffen werden. Ein Beispiel für ein innovatives AF-Verfahren ist die drahtbasierte additive Fertigung mittels Lichtbogen, die das schnelle und äußerst effiziente Anfertigen von Metallteilen ermöglicht und dadurch herkömmliche Techniken wie Gießen und



Schmieden ersetzen kann. Als Weiterentwicklung des 3D-Drucks nimmt der 4D-Druck eine Sonderstellung ein. Dabei transformiert sich ein im 3D-Druck hergestelltes Objekt durch den Einfluss einer externen Energie in eine andere Struktur. Dadurch können völlig neue Produktinnovationen wie beispielsweise Formgedächtnismaterialien oder sich selbst reparierende Infrastrukturen entstehen.

### NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

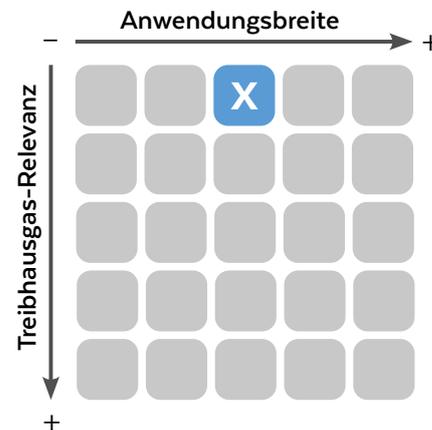
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Reifegraderhöhung durch F&E von verschiedenen AF Technologien (Lichtbasierten Verfahren, Drahtbasierte Additive Fertigung, Extrusionsverfahren, 4D-Druck)
- weitere industrielle Anwendungsfelder identifizieren
- neue Materialien und Multimaterialien entwickeln
- Etablierung von Materialdatenbanken und Normen
- Weiterentwicklung von Prozesssimulationen
- Verbesserung der Prozessstabilität

## DISRUPTIVER CHARAKTER

Additive Fertigungsverfahren haben das Potenzial sich disruptiv auf Märkte auszuwirken, da sie ganze Wertschöpfungsketten vom Produktdesign über Produktionsprozesse bis hin zur Lieferkette tiefgreifend verändern können.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

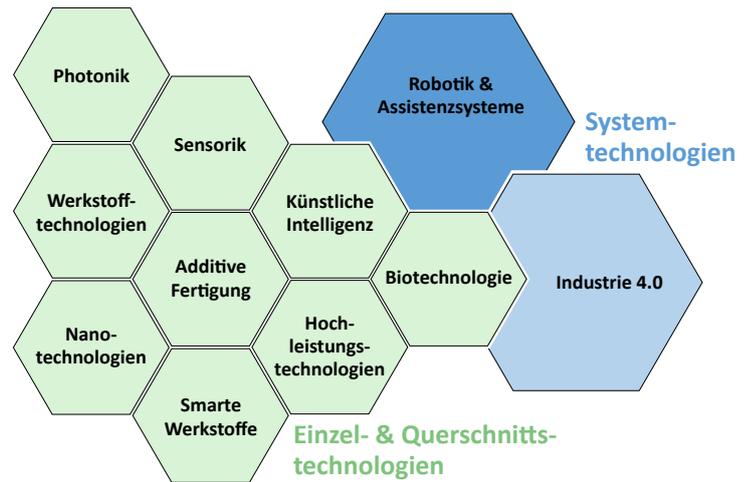
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

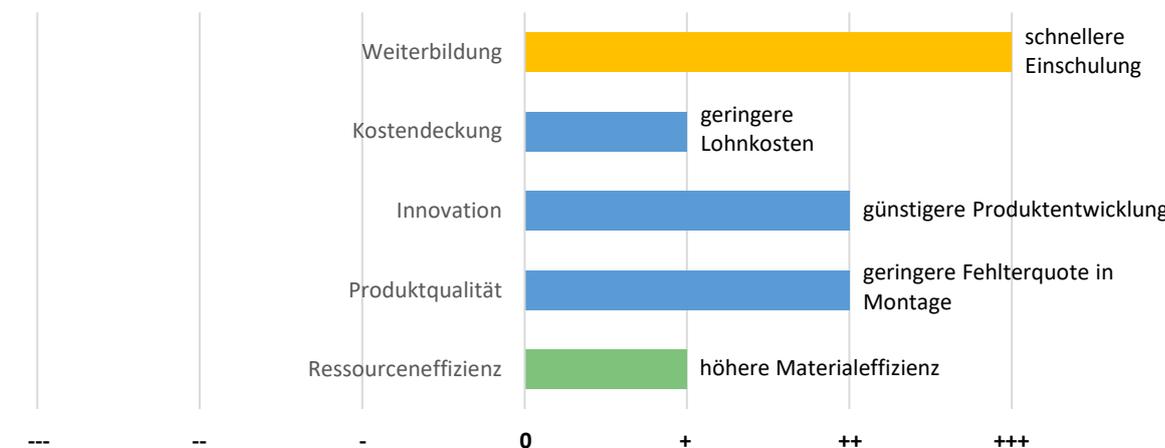
# Augmented Reality

### KURZBESCHREIBUNG

Augmented Reality (AR) bezeichnet die virtuelle Erweiterung der Realität durch die Darstellung zusätzlicher Informationen. In der Sachgüterproduktion bieten sich zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten, die komplexe Arbeitsprozesse vereinfachen können. Ein wichtiger Anwendungsbereich ist Assistenz in Form von eingeblendeten Arbeitsanweisungen. Bei Fertigungsprozessen können mittels AR direkt die notwendigen Arbeitsschritte für Monteur:innen eingeblendet oder zusätzlich bei Reparaturen fehlerhafte Teile identifiziert und automatisiert nachbestellt werden. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Kombination von virtuellen und physischen Objekten mittels AR. Etwa im Prototypenbau von Maschinenteilen kann die Passgenauigkeit bereits bei der Fertigung umfassend überprüft werden. Auf der anderen Seite können auch vor Ort mögliche Modifikationen an Anlagen sichtbar gemacht werden. Potenziale liegen in der Produktivitätssteigerung durch gezielte Information und Vernetzung einzelner Arbeitsschritte und ganzer Prozesse.



### NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



#### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

#### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

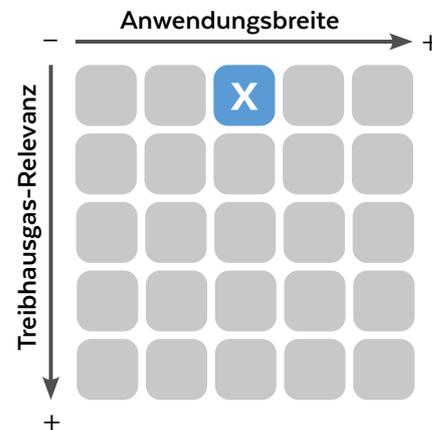
### TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

### MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

### ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



### F&E BEDARF

- Identifikation von bestehenden und potenziellen Anwendungen in der Industrie (HUD im Gabelstapler, Arbeitsanweisungen für die Montage, Unterstützung bei Produktkontrollen usw.)
- Erarbeitung von Standardisierungen zur Verbesserung der Konnektivität
- Erprobung von neuen Anwendungen (etwa in der Fertigung und Logistik)
- Skalierung dieser Anwendungen innerhalb und außerhalb der jeweiligen Branche

### DISRUPTIVER CHARAKTER

- Ein- und Nachschulungen für Monteur:innen können anders erfolgen und zum Teil ersetzt werden
- Automatisierung der Dokumentation für die Qualitätssicherung möglich
- speziell im Prototypenbau lassen sich Vermessungsfehler vermeiden

### HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

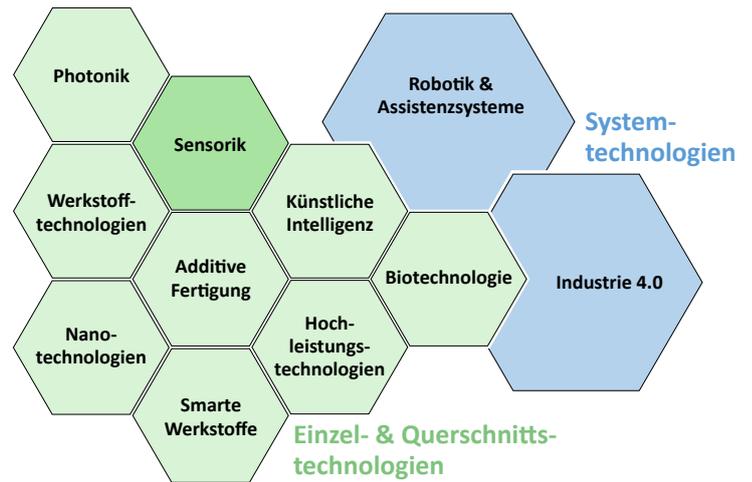
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

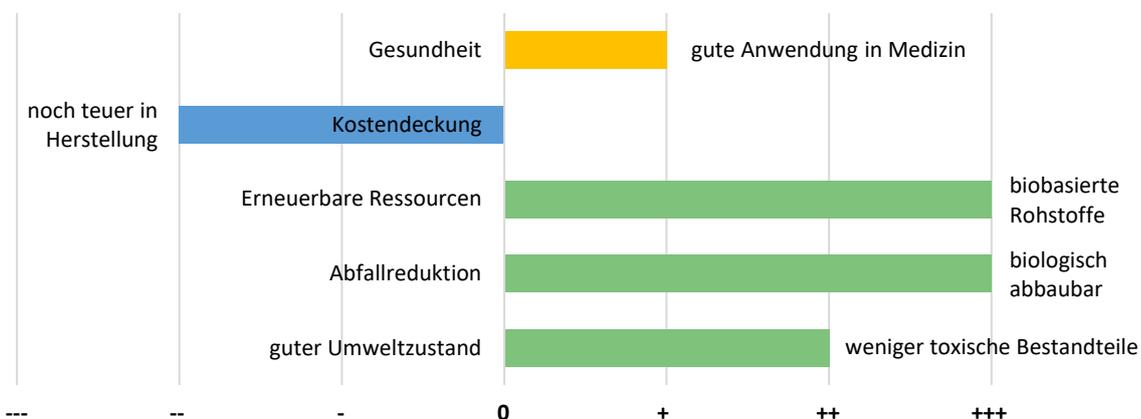
# Biologisch abbaubare Sensoren

## KURZBESCHREIBUNG

Biologisch abbaubare Sensoren sind elektronische Komponenten mit begrenzter Lebensdauer, die im Gesundheitswesen, in der Landwirtschaft sowie im Lebensmittel-sektor eingesetzt werden. Im Gesundheitswesen können aufwändige Untersuchungen, Beobachtungen oder Nachkontrollen mit entsprechenden Sensoren automatisiert und auch abseits der Krankenhäuser erfolgen. Im Lebensmittelsektor können biologisch abbaubare Sensoren, zur Optimierung der Kühlketten und damit auch zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen eingesetzt werden. In der Landwirtschaft geht man von einer Produktivitätssteigerung aus, wobei gleichzeitig Düngemittel- und Wasserverbräuche signifikant optimiert werden können. Nachdem sich diese Sensoren am Ende ihrer Lebensdauer auflösen ohne Schadstoffe zu hinterlassen, können sie auch einen positiven Beitrag zur Verringerung des elektronischen Müllberges leisten.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

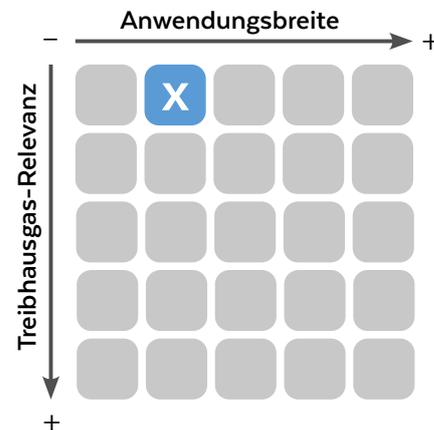
## F&E BEDARF

- neue Werkstoffe für biologisch abbaubare Sensoren (Materialchemie)
- Tattoo-ähnliche Sensoren für medizinische Anwendungen (bspw. Sensoren, die eigenständig Medikationen auslösen können, vollständig biologisch abbaubare Sensoren für Implantate)
- Kombination von biologisch abbaubaren Sensoren und biologisch abbaubaren Batterien
- biologisch abbaubare Temperatursensoren für den Einsatz in den Bereichen Lebensmittel und Medizin
- Sensoren, die ähnlich einem Lackmus-Papierstreifen unkompliziert die Trinkwasserqualität von Gewässern anzeigen können
- druckbare, biologische Solarzellen zur Versorgung von Sensoren

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren

## ANWENDBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## DISRUPTIVER CHARAKTER

- Durch die laufend kostengünstiger werdende Sensortechnik werden neue Bereiche und Anwendungen erschlossen, um gezielt mit Sensoren Daten zu generieren.
- Da die laufende Sammlung und Interpretation von Daten ermöglicht wird, können neue Abläufe entstehen – etwa wenn die Feuchteregulierung auf einem Feld automatisiert erfolgt oder die Wirkung von Medikamenten direkt mitverfolgt und interpretiert wird.

- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

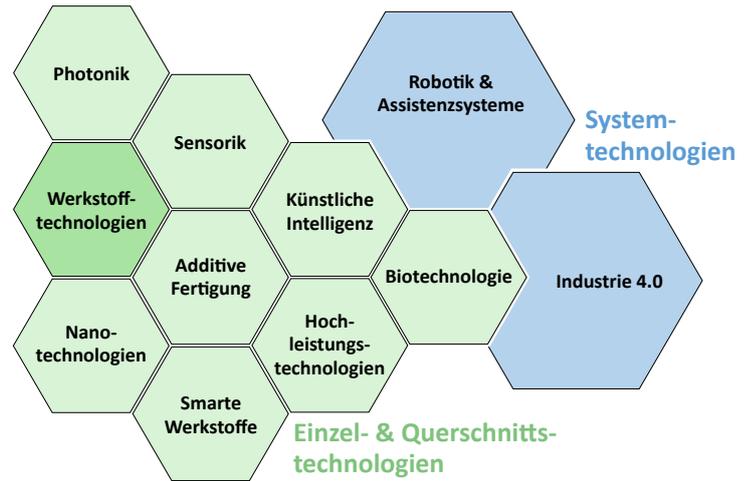
TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Carbon Capture and Utilization (CCU)

## KURZBESCHREIBUNG

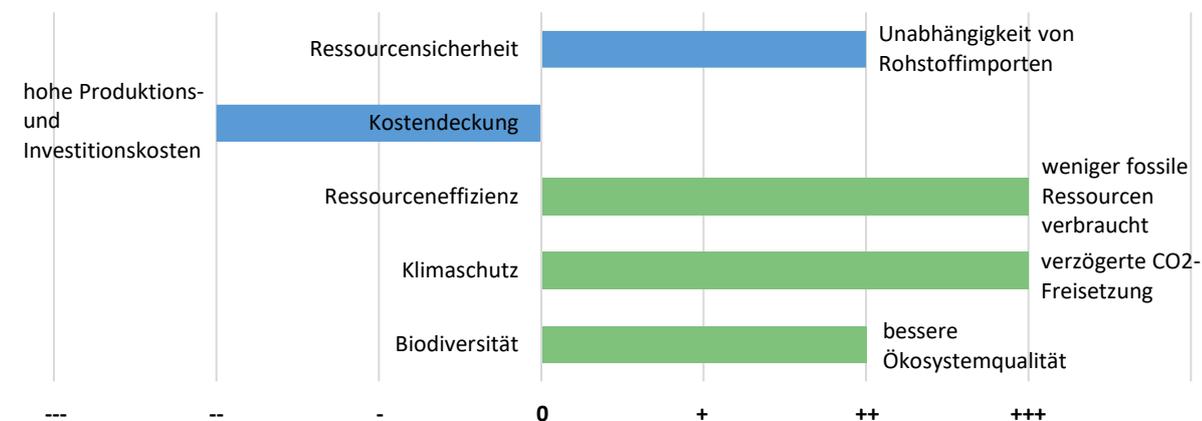
Carbon Capture and Utilization (CCU), also die Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus Verbrennungsabgasen mit nachfolgender Nutzung als Rohstoffquelle für weiterführende industrielle Prozesse, stellt eine mögliche Perspektive für emissionsintensive Industriebereiche dar. CCU bietet diesen Branchen damit die Möglichkeit weiter ihre hochwertigen Produkte herzustellen und klimarelevante Emissionen nicht nur zu reduzieren, sondern sie einer weiteren Verwertung als Rohstoff für neue Wertschöpfungsketten zur Verfügung zu stellen und damit einen Mehrwert aus der Verwertung von CO<sub>2</sub> zu erzielen. Einige mögliche Nutzungswege bzw. Verfahren ausgehend von CO<sub>2</sub> werden nachfolgend aufgelistet:

- Watergas-Shift Reaktion mit Wasserstoff zu chemischen Grundstoffen oder Treibstoffen
- Methanisierung von Biogas zur vollständigen Umwandlung in Green Gas
- CO<sub>2</sub> für Chemische Synthesen meist von Kunststoffen



- Biologische Umwandlung mit autotrophen Mikroorganismen und Algen
- Direktnutzung des CO<sub>2</sub> als Schutzgas, Extraktions- und Kältemittel oder Kohlensäure
- Chemical Looping bei Verbrennungstechnologien für hohe CO<sub>2</sub>-Abgaskonzentrationen und leichte Abtrennung

## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



## TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

## INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

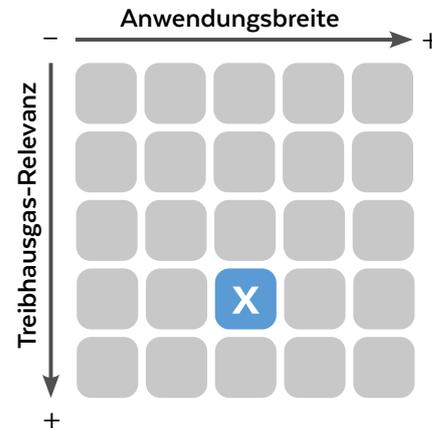
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- (Weiter-)Entwicklung von Katalysatoren, Katalyse und Reaktionskinetik für verschiedene Anwendungen
- Upscaling (Reaktorauslegung)
- Verfahrenstechnisches Prozessdesign
- Wirtschaftlichkeits- und Machbarkeitsanalysen
- Chemische Synthese: geeignete Katalysatoren für höhere Ausbeuten entwickeln
- Watergas-Shift Reaktion: geeignete Katalysatoren für höhere Ausbeuten entwickeln und technische Umsetzung von effizienten Elektrolyseverfahren
- Biologische CO<sub>2</sub>-Fixierung durch Bakterien und Algen: Reaktorsysteme, Wirtschaftlichkeitsanalysen

- Chemical looping zur Erzielung von hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Abgas: Oxygen Carrier Auswahl, Kinetik und Prozessdesign
- Sektor-Kopplung: Power-to-X mit CCU und Wasserstoff verknüpfen
- Analyse Rohstoffbilanz für klimaneutrale Kunststoffindustrie 2040
- Leitprojekte

## DISRUPTIVER CHARAKTER

- Abkehr von fossiler Primärrohstoffbasis
- Neusynthese von chemischen Grundstoffen ersetzt konventionelle Destillations- und Crackprozesse

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- **C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung**
- **C20 / chemische Erzeugnisse**
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- **C22 / Gummi- und Kunststoffwaren**

- **C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden**
- **C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung**
- **C25 / Metallerzeugnisse**
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- **C28 / Maschinenbau**
- **C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile**
- **C30 / sonstiger Fahrzeugbau**
- **C31 / Möbel**

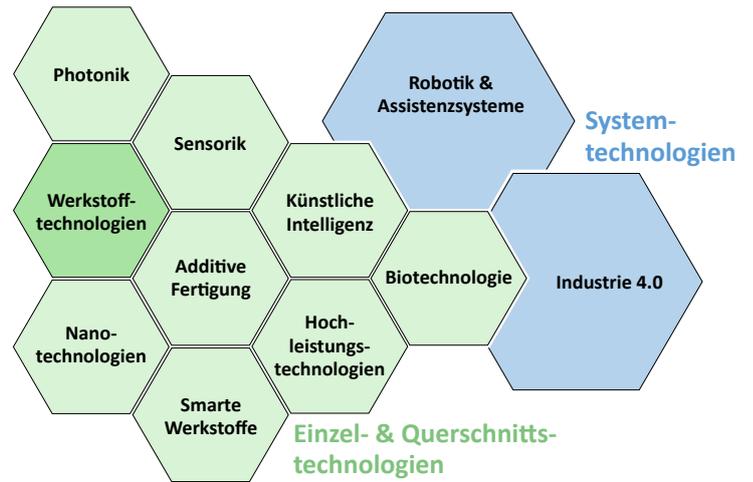
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

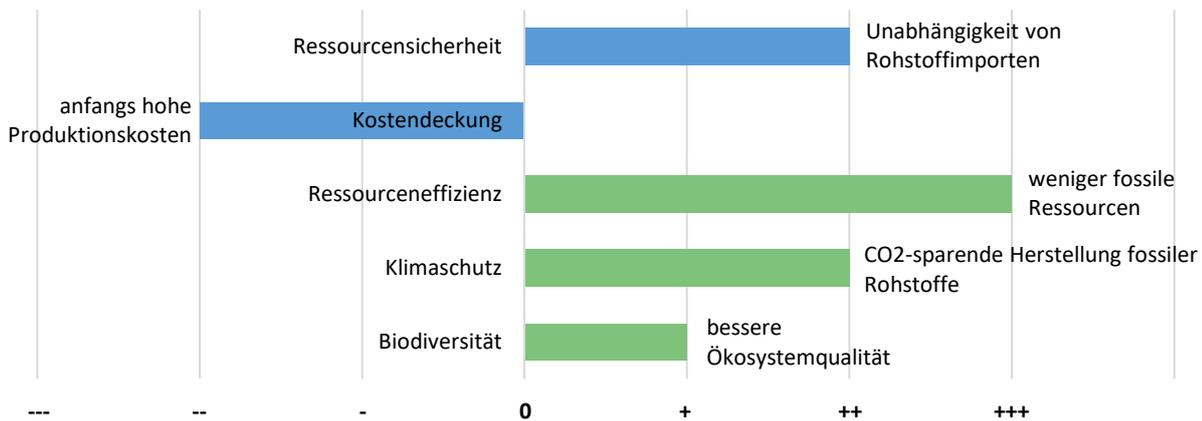
# Chemisches Recycling

## KURZBESCHREIBUNG

Das chemische Recycling geht über die mechanischen Verarbeitungsschritte des werkstofflichen Recyclings hinaus und löst die Feststoffe in Lösungsmitteln mit oder ohne Depolymerisation oder spaltet die Verbindungen in kleinere Einheiten, die Ausgangsstoffe für Neusynthesen sein können. Grundsätzlich wird beim chemischen Recycling zwischen Lösungsverfahren und thermochemischen Verfahren unterschieden. In den meisten Fällen können dabei auch Schadstoffe aus dem Rezyklat entfernt und damit die Qualität der Produkte gesteigert werden.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

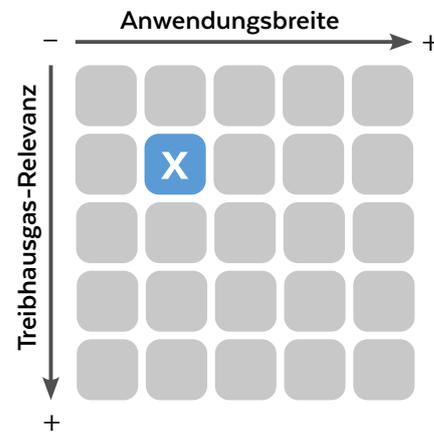
## F&E BEDARF

- chemisches Recycling gemischter Kunststoffabfälle
- Erprobung von Pilot- und Demonstrationsanlagen im etablierten Sortierungssystem und bestehenden Prozessketten
- Entwicklung von digitalen Modellen
- Wasserstoffnutzung im chemischen Recyclingprozess
- Untersuchung von Zuschlags- und Verstärkungsstoffen
- Prozessplastizität bei schwankenden Abfallqualitäten
- Stoffstromanalysen und ganzheitliche Bewertungsverfahren (z. B. Abfallzusammensetzungen, Energiebilanzen)
- Wege zur Minimierung von Heteroatomen insbesondere Halogenen
- Weiterentwicklung von Depolymerisationsverfahren
- Weiterentwicklung von Solvolyse-Verfahren
- Rückgewinnung von Zellulose und Polyester aus textilen Mischfasern

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- **C13 / Textilien**
- **C14 / Bekleidung**
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- **C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung**
- **C20 / chemische Erzeugnisse**
- **C21 / pharmazeutische Erzeugnisse**
- **C22 / Gummi- und Kunststoffwaren**

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## DISRUPTIVER CHARAKTER

- Abkehr von fossiler Primärrohstoffbasis
- Rückgewinnung von Einsatzstoffen auch aus Mischmaterialien (unterschiedliche Kunststoffe, Kunststoffe und Zellulose) für die Kunst- und Kraftstoffproduktion, Textilproduktion sowie für die petrochemische Industrie und Schonung von Ressourcen
- Je nach Verfahren werden Teile der Herstellkette nicht mehr benötigt (z.B. PS-loop Verfahren führt zu recyceltem Polystyrol, wodurch die Herstellung von Styrol wegfällt)
- Chance für Produktionskapazitäten in Österreich bzw. in Europa.

- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

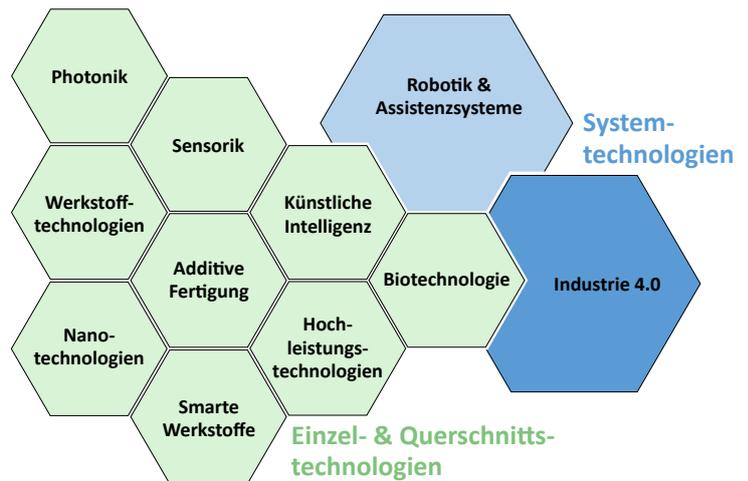
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

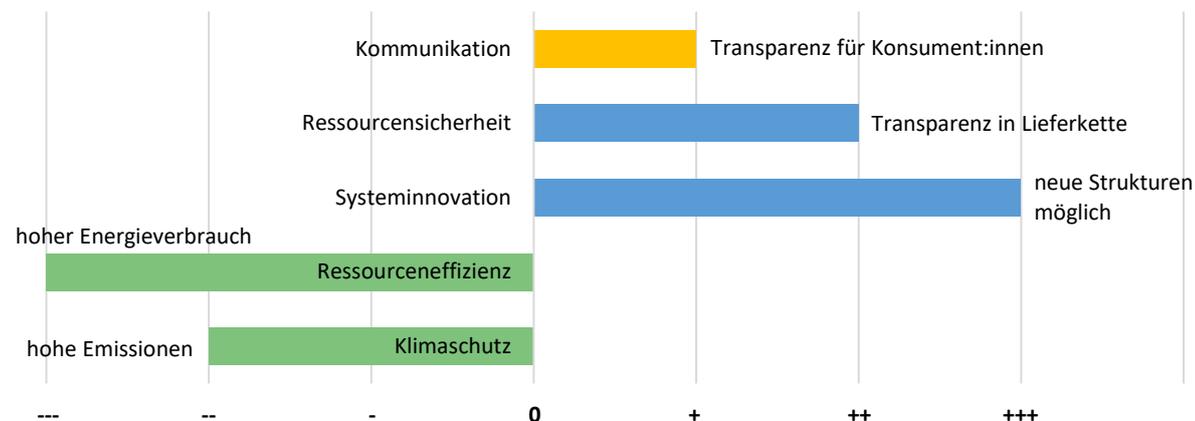
# Distributed-Ledger-Technologie (DLT)

## KURZBESCHREIBUNG

Distributed-Ledger ist die bekannteste Anwendung der Blockchain-Technologie und bezeichnet eine dezentrale Datenbank, bei der die gesamte Datenbank auf jedem Knotenpunkt im Netz hinterlegt ist. Die Änderung der Datenbank eines Computers wird über das dezentrale Netzwerk weitergegeben, sodass die Datenbanken aller Computer identisch bleiben. Die kryptografisch gesicherte Datenstruktur besteht aus einer verknüpften Liste, sodass ihre Elemente nicht geändert werden können, nachdem sie festgelegt wurden. Damit werden digitale Transaktionen sicher, nicht manipulierbar und für die Teilnehmer:innen nachvollziehbar dokumentiert. Gerade die für die Kreislaufwirtschaft notwendige Transparenz der Lieferketten (z. B. Rückverfolgbarkeit von Rohstoffen oder Produkten) kann durch diese Technologie stark verbessert werden. Ineffizienzen, Umweltverstöße und Manipulationen in den globalen Lieferprozessen werden sichtbar. Die Blockchain-Technologie hat enormes Potenzial, um digitale Prozesse effizienter zu gestalten und Innovationen in vielen Wirtschaftsbereichen anzustoßen.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

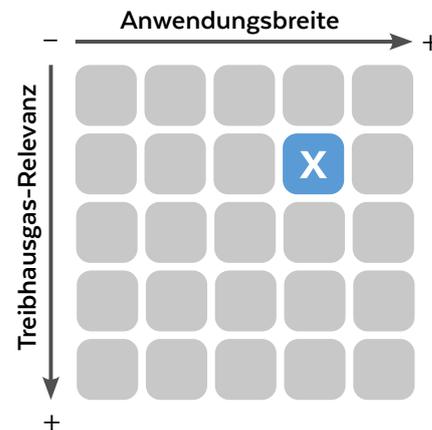
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Skalierbarkeit erhöhen
- Big Data Analytics
- Interoperabilität
- Effiziente Sichere Consens-Protokolle
- Post-quantum Kryptosysteme
- Integration von Blockchain mit anderen Technologien

## DISRUPTIVER CHARAKTER

Das disruptive und damit revolutionäre Potenzial besteht bei dieser Technologie darin, dass sie Denk- und Vorgehensweisen in vielen Bereichen verändern wird, da

- Kryptographie für Nachprüfbarkeit und Transparenz sorgt,
- die Transfers in Echtzeit stattfinden,
- die auf allen Knotenpunkten im Netz gespeicherten Daten vertrauenswürdig sind, und
- durch den Geschäftsprozess Intermediäre („Dazwischenliegende“) obsolet werden (Peer-to-Peer Transaktionen).

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

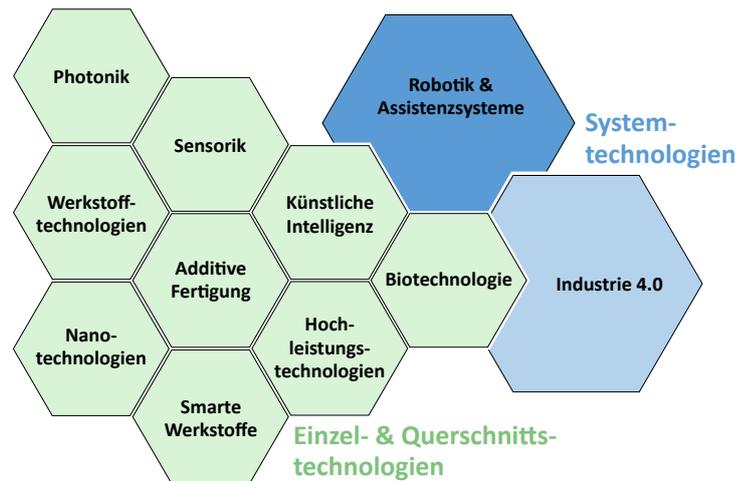
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

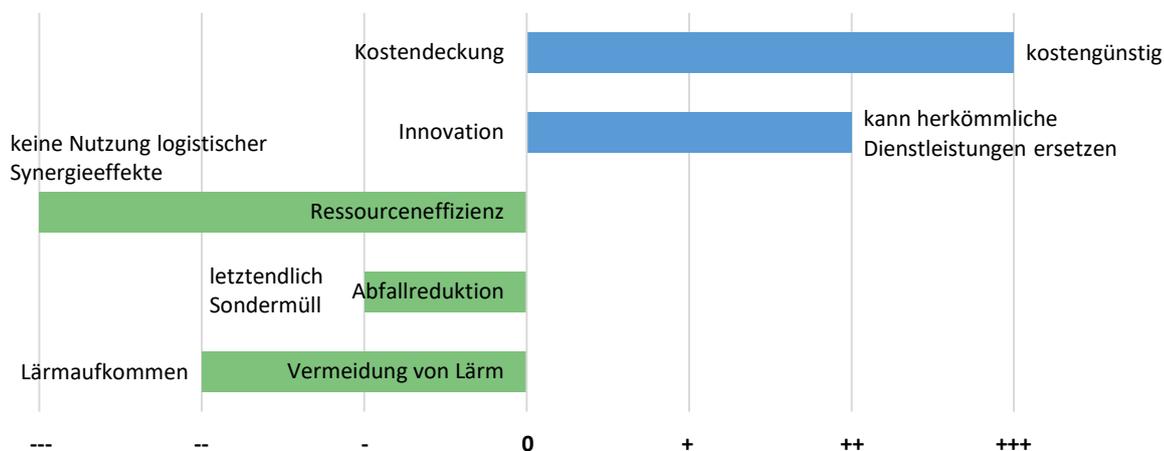
# Drohnen

### KURZBESCHREIBUNG

Drohnen (auch UAS - unmanned aircraft systems) sind typischerweise kleine unbemannte Flugobjekte. Drohnen können unterschiedlichste Zwecke erfüllen: Warentransport in relativ kleinem Rahmen (Gewicht, Reichweite usw.), Träger für spezielle Ausrüstung (z. B. Wärmebildkamera) oder zur Inspektion von großen und/oder schlecht erreichbaren Anlagen. Ähnlich wie es aktuell schon Angebote gibt, ein Gebäude mit einer Wärmebildkamera aufzunehmen und die gemachten Bilder auszuwerten, werden sich Dienstleistungen rund um Schädlingsbefall, Unkrauterkennung und eventuell auch -beseitigung und in der industriellen Instandhaltung bilden. Alles das führt zu Produktivitätssteigerungen. Im Wesentlichen könnten Drohnen Rohrpostsysteme ersetzen, die außerhalb von Gebäuden verlaufen. Stark von der politischen Ausgestaltung abhängig ist, ob sich Botendienste via Drohnen bilden dürfen und falls ja, in welchem Ausmaß.



### NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

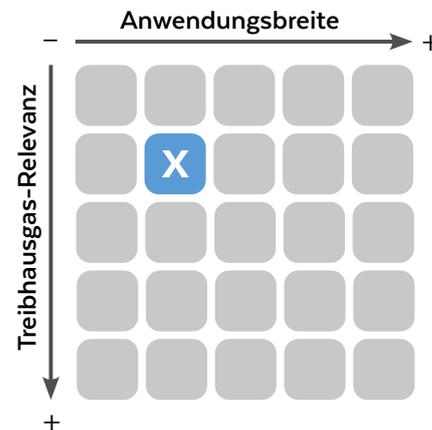
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Szenarientwicklungen, um zeitnah einen Rahmen für zukünftige Rechtsnormen zu erarbeiten
- Etablierung von Clustern und Netzwerktreffen für den ständigen Austausch von erfolgreichen Anwendungen
- Entwicklung von Use und Business Cases für den Einsatz von Industrie-Drohnen als Dienstleistung (Anlagenüberwachung, Kontrollflüge im Zuge der Instandhaltung, Einsatz in der Land- und Forstwirtschaft usw.)
- Weiterentwicklung von Komponenten (Batterien, Kameras, Software, Steuerung, Leichtbau, Trägersystem für wechselbare Geräte usw.)

## DISRUPTIVER CHARAKTER

- Drohnen bieten eine ganze Reihe an neuen Möglichkeiten: schneller Transport von z. B. Paketen, Dokumenten oder auch Medikamenten, Überwachungs- und Kontrollflüge bei Industrieanlagen, entlegenen Gebieten sowie in der Land- und Forstwirtschaft. Hierbei werden nicht nur bestehende Technologien ersetzt, sondern gänzlich neuartige Anwendungsmöglichkeiten geschaffen.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- **C17 / Papier, Pappe & Waren daraus**
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- **C20 / chemische Erzeugnisse**
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- **C22 / Gummi- und Kunststoffwaren**
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- **C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung**
- **C25 / Metallerzeugnisse**
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- **C27 / elektrische Ausrüstung**
- **C28 / Maschinenbau**
- **C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile**
- **C30 / sonstiger Fahrzeugbau**
- **C31 / Möbel**

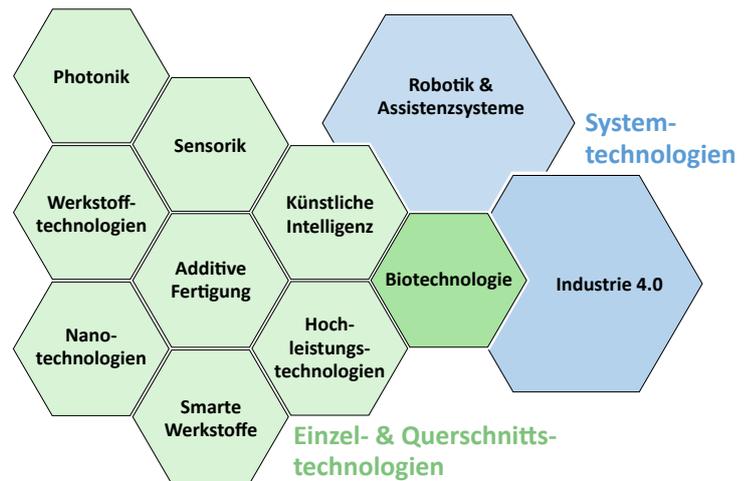
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

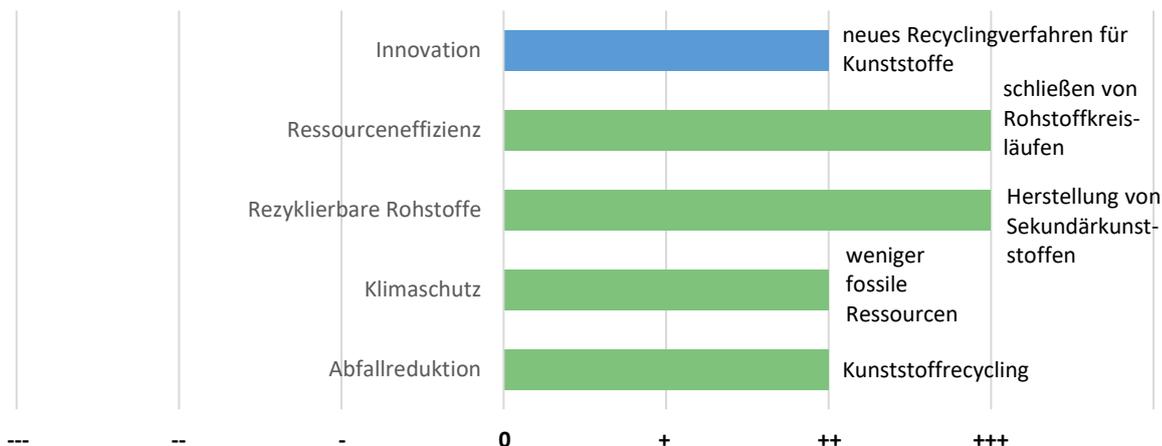
# Enzymatische Abfallaufbereitung

## KURZBESCHREIBUNG

Neben dem chemischen Recycling existieren bereits weitere zahlreiche Ansätze, Abfälle enzymatisch aufzubereiten, um direkt oder indirekt Grundchemikalien daraus zu gewinnen oder die Abfälle entsprechend abzubauen. Enzyme sind in der Lage aus Abfällen, die aus unterschiedlichen Materialkombinationen bestehen, Rohstoffe wie beispielsweise Zellstofffasern oder Polymere für die Kunststoffproduktion zu gewinnen. Bislang stofflich nicht genutzte Abfallströme können durch die enzymatische Abfallaufbereitung in einen Stoffkreislauf überführt werden und damit den Verbrauch an fossilen Rohstoffen reduzieren. Durch die Etablierung von räumlich kurzen Kreisläufen können hierbei gezielt Anlagen in Österreich angesiedelt werden. Auch kann durch enzymatischen Kunststoffabbau ein Beitrag zur Reduktion der Umweltbelastung durch Mikroplastik geleistet werden (z. B. Einsatz zur Abwasserreinigung).



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

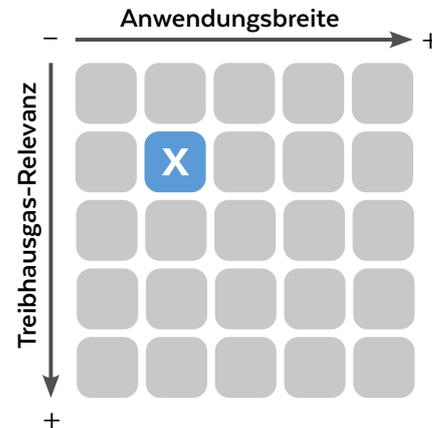
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Bereitstellung geeigneter Enzymsysteme (auch für den Kunststoffabbau),
- Prozessstabilität,-optimierung,
- Identifikation und Quantifizierung in Betracht kommender Abfallströme,
- Identifikation möglicher Anwendungen, Konzeptprüfungen und Erprobung von Anlagenprototypen,
- Sammlung, Erfassung von Stoffströmen,
- Umsetzung von ersten Pilotanlagen als Leuchtturmprojekte für weitere Anwendungen, Upscaling,
- Biotechnologie in der Umwelttechnik (bspw. Entfernung von Mikroplastik).

## DISRUPTIVER CHARAKTER

- Sofern entsprechend kostengünstige und großvolumige Reaktorkonzepte realisiert und auch geeignete Enzyme eingesetzt werden können, stellt die enzymatische Abfallaufbereitung auch eine Konkurrenz für bestehende mechanische und biologische Aufbereitungsverfahren dar.
- Darüber hinaus werden weitere Abfallströme (zb Abfälle aus Mischmaterialien) als Rohstoffquellen erschlossen, die bislang nicht rezyklierbar waren. Sinngemäß eröffnen sich damit neue (Nischen-)Märkte.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

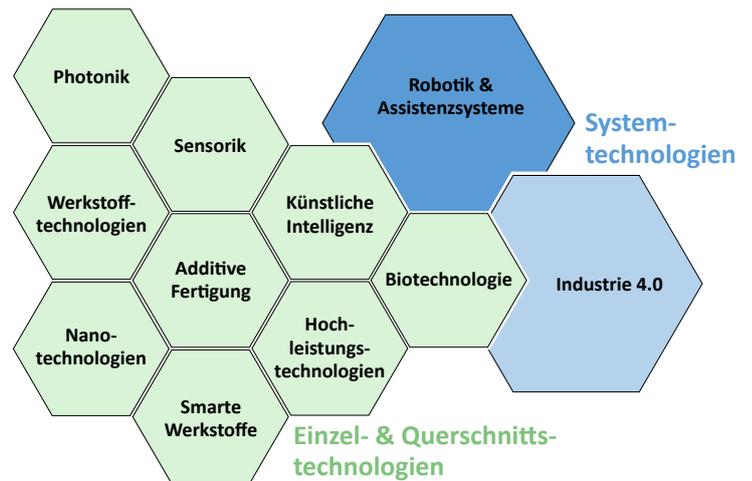
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

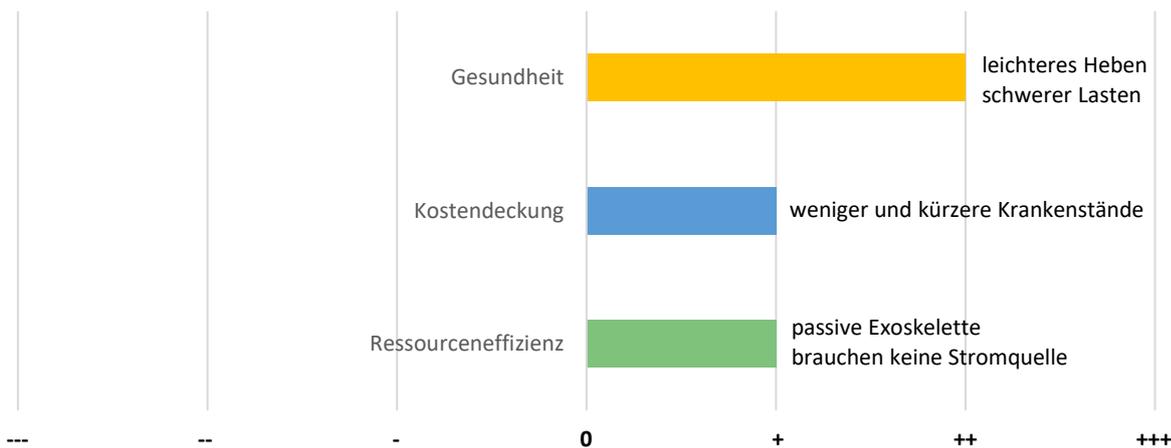
# Exoskelette

## KURZBESCHREIBUNG

Exoskelette sind am Körper getragene Stützstrukturen, die durch elektrische oder mechanische Unterstützung physische Arbeitsbelastungen reduzieren. Bisher vor allem in der medizinischen Rehabilitation eingesetzt, können diese technischen Assistenzsysteme auch in der Fertigung, Montage oder Logistik schwere Arbeiten deutlich erleichtern und die Arbeitsleistung sowie Arbeitssicherheit verbessern. Neben Steigerung der Leistungsfähigkeit und damit der Produktivität bieten sie die Möglichkeit die betriebliche Inklusion Mitarbeitende mit körperlichen Einschränkungen zu unterstützen.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

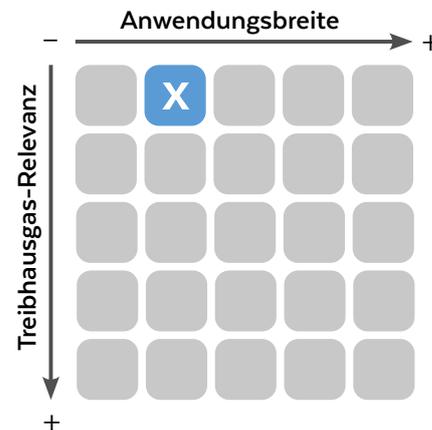
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Standardisierung der einzelnen Komponenten und Steuerungen, um einen robusten Ersatzteilmarkt aufzubauen,
- Evaluation: Langzeitstudien bei bereits bekannten Anwendungen auch hinsichtlich arbeitsphysiologischer Parameter und Quantifizierung von Produktivitätseffekten,
- funktionale Sicherheit und die IT-Sicherheit,
- Materialentwicklung z. B. hinsichtlich Leichtbau,
- Ergonomie von Exoskeletten erhöhen,
- Integration von Sensoren,
- KI-gesteuerte Exoskelette.

## DISRUPTIVER CHARAKTER

Exoskelette ersetzen keine bestehenden Technologien, sondern bieten neue Möglichkeiten in Hinblick auf Produktivitätssteigerungen in der Industrie. In Bezug auf den Arbeitsmarkt könnte sich durch die potenzielle Inklusion von Menschen mit speziellen Bedürfnissen das Arbeitskräftepotenzial erweitern.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

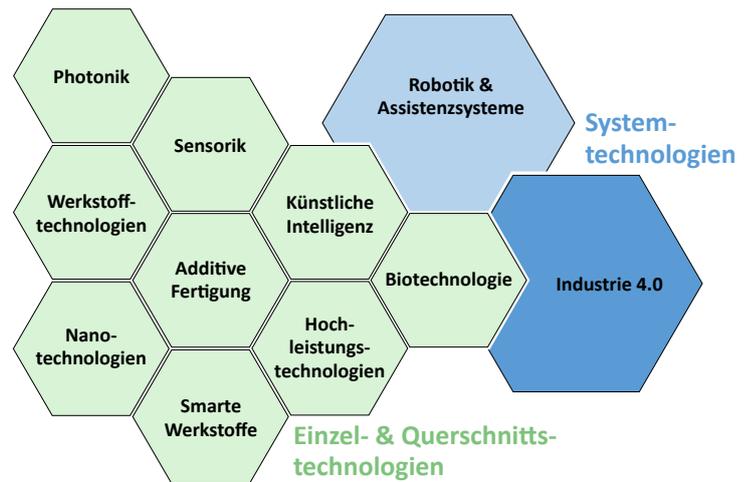
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

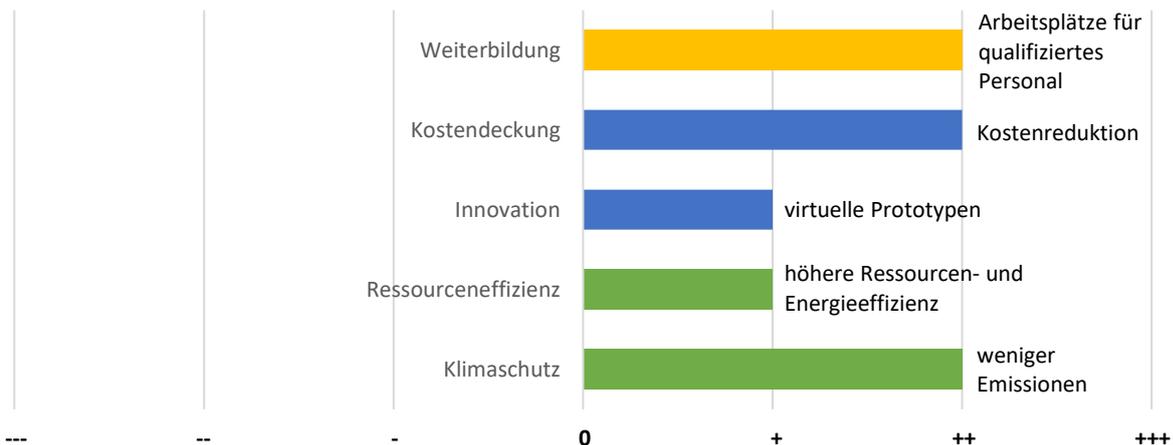
# Fertigung 4.0

### KURZBESCHREIBUNG

Unter Fertigung 4.0 wird hier sowohl die intelligente Automatisierung von Fertigungsprozessen als auch Cloud Manufacturing verstanden. Hierzu zählt insbesondere die Modernisierung der Produktionsanlagen mit smarten Steuerungen und Sensoren, um eine möglichst fehlerfreie Fertigung zu erreichen, sowie die digitalisierte Vernetzung von mehreren Produktionsanlagen und -stätten, um den Output weitestmöglich zu optimieren. Durch die Kombination dieser Technologien können Energie- und Ressourcenverbrauch gesenkt und CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert und die Effizienz der Produktion gesteigert werden.



### NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

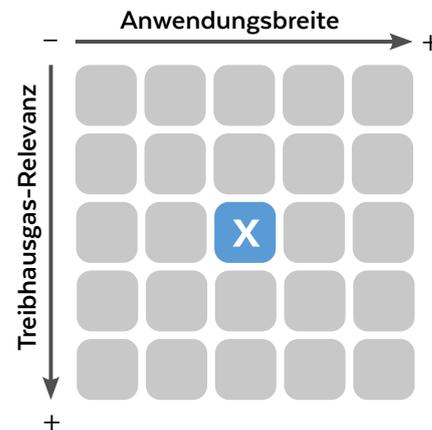
## F&E BEDARF

- Strategien des nachhaltigen Wirtschaftens in digitalen Wertschöpfungsnetzen entwickeln
- Datengetriebene Geschäftsmodelle und Veränderungen der Erlösgenerierung
- Flexible, modulare Produktionssysteme und ihre Systemarchitekturen
- Weiterentwicklung der Komponenten (z. B. Künstliche Intelligenz, Sensorik, Aktorik oder Kommunikationstechnik)
- Virtualisierung von Produktionssystemen und Prozessen
- Beherrschung von Komplexität
- Software für kognitive Systeme - von reaktiver zu proaktiver Steuerung
- Systems & Software Engineering für adaptive und zuverlässige Systeme

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



- Physikalische und menschliche Schnittstellen und deren Integration
- Extrahieren von Wissen aus heterogenen Datenquellen
- Modellierung und Analyse von physischen und virtuellen Komponenten

## DISRUPTIVER CHARAKTER

Die Fertigung 4.0 stellt langfristig große Veränderungen für Fertigungsprozesse dar. Einerseits für jene Prozesse, die erst modernisiert werden müssen, um automatisiert werden zu können. Andererseits die Nachrüstung mit entsprechenden Sensoren und Steuereinheiten. Für Anlagenhersteller verändert sich dadurch das erfragte Angebotsspektrum oder man gibt die Einschulung und Wartung in die Hände von entsprechenden Gewerbebetrieben.

- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

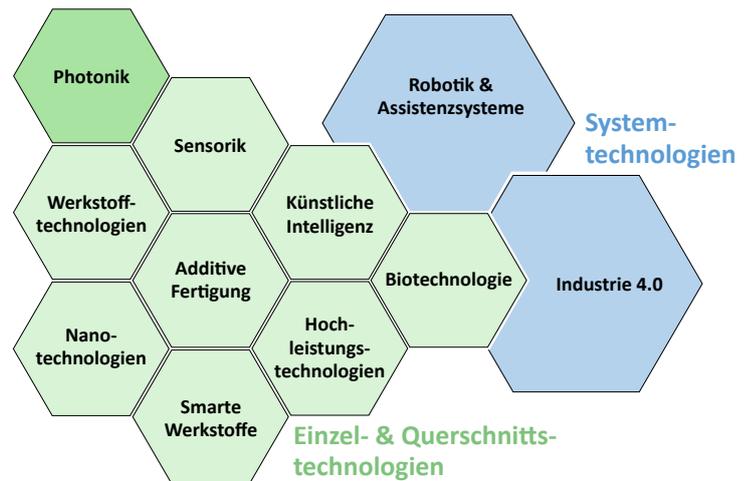
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

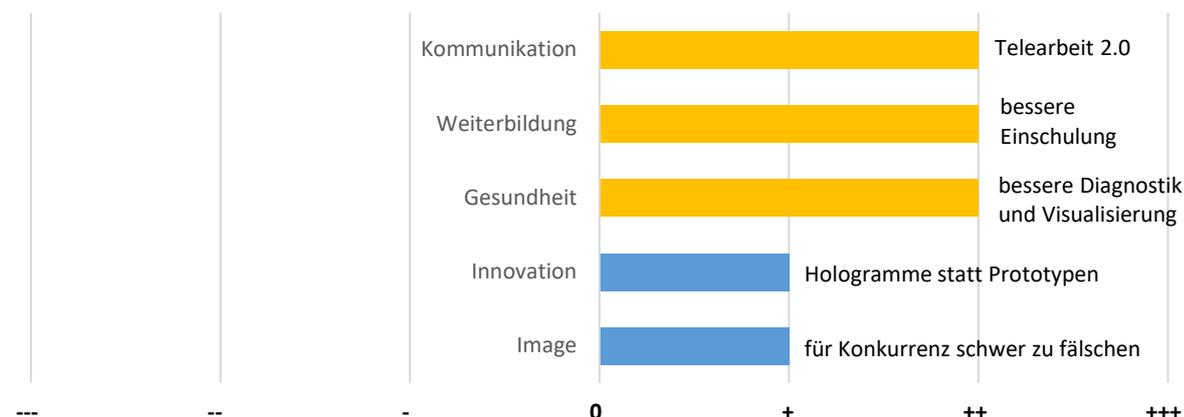
# Hologramme

### KURZBESCHREIBUNG

Ein Hologramm bezeichnet ein dreidimensionales Bild, das eine physische Präsenz im realen Raum hat, bzw. ein dreidimensionales Abbild einer Aufnahme. Hologramme werden momentan u. a. dazu beforscht, um dreidimensionale Displays zu erzeugen sowie akustische oder berührbare Hologramme zu erhalten. Darüber hinaus sind Hologramme in der aktuellen Forschung auch im Bereich der Mikroskopie interessant, um dreidimensionale Bilder zu erarbeiten. Auch Drucker für Hologramme sind derzeit ein Forschungsthema. Vor allem akustische und haptische Hologramme können zu deutlich barriereärmeren Eingabe- und Ausgabegeräten führen, was in weiterer Folge die Inklusion von Menschen mit Beeinträchtigungen verbessert. Darüber hinaus können holographische Displays den Einsatz von VR-Brillen bei manchen Anwendungen obsolet machen, da auf jeder Oberfläche eine 3D-Darstellung ermöglicht wird.



### NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



#### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

#### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

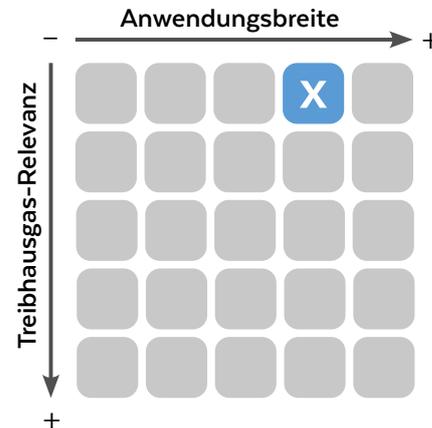
### TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

### MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

### ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



### F&E BEDARF

- Hardware-Entwicklung zur Herstellung von neuartigen Hologrammen
- Erprobung zur Fälschungssicherung von Industrieprodukten
- Entwicklung von 3D-Displays
- Kommunikation von Use Cases
- Vernetzung von Akteur:innen

### DISRUPTIVER CHARAKTER

- 3D-Displays werden bestehende 2D-Displays weitgehend ersetzen und mit berührbaren Hologrammen werden bislang noch nicht bekannte Eingabegeräte entstehen.

### HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

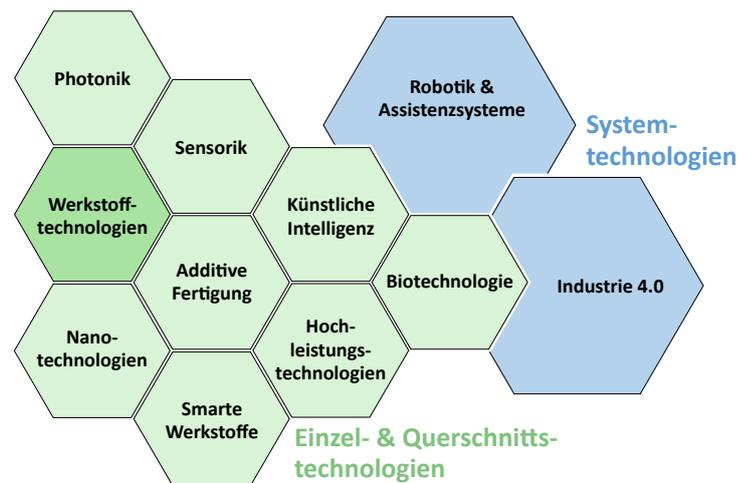
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

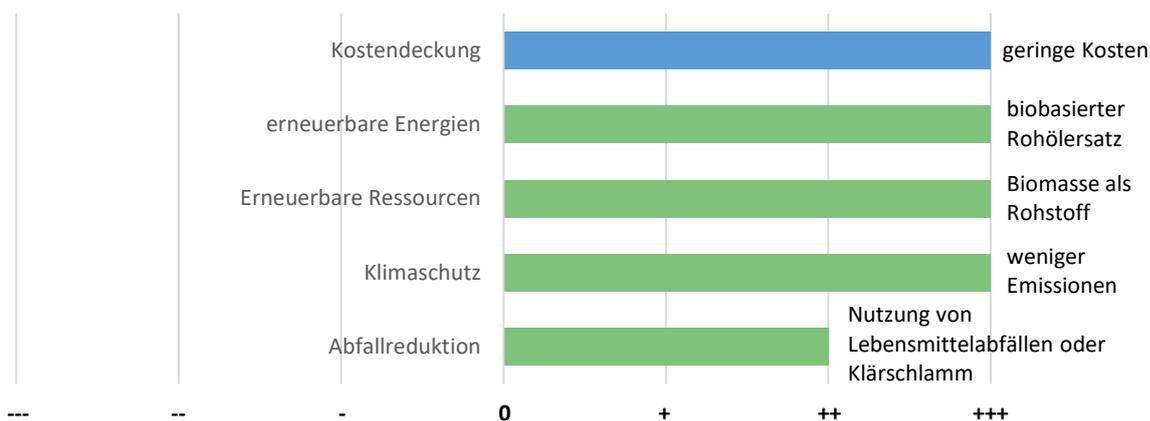
# Hydrothermal Liquefaction

## KURZBESCHREIBUNG

Die HydroThermal Liquefaction (abgekürzt: HTL / deutsch: hydrothermale Verflüssigung) ist ein thermisches Verfahren, bei dem aus feuchter Biomasse ein rohöl-ähnliches Produkt gewonnen wird. Die wesentlichen Unterschiede zu einem Pyrolyse-Verfahren sind, dass die Ausgangsmaterialien nicht eigens getrocknet werden müssen und die etwa doppelt so hohe Energiedichte des Endprodukts. Dadurch haben HTL-Öle den Vorteil, dass sie als „Drop in“ in bestehende fossile Raffinerien eingesetzt werden können. HTL-Öle können nicht nur für energetische Anwendungen verwendet werden. Somit sind auch kleinere Anlagen mit einer rein stofflichen Nutzung denkbar.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

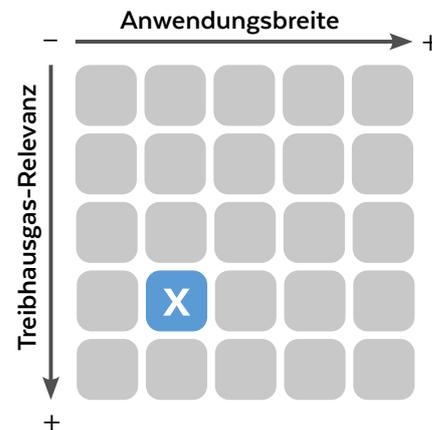
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- HTL-Verfahren optimieren
- Verfahren zur Weiterverarbeitung etablieren
- Testläufe als Feed-in in die bestehende fossile Infrastruktur einpassen
- Identifikation interessanter Rohstoffströme (Abfälle und Reststoffe)
- Konzepte zur ganzheitlichen Nutzung von Rohstoffen und Produkten
- Nachhaltigkeitsbewertungen und bewusste Integration in die Kreislaufwirtschaft

## DISRUPTIVER CHARAKTER

HTL ermöglicht den Rohstoffbedarf von bislang fossilen Raffinerien schrittweise auf Biomasse umzustellen und führt damit dazu, dass die gesamte Upstream-Kette komplett modernisiert wird.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

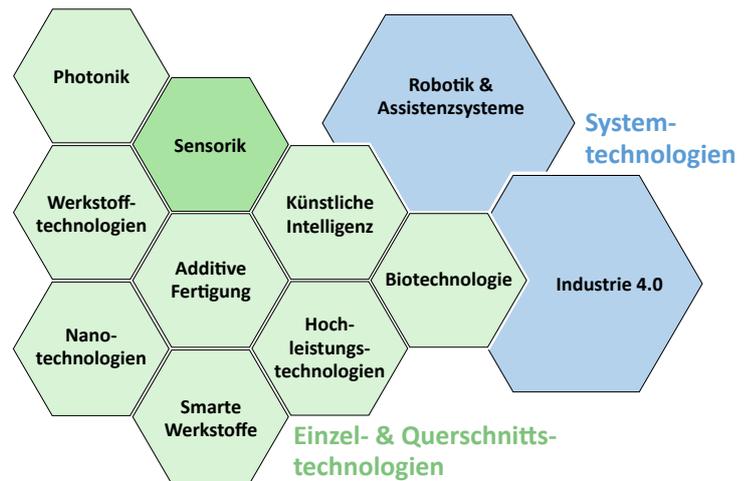
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

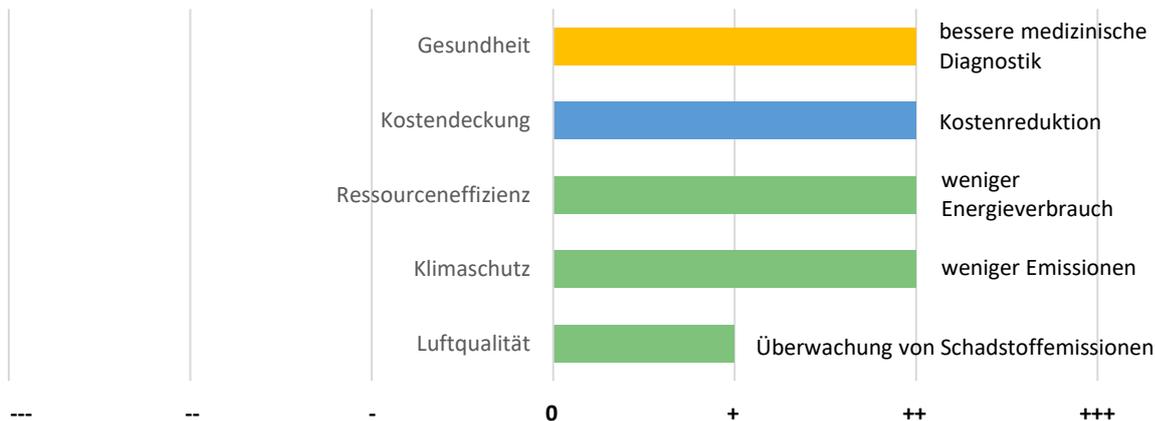
# Intelligente Sensoren (Edge Computing)

## KURZBESCHREIBUNG

Intelligente Sensoren werten unmittelbar bei der Messung die Messwerte eigenständig aus (Edge Computing). Große Anwendungsfelder hierfür werden in den Bereichen Digital Health und Bioinformatik gesehen. Auch bei Industrieanlagen werden intelligente Sensoren zu deutlichen Produktivitätssteigerungen und einer verbesserten Anlagenverfügbarkeit führen. Einerseits können dadurch notwendige Instandhaltungsmaßnahmen besser prognostiziert und auch veranlasst werden, andererseits sind auch bei Industrieanlagen kleinere Regelkreise ein Zugewinn für die Gesamtregelung.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

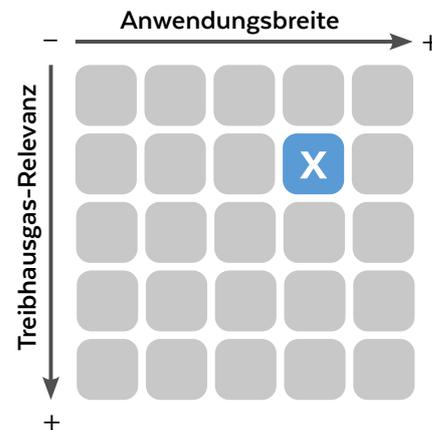
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Sensortechnik verbessern
- Identifikation von Anwendungsfällen in der Industrie
- Adaption der Steuerungstechnik hin zu mehreren und kleineren Regelkreisen
- Erforschung und Etablierung von geeigneten Informationskanälen (Welche Daten werden wie dargestellt wann von wem im Produktionsprozess benötigt?)
- Entwicklung von Konzepten zur Datensicherheit

## DISRUPTIVER CHARAKTER

- Durch die laufend kostengünstiger werdende Sensortechnik werden neue Bereiche und Anwendungen erschlossen, um gezielt mit Sensoren Daten zu generieren.
- Durch Edge Computing und damit die direkte Vorverarbeitung der Daten können auch viele Dokumentationsaufgaben leichter automatisiert
- Durch die direkte Verarbeitung der Messdaten werden Regelkreise grundsätzlich anders aufgebaut werden, da einzelne oder auch die kompletten Regelungen für sich und ohne Berücksichtigung der anderen Messdaten operieren.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

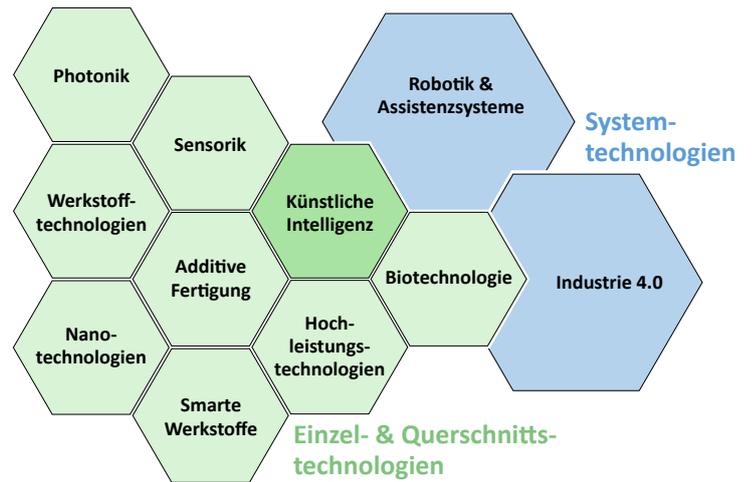
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

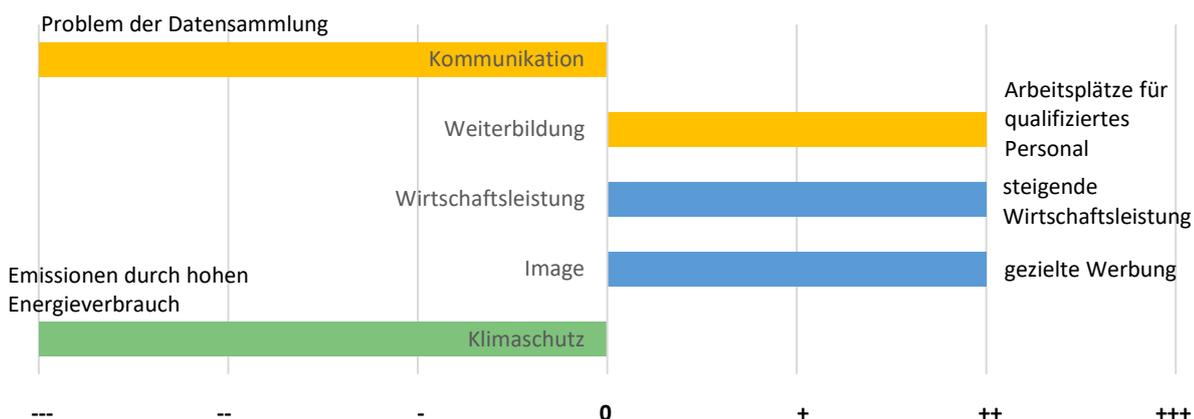
# Künstliche Intelligenz

## KURZBESCHREIBUNG

Künstliche Intelligenz beschreibt die Fähigkeit von Maschinen, basierend auf Algorithmen Aufgaben autonom auszuführen und dabei anpassungsfähig auf unbekannte Situationen zu reagieren. Ihr Verhalten ähnelt damit dem menschlichen: Sie führen nicht nur repetitive Aufgaben aus, sondern lernen aus Erfolg und Misserfolg und passen ihr Verhalten entsprechend an. Zukünftig sollen Künstliche-Intelligenz-Maschinen (KIM) auch in der Lage sein, wie Menschen zu denken und zu kommunizieren. Wesentliche Teilbereiche sind: Machine Learning, künstliche neuronale Netzwerke, Deep Learning, Knowledge Repräsentation und Natural Language Processing. KI ist in allen Branchen einsetzbar und ermöglicht es Industrieunternehmen bestehende Geschäftsprozesse zu revolutionieren und neue Geschäftsmodelle zu entwickeln.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

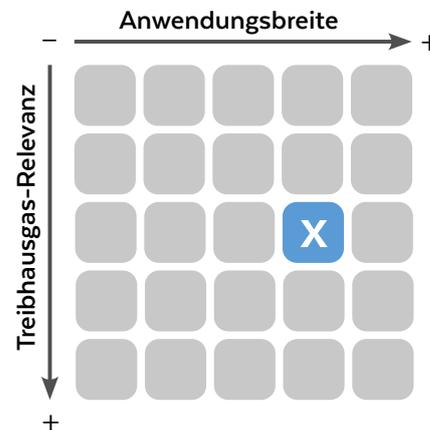
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Maschinelles Lernen verbessern
- Weiterentwicklung von neuronalen Netzwerken
- Überwachtes Lernen forcieren
- Identifikation von Anwendungsfällen, die mit logischem Programmieren abgebildet werden können
- Identifikation von Anwendungsfällen, die mit Fuzzylogik abgebildet werden können
- bio-inspirierte Ansätze verfolgen

## DISRUPTIVER CHARAKTER

- KI wird zunehmend dazu genutzt bestehende Geschäftsmodelle zu verbessern und neue zu entwickeln
- Es wird prognostiziert, dass KI künftig in allen Innovationsprozessen eine entscheidende Rolle spielen wird.
- Viele potenziell disruptive Technologien haben KI als Basis.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

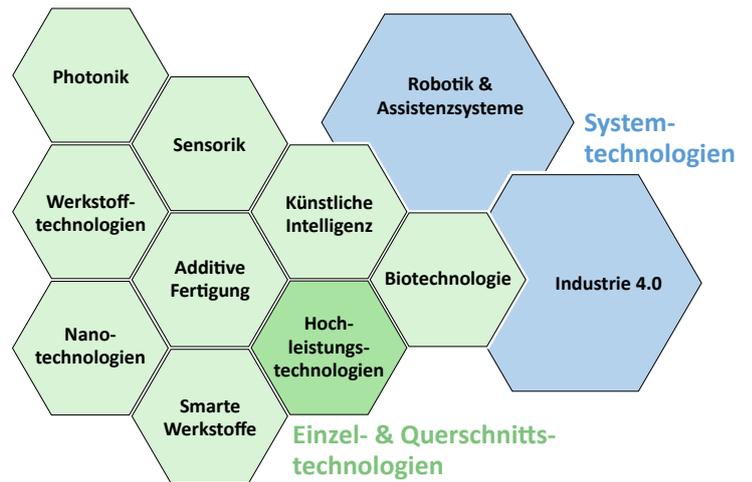
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Lichtbogenöfen für industrielle Anwendungen

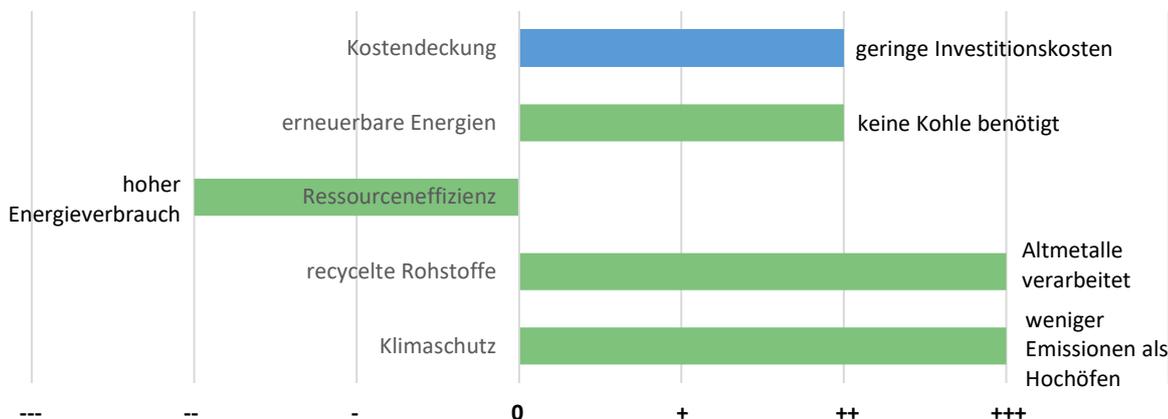
## KURZBESCHREIBUNG

Lichtbogenöfen sind spezielle Elektroöfen, welche aktuell in einigen industriellen Anwendungen verwendet werden. Die derzeitigen Hauptanwendungsgebiete liegen in der Metallurgie bei der Roheisenherstellung oder auch bei der Verarbeitung von z. B. Titan oder Wolfram. Die Technologie bietet die Möglichkeit, schwer zu elektrifizierende Hochtemperatur-Wärmeprozesse wie z. B. bei der Zementherstellung oder der Verarbeitung von Aluminiumoxid zu ersetzen. Derzeit werden in der EU 42 % des Roheisens mittels Lichtbogenöfen hergestellt, weltweit sind es 26 %. Die Technologie ist also bereits etabliert und benötigt noch eine Anpassung an weitere Anwendungsfelder. Da es sich bei den bestehenden Schmelz- und Brennöfen um energieintensive Produktionsprozesse handelt, führt der Wechsel hin zu erneuerbaren Energien zu deutlichen Reduktionen bei den Treibhausgas-Emissionen. Insbesondere da in der Zementindustrie vor allem brennbare („fossile“) Abfälle und Kohle als Brennstoff eingesetzt werden. Im Hinblick auf den Ersatz von Abfällen und Kohle als



Brennstoff ist durch den Wechsel auf Lichtbogenöfen auch von einer entsprechenden Reduktion an Luftschadstoffen auszugehen. Durch die mitunter höheren Kosten von Lichtbogenöfen und etwaige Adaptionen und Modernisierungen in den vor- und nachgelagerten Produktionsprozessen wird wahrscheinlich eine Verschiebung in Richtung höherwertiger Produktionsgüter zu beobachten sein.

## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

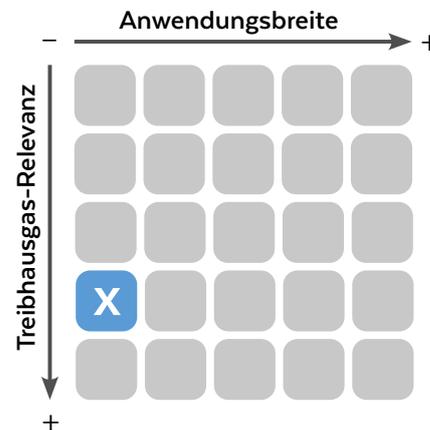
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Feststellung der technischen Machbarkeit und Erprobung für die unterschiedlichen Industrieverfahren
- Ermittlung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Auswirkungen für bzw. in den spezifischen Branchen
- Prozessmodelle und Ökobilanzen zur Identifizierung von Verbesserungspotenzialen

## DISRUPTIVER CHARAKTER

Lichtbogenöfen ersetzen fossil betriebene Schmelz- und Brennöfen und stellen dabei einen Technologiewechsel dar, der abseits von möglichen Veränderungen bei den Marktteilnehmern auch auf die eingesetzten Technologien vor und nach dem Ofenprozess auslösen kann.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- **C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung**
- **C20 / chemische Erzeugnisse**
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- **C22 / Gummi- und Kunststoffwaren**
- **C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden**
- **C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung**
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

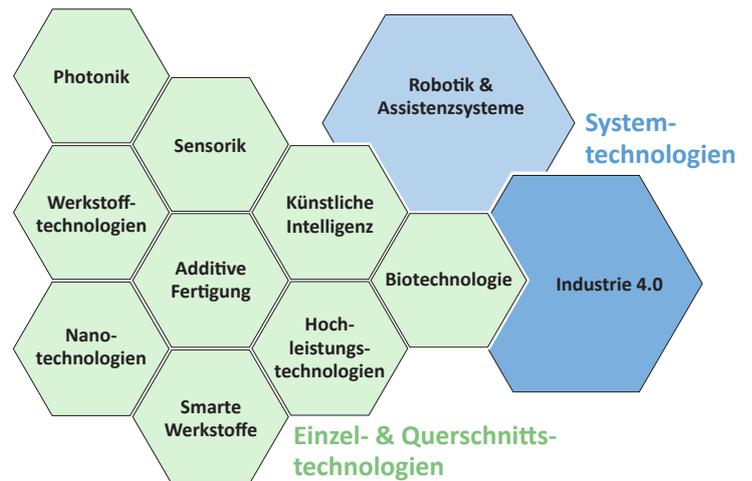
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

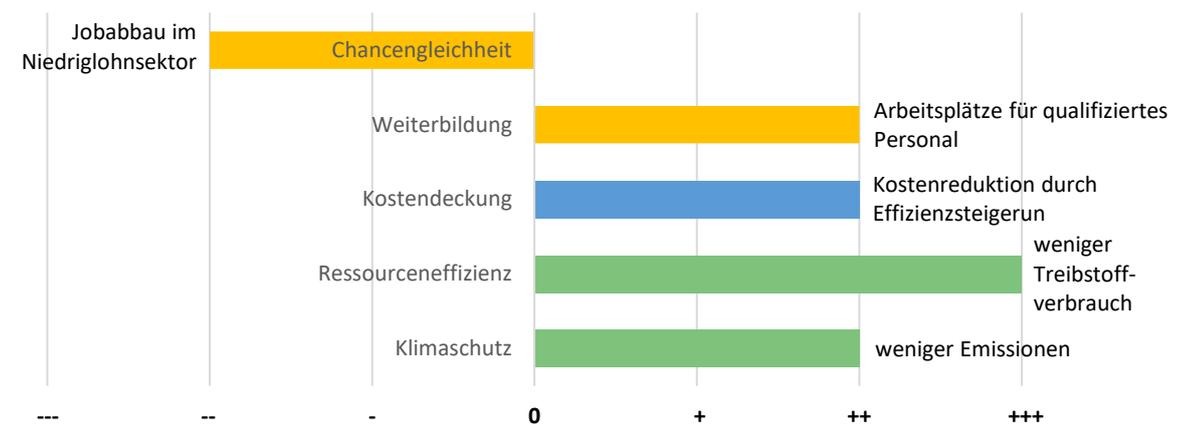
# Logistik 4.0

### KURZBESCHREIBUNG

Unter Logistik 4.0 wird die intelligente Vernetzung interner und externer logistischer Prozesse von Unternehmen verstanden. Verstärkt zum Einsatz kommen in der Transportlogistik autonome Straßen- und Schienenfahrzeuge. Die Ein-, Um- und Auslagerung sowie die Be- und Entladung erfolgt so weit wie möglich automatisiert. Die Lagerlogistik wird durch intelligente Roboter unterstützt. Durch Automatisierung, Prozessgeschwindigkeit, Fehlerreduktion und Bündelung ermöglicht Logistik 4.0 Effizienzsteigerungen und höhere Effektivität z. B. durch Flexibilität und individualisierte Dienstleistungen und Prozesse. Die Zahl der Arbeitsplätze in der Logistik und auch im Handel sinken und verschieben sich hin zu höherqualifizierten Jobs. Digitalisierung und eine Vernetzung im Sinne von Logistik 4.0 können alle Industriebranchen dabei unterstützen, deutliche Energieeinsparung zu erzielen und eine nachhaltige Logistik zu etablieren.



### NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

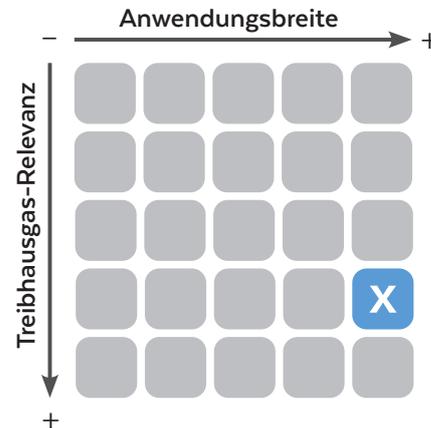
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Demo- und Umsetzungsprojekte in sämtlichen Logistikbereichen etablieren
- Augmented Reality in Logistik-Hubs erproben, etwa für das Routing von (externen) LKW oder für Arbeitsanweisungen für Gabelstapler und Kräne integrieren
- halb- und vollautomatisierte Drohnen zur Unterstützung bei Inventurarbeiten entwickeln
- Künstliche Intelligenz zur Optimierung von Arbeits- und Koordinationsaufgaben einbetten
- Autonome Fahrzeuge für den Einsatz auf dem Werksgelände verbessern

- Kreislaufwirtschaft für Batterien
- Verifikation von AI-Systemen; Sensordatenfusion; Synthetische Test-/Use Cases
- Entwicklung von Logistiknetzwerken

## DISRUPTIVER CHARAKTER

Eine weitgehend automatisierte und smarte Logistik stellt einen radikal neuen Ansatz in der Logistik dar, der innovative Technologien zur Umsetzung benötigt.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

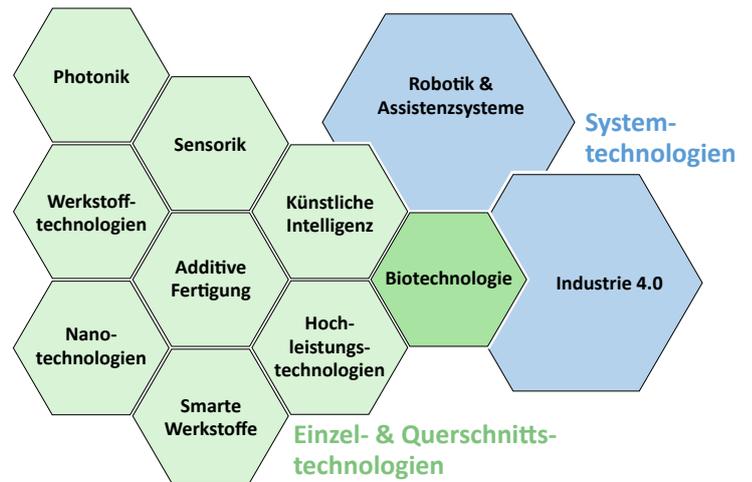
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

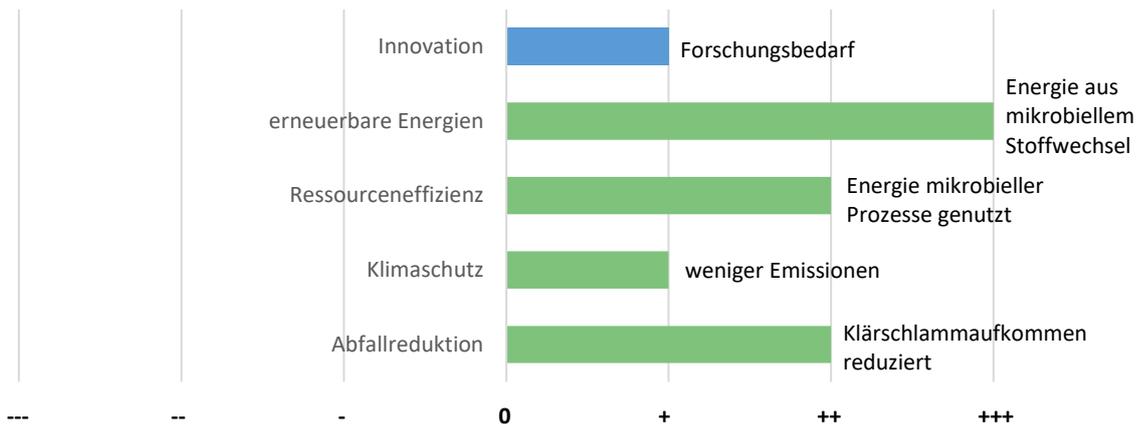
# Mikrobielle Brennstoffzellen

## KURZBESCHREIBUNG

Mikrobielle Brennstoffzellen können zur Stromgewinnung oder auch zur Wasserstoffproduktion genutzt werden. Bei üblicherweise geringeren Betriebstemperaturen als bei konventionellen Brennstoffzellen ergibt sich ein sehr ähnliches Funktionsprinzip. Relevant ist diese Technologie vor allem für Kläranlagen, da durch die im Klärprozess verankerte Stromgewinnungstechnologie die benötigten Stromlieferungen deutlich gesenkt werden und in weiterer Folge die damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen. Alternativ oder auch ergänzend kann statt der Eigenversorgung mit Strom auch die Wasserstoffproduktion in den Fokus gerückt werden.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

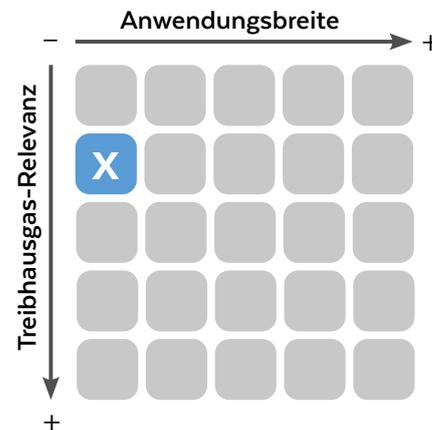
### TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

### MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

### ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



### F&E BEDARF

- Verbesserung des Wirkungsgrads im Anwendungsumfeld
- Entwicklung von Enzymen, die spezifisch auf die regionale Zusammensetzung des Abwassers eingestellt werden können
- verbesserte Elektrodenmaterialien
- systematische Prozessoptimierungen unter besonderer Berücksichtigung der besonderen Merkmale von Biomasse-Brennstoffen
- Forschungsarbeiten zur Prozessgestaltung und zum Scale-up

### DISRUPTIVER CHARAKTER

- Mikrobielle Brennstoffzellen stellen einen Technologiewechsel bei Kläranlagen dar.

### HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

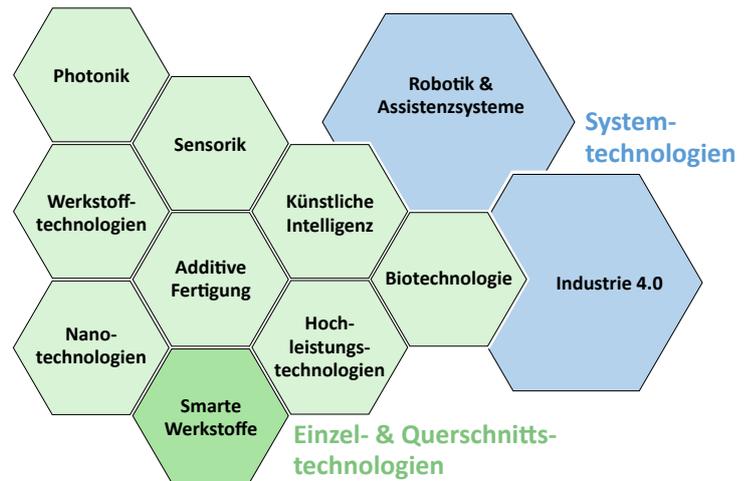
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

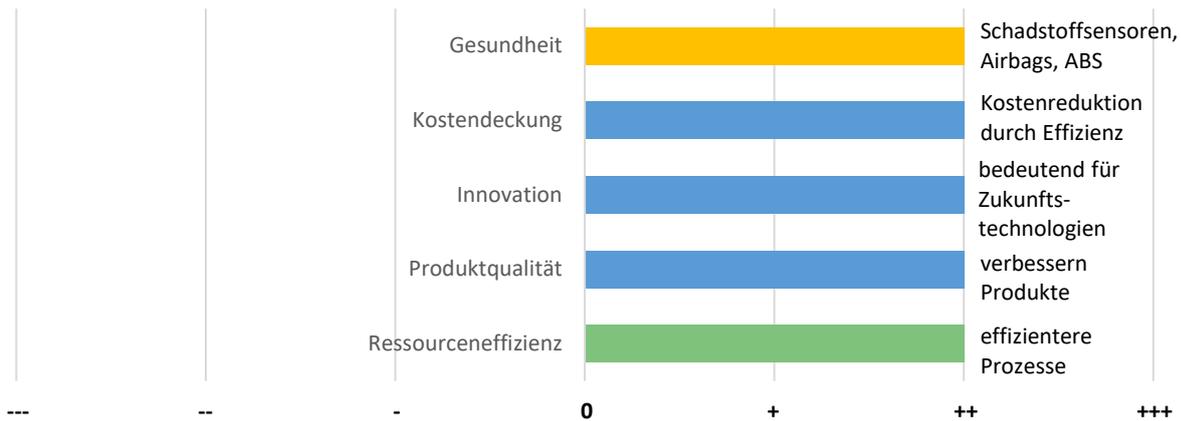
# Mikroelektromechanische Systeme

## KURZBESCHREIBUNG

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) sind Mikro-Bauelemente, die Logikelemente und mikromechanische Strukturen in einem Chip vereinen. Diese Mechatronik-Chips werden in den meisten Fällen aus Silizium gefertigt und können mechanische und elektrische Informationen verarbeiten. Die meisten MEMS übernehmen Aufgaben als Sensoren und Aktoren, aber auch als Oszillatoren und Filter. Vom Airbag (Sicherheitstechnik) über Dehnungstreifen (Bau- & Anlagentechnik) bis zum Controller einer Spielkonsole (Unterhaltungselektronik) oder Mikroaktoren in der Medizintechnik sind MEMS in vielen Branchen einsetzbar. Die fortschreitende Miniaturisierung kann den Ressourcenverbrauch verringern und die Kosten minimieren.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

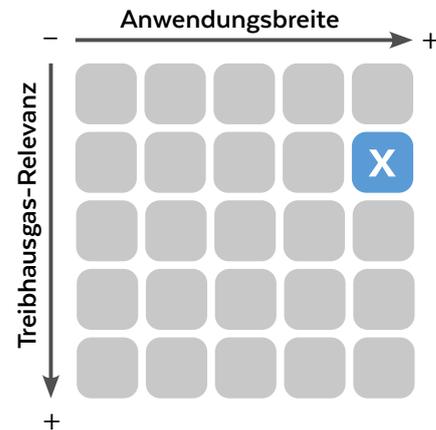
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Identifikation weiterer Anwendungen
- Überführung von mikroelektronischen Erkenntnissen in den mikromechanischen Bereich
- Etablierung von Bio-MEMS (Mikroelektromechanische Systeme)
- Kostenreduktionen bei bestehenden MEMS (Barometer, Mikrofone usw.)

## DISRUPTIVER CHARAKTER

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) erweitern den Horizont für Sensortechnik laufend. Dabei werden sowohl neue Märkte erschlossen, weil die Technik bislang nicht im Mikromaßstab entsprechende Sensoren und Aktoren bereitstellen konnte, und bestehende Sensoren werden durch deutlich kleinere Varianten ersetzt.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- **C27 / elektrische Ausrüstung**
- **C28 / Maschinenbau**
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

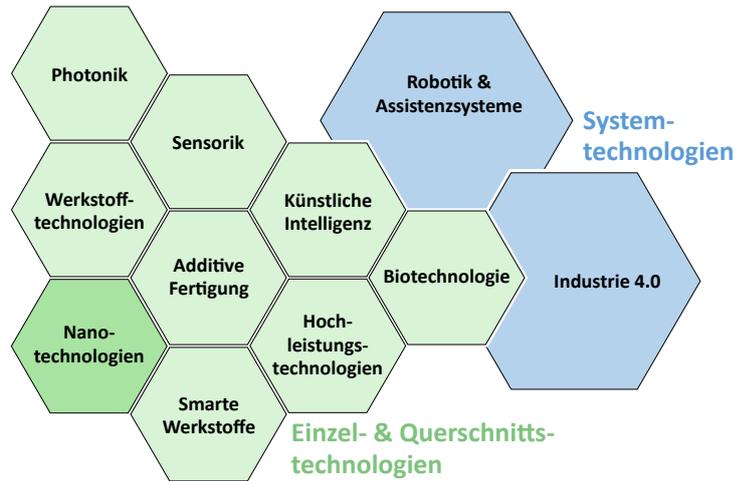
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Nanotechnologien

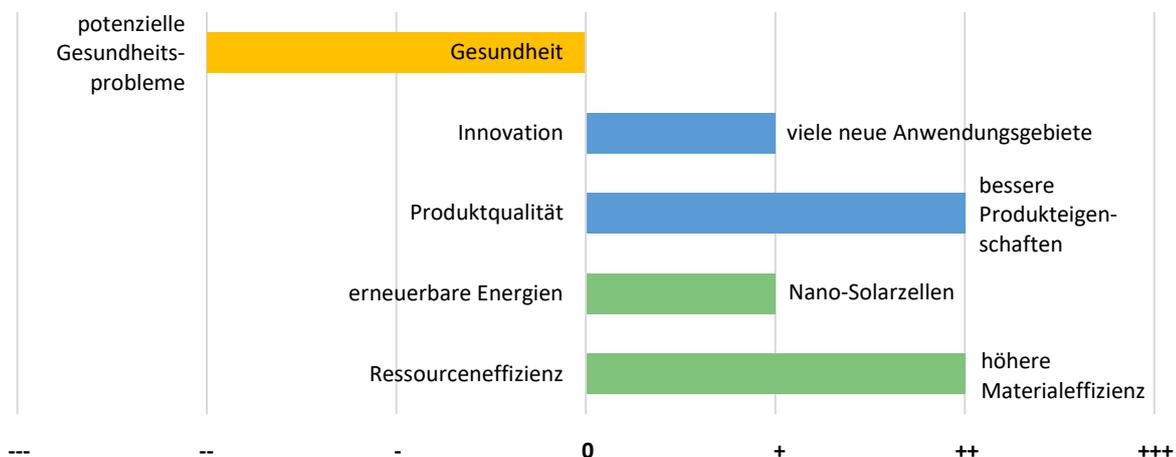
### KURZBESCHREIBUNG

Nanotechnologien umfassen die Bereiche Nanomaterialien und Nanodevices und sind als Querschnittstechnologien eng mit weiteren Technologiefeldern wie beispielsweise Werkstoff- oder Biotechnologien verknüpft. Unter Nanomaterialien versteht man Werkstoffe und Flüssigkeiten, die selbst Strukturen in Nanometerbereich aufweisen, und Beschichtungen mit Strukturen im Nanometerbereich, die als Verschleißschutz, Klebeschicht oder anders funktionell eingesetzt werden. Nanodevices sind Nanosensoren, Nanomaschinen, Nanoelektronik und Nanostrukturen, die in der Photonik eingesetzt werden. Nanotechnologien werden in zahlreichen Industriebranchen für die Verbesserung von bestehenden Verfahren oder Produkten eingesetzt, ermöglichen aber auch die Etablierung von gänzlich neuen Produkten oder Verfahren. Ein ökologischer Mehrwert ergibt sich durch die gesteigerte Material- Energieeffizienz. Teilweise kann durch Nanotechnologien auch auf „einfachere“ Materialien (etwa weniger aufwändige Legierungen) umgestellt werden, wodurch die Kreislauffähigkeit steigt.



Aktuell führen Nanotechnologien dazu, dass Luft- und Wasserfilter, Photovoltaikanlagen und Beleuchtungen einen höheren Wirkungsgrad haben. Auch gibt es im industriellen Verschleißschutz viele Anwendungsfelder. Darüber hinaus besteht in der Medizin eine Vielzahl an neuen Therapie- und Arzneimitteloptionen.

### NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

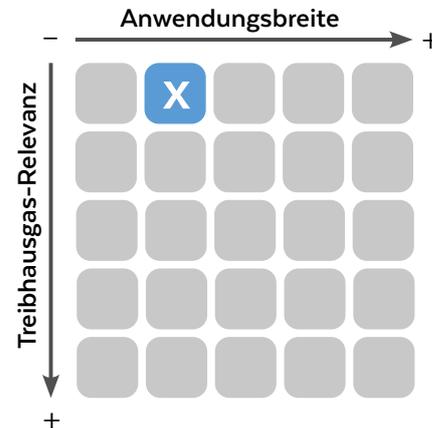
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Nanoelektronik: weitere Miniaturisierung
- Beschichtungen: neue Anwendungsfelder und verbesserte Werkstoffeigenschaften
- Verschleißschutz: neue Anwendungsfelder und Kreislauf-führung des Verschleißschutzes
- Energietechnik: optische und energetische Oberflächen-optimierungen
- Medizin: neue Behandlungsmethoden und Medikamente
- Gesundheits- und Risikoaspekte
- Kreislaufgerechtes Produktdesign, Möglichkeiten des Recyclings und der Wiederverwendung

## DISRUPTIVER CHARAKTER

Der disruptive Charakter von Nanotechnologien liegt vor allem in der Betrachtungsebene, sprich dem Nanometerbereich bei Oberflächen und Werkstoffen. Nanotechnologien bieten z. B. in der Metallurgie die Möglichkeiten, durch neuartig kleinteilige Kristallgefüge, bislang für den jeweiligen Werkstoff nicht gekannte Eigenschaften zu erzielen. Z. B. im industriellen Verschleißschutz äußert sich das in einem geringeren Materialeinsatz für Verschleißschutzbeschichtungen.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

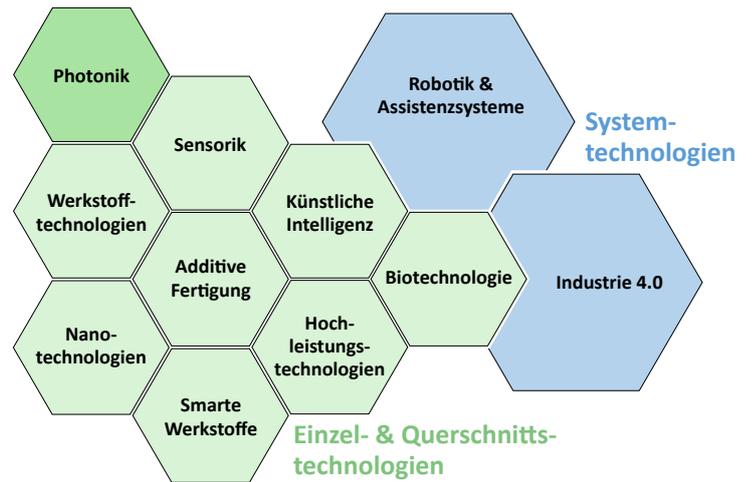
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

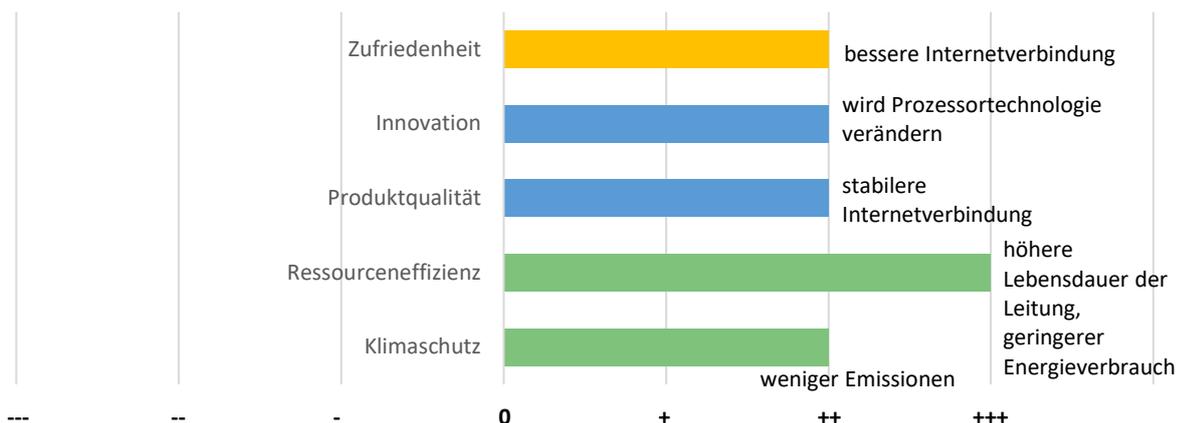
# IT mittels Optoelektronik

## KURZBESCHREIBUNG

Die Optoelektronik bietet die Möglichkeit zur Langstreckendatenübertragung mittels Glasfaserkabel, energiesparende und schnellere Chipstechnik und via Lasertechnik bzw. zur dauerhaften Speicherung von Daten. Durch die höhere Leistungsfähigkeit und den geringeren Energieverbrauch von Glasfaserleitungen sowie der gesamten optischen Nachrichtentechnik sind Effizienzgewinne zu erwarten. Insbesondere durch den Technologiewechsel bei Datenträgern für Archivierungsaufgaben sinkt der Energieaufwand im Betrieb und für die Herstellung enorm. Durch die Effizienzgewinne und die wesentlich längere Lebensdauer sinkt der Ressourcenverbrauch (materiell und energetisch) pro Serviceeinheit durch die Optoelektronik.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

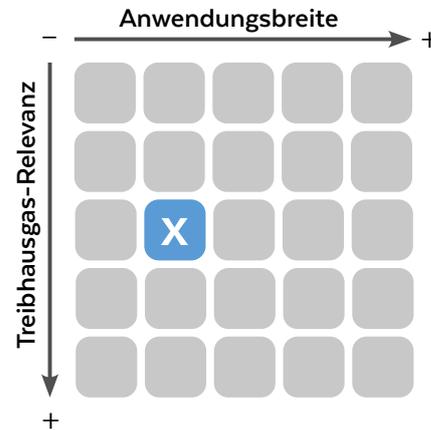
### TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

### MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

### ANWENDBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



### F&E BEDARF

- Kostenreduktionen erzielen
- neue Materialien erproben
- Fertigung von Mikrostrukturen verbessern
- Ressourceneffizienz weiter verbessern
- Standardisierungen etablieren

### DISRUPTIVER CHARAKTER

- Mit Glasfaserkabeln und neuartigen Speichermedien und Druckern benötigt es neue Hardware. Diese Nachfrage eröffnet Potenziale für neue Marktteilnehmer:innen.
- Bei den Speichermedien ändert sich grundlegend, dass eine dauerhafte Speicherung ermöglicht wird und Datenträger nicht mehr in regelmäßigen Abständen erneuert werden müssen.

### HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

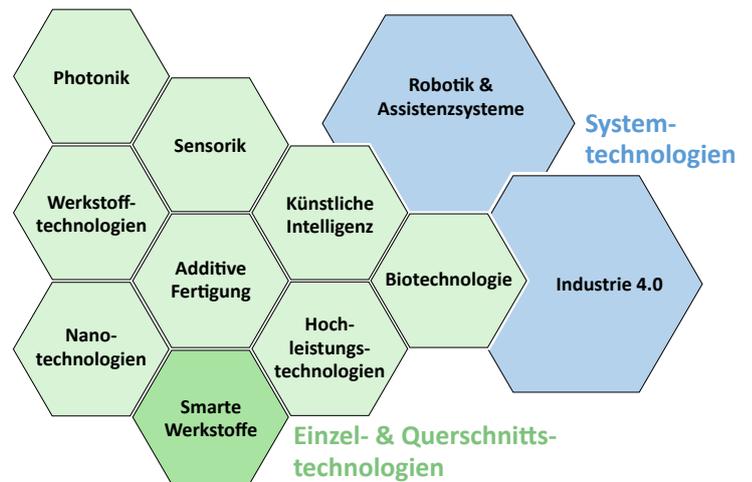
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

# Organische Leuchtdioden

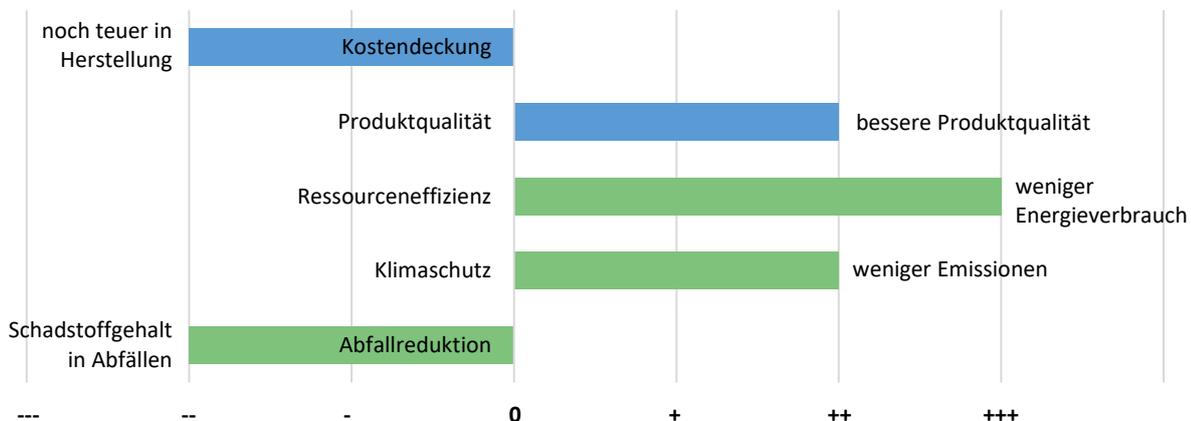
## KURZBESCHREIBUNG

Organische Leuchtdioden (OLED) zeichnen sich als Displays vor allem dadurch aus, dass sie sich in deutlich dünneren Schichten als anorganische LED realisieren lassen und die Option bieten, dass das Display sehr biegsam ist. In der Produktion können OLED direkt auf das Trägermedium gedruckt werden, was gegenüber anorganischen LED einen deutlichen Kostenvorteil bedeutet, sofern eine entsprechende Skalierung realisiert werden kann. Derzeit weisen OLED aber noch eine geringere Lebensdauer und niedrigere Lichtausbeute auf. Displays werden zunehmend mit OLED hergestellt, welche aufgrund des geringen Energieverbrauchs und der Flexibilität neue Flächen dafür ermöglichen. Denkbar sind hier OLED- statt Fototapeten oder Werbeflächen und Hinweisschilder an (runden) Säulen. Ohne Berücksichtigung der derzeit nicht abschätzbaren Rebound-Effekte werden Displays mit der OLED-Technologie weniger Material und Energie verbrauchen. Aktuell ist davon auszugehen, dass die Haltbarkeit von stationären Geräten



(z.B. TV-Geräte) kaum bis gar nicht beeinflusst wird. Bei mobilen Geräten (z.B. Smartphone, Tablets) wird durch das belastbarere Display die Lebensdauer wahrscheinlich verlängert. Bei der Raumbeleuchtung stellen OLED einen weiteren Effizienzschrift über die bestehende LED-Technologie hinaus dar.

## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

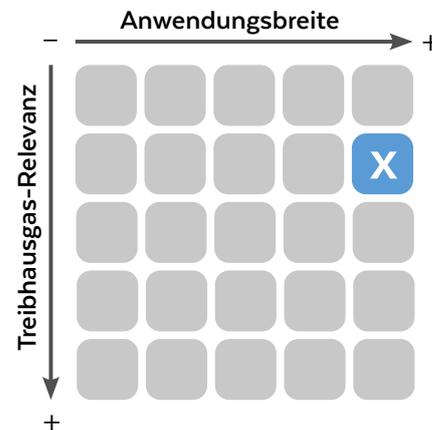
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Effizienz und Lichtausbeute weiter steigern
- Verbesserung der Haltbarkeit
- Etablierung von Wiederaufbereitungsanlagen und Recyclingprozessen
- Resistenz gegen z. B. Wasser (Luftfeuchtigkeit) verbessern
- verstärkte Nutzung durch die Anwendungsmöglichkeiten auf/in flexiblen Materialien

## DISRUPTIVER CHARAKTER

OLED führen zu einem Technologiewechsel bei Displays und stationären Lampen. Ein konkretes Beispiel sind Flachbild-Fernseher. LCD-Geräte sind flach genug, um direkt an der Wand montiert werden zu können. Mit LED-Geräten wurde diese Verwendung deutlich erleichtert, da flachere Bauweisen möglich wurden. Bei OLED-Geräten ist dieser Vorteil noch größer und gleichzeitig vergrößert sich der nutzbare Betrachtungswinkel und der Stromverbrauch.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- **C14 / Bekleidung**
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- **C22 / Gummi- und Kunststoffwaren**
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- **C27 / elektrische Ausrüstung**
- **C28 / Maschinenbau**
- **C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile**
- **C30 / sonstiger Fahrzeugbau**
- **C31 / Möbel**

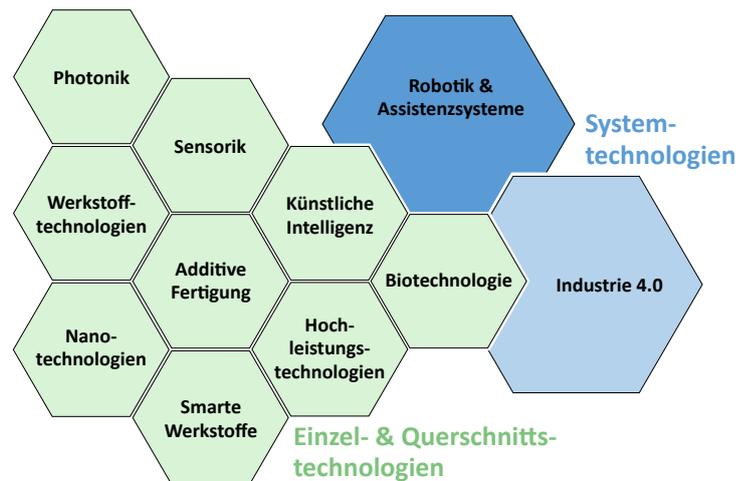
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

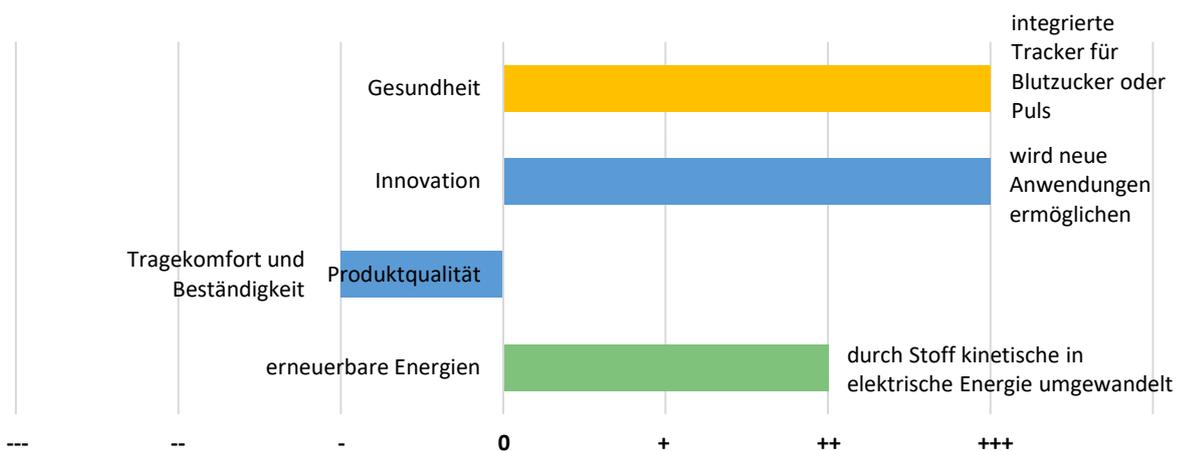
# Smart Textiles

## KURZBESCHREIBUNG

Smart Textiles ermöglichen eine Neugestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion. Es sind Textilien und Kleidungsstücke, die mit Sensoren, Aktuatoren oder zusätzlich auch mit Steuerungseinheiten versehen sind. Textile Sensoren messen Körperfunktionen wie Herzschlag und Atemfrequenz oder Umweltdaten wie die Umgebungstemperatur. Druck- und Dehnungssensoren, Solarzellen zur Selbstversorgung mit Energie, Microchips (RFID/NFC) können integriert werden. Im Sportbereich, im Bereich der Arbeitskleidung oder auch im Gesundheitswesen gibt es viel Anwendungspotenzial. Smart Textiles bieten der Textilindustrie vor allem in Kooperation mit der Elektroindustrie die Möglichkeit neue innovative Produkte und Geschäftsmodelle zu entwickeln. Herausforderungen bestehen derzeit vor allem in Hinblick auf die Kreislauffähigkeit und Langlebigkeit sowie die Kosten der Produkte.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

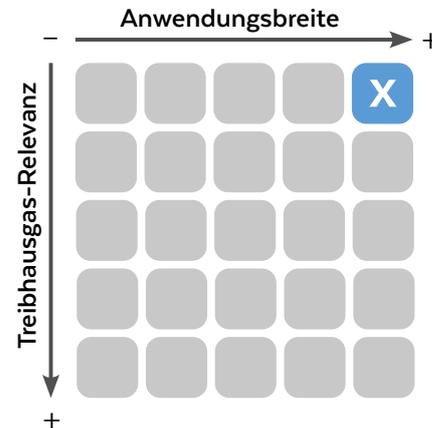
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Standardisierungen für Daten und Schnittstellen etablieren
- Sensortechnik und Displays technisch verbessern und Kostenreduktionen realisieren
- Datenanalyse und Informationsausgabe an konkreten Anwendungsbereichen ausrichten
- Energiemanagement der einzelnen Komponenten an sich und als System verbessern
- Datensicherheit mitdenken und von Beginn an implementieren

- Anwendungsfälle identifizieren, die sich als Lernumgebungen besonders eignen (kurze Nutzungsphasen, häufiger Einsatz, direkter Kontakt mit Nutzer:innen)
- Langlebigkeit und Kreislauffähigkeit

## DISRUPTIVER CHARAKTER

Smart Textiles übernehmen zusätzliche Funktionen und können damit bestehende Technologien verdrängen oder komplett neue Anwendungsgebiete schaffen.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- **C13 / Textilien**
- **C14 / Bekleidung**
- **C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe**
- **C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren**
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- **C27 / elektrische Ausrüstung**
- **C28 / Maschinenbau**
- **C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile**
- **C30 / sonstiger Fahrzeugbau**
- **C31 / Möbel**

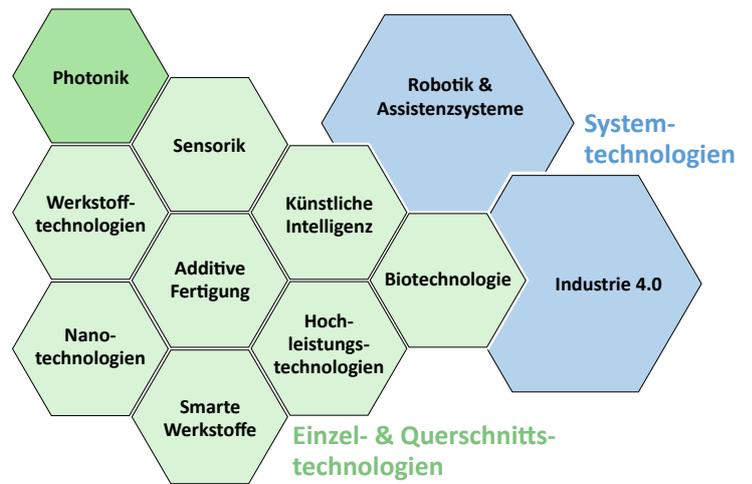
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

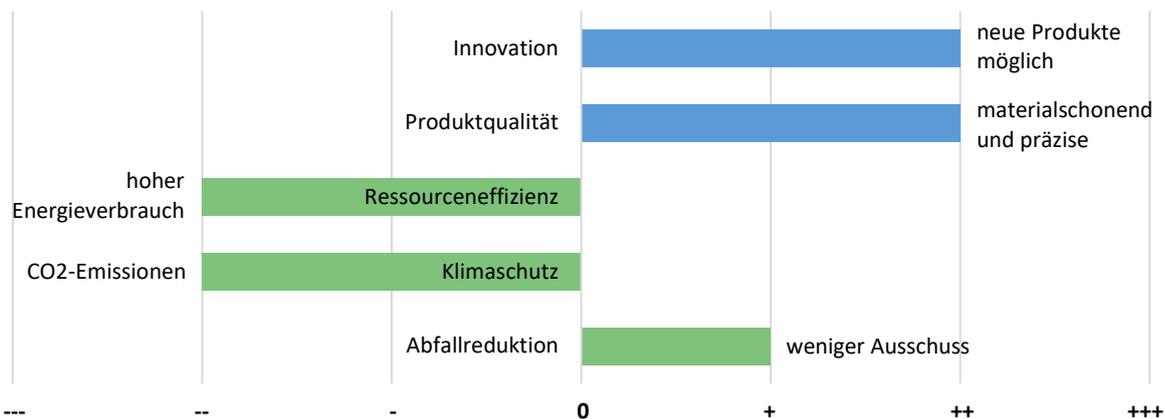
# Fertigung mittels Ultrakurzpulslaser

## KURZBESCHREIBUNG

Das Technologiefeld Photonik umfasst die Optoelektronik und optische Nachrichtentechnik, Holografie sowie Lasertechnik. Ultrakurzpulslaser sind sehr gut dosierbare Laser, um unter höchster Präzision die unterschiedlichsten Materialien schneiden oder gravieren zu können. Kleine Maschinenbauteile können mittels Ultrakurzpulslaser-Technologie hergestellt werden. Die Möglichkeit, Oberflächen besonders fein zu strukturieren, kann z. B. bei Solarzellen, Halbleiterchips oder LEDs zu Effizienzsteigerungen genutzt werden. Ultrakurzpulslaser schneiden gratfrei, wodurch ein Nachbearbeitungsschritt entfällt, was bei entsprechend hochskalierter Produktion von Ultrakurzpulslasern zu Kosteneinsparungen führen kann.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

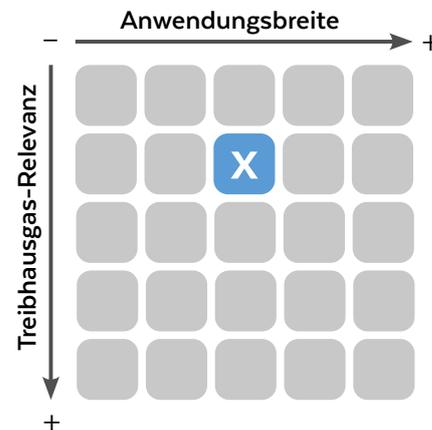
## F&E BEDARF

- Identifikation von möglichen Anwendungsfällen
- Ausloten der technischen Möglichkeiten mit unterschiedlichen Materialien
- Erprobung von Pilotanlagen hin zur Serienreife
- Etablierung von Standards zur Verbesserung der Kompatibilität
- Kostenoptimierung bei Ultrakurzpulslaser in Fertigungsprozessen

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- **C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern**
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## DISRUPTIVER CHARAKTER

Mittels Ultrakurzpulslaser sind sehr hohe Energiedichten möglich, wobei gleichzeitig das Material aufgrund der kurzen Zeitspanne nicht wesentlich erwärmt wird. Damit lassen sich auch wärmeempfindliche Materialien sehr genau schneiden, weswegen man auch von „kalter Bearbeitung“ spricht. Damit sind völlige neue Anwendungen möglich, aber auch für bestehende Anwendungen ein Technologiewechsel möglich.

- **C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden**
- **C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung**
- **C25 / Metallerzeugnisse**
- **C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse**
- **C27 / elektrische Ausrüstung**
- **C28 / Maschinenbau**
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

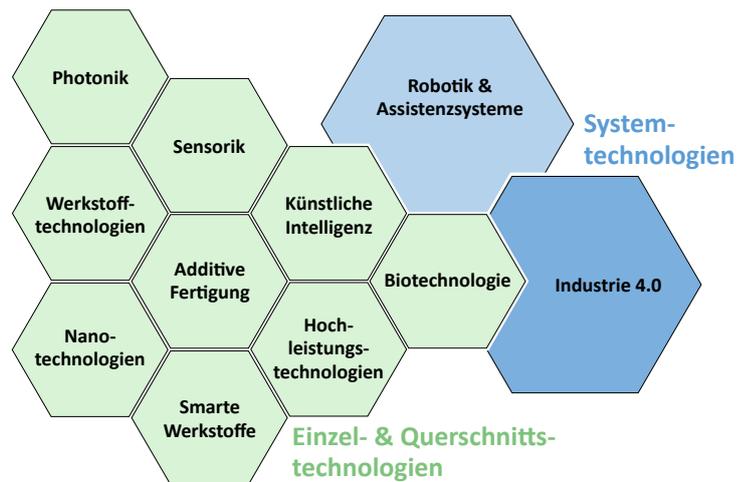
TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

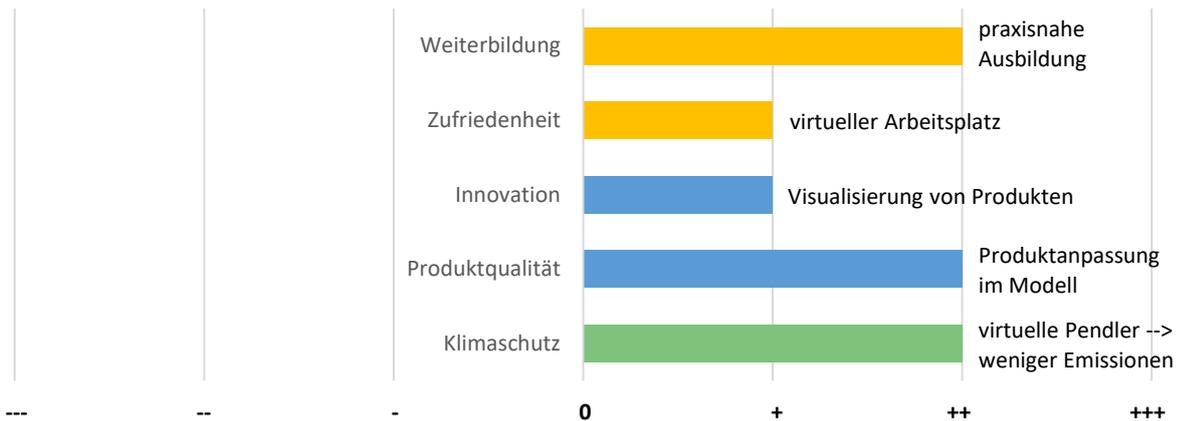
# Virtual Reality

## KURZBESCHREIBUNG

Unter Virtual Reality (VR) wird eine durch spezielle Hard- und Software erzeugte künstliche Wirklichkeit verstanden. Die virtuelle Umgebung wird möglichst in ihrer Gesamtheit dargestellt und Aufgaben vollständig virtuell erledigt. Für das vollständige Eintauchen eines/r User:in in eine rein virtuelle Welt braucht es zumindest eine VR-Brille, Kopfhörer und ein Eingabegerät für die Hände. Zusätzlich wird der/die User:in meistens mit Kameras überwacht, um sämtliche Bewegungen in die Animation der virtuellen Welt einbauen zu können. Für die industrielle Anwendung können Konzepte erstellt, Produkte und Prozesse getestet und erlebt werden, bevor sie real produziert werden. Auch im Bereich der Instandhaltung und Wartung kommt der VR hohe Bedeutung zu.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

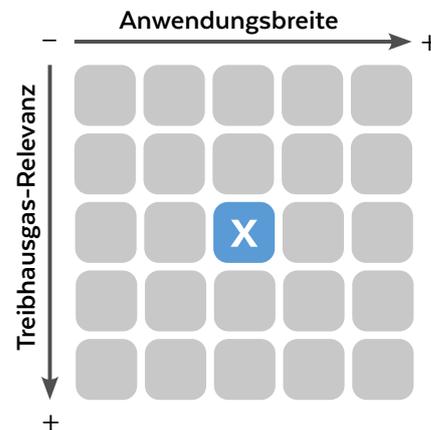
## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



## F&E BEDARF

- Erarbeitung und Etablierung von internationalen Standards
- Markt- und Branchenstudien zur Identifikation von möglichen Anwendungsfeldern und Geschäftsmodellen
- Weiterentwicklung von virtuellen Umgebungen, um den Detaillierungsgrad zu steigern
- Entwicklung von automatisierten Vermessungsverfahren, um reale Umgebungen relativ schnell virtualisieren zu können
- Hardware-Entwicklung zur Verbesserung der Interaktionsmöglichkeiten in und mit der virtuellen Umgebung

## DISRUPTIVER CHARAKTER

- VR stellt eine völlig neue Ebene an Eingabe-Ausgabe-Interaktion dar. Diese wird zum Teil bestehende Systeme ersetzen.
- Da VR relativ aufwändig ist, ist davon auszugehen, dass kein vollständiger Technologiewechsel stattfinden wird.

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren
- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

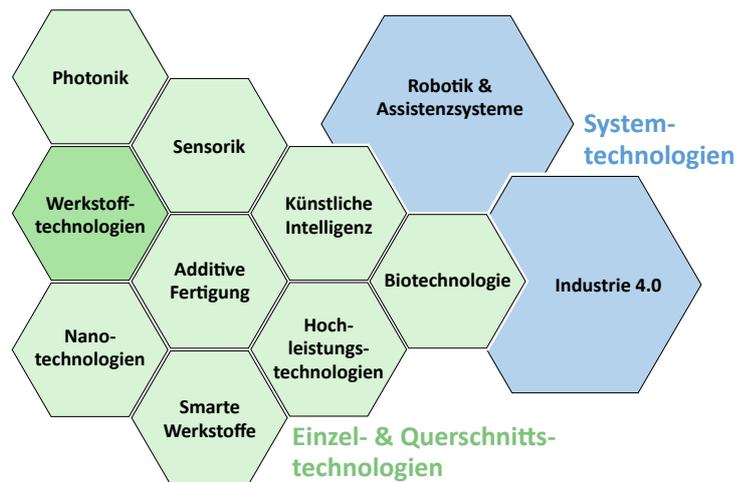
## TECH4GREEN - Disruptive Technologien für eine nachhaltige Produktion

### TECHNOLOGIE-STECKBRIEF

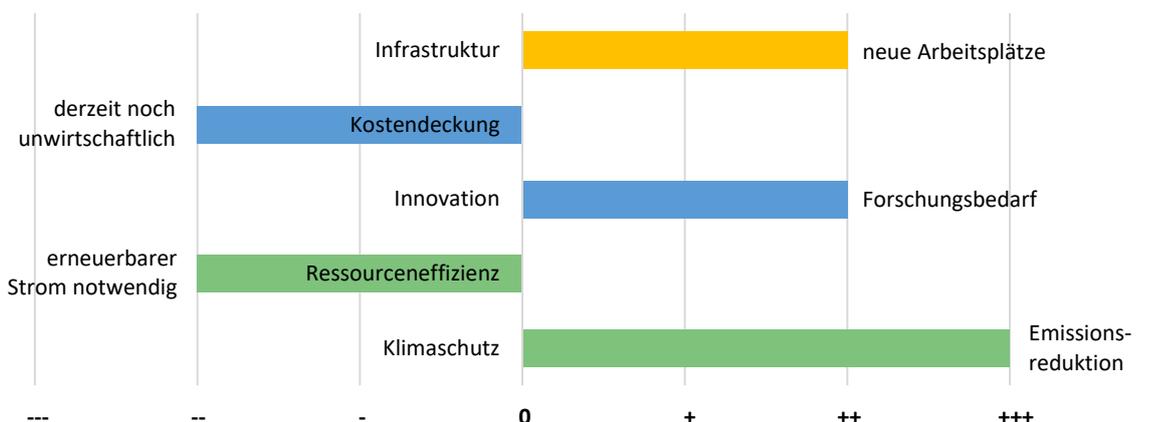
# Wasserstoff

## KURZBESCHREIBUNG

In der energieintensiven Industrie bestehen deutliche Potenziale für den Einsatz von Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff. Dies gilt u. a. für die Stahl-Industrie. Das Gas wird im Prozess der Stahlproduktion bereits getestet: Wasserstoff ersetzt hierbei Kohlenstaub und wird in den unteren Schachtbereich des Hochofens als Reduktionsmittel eingeblasen, als Emission entsteht Wasserdampf. So kann in der Produktion bis zu 20 % Kohlendioxid eingespart werden. Durch eine vollständige Umstellung auf Direktreduktionsreaktoren, in denen auch Koks durch Wasserstoff und Erdgas ersetzt wird, könnten sogar 80 % der Emissionen vermieden werden. Die komplette Transformation des Herstellungsprozesses benötigt jedoch eine Erneuerung der Infrastruktur. Als Ptx-Ausgangsstoff kann Wasserstoff zu Herstellung von E-Fuels, Ammoniak, Methan und Methanol dienen. Grüner Wasserstoff gilt als ein Schlüsselement für die Erreichung der Klimaneutralität.



## NACHHALTIGKEITSBEWERTUNG



### TECHNOLOGIETYP

- Produkttechnologie
- Produktionstechnologie

### INNOVATIONSTYP

- radikal
- inkrementell

## TECHNOLOGY READINESS LEVEL (TRL)

1 2-4 5-6 7-8 9

## MANUFACTURING READINESS LEVEL (MRL)

1-4 5-6 7-8 9 10

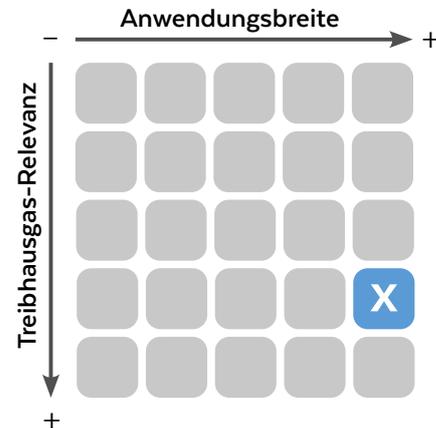
## F&E BEDARF

- **HER (hydrogen evolution reaction)-Elektroden:** hocheffiziente HER-Elektroden mit weiter pH-Range, 3D-Druck zu deren Herstellung, Haltbarkeit
- **Elektrolyseure:** die Erhöhung der Lebensdauer und der Leistungsdichte, die Senkung der Materialkosten und der Betrieb unter Druck, um eine aufwändige Kompression von Wasserstoff zu vermeiden.
- Erhöhung des Wirkungsgrades im Stack (mehrere in Reihe oder parallelgeschaltete Elektrolysezellen) und der Erhöhung des Systemwirkungsgrades.
- Verbesserung der Prozesseffizienz, Bedarf an Pilotanlagen
- Metallhydridbasierte Wasserstoffspeicher: Hocheffiziente Hydridmaterialien (Legierungen) für den Niedertemperaturanwendungsbereich (<200°C)

## HAUPTANWENDUNGSBEREICHE

- C13 / Textilien
- C14 / Bekleidung
- C15 / Leder, Lederwaren & Schuhe
- C16 / Holz-, Flecht-, Korb- & Korkwaren
- C17 / Papier, Pappe & Waren daraus
- C18 / Druckerzeugnisse, Vervielfältigung von Ton-, Bild- und Datenträgern
- C19 / Kokerei & Mineralölverarbeitung
- C20 / chemische Erzeugnisse
- C21 / pharmazeutische Erzeugnisse
- C22 / Gummi- und Kunststoffwaren

## ANWENDUNGSBREITE & THG-EMISSIONSRELEVANZ



- Photokatalytische Wasserstoffproduktion
- grüner Wasserstoff für eine klimafreundliche Sektorkopplung
- Leitprojekte, die die gesamte Wertschöpfungskette abbilden

## DISRUPTIVER CHARAKTER

- Adaptierte Technologien in der Stahlindustrie
- Umstrukturierung bei der Herstellung von Grundchemikalien
- Wasserstoff als Rohstoff und Energieträger hat das Potenzial, tiefgreifende Veränderungen am Markt zu bewirken. Derzeit gebräuchliche Rohstoffe wie Öl- und Gas verlieren zunehmend an Bedeutung. Das kann die Machtverhältnisse in Märkten langfristig verändern.

- C23 / Glas & Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden
- C24 / Metallerzeugung und -bearbeitung
- C25 / Metallerzeugnisse
- C26 / Datenverarbeitungsgeräte, elektronische & optische Erzeugnisse
- C27 / elektrische Ausrüstung
- C28 / Maschinenbau
- C29 / Kraftwagen und Kraftwagenteile
- C30 / sonstiger Fahrzeugbau
- C31 / Möbel

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und  
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 1 711 62 65-0

[email@bmk.gv.at](mailto:email@bmk.gv.at)

[bmk.gv.at](http://bmk.gv.at)