



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Maximilian Schendell

Lean Management und Digitalisierung als Instrumente zur Umsetzung einer klimaneutralen Industrie

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Maximilian Schendell

**Lean Management und Digitalisierung
als Instrumente zur Umsetzung einer
klimaneutralen Industrie**

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung

im Studiengang Produktionstechnik und -management
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr. Henner Gärtner

Zweitprüfer: Prof. Dr. Enno Stöver

Abgabedatum: 15.12.2022

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Maximilian Schendell

Thema der Masterthesis

Lean Management und Digitalisierung als Instrumente zur Umsetzung einer klimaneutralen Industrie

Stichworte

Lean, Green, Digital, Verschwendung, Operations Excellence, Nachhaltigkeit, Klimaziele, Klimaneutralität, EU-Kommission, European Green Deal, Industriestrategie, Industrie 4.0, Digitalisierung, Leitfaden, Digitaler Fragebogen, Mittelstand

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit untersucht inwiefern Lean Management und Digitalisierung genutzt werden können, um die gesetzlich vorgegebenen Klimaziele der EU-Kommission zu erreichen. Dafür wird ein Grundlagenwissen zu den drei Themenfeldern Lean Management, Digitalisierung und Klimaneutralität geschaffen. Anschließend werden die EU-Klimaziele aufgeschlüsselt. Mit den gewonnenen Erkenntnissen wird die Wechselwirkung der Themenfelder zueinander untersucht. Es wird dargestellt, wie Lean Management und Digitalisierung eingesetzt werden können, um den EU-Klimazielen und den multiplen Krisen zu begegnen. Um einen möglichst hohen Praxisbezug zu gewährleisten münden die Ergebnisse der Untersuchung in einem individuellen Leitfaden für Entscheidungsträger in produzierenden Unternehmen.

Name of Student

Maximilian Schendell

Title of the paper

Lean management and digitization as instruments for the implementation of a climate-neutral industry

Keywords

Lean, Green, Digital, Waste, Operations Excellence, Sustainability, Climate Targets, Climate Neutrality, EU-Commission, European Green Deal, Industrial Strategy, Industry 4.0, Digitization, Guidelines, Digital Questionnaire, SME

Abstract

This thesis investigates how lean management and digitization can be used to achieve the climate targets of the EU-Commission. For this purpose, basic knowledge is created on the three subject areas of lean management, digitization and climate neutrality. Then the EU climate targets are broken down in detail. With the knowledge gained, the interaction of the subject areas with each other is examined. It is shown how lean management and digitization can be used to meet the EU climate targets and the multiple crises. To ensure the greatest possible practical relevance, the results of the study are presented in an individual guide for decision-makers in manufacturing companies.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Zielsetzung	1
1.2	Abgrenzung des Themas	2
1.3	Aufbau der Arbeit	4
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Lean Management	5
2.1.1	Herkunft	5
2.1.2	Verschwendungsarten	7
2.1.3	Prinzipien	9
2.2	Digitalisierung	13
2.2.1	Definition und Abgrenzung	13
2.2.2	Industrielle Revolutionen	14
2.2.3	Übersicht Industrie 4.0	16
2.2.4	Automatisierungspyramide	17
2.2.5	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)	19
2.2.6	IT-Sicherheit	23
2.2.7	Mitarbeiter in der Industrie 4.0	24
2.3	Klimabegriffe: Definition und Abgrenzung	25
2.3.1	Begriffsdefinitionen und Abgrenzung	25
2.3.2	Statistische Zusammenfassung des Klimawandels	30
3	European Green Deal	37
3.1	Einordnung	37
3.2	Inhalt und Ziele	37
3.3	Das 55 % Ziel	43
4	Instrumente zum Erreichen der Klimaziele	46
4.1	Lean Management als Instrument für Klimaneutralität	46
4.2	Digitalisierung als Instrument für Klimaneutralität	50

5	Leitfaden für die grüne Transformation	55
5.1	Ziel und Zielgruppe des Leitfadens	55
5.2	Entwicklung des Logikmodells zur Abfrage	56
5.3	Entwicklung der Fragen, Antworten und Maßnahmen.....	58
5.3.1	Lean Management	62
5.3.2	Digitalisierung.....	66
5.3.3	Klimaneutralität	71
5.4	Anforderungen zur Digitalisierung des Leitfadens	76
6	Schlussbetrachtung.....	78
6.1	Fazit	78
6.2	Kritische Würdigung	81
6.3	Ausblick.....	82
7	Abbildungsverzeichnis	84
8	Tabellenverzeichnis	86
9	Literaturverzeichnis	87

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Ein drastischer Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur führt zu schnell schmelzenden Gletschern, vermehrten Naturkatastrophen und einem Verlust an Biodiversität. (Statista, 2022) Der Klimawandel und die damit erforderliche Reduzierung von CO₂-Emissionen dominieren die politische Bühne. Kein anderes Thema steht mit solch einem Gewicht, über einen so langen Zeitraum auf der politischen Agenda. Dies hat die europäische Kommission dazu bewegt, im „European Green Deal“ das Ziel einer emissionsneutralen Industrieproduktion bis 2050 festzulegen. (Europäische Kommission, 2022) Die Umsetzung dieses Ziels stellt deutsche Industrieunternehmen vor enorme Herausforderungen. Hinzu kommen unterbrochene Lieferketten, hohe Energiekosten und eine damit einhergehende Inflation, verursacht durch die Corona-Pandemie und die Energiekrise. Dies erschwert deutschen Unternehmen im internationalen Wettbewerb mitzuhalten. Die Folge ist eine Insolvenzwelle und damit verbundener Wohlstandsverlust. Altbewährte Werkzeuge zur Steigerung der Produktivität und Einsparung von Kosten können Abhilfe schaffen. Lean Management hat sich als erprobtes Werkzeug zur Kostensenkung und Produktivitätssteigerung bewiesen. Digitalisierung hilft dabei Effizienzpotenziale transparent zu machen. Die vorliegende Arbeit zeigt auf, wie Lean Management und Digitalisierung genutzt werden können, um den multiplen Krisen zu begegnen und den Wandel hin zu einer klimaneutralen Industrie zu unterstützen.

Wissenschaftliche Fragestellung

Wie können Lean Management und Digitalisierung den Wandel zu einer klimaneutralen Industrie unterstützen?

Zielsetzung der Arbeit

Ziel 1: Untersuchung der Auswirkung von Lean Management und Digitalisierung auf Klimaneutralität.

Ziel 2: Entwicklung eines Leitfadens zum Erreichen der EU-Klimaziele unter Anwendung der Instrumente Lean Management und Digitalisierung.

Um die Ziele dieser Arbeit zu erreichen, wird ein Grundlagenwissen zu den Themenfeldern Lean Management und Digitalisierung geschaffen. Nachfolgend werden die EU-Klimaziele aufgeschlüsselt. Anschließend wird das Grundlagenwissen zu Lean und Digitalisierung genutzt, um den EU-Klimazielen zu begegnen. Dies führt zu Ziel 1 der Arbeit.

1.2 Abgrenzung des Themas

Diese Arbeit befasst sich mit der Wechselwirkung der Themenfelder Lean Management und Digitalisierung zu Klimaneutralität. Die grün dargestellten Pfeile in Abbildung 1 stellen die in dieser Arbeit untersuchten Wechselwirkungen dar. Die Wechselwirkungen der rot dargestellten Pfeile werden in dieser Arbeit nicht untersucht.

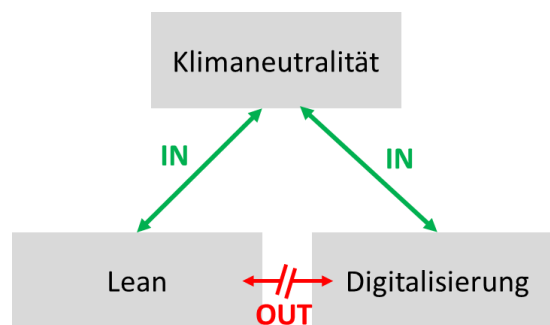


Abbildung 1: Abgrenzung der Themenfelder (eigene Darstellung)

Da jedes Themenfeld für sich umfangreich ist, ist eine klare Abgrenzung dieser Arbeit umso wichtiger. In dem Grundlagenteil (Abschnitt 2) dieser Arbeit wird zu jedem der drei Themenfelder ein Basisverständnis geschaffen. Im anschließenden Hauptteil (Abschnitt 3 - 5) findet die Untersuchung der Wechselwirkungen und Synergien der Themenfelder zueinander statt. Hier werden die Themenfelder nicht mehr differenziert und allgemein betrachtet. Sie werden spezifisch, in Wechselwirkung zueinander und auf die Zielstellung der Arbeit untersucht. Nachfolgend wird kurz beschrieben, was dies für jeden der Themenfelder bedeutet.

Lean Management

Es wird untersucht, wie Lean Management in Wechselwirkung zu Klimaneutralität steht. Im Lean Management geht es darum, Verschwendungen im Wertstrom zu reduzieren, um schlanke Wertschöpfungsketten zu gestalten. Schlanke Wertschöpfungsketten sind

Ressourceneffizienter und somit auch Umweltfreundlicher. Diese vereinfachte Beschreibung wird in Laufe dieser Arbeit genauer untersucht. Um in dieser Arbeit den inhaltlichen Fokus nicht zu weit zu streuen, wird die Wechselwirkung zwischen Lean Management und Digitalisierung nicht untersucht.

Digitalisierung

Digitalisierung ist ein Megatrend, der viele Lebens- und Unternehmensbereiche vereinfacht und teilweise grundlegend verändert. Digitale Werkzeuge sind ausgezeichnet zur Datenerfassung und -analyse geeignet. So kann Digitalisierung beispielsweise eingesetzt werden, um Energieverbräuche zu analysieren und um Einsparpotenziale transparent zu machen. Nun ist es jedoch so, dass jeder Rechenvorgang Energie benötigt. Eine Suchoperation über Google verbraucht beispielsweise 0,3 Wattstunden. [<https://www.eon.de/de/pk/strom/strom-sparen/stromverbrauch-internet.html>]. Wer also 20-mal gegoogelt hat, verbraucht in etwa so viel Strom wie eine Energiesparlampe in einer Stunde und erzeugt CO₂ Emissionen. Wesentlich gravierendere Auswirkungen hat streamen. Wer 30 Minuten streamt, erzeugt in etwa so viel CO₂ wie in einer 6 km langen Autofahrt. Dies trifft allerdings nur zu, wenn die Stromerzeugung der Streaming-Plattform, CO₂ erzeugt. Netflix und Amazon erzeugten im Jahr 2017 lediglich 17% ihres Stroms aus erneuerbaren Energien [https://www.greenpeace.de/sites/default/files/publications/20170110_greenpeace_clicking_clean.pdf]. Nun geht es in dieser Arbeit nicht um Suchanfragen oder Streamingdienste. Diese Vergleiche sollen deutlich machen, dass jedes Digitalisierungsvorhaben, lokal und kurzfristig betrachtet, einen Energiebedarf verursacht. Die Arbeit stellt dar, wie Digitalisierung zielführend eingesetzt wird um ganzheitlich betrachtet, Klimaneutralität in produzierenden Unternehmen zu unterstützen.

Klimaneutralität

Klimaneutralität ist das Fokusthema dieser Arbeit. Es wird transparent und verständlich erläutert, wie Lean Management und Digitalisierung dazu beitragen können, eine klimaneutrale Industrieproduktion in Deutschland zu etablieren. Der Begriff „Industrie“ oder „Industrieproduktion“ ist umfangreich. Daher ist eine zielgerichtete Abgrenzung erforderlich. Bei der Abgrenzung wurde darauf geachtet, die größten Hebel hinsichtlich

Klimaschutz zu identifizieren und dabei im Fachgebiet des Masterstudiengangs Produktionsmanagement zu bleiben. In grau dargestellt ist der klassische Produktlebenszyklus. Dieser erstreckt sich von der Materialgewinnung bis zur Entsorgung. Der rote Rahmen stellt den Fokus dieser Arbeit dar.

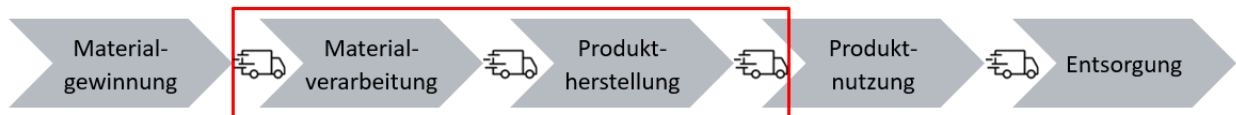


Abbildung 2: Abgrenzung der Arbeit über den Produktlebenszyklus (eigene Darstellung)

1.3 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Arbeit werden durch den Abschnitt 2 theoretische Grundlagen zu den Themenfeldern Lean Management und Digitalisierung geschaffen. Zu beiden Themenfeldern werden die wichtigsten Elemente und der aktuelle Stand der Forschung wiedergegeben. Des Weiteren wird im Grundlagenteil eine begriffliche Abgrenzung zu gängigen Klimabegriffen gemacht. Anschließend folgt in Kapitel 3 die Aufschlüsselung der Klimaziele der Europäischen Kommission, festgehalten im European Green Deal. Kapitel 4 setzt die Instrumente Lean Management und Digitalisierung in Verbindung mit den EU-Klimazielen. Hier wird dargestellt, wie Lean Management und Digitalisierung eingesetzt werden können, um Klimaneutralität zu unterstützen. Kapitel 5 stellt den Kern der Arbeit dar. Hier werden die gewonnenen Erkenntnisse konsolidiert und in einem Leitfaden zusammengeführt. Der Leitfaden entwickelt sich dynamisch aus der Beantwortung von Fragen zu jedem der drei Themenfelder. Die dynamische Entwicklung erfolgt aus einem Logikmodell was ebenfalls in Kapitel 5 entwickelt wird. Abschließend erfolgt in Kapitel 6 eine Schlussbetrachtung, in der die Antwort auf die wissenschaftliche Fragestellung gegeben wird. Darüber hinaus wird hier die Zielerreichung der Arbeit geprüft. Abschnitt 6.2 gibt einen Ausblick, um einen Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen zu schaffen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Lean Management

2.1.1 Herkunft

Die Herkunft des Lean Management, liegen bei dem berühmten Autobauer Henry Ford, anschließend wäre die Familie Toyoda zu nennen, die auch den Autobauer Toyota Motor Corporation gegründet hat. William Edwards Deming und die amerikanischen Supermärkte spielen in der Geschichte von Lean Management eine Rolle wie auch der berühmte Vater des Toyota-Produktionssystems, Taiichi Ohno. Im Folgenden soll die Lean-Geschichte nur in Ausschnitten dargestellt werden, um ein Grundverständnis für die Lean-Philosophie erlangen zu können. (Bertagnolli, 2020, S. 4ff.)

Fluss – Henry Ford

Wenn wir uns auf die Suche nach den Ursprüngen von Lean Management begeben, so müssen wir bei Henry Ford und der Ford Motor Company beginnen. Henry Ford ist durch sein Model T und die Massenfertigung (Fließband) bekannt geworden. Besonders sein berühmter Satz „Sie können jede Art von Farben haben, solange diese schwarz ist“ charakterisiert Fords Denkweise. Henry Ford führte das Fließband in der Autoindustrie ein. (Dombrowski & Krenkel, 2021, S. 176)

Gemba – Sakichi Toyoda

Taiichi Ohno beschrieb Sakichi Toyoda als einen genialen Erfinder, der sich durch Ideen auszeichnete, die ausschließlich auf seiner persönlichen Leistung beruhten. Sakichi Toyoda studierte nicht an einer Universität und las keine Fachbücher. Er studierte die Probleme und Lösungen in der Praxis durch stundenlanges Beobachten mit der Intention, den wahren Grund des Problems festzustellen, zu analysieren und den Erfolg seiner Lösung zu testen. Dies führte dazu, dass die Erfindungen, die aus der Praxis entstanden, dort erfolgreicher eingesetzt werden konnten. Dieses Prinzip prägte Toyota und das Toyota-Produktionssystem (TPS) erheblich. (Dombrowski & Krenkel, 2021, S. 183)

Toyota Produktionssystem (TPS) – Taiichi Ohno

Als Taiichi Ohno die USA besucht, um sich über neue amerikanische Fertigungsverfahren in der Automobilindustrie zu informieren, kommt er auch mit dem amerikanischen Supermarktprinzip in Kontakt. Dieses Prinzip ist in der damaligen Zeit kaum bekannt und beinhaltet das Konzept Präsenz der Waren im Verkaufsraum, keine Lager und bedarfsorientierte Nachbestellung, also Bestellung nach Verbrauch. Diese Idee setzen Taiichi Ohno und seine Mitarbeiter in Form des heutigen Kanban (= Karte) in der Fertigung um und kreieren das, was wir als bedarfsorientierte Fertigung kennen. Taiichi Ohno, dem ein wesentlicher Anteil an der Entwicklung des TPS zugesprochen wird, gehörte zu diesem Zeitpunkt dem Toyota-Team an. (Bertagnolli, 2020, S. 203ff.)

PDCA – William Edwards Deming

William Edwards Deming wird ein großer Anteil an der japanischen Unternehmenskultur, höchste Qualität herzustellen, zugesprochen. Nachdem er in den USA kein Gehör für seine qualitätssteigernden Theorien fand, war die Situation in Japan eine ganz andere. Qualität und insbesondere die Verbreitung der PDCA-Methodik (Plan, Do, Check, Act), welche in der Prozessoptimierung eine besondere Bedeutung hat, haben im Lean-Management-System einen hohen Stellenwert. (Gorecki & Pautsch, 2014, S. 55ff.)

Lean Management

James P. Womack, Daniel T. Jones und Daniel Roos sind mit ihren Projektleitern John F. Krafcik und John P. MacDuffie die Erfinder des Begriffs „Lean Management“. Die Forscher, die am Massachusetts Institute of Technology (MIT) im Rahmen des Forschungsprojekts International Motor Vehicle Program (IMVP) die Produktionssysteme der verschiedenen Autohersteller untersucht haben, veröffentlichten am Ende eine Benchmark-Analyse, die in dem Buch Die zweite Revolution in der Autoindustrie dokumentiert ist. Die hier veröffentlichten Ergebnisse zeigen die gravierenden Unterschiede zwischen westlichen und asiatischen (hauptsächlich japanischen) Herstellern und veränderten die Sichtweise innerhalb der gesamten Automobilindustrie. Sie benennen das von ihnen beobachtete Prinzip Lean Management, das sich aus den Erfahrungen aus verschiedenen Unternehmen und Beobachtungen in der Praxis zusammensetzt. (Bertagnolli, 2020, S. 219ff.)

2.1.2 Verschwendungsarten

Nachfolgend werden die sieben Verschwendungsarten des Lean Management einfach und möglichst anschaulich beschrieben. Die Reihenfolge der Beschreibung entspricht der Relevanz.

Verschwendung 1: Überproduktion

Immer wenn etwas zu früh oder in zu großer Menge produziert wird, als es zu einem bestimmten Zeitpunkt gebraucht wird, handelt es sich um Überproduktion und somit Verschwendung. Die produzierten Teile liegen rum, verbrauchen Platz, verlieren eventuell sogar ihre Haltbarkeit und stellen gebundenes Kapital dar. Wenn in einem Prozess Verschwendung entdeckt wird, ist es im ersten Schritt wichtig diese zu benennen. Denn die Deklaration als Verschwendung soll anregen, methodisch andere Wege zu suchen und zu diskutieren. Überproduktion ist die wichtigste Verschwendungsart, da sie fast alle anderen Verschwendungsarten zur Folge hat. (Bertagnolli, 2020, S. 28ff.)

Verschwendung 2: Bestände

Wenn Schrauben, Motoren oder Lebensmittel lagern, ist in der Ware Kapital gebunden, das man sinnvoller hätte nutzen können, als es liegen zu lassen. Doch das gebundene Geld ist meist noch nicht einmal das teuerste am Bestand. Die Aufwände für den Bau und Betrieb des notwendigen Lagers dürfen nicht unterschätzt werden. Es werden Regale, Paletten und Behälter benötigt. Es fahren Gabelstapler umher und Computerprogramme verwalten Inhalt und Lagerplätze. Dazu kommt der Aufwand, um das Material zur richtigen Zeit ein und auszulagern. Mitarbeiter müssen hierfür eingestellt und geschult werden. Das Material muss überwiegend innen gelagert werden, weshalb eine Halle gebraucht wird. Diese wird im Winter beheizt und im Sommer gekühlt. Dieser Umstand macht die Lagerung erheblich teurer als man aufgrund des Inventarwertes vermuten würde. Einige Unternehmen nutzen automatisierte Läger um die Bestände in den Griff zu bekommen und die Kosten zu senken. Vollautomatische Lager sind jedoch keine Lösung, denn auch automatisierte Verschwendung bleibt Verschwendung. (Bertagnolli, 2020, S. 30ff.)

Verschwendung 3: Transport

Transport ist immer die Folge, wenn Prozessschritte räumlich voneinander entfernt sind, und Transport ist Verschwendung. Das lässt sich gut an der Produktion eines T-Shirts veranschaulichen. In den USA wird Baumwolle angebaut und geerntet, dann geht es mit dem Schiff mehrere Wochen nach China. Dort wird der Stoff gewoben und nochmals transportiert. Schließlich wird das T-Shirt genäht, verpackt und reist um den halben Globus nach Deutschland, wo es im Laden auf Käufer wartet. Wie das bei den anderen Verschwendungen auch der Fall war, gibt es immer einen Grund für die Verschwendung. Für die T-Shirt-Produktion mag es wirtschaftlich vorteilhaft sein, in Niedriglohnländern zu produzieren. Die Transporte sind in diesem Prozess dennoch Verschwendung. Transporte bringen Komplexität in den Prozess. (Gorecki & Pautsch, 2014 S. 16ff.)

Verschwendung 4: Wege

Alle Wege und Bewegungen, die man durchführen muss, um die Wertschöpfung zu erzielen, sind Verschwendung. Denn auch notwendige Wege sind Verschwendung. Wege, die die Füße oder auch die Hände zurücklegen, um etwas zu greifen sind Verschwendung. Wichtig für die Bewertung der Wege ist auch, wie oft am Tag ein Weg zurückgelegt werden muss. Werkzeuge und Materialien, die viel benutzt werden, wiegen mehr als andere. Die seltener gebraucht werden. (Hänggi, Fimpel, & Siegenthaler, 2021, S. 8f.)

Verschwendung 5: Wartezeit

Warten ist im Sinne des Lean-Gedanken unerwünscht und eine Art der Verschwendung. Nimmt man das Beispiel eines Baristas, der einen Espresso zubereitet. Der Espresso fließt 25 Sekunden in die Tasse. In dieser Zeit wartet der Barista und trägt nicht wertschöpfend zum Unternehmenserfolg bei. Nun ist 25 Sekunden ein kurzes Zeitintervall, doch bei 300 Espressi, die täglich in dem Café zubereitet werden, summiert sich dies auf mehrere Stunden. Ähnlich verhält es sich mit prozessbedingten Wartezeiten in Produktionsunternehmen. (Gorecki & Pautsch, 2014, S. 20 ff.)

Verschwendung 6: Überarbeitung

Überarbeitet bedeutet mehr Arbeit bzw. mehr Wertschöpfung in etwas zu stecken, als der Kunde bereit ist zu bezahlen. Sind Sie zum Beispiel bereit für Aufwände

Verpackungen Ihres Smart Phones zu bezahlen. Vermutlich eher nicht. (Hänggi, Fimpel, & Siegenthaler, 2021, S. 11f.)

Verschwendung 7: Ausschuss und Nacharbeit

Ausschuss kann auf verschiedenen Wegen entstehen. Wenn im Lager zu viel Bestand ist, kann es unter anderem passieren, dass die Haltbarkeit abläuft. Nutzen wir auch hier wieder das Beispiel unseres Baristas. Er reißt ein neues Paket Kaffeebohnen auf und stellt fest dass diese verschimmelt sind. Nun kann er diese entweder ausschleusen oder er trennt die guten, fein säuberlich von den schlechten Bohnen. Dies wäre dann eine Nacharbeit. Sowohl Ausschuss als auch Nacharbeit stellt im Lean Management eine Verschwendung dar und sind nicht gewollt. Viele Unternehmen planen Ausschuss und Nacharbeit in Ihren Prozess mit ein und bestellen sicherheitshalber mehr Material, weil ein bestimmter Prozentsatz immer Ausschuss ist. Hierdurch verschleiert man jedoch die eigentlichen Probleme und erzeugt Kosten. (Gorecki & Pautsch, 2014, S. 146 ff.)

2.1.3 Prinzipien

Vorab sei zu klären, was genau unter einem Prinzip verstanden wird. Laut dem Internetlexikon Wikipedia, ist ein Prinzip wie folgt zu verstehen: „*Prinzip von lat. principium = Anfang, Beginn, Ursprung, Grundsatz*“ (Wikipedia, 2022). Demnach ist ein Prinzip ein Grundsatz nach dem bestimmte Entscheidungen getroffen werden. Wenn Sie beispielsweise dafür einen möglichst klimafreundlichen Lebensstil pflegen, dann können Sie dies erreichen, in dem Sie bestimmte Prinzipien für sich definieren. Diese können ganz individuell sein. Ein Prinzip könnte sein, nicht mehr mit dem Flugzeug zu verreisen oder nur „grünen“ Strom zu verwenden. Was Sie genau tun, um diese Prinzipien zu verfolgen und umzusetzen, legen Sie durch Methoden und Tools fest. Sie könnten zum Beispiel mit dem Zug oder dem Fahrrad verreisen um Reisen mit dem Flugzeug zu vermeiden und damit Ihrem Prinzip zu folgen. Es sollte klar zwischen einem Prinzip (Gestaltungsgrundsatz) und Methoden (konkretes Werkzeug zur Umsetzung eines Prinzips) unterschieden werden. Im Lean Management bedient man sich bestimmter Prinzipien, um die oben genannten sieben Verschwendungsarten zu erkennen, zu eliminieren und zu reduzieren. Nachfolgend werden fünf ausgewählte Prinzipien des Lean Managements vorgestellt, da diese als besonders relevant für diese

Arbeit erachtet werden. Je nach Literatur gibt es weitere Prinzipien. (Hänggi, Fimpel, & Siegenthaler, 2021, S. 17)

Prinzip 1: Pull-Prinzip

Das Pull Prinzip (deutsch: zieh-Prinzip) besagt, nur dann etwas zu produzieren, wenn es vom Kunden benötigt wird. Hier wird das Beispiel eines Bäckers genutzt. Der Bäcker hat als Ziel, den Kundenbedarf an Brötchen so exakt wie möglich zu treffen. Sodass er am Ende eines Tages so wenig Brötchen wie möglich wegschmeißen muss. Statt eine aus Erfahrungen abgeschätzte Tagesmenge schon morgens zu backen und nicht zu wissen, ob diese Menge dem reellen Bedarf entspricht, entscheidet er sich eine fest definierte Maximalmenge an Brötchen im Korb zu haben. Er produziert nur dann neue Brötchen, wenn er sieht, dass die Maximalgrenze unterschritten ist. Genau dann backt er so viele Brötchen nach, wie ihm fehlen, um die Maximalgrenze zu erreichen. (Gorecki & Pautsch, 2014, S. 107ff.)

Prinzip 2: Fließ-Prinzip

Das Fließprinzip besagt, Material im Sinne der Wertschöpfung immer in Bewegung zu halten. Kommt das Material zum Stehen, bilden sich Bestände. Dies kann zum Beispiel durch die Produktion in großen Losgrößen geschehen. Nun hat eine Reduzierung der Losgrößen, oftmals eine Steigerung der Rüstaufwände zur Folge. Man stelle sich die Herstellung von Fahrradrahmen vor. Für ein Rennrad benötigt man andere Teile und Werkzeuge als für ein Lastenrad. Da kommt schnell der Gedanke mehrere Rahmen auf einmal zu produzieren, um den Wechsel der Werkzeuge (Rüsten) zu reduzieren. Da die Fertigung großer Lose jedoch zu steigenden Lagerkosten und noch weiteren Verschwendungen führt, sollte dies nicht Mittel der Wahl sein. Stattdessen sollten die Rüstzeiten genauer analysiert und auf ein Minimum reduziert werden. Dies begünstigt die Fertigung in kleinen Losen, idealer Weise in Losgröße 1 (one-piece-flow). Ist es nicht möglich in Losgröße 1 zu fertigen, sollte ein Kostenoptimum zwischen Rüstkosten und Lagerkosten gefunden werden. Eine weitere Ursache für den Verstoß gegen das Fluss-Prinzip können schlecht ausgetaktete Arbeitsstationen sein. Sodass Arbeitsplatz 1 schneller ist als Arbeitsplatz 2. Auch ein Verstoß gegen das Pull-Prinzip (z.B. Vorproduktion) führt zu einem Stillstand des Materialflusses. (Hänggi, Fimpel, & Siegenthaler, 2021, S. 20ff.)

Prinzip 3: Takt-Prinzip

Das Takt-Prinzip lässt sich anhand einer Sandwich Produktion gut veranschaulichen. Alle 30 Sekunden kommt ein Kunde zu Sandwich & Co und möchte ein Sandwich bestellen. Der Grillmeister kommt gut hinterher. Der zweite Mitarbeiter in der Kette benötigt jedoch für das Zusammenbauen 40 Sekunden und hinkt damit bei jedem Sandwich 10 Sekunden hinterher. Die gebratenen Patties stauen sich daher vor dem zweiten Mitarbeiter auf und es entstehen Bestände und somit Verschwendung im Prozess. Der nachfolgende Kassierer wartet, weil er pro Sandwich nur 20 Sekunden braucht. Dieses Warten ist wiederum Verschwendung. Man erkennt, dass der Gesamtprozess nicht „ausgetaktet“ ist. Der Kunde kann nicht alle 30 Sekunden bedient werden und die Warteschlange wird länger und länger. Um das Taktprinzip umzusetzen, müssen sich alle Stationen am Kundentakt orientieren. In diesem Fall 30 Sekunden. Daher muss die Arbeit vom zweiten Mitarbeiter verschoben werden, um den Prozess auszubalancieren. Der Burgerbauer wird entlastet und der gelangweilte Verpacker wird nun zusätzlich das Ketchup auftragen und den Brotdeckel auflegen. Nun ist der Prozess ausgetaktet und jeder hat genau 30 Sekunden Arbeitsinhalt. Damit sind auch die Bestände, die Überproduktion und die Wartezeit beseitigt. Nur wenn alle Prozesse einem einheitlichen Takt folgen, kann die Verschwendung beseitigt werden. Wenn weder Bestände aufgebaut werden, noch der Kunde warten muss, entspricht der Takt dem Kundentakt. Das Taktprinzip richtet alle Arbeitsprozesse am Kundentakt aus. Somit wird ein Fluss zwischen den Arbeitsprozessen generiert. Das Fluss- und Taktprinzip bilden eine logische Einheit. Takt bringt Fluss und Fluss vereinfacht den Takt. Darum werden in der Praxis das Taktprinzip und das Flussprinzip oft verwechselt. (Hänggi, Fimpel, & Siegenthaler, 2021, S. 25ff.)

Prinzip 4: Null-Fehler-Prinzip

Um die Verschwendungsarten „Ausschuss und Nacharbeit“ aus den Prozessen zu entfernen, muss die Fehlerkette unterbrochen werden. Es darf kein Fehler angenommen werden. Dieses Null-Fehler-Prinzip klingt zunächst logisch und einfach. Aber wenn es ernsthaft umgesetzt werden soll, erfordert es ein radikales Umdenken. Es ist einfacher ein paar Teile mehr zu bestellen, um dadurch einen Stillstand der Produktion zu verhindern. In der operativen Hektik besteht oft keine Zeit die Fehlerursachen zu suchen und nachhaltig abzustellen. Die Schwierigkeit besteht darin,

dass in vielen Lebensbereichen und Köpfen bereits ein wenig effizienter Problemlösungsprozess fest verankert ist: Fehlervermeidung durch Abschreckung. Für die nachhaltige Fehlerbehebung in Produktionsprozessen ist eine solche Kultur aber problematisch. Der Fehler wird nicht eingestanden, verharmlost und vertuscht. Das kann keine Basis für eine nachhaltige Fehlerbehebung sein. Es lässt sich erkennen, dass das Null-Fehler-Prinzip deswegen so schwierig ist, weil es einen Kulturwandel erfordert. Nicht weniger wichtig für das Null-Fehler-Prinzip sind technische Mittel, um einen Fehler zu detektieren. Die Technik muss helfen Fragen zu klären: Wann, wo, wie oft und unter welchen Bedingungen passiert der Fehler? Nur durch Einbeziehung von Zahlen, Daten und Fakten kann eine sinnvolle Lösung erarbeitet werden. Wenn das Null-Fehler-Prinzip eingeführt werden soll, funktioniert dies am besten durch eine Kombination aus technischen und organisatorischen Maßnahmen. Bereits bei Toyota, in den Lean-Ursprüngen, hatte die Umsetzung des Null-Fehler-Prinzips einen zentralen Stellenwert. Im Ursprung-Konzept von Taiichi Ohno ist Jidoka, neben Just-in-Time, sogar eine von zwei zentralen Säulen des Produktionssystems. Ohno verstand unter Jidoka die Separierung menschlicher Arbeit von der Maschinenarbeit, um Null-Fehler zu erreichen. Das Prinzip besteht darin, die Maschinen mit einer Menschlichkeit bzw. Intelligenz auszustatten. Beispielsweise kann die Maschine auf einen Fehler reagieren, indem sie anhält, um die Folgen des Fehlers einzudämmen. Damit kann sofort eine Ursachenforschung angestoßen und der Fehler behoben werden. In den Ursprüngen der 50er Jahre waren Jidoka-Lösungen intelligente mechanische Lösungen, zum Beispiel zum Abschalten von Anlagen im Fehlerfall. Der technische Fortschritt der letzten Jahre eröffnet dieser Idee durch „intelligente Automatisierung“ völlig neue Möglichkeiten. Schon damals hatte man bei Toyota erkannt, dass die Jidoka-Idee, die Kombination von Mensch und Maschine und das sofortige Reagieren bei Fehlern, den Weg zur (vollständigen) Automatisierung einleitet. Einige Beispiele: Der Spurassistent mahnt vor dem unbeabsichtigten Verlassen der Spur. Der Mindestabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug wird unterschritten und der Fahrer wird gewarnt. Das Navigationssystem bittet freundlich zu wenden (wenn möglich), wenn wir eine Ausfahrt verpassen. All das sind Mechanismen, um Fehler zu vermeiden, aber sie sind auch Schritte zum vollautomatisierten System. Also hier zum Beispiel dem fahrerlosen Fahrzeug. Wir sehen, die Maschine muss für die Umsetzung des Null-Fehler-Prinzips intelligent werden und Fehler sofort erkennen. Das Null-Fehler-Prinzip gibt den Weg

vor. Gerade in den Zeiten von Industrie 4.0 ist dies wichtiger denn je. (Hänggi, Fimpel, & Siegenthaler, 2021, S. 27ff.)

Prinzip 5: Standardisierung

Standards sind für die Steigerung der Effizienz maßgebend. Ein Standard beschreibt eine einheitliche Vorgehensweise für einen Prozess z. B. einen Fertigungsschritt. Wenn bei einem Bauteil mehrere Schrauben angezogen werden müssen, ist eine bestimmte Reihenfolge die Schrauben anzuziehen vielleicht die schnellste und sicherste. Dieser optimale Ablauf sollte in einem Standard beschrieben sein, sodass jeder Mitarbeiter diesen Ablauf gleich durchführt. Nur wenn ein Ablauf in einem Standard beschrieben ist, kann der Ablauf verbessert und Abweichungen von Standard erkannt werden. Standards helfen uns dabei die sieben Verschwendungsarten im Prozess zu erkennen. Wenn eine Werkzeugschublade nach einem Standard geordnet ist, entstehen keine Wartezeiten durch Werkzeugsuche. Wenn die Handgriffe der Arbeitsabläufe genau beschrieben sind, hält man den Takt ein und es entstehen keine Wartezeiten. Wenn doch, ist der Standard falsch und muss geändert werden. Auf diese Weise ermöglichen Standards eine kontinuierliche Verbesserung. (Bertagnolli, 2020, 135 ff.)

2.2 Digitalisierung

2.2.1 Definition und Abgrenzung

Das Wort „Digitalisierung“ umfasst unterschiedliche Bedeutungen. Schaut man im Duden nach „Digitalisierung“, findet man unter Bedeutung lediglich das Wort: „Digitalisierung“. Der Wikipedia Eintrag ist schon etwas konkreter und beschreibt Digitalisierung als die Umwandlung von analogen Werten in digitale Signale. (Wikipedia, 2022) Aber auch diese Beschreibung ist eher oberflächlich und lässt Spielraum für Interpretation. Der Begriff der Digitalisierung wird in dieser Arbeit ausschließlich im industriellen Kontext verwendet. Digitalisierung in der Industrie, speziell in der produzierenden Industrie, ist bekannt unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“. Dabei steht die 4.0 für die vierte industrielle Revolution. Industrie 4.0 wird auf der Plattform Industrie 4.0, des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz wie folgt definiert: *„Industrie 4.0 bezeichnet die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der*

Industrie mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie.“ (Plattform Industrie 4.0, 2022). Definitionen in der Literatur sind inhaltlich sehr ähnlich. So beschreibt Armin Roth Industrie 4.0 als „[...]vernetzte und kommunizierende Systeme mittels der neuesten Internettechnologie[...]“ (Roth, 2016).

2.2.2 Industrielle Revolutionen

Grundsätzlich bezeichnet der Begriff der industriellen Revolution den Übergang von der Agrargesellschaft zur Industriegesellschaft und der daraus resultierenden Umgestaltung der Sozial- und Arbeitsordnung. Ausgangspunkt waren verschiedene technische Erfindungen, wie z. B. die Dampfmaschine oder neuartige Verfahren zur Eisen- und Stahlgewinnung. Der Beginn der industriellen Revolution geht auf die zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts in Großbritannien zurück. Dabei wurde der Begriff „Industrielle Revolution“ von Friedrich Engels und Adolphe Jérôme Blanqui geprägt. Da sich der Prozess der industriellen Revolution seit dem 18. Jahrhundert, bis in die Gegenwart erstreckt, wird in der Literatur häufig zwischen erster bis dritter industrieller Revolution differenziert. Dabei wird die erste industrielle Revolution als Synonym für den klassischen Begriff der industriellen Revolution nach Engels und Blanqui verwendet. (Roth, 2016, S. 19ff.)

Tabelle 1: Merkmale und Kriterien der ersten bis dritten industriellen Revolution (Andelfinger & Hänisch, 2017, S. 41)

	Erste industrielle Revolution (Ende 18. Jh.)	Zweite industrielle Revolution (Anfang 20. Jh.)	Dritte industrielle Revolution (Anfang 1970er)
Technologischer Wandel als Auslöser/Voraussetzung (technologische Errungenschaft)	Dampfmaschine, mechanischer Webstuhl, Eisenverarbeitung	Verbrennungskraftmotor, Elektrizität und Elektronik, Kunststoffe, Fließband	Mikroelektronik, Informations- und Kommunikationstechnologie, Automatisierung der Produktion durch Elektronik und IT
Auswirkungen/Veränderungen: •Arbeits-/Sozialordnung •Energieversorgung •Verkehr/Kommunikation •und/oder Politik	•Schlagartiges Bevölkerungswachstum •Eisenbahn/Telegrafie •Anwachsen der Kluft zwischen Arbeiterschaft und Kapitalisten	•Sinkende Produktionskosten •Anstieg des Einkommens •Öl und Kernkraft •Auto, Flugzeug, Radio	•Rationalisierung •Weltweite Vernetzung der Gesellschaft •Erneuerbare Energien und Energieeffizienz •Personal Computer, Mobilfunk, Internet
Gesellschaftswandel	Gewerkschaften, Gewerbefreiheit, Rechtsstaat, Übergang zur bürgerlichen Gesellschaft	Massenproduktion und -gesellschaft, Parlamentarische Demokratie und Sozialstaaten	Globalisierung, Zivilgesellschaft, Wandel noch nicht abgeschlossen

Erste industrielle Revolution

Diese erste industrielle Revolution begann im 18. Jahrhundert mit der Erfindung der Dampfmaschine durch Thomas Newcomon und der Weiterentwicklung durch James Watt. Weitere bedeutende Erfindungen waren der mechanische Webstuhl sowie neuartige Verfahren zur Eisengewinnung. Die Notwendigkeit dieser neuen Technologien ergab sich zum einen aus dem schnell zunehmenden Export von industriell gefertigten Gütern und zum anderen aus einem schlagartigen Bevölkerungswachstum. Bis diese Entwicklungen jedoch zu einem Anheben des allgemeinen Lebensstandards führen konnten, wuchs zunächst die Kluft zwischen Arbeiterschaft und den Kapitalisten, welche über die entsprechenden Produktionsmittel und das Kapital verfügten. Die Ausbeutung der Arbeitskraft und die soziale Verelendung führten schließlich zu einem politischen Wandel, aus dem heraus Gewerkschaften und Arbeiterparteien entstanden, die bis heute großen Einfluss auf das politische Leben haben. (Roth, 2016)

Zweite industrielle Revolution

Der Beginn der zweiten industriellen Revolution wird in der Literatur häufig als die Zusammenführung von Mechanik und Betriebswirtschaftslehre Anfang des 20. Jahrhunderts beschrieben. Der Grundgedanke hierbei war das Prinzip der Arbeitsteilung, bei dem Arbeitsschritte in die kleinstmögliche Einheit zerlegt und bearbeitet werden. Das wohl bekannteste Beispiel hierfür ist die Fließbandfertigung von Henry Ford, welche die Massenfertigung bei sehr geringen Stückkosten ermöglichte.

Die Erfindung der Verbrennungskraftmaschine sowie des Elektromotors und die Herstellung von Kunststoffen führten zur uneingeschränkten Verfügung und Verbrauch von Ressourcen. Dies hatte jedoch eine damals noch unberücksichtigte Kehrseite. Es folgte eine damals noch unerkannte Bedrohung von ökologischen Gleichgewichten. Als Energieträger kamen neben der Kohle nun auch Öl und die Kernkraft hinzu. Bei gesellschaftlicher Betrachtung führte die zweite industrielle Revolution zur Erhöhung des Einkommens in der Breite der Gesellschaft bei gleichzeitig sinkenden Kosten. Dadurch wuchs jedoch auch das weltweite Wohlstandsgefälle, was wiederum soziologische Probleme mit sich führte. Beispiele hierfür sind strukturelle Arbeitslosigkeit und der Wegfall ganzer Berufsbilder. Immer weniger Erwerbstätige können die Güterversorgung sicherstellen. Aus gesellschaftspolitischer Sicht

entstanden während dieser Periode die ersten parlamentarischen Demokratien und Sozialstaaten. (Roth, 2016)

Dritte industrielle Revolution

Die Vereinigung von Mechanik mit elektronischen und Steuerungskomponenten zu Beginn der 70er läutete die dritte industrielle Revolution ein. Diese hält bis zu Gegenwart an. Sie zeichnet sich durch die Entwicklung von speicherprogrammierbaren Steuerungen, sowie die Einführung auf Halbleitern basierende Antriebsregler aus. Steuerungstechnik und Kommunikation führte die dritte industrielle Revolution somit zur Automatisierung in der Produktion. Als weiterer wichtiger technologischer Bereich kann die Raumfahrttechnik genannt werden, mit Errungenschaften in der Satellitentechnik. Diese basiert auf der Mikroelektronik und erzeugte einen regelrechten Boom im neu geschaffenen IT-Sektor. Die technologischen Errungenschaften reichen vom Personal Computer, der Mobiltelefonie bis hin zum Internet. Dies führte letztlich zu einem starken Wandel in der weltweiten Kommunikation, nicht nur in der Industrie, sondern in der gesamten Gesellschaft. Demzufolge lässt sich die immer weiter zunehmende Globalisierung als eine der größten gesellschaftlichen Veränderungen im Rahmen der dritten industriellen Revolution nennen. Die Literatur nennt außerdem die Rationalisierung als Folge der Einführung von automatisierten Montagesystemen und Industrierobotern oder den computergestützten Fertigungs- und Verwaltungsprozessen. Im Bereich der Energieträger sind neben den bestehenden, nun auch erneuerbare Energien hinzugekommen. Der Bedarf hierfür lässt sich vor allem auf das Bewusstsein über die Begrenztheit fossiler Energieträger und deren ökologischen Auswirkungen zurückführen. (Roth, 2016)

2.2.3 Übersicht Industrie 4.0

Wie jede industrielle Revolution, ist auch die vierte industrielle Revolution kein einmaliges Ereignis, was über Nacht geschieht. Es handelt sich vielmehr um einen andauernden Vorgang, der einen eher evolutionären als revolutionären Charakter hat. Der Titel „Leitbild 2030 für Industrie 4.0“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) lässt vermuten, dass mit einem Abschluss der vierten industriellen Revolution vor 2030 nicht zu rechnen ist. Dies macht umso deutlicher welchen Umfang das Themenfeld Industrie 4.0 hat. Diese Arbeit erhebt nicht den Anspruch das

Themenfeld im Detail zu beschreiben. Ziel dieses Abschnitts ist es, einen groben Überblick der gängigen Modelle und aktuellen Informationen zu geben. Dazu gehört unter anderem die Automatisierungspyramide sowie das Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 (RAMI). Nachfolgend wird die Automatisierungspyramide und das RAMI 4.0 beschrieben. Das Leitbild 2030 hat einen weniger technischen Charakter und beschreibt den ganzheitlichen Transformationsprozess der industriellen Wertschöpfung und wird daher in Abschnitt 4.2 beschrieben.

2.2.4 Automatisierungspyramide

Die Erfassung und Verarbeitung von Daten spielen in Industrie 4.0 eine entscheidende Rolle. Die Automatisierungspyramide in Abbildung 3 stellt die Datenerfassung in der Produktion über sechs Level (0-5) dar. Ziel der Pyramide ist es, die Komplexität der Digitalisierung in Fertigungsunternehmen greifbarer zu machen und Komplexität zu reduzieren. Dies gelingt durch die Unterteilung der Prozesse zur Datenerhebung- und Verarbeitung in einem Unternehmen. (Vogel-Heuser, Bauernhansl, & ten Hompel, 2017, S. 22ff.)

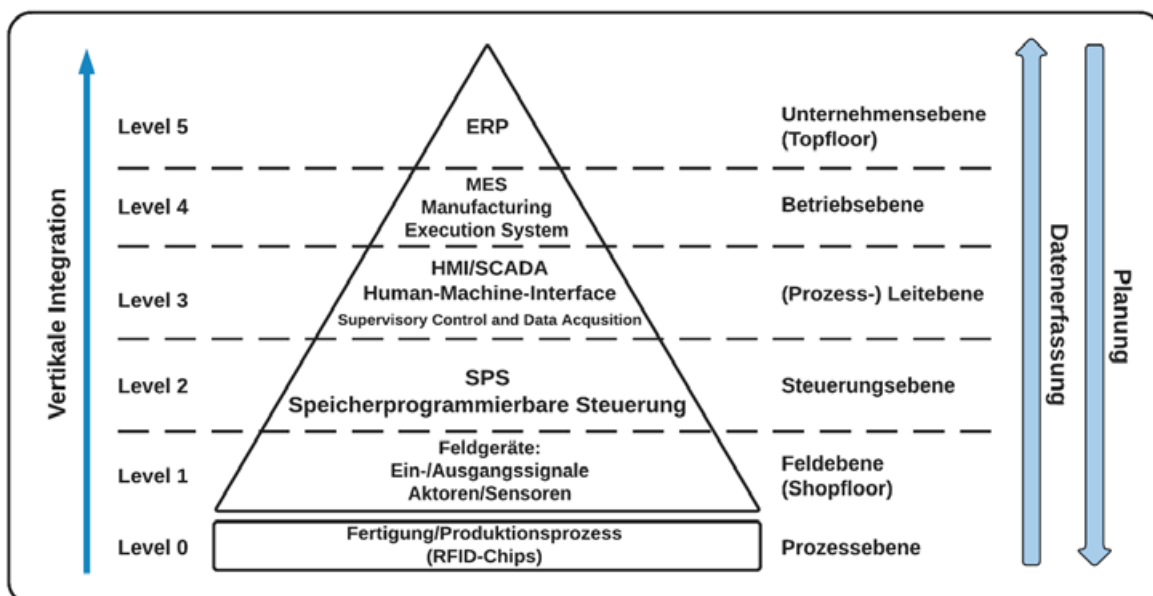


Abbildung 3: Die Automatisierungspyramide der industriellen Fertigung (Roth, 2016, S. 49)

Level 0: Prozessebene

Dabei handelt es sich nicht um den gesamten Herstellungsprozess, sondern um jeweils einzelne Schritte im Herstellungsprozess. Dies kann zum Beispiel eine Fertigungsstation sein. Die Ausrüstung der Fertigungsstation mit Hard- und Software ermöglicht die Datenerfassung zu einer Fertigungsstation und auch dem bearbeiteten Produkt. Die hierzu verwendeten Technologien sind zum Beispiel Radio Frequency Identification (RFID) Chips oder Data Matrix Code (DMC) Scanner. (Roth, 2016, S. 49ff.)

Level 1: Feldebene

Damit ist die Summe an Fertigungsstationen in einem Unternehmen gemeint, auch bekannt als Shop Floor Ebene. Der wesentliche Unterschied zu Level 0 ist, dass es in diesem Level ausschließlich um die Erfassung produktionsrelevanter Daten geht. Dafür ist die Ausstattung des Produktionsequipment mit erforderlichen Sensoren und Aktoren erforderlich. Dies können zum Beispiel Sensoren zur Erfassung der Temperatur, Vibration, Feuchtigkeit oder Zustände (z.B. Ein, Aus, Taktzahl, Bandgeschwindigkeit, etc.) der Fertigungsbereiche sein. (Roth, 2016, S. 50)

Level 2: Steuerungsebene

Dabei geht es um die Nutzung speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS). Diese werten Eingangssignale der Sensoren aus und senden entsprechende Ausgangssignale an die Aktoren zurück, um diese zu steuern. Konkret geht es um die Umwandlung elektrischer Signale zum Beispiel in mechanische Bewegung. Das kann zum Beispiel die Öffnung eines Druckluftventils zur Bewegung eines Druckluftzylinders sein. Die Steuerungsebene und somit der Einsatz von SPS trägt entscheidend zu einer dezentral gesteuerten Fabrik bei. (Roth, 2016, S. 50)

Level 3: Leitebene

Hier werden Fertigungsdaten für den Menschen leicht verständlich und visuell dargestellt. Dazu werden Human-Machine-Interfaces (HMI) in verschiedenen Formen wie zum Beispiel einem Bildschirm oder Akustischen Signalen (z.B. Warnmeldungen) genutzt. (Roth, 2016, S. 50)

Level 4: Betriebsebene

Auf der Betriebsebene erfolgt die übergeordnete Erfassung aller produktionsrelevanter Daten. Zu diesen Daten gehören neben den Daten aus Ebene 0-2, zum Beispiel auch

die Erfassung von Personaldaten. Alle erfassten Daten werden in einem Manufacturing Execution System (MES) zusammengefasst, um eine Detailplanung der Produktion zu ermöglichen. Die Betriebsebene stellt das Bindeglied zwischen der Fertigung und der Unternehmensführung dar. Daten aus dem MES System werden an das Enterprise Resource Planning (ERP) System weitergegeben. So kann zum Beispiel eine Produktivitätsrechnung (Output / Input) erfolgen. (Roth, 2016, S. 50)

Level 5: Unternehmensebene

Auf der Unternehmensebene findet die Grobplanung der Fertigung statt. Kundenaufträge werden entgegengenommen und Rohmaterial für die Fertigung wird bestellt. In heutiger Zeit findet die Produktion in den seltensten Fällen nur auf einer Ebene statt. Die Unternehmen bewegen sich auf allen Ebenen. Der Fortschritt auf den verschiedenen Ebenen ist jedoch unterschiedlich. Auch die vertikale Integration, also der Vernetzung der Ebenen miteinander, hat in der Unternehmenslandschaft einen unterschiedlichen Reifegrad. Während einige Unternehmen ihre Fertigungsdaten bereits in einem MES System benutzerspezifisch individuell visualisieren, mühen sich andere mit manuell erstellten Excellisten, zur Kommunikation der Produktionsdaten an die Unternehmensführung und zur Planung der Produktion, ab. Die Plattform Industrie 4.0 bezeichnet die Automatisierungspyramide bereits als „alte Welt“ und ergänzt diese durch das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). (Roth, 2016, S. 50)

2.2.5 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

Ziel des RAMI 4.0 ist es, ein gleiches Verständnis alle Teilnehmer von Industrie 4.0 zu schaffen. Dies wird unter anderem durch die Nutzung einer einheitlichen Struktur und Wording erreicht. Das RAMI 4.0 ist eine dreidimensionale Zusammenführung der relevanten Industrie 4.0 Themenfelder. Es besteht aus drei Achsen (Hierarchie, Lebenszyklus & Wertschöpfung, Architektur). Die Darstellung ermöglicht es, jede Achse und jede Ebene einzeln für sich zu betrachten und ermöglicht dadurch eine vereinfachte Betrachtung der Industrie 4.0 Aspekte. (Plattform Industrie 4.0, 2022)

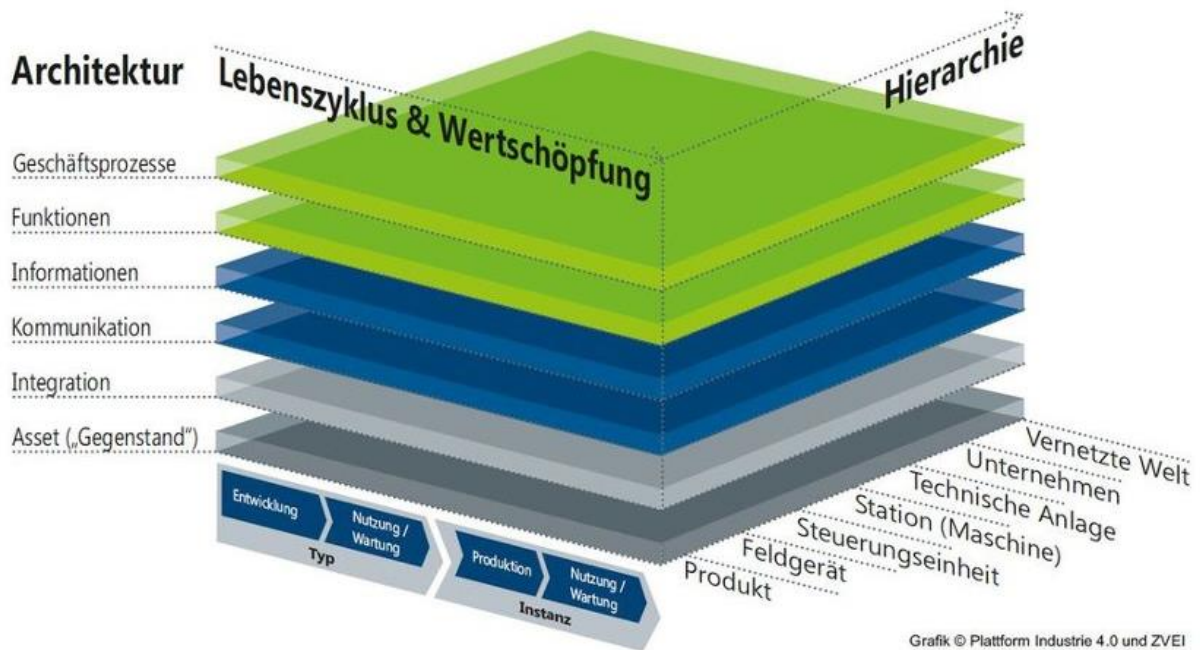


Abbildung 4: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) (Plattform Industrie 4.0, 2022)

Nachfolgend wird das Zusammenwirken der Achsen tiefer erläutert, um ein besseres Verständnis für das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 zu schaffen.

Achse Hierarchie

In Abbildung 5 ist eine Ebene (die Informationsebene) der Hierarchie-Achse visualisiert. Die Hierarchie-Achse stellt eine erweiterte Form der Automatisierungspyramide dar. Als Erweiterung zur Automatisierungspyramide sind die Ebenen „Produkt“ und „Vernetzte Welt“ hinzugefügt. Die Hierarchie-Achse beschreibt dabei die genutzten Standards für ein Produkt, über den gesamten Lebenszyklus. In jeder der sechs Ebenen der Hierarchie-Achse wird beschrieben welche Standards genutzt werden. Auch hier ist das Ziel, ein einheitliches Verständnis über die genutzten Standards zu haben. Abbildung 5 stellt die Informationsebene der Hierarchie-Achse über den gesamten Lebenszyklus dar. In der Matrix ist zu erkennen, welche Standards in welcher Phase des Lebenszyklus genutzt werden. (Plattform Industrie 4.0, 2022)

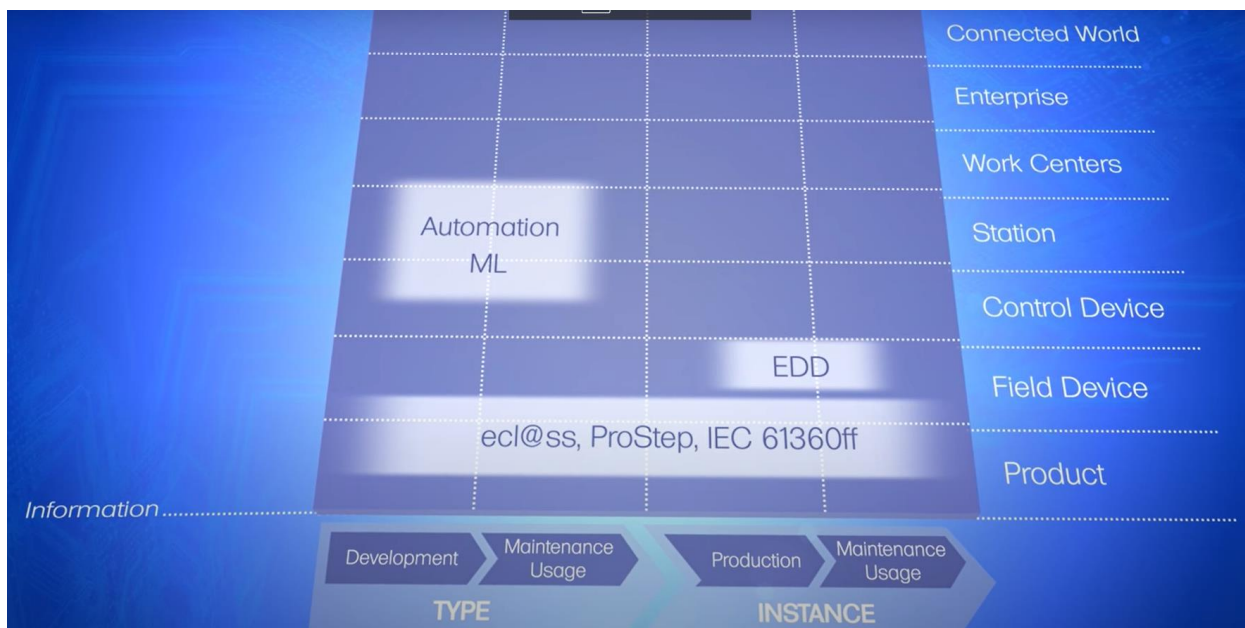


Abbildung 5: RAMI 4.0 Informationsebene der Hierarchie-Achse (ZVEI, 2022)

Achse Lebenszyklus & Wertschöpfung

Bei dieser Achse handelt es sich um die zweite Dimension im RAMI 4.0. Sie stellt den Lebenszyklus nach IEC 62890 dar. Man unterscheidet hier zwischen Typ und Instanz. Wenn die Entwicklung eines Produktes (Typ) abgeschlossen ist, geht das Produkt über in die Produktion (Instanz). In der Entwicklungsphase geht es zum Beispiel um das Erstellen von 3D-Modellen und Zeichnungen und den Bau von Prototypen. In der Phase Nutzung/ Wartung geht es beispielsweise um Softwareupdates, die Bereitstellung der Maschinendokumentation (z.B. Bedienungsanleitung) oder auch das einfließen lassen von konstruktiven Änderungen aufgrund des Kundenfeedbacks. In der Phase Produktion steht die Herstellung des Produktes mit zugehöriger Identifikation (z.B. Seriennummer) und Qualitätsdaten (z.B. Messprotokolle) im Vordergrund. Zur Phase Nutzung und Wartung gehört die Wartung der Produkte, Fehlerbehebung, Durchführung von Softwareupdates oder auch das Recycling des Produktes. (Plattform Industrie 4.0, 2022)

Architektur (Layer)

In sechs Ebenen wird auf der vertikalen Achse die IT-Repräsentanz für ein Produkt dargestellt. Dies kann zum Beispiel das digitale Abbild einer Fertigungsmaschine sein. Diese Maschine wird in der Architektur-Achse Schicht für Schicht beschrieben. Die in

Abbildung 6 gestellten Fragen geben ein Indiz über den jeweiligen Inhalt einer Schicht. So sind z.B. in der Schicht „Funktionen“ die Produktfunktionen beschrieben. (Plattform Industrie 4.0, 2022)



Abbildung 6: RAMI 4.0 Architektur-Achse (Plattform Industrie 4.0, 2022)

In der Schicht „Kommunikation“ wird beschrieben, wie ein Produkt in der jeweiligen Phase des Lebenszyklus kommuniziert und welche Standards für die Kommunikation genutzt werden. Dies ist in Abbildung 7 im Detail veranschaulicht. In dieser Abbildung wird spezifisch für das Produkt „Fertigungsmaschine“ beschrieben, wie diese über die vier Phasen des Lebenszyklus kommuniziert. Dabei handelt es sich in der Abbildung zum Beispiel um die Standard Industrieprotokolle OPA-UA und MQTT. (Plattform Industrie 4.0, 2022)

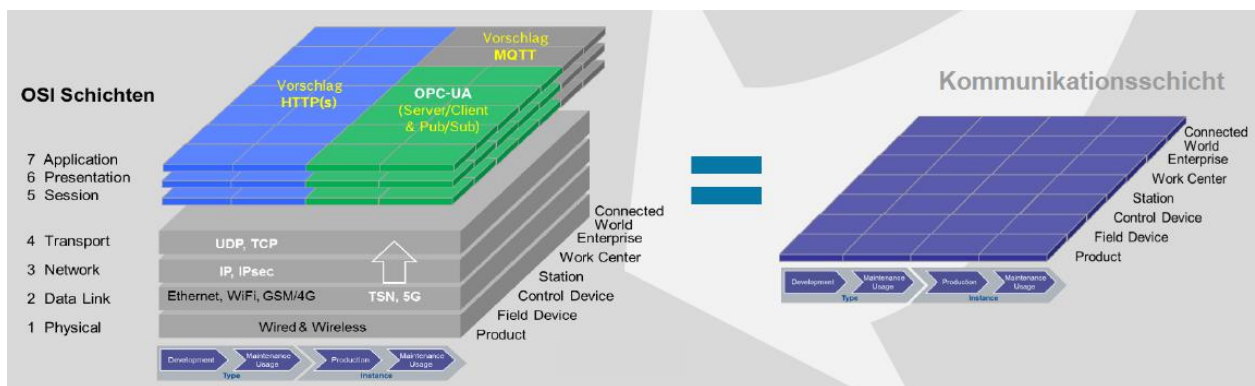


Abbildung 7: RAMI 4.0 Kommunikationsschicht (Plattform Industrie 4.0, 2022)

2.2.6 IT-Sicherheit

In Fachkreisen sind sich alle Akteure einig, dass die IT-Sicherheit eine zentrale Rolle in der Umsetzung von Industrie 4.0 spielt. In Produktionsunternehmen kann grundsätzlich zwischen der „normalen“ Büro-IT und der Produktions-IT unterschieden werden. Die Büro-IT beinhaltet Standard Computer zur Nutzung von Officeanwendungen oder die Nutzung von ERP oder PLM Systemen. Diese Systeme nutzen meist ein Windows Betriebssystem und sind mit dem Internet verbunden. Regelmäßige Sicherheitsupdates und Schutzprogramme sorgen für die notwendige Sicherheit der Büro-IT. Bei der Produktions-IT gestaltet sich dies als etwas schwieriger. In der Vergangenheit, hat man die Produktions-IT und die Büro-IT einfach physisch voneinander getrennt, um ein Produktionsstillstand aufgrund von Sicherheitslücken im Netzwerk zu vermeiden. Das war in Zeiten vor Industrie 4.0 und Big Data ein gangbarer Weg. Spätestens jedoch ab den 2000er Jahren war dies keine praktikable Lösung mehr. Denn heute müssen Produktionsdaten wie z.B. Messwerte, Taktzeit, OEE oder ähnliche am besten in Echtzeit an verschiedene Systeme gesendet werden. Hinzukommt die Anforderung einer dezentralen Steuerung und eine dezentrale Durchführung von System- und Sicherheitsupdates. Nun stellt sich sowohl für klein- und mittelständische als auch für große Unternehmen die Frage, wie dieser Herausforderung begegnet werden kann. Wie können relevante Produktionsdaten dezentral zu Verfügung gestellt werden und wie kann von jedem Ort der Welt, auf eine einzelne Maschine zugegriffen werden? Eine Befragung verschiedener großer Unternehmen, welche die Büro-IT und die Produktions-IT miteinander vernetzt haben, hat gezeigt, dass die strategischen Ansätze der IT-Verwaltung unterschiedlich sind. Einige Unternehmen favorisieren Eigenentwicklungen, andere setzen auf standardisierte und erprobte Software, andere wiederum lagern den gesamten IT-Bereich an Dienstleister aus. Dennoch sind Gemeinsamkeiten in der Realisierung der IT-Sicherheit zu erkennen. Diese sind nicht nur für Großunternehmen anwendbar, sondern können auch im Mittelstand genutzt werden. Grundsätzlich sollte das Prinzip verfolgt werden: Nur was miteinander kommunizieren soll, hat auch die Möglichkeit dazu. Dieses Vorgehen bezeichnet man in der IT-Sicherheit als „Default Deny Strategy“. Was so viel bedeutet wie „Standard-Verweigerungs-Strategie“. Dies führt zu verschiedenen segmentierten, geschlossenen Systemen, die bei Bedarf kontrolliert miteinander verbunden werden können. Eine

alternative ist es, nur ausgewählte Devices in diesen Netzwerken zu öffnen. Die Verbindung kann über sogenannte Port-Authentifizierung (IEEE 802.1X) oder Trusted Platform Modul (TPM) erfolgen. Ein weiteres Vorgehen, was alle Unternehmen gemein haben, ist die Verwendung von externen Datenträgern wie z.B. USB-Sticks oder externen Festplatten. Hier sollten nur vom Unternehmen identifizierte und geprüfte Geräte eingesetzt werden. Sollten diese Geräte, Daten auf den Büro- oder Produktions-Computer übertragen, ist eine Schutzsoftware zur Überprüfung auf Schadhafte Software zu nutzen. Es lässt sich zusammenfassen, dass in der Umsetzung von Industrie 4.0 hohe Anforderungen an die IT-Sicherheit gestellt werden. Jedes Unternehmen muss dabei ein für sich passendes Konzept und eine Strategie entwickeln. Dennoch gibt es Best Practice Ansätze, die sich bewährt haben. (Andelfinger & Hänisch, 2017, S. 91ff.)

2.2.7 Mitarbeiter in der Industrie 4.0

Ein wesentlicher Bestandteil der Industrie 4.0 ist der immer weitere Ausbau technischer Produktionssysteme und dessen Vernetzung. Aufgaben mit einem hohen Grad an standardisierten Überwachungs- und Kontrollaufgaben nehmen vermutlich zu. Das hat zur Folge, dass der Bedarf an Mitarbeitern mit schlechter oder keiner Ausbildung zurück geht. Andererseits sind erweiterte oder auch neu entstandene Gruppen hoch qualifizierter Experten und Spezialisten erforderlich. Deren Qualifikationsniveau liegt weit über dem bisherigen Facharbeiterniveau. Arbeitnehmer werden immer stärker mit der Entwicklung individueller Lösungswege konfrontiert sein. Somit werden Kreativität und Flexibilität eine entscheidende Rolle spielen. Die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine wird zunehmen. Daraus ergibt sich ein Bedarf an umfangreichen Weiterbildungsmaßnahmen für Fachkräfte. Sie werden zunehmend gefordert sein, eigenständig zu planen und Abläufe abzustimmen. Die technische Basis moderner Produktionssysteme bilden verstärkt eingebettete, softwareintensive und mechatronische Systeme, die als sogenannte Cyberphysische Systeme bekannt sind. Dadurch wird es ermöglicht, die virtuelle mit der physischen Welt zu verbinden. Hierfür werden Lösungen von produktionstechnischen Informations- und Kommunikationstechnologien mit Sensorik und Mechanik kombiniert. Dies verdeutlicht, dass Kreativität und die Entwicklung und die Umsetzung guter Ideen Vorteile des

Menschen gegenüber der Maschine sind. Überall, wo es gilt, kreativ und innovativ zu sein und zu handeln, scheint der Mensch der Maschine deutlich überlegen. Somit gehen zum einen Kreativität in Form von der Entwicklung neuer Ideen und zum anderen das Innovationsmanagement mit der Umsetzung dieser entstandenen Ideen eine ausschlaggebende Symbiose für zukünftige Berufe ein. Übergreifendes Wissen und ein gutes Verständnis für die Gesamtzusammenhänge und Geschäftsprozesse eines Unternehmens werden ebenfalls mehr an Bedeutung gewinnen. In diesem Zusammenhang spielt auch die Entscheidungskompetenz und Verantwortung jedes einzelnen Mitarbeiters eine größere Rolle. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Arbeitnehmer neue Fähigkeiten aneignen bzw. bestehende Kompetenzen vertiefen müssen. Dieser Schritt ist notwendig, um die Beschäftigungsfähigkeit von Erwerbstätigen dauerhaft zu sichern. Es ist Aufgabe der Aus- und Weiterbildung, diese Anforderungen den Arbeitnehmern verstärkt zu vermitteln. Zu diesen Anforderungen zählen vor allem das technische Know-how, Soft Skills wie Kommunikationsfähigkeit, die Methodenkompetenz, Problemlösefähigkeit und Kreativität. Die bisherigen Lehrpläne der Aus- und Weiterbildung sollten um diese Fähigkeiten ergänzt werden, um den Arbeitnehmer auf die Arbeitsmarktveränderungen innerhalb der digitalen Revolution im Rahmen von Industrie 4.0 vorzubereiten. (Andelfinger & Hänisch, 2017, S. 149 ff.)

2.3 Klimabegriffe: Definition und Abgrenzung

2.3.1 Begriffsdefinitionen und Abgrenzung

In diesem Abschnitt werden relevante Begriffe zum Thema Klimaneutralität erklärt. Die Reihenfolge der Erklärungen erfolgt ausgehend vom Treibhausgasereffekt in logisch aufbauender Reihenfolge.

Treibhausgase

Treibhausgase sind unsichtbare, mikroskopisch kleine Gase, die weniger als ein Promille der Atmosphäre ausmachen, in erhöhter Konzentration aber das Erdklima aus dem Gleichgewicht bringen. Erklären lässt sich das mit dem Treibhausgasereffekt. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Treibhausgasereffekt

Einfallendes Sonnenlicht trifft auf die Erdoberfläche und erwärmt diese. Auf dem Weg zurück werden einige Sonnenstrahlen von den Treibhausgasen absorbiert. Diese Strahlung bricht in alle Richtungen. Ein Teil davon wird so nicht wieder ins Weltall gestrahlt, sondern in Form von Wärme an die Erde zurückgegeben. Prinzipiell ist dieser Effekt für uns wichtig. So erwärmt sich das Erdklima auf durchschnittlich 15 Grad Celsius statt einer Temperatur von -18 Grad, bei der kein Leben möglich wäre. Durch die zusätzlichen menschengemachten Treibhausgase erhitzt sich die Erde aber zu stark. Häufigere und intensivere Hitzewellen, Überflutungen oder Ernteaufschläge sind nur einige der Folgen, die man auch in Deutschland zu spüren bekommt. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Kohlendioxid (CO₂)

Kohlendioxid ist für knapp 75 Prozent der menschengemachten Erderhitzung verantwortlich. Es entsteht bei der Verbrennung der fossilen Rohstoffe Erdgas, Erdöl und Kohle und wirkt sich über 1.000 Jahre auf das Klima aus. Kohlendioxid ist das bekannteste und häufigste Treibhausgas.

Kohlendioxid setzt sich aus zwei Teilen Sauerstoff und einem Teil Kohlenstoff zusammen. Dieser Kohlenstoff kommt in der Natur in großen Mengen vor und befindet sich laufend im Austausch zwischen Ozeanen und Landmassen. Durch den Menschen zusätzlich eingebrachtes CO₂ stört diesen Kreislauf. Am besten lässt sich das am Beispiel einer Badewanne verdeutlichen: Ohne den Menschen würde gleichviel Wasser in die Wanne strömen, wie durch den offenen Abfluss wieder abfließen kann. Dreht man den Wasserhahn allerdings ein klein wenig auf - sprich, man erhöht die Menge an CO₂ - geht die Wanne irgendwann über. Das natürliche Gleichgewicht ist gestört, die Erde erhitzt sich. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

CO₂-Äquivalente

CO₂ ist das häufigste Treibhausgas. Deshalb wird es in der Wissenschaft als Referenzeinheit verwendet. Das heißt, dass an seiner Wirkung auch andere Treibhausgase gemessen werden. Wie stark sich zum Beispiel das seltenere aber viel schädlichere Methan auf das Klima auswirkt, wird für viele Statistiken zuerst in CO₂ umgerechnet. Man spricht dann von "CO₂-Äquivalenten". (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Methan (CH₄)

Methan ist nach Kohlendioxid das zweitwichtigste Treibhausgas. Es ist weltweit für 17 Prozent der menschengemachten Erderhitzung verantwortlich und auf 100 Jahre gesehen rund 28-mal klimaschädlicher als CO₂. Auf 20 Jahre gesehen ist Methan sogar 84-mal klimaschädlicher, da es nur zehn bis zwölf Jahre in der Atmosphäre bleibt.

Das hat auch Vorteile: Wenn die Methan-Emissionen bis 2030 um ein Drittel verringert werden, würde das 0,2 Grad Celsius einsparen. Auf dieses Ziel einigten sich mehr als 100 Staaten auf der 26. Weltklimakonferenz in Glasgow. Österreich hat den Methan-Pakt übrigens wie vier der zehn größten Verursacher nicht unterzeichnet: China, Indien, Russland und Australien. Methan wird hauptsächlich bei Gärungsprozessen, im Reisanbau oder bei der Förderung fossiler Rohstoffe emittiert. Aber auch aus Tiermägen kommt viel Methan. Eine Kuh rülpst am Tag rund 300 Liter davon. Hochgerechnet auf weltweit 1,5 Milliarden Rinder ist der Beitrag zur Erderhitzung immens. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Lachgas (N₂O)

Lachgas (oder auch Distickstoffmonoxid) ist knapp 300-mal klimaschädlicher als CO₂. Es ist für sechs Prozent der menschengemachten Erderhitzung verantwortlich und bleibt mehr als 100 Jahre in der Atmosphäre. Das Gas entsteht vor allem dort, wo stickstoffhaltiger Dünger eingesetzt werden. Gelangt zu viel davon in den Boden, wandeln Mikroben den überschüssigen Stickstoff in Lachgas um. Während die Lachgas-Emissionen in Europa langsam zurückgehen, steigen sie in Ländern des globalen Südens weiter an. Vor allem in China wird viel mit klimaschädlichen Mitteln gedüngt. Oft fehlen Alternativen. Düngemittel müssen effizienter eingesetzt werden, sonst ist jedenfalls bei den derzeitigen Prognosen des Bevölkerungswachstums und Fleischkonsums mit keinem Emissionsrückgang zu rechnen. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Ozon (O₃)

Ozon entsteht, wenn Sonnenlicht mit Schadstoffen wie Methan oder Kohlenstoffmonoxid sowie mit Stickstoff reagiert. In der Stratosphäre in mehr als zehn Kilometern Höhe schützt Ozon vor krebserregendem UV-Licht. In der darunterliegenden Troposphäre sorgt Ozon als ein Bestandteil von Smog aber für jährlich über eine Million

Todesfälle durch Atemwegserkrankungen. Zudem erhitzt Ozon das Klima. Ozon zählt zu den kurzlebigen Treibhausgasen und verschwindet nach wenigen Stunden bis Wochen wieder aus der Atmosphäre. Weil aber laufend Schadstoffe wie Methan in die Atmosphäre gelangen, bildet sich immer wieder neues Ozon. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Pariser Klimaziele

Im Pariser Abkommen einigten sich mehr als 190 Staaten darauf, die Erderhitzung auf deutlich unter zwei Grad, bestenfalls aber auf 1,5 Grad Celsius zu begrenzen. Hier ist oft von den Pariser Klimazielen die Rede, doch viele Wissenschaftler:innen sehen diesen Begriff kritisch. Ziele suggerieren etwas Wünschenswertes, eine Erderhitzung von 1,5 Grad Celsius ist aber keinesfalls wünschenswert - sie ist nur weniger schlecht als eine noch höhere. Deshalb sollte das Pariser Klimaziel eher als Obergrenze verstanden werden, wie Klimapolitikexperte Reinhard Steurer von der BOKU Wien empfiehlt. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

CO₂-Budget

Dieses Erderhitzungs-Limit lässt sich in ein CO₂-Budget übersetzen. Das Mercator-Institut in Deutschland hat errechnet, dass für das 1,5-Grad-Limit noch etwas mehr als 300 Gigatonnen CO₂ bleiben. Bei mehr als 1.000 Tonnen CO₂, die pro Sekunde emittiert werden, wäre das Budget in siebeneinhalb Jahren aufgebraucht. Für das 2-Grad-Limit bleiben noch 25 Jahre. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Klimaneutral

Klimaneutralität umfasst neben den Treibhausgas-Emissionen auch alle anderen menschlichen Aktivitäten, die das Klima beeinflussen. Will ein Land oder Konzern "klimaneutral" werden, müssten also zum Beispiel auch versiegelte Bodenflächen, gerodete Wälder und geschmolzene Schnee- und Eisflächen ausgeglichen werden. Zumindest Letzteres würde bereits an ungenauen Statistiken scheitern. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Treibhausgasneutral

Treibhausgasneutralität (im Englischen meist "net zero" genannt) meint den Ausgleich aller Treibhausgas-Emissionen durch verringerten Ausstoß und kompensierende

Maßnahmen (etwa Emissionszertifikate). (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

CO₂-Neutral

CO₂-Neutralität bezieht sich erstmal nur auf Kohlendioxid-Emissionen und klammert alle anderen Treibhausgase aus. Das Ziel ist, die eigene CO₂-Bilanz auf null zu bekommen. Verwirrend wird es, wenn jemand von CO₂-Neutralität spricht, aber mit CO₂-Äquivalenten tatsächlich alle Treibhausgase miteinbezieht. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Netto-Null-Emissionen

Netto-Null-Emissionen (englisch: “net zero emissions”) beziehen sich auf Treibhausgasneutralität. Ziel ist, die Treibhausgase aus menschlichen Aktivitäten auf null zu bringen. Klimaschädliche Gase, die unvermeidbar sind, können durch Negativ-Emissionen kompensiert werden. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Restemissionen

Einige Betriebe werden ihre Emissionen trotz aller Bemühungen nicht komplett vermeiden können. Man spricht hier von Restemissionen - etwa in Industrie oder Landwirtschaft. Ein emissionsfreies Steak wird es in der Kuhzucht vermutlich nie geben, weil Kühe bei der Verdauung unweigerlich Methan aufstoßen müssen. Die Restemissionen, die in einer nachhaltigen Welt übrig bleiben, müssen ausgeglichen werden. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Negativ-Emissionen

Negativ-Emissionen beziehen sich nicht auf die Vermeidung zukünftiger Emissionen, sondern auf die Rückholung bereits geschehener Emissionen. Es gibt zwei Möglichkeiten, Treibhausgase der Atmosphäre zu entziehen: natürliche und künstliche Senken. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Natürliche Senken

Zu den natürlichen Senken zählen Ökosysteme wie Böden, Wälder, Moore und Gewässer. Sie nehmen in etwa die Hälfte aller durch Menschen verursachten Treibhausgase auf; hauptsächlich aber Kohlenstoff. Deshalb werden sie auch oft als

Kohlenstoff-Senken bezeichnet. Intakte Ökosysteme sind für den Artenschutz genauso wichtig wie gegen die Klimakrise - und damit immer auch für den Menschen. Deshalb gibt es in der Klimapolitik einen eigenen Verhandlungspunkt zur Landnutzungsänderung (LULUCF), eine EU-weite Biodiversitätsstrategie, oder auch das globale Ziel, bis 2030 ein Drittel der Land- und Meeresflächen unter Schutz zu stellen. Hierfür müsste die geschützte Landfläche verdoppelt, und die der Meere sogar verfünzfach werden. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

Künstliche Senken

Technologien der CO₂-Bindung und -Speicherung werden als künstliche Senken bezeichnet. Besser bekannt sind sie unter dem Schirmbegriff "Geoengineering", der auch höchst umstrittene Methoden zur Beeinflussung der Sonnenstrahlung (englisch: "Solar Radiation Management", SMR) umfasst. Auch Methoden zur Entnahme von Kohlenstoff (englisch: "Carbon Dioxide Removal Methods", CDR) sind nicht unumstritten, insbesondere geologische Prozesse. Hierbei wird CO₂ aus der Atmosphäre gesaugt, in Stein umgewandelt, und tief unter der Erde oder auf dem Meeresgrund eingelagert. Die weltgrößte Anlage saugt seit kurzem in Island CO₂ aus der Luft: 4.000 Tonnen pro Jahr. Das entspricht aber gerade einmal der Menge an Kohlendioxid, die der Mensch alle drei Sekunden emittiert. (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2022)

2.3.2 Statistische Zusammenfassung des Klimawandels

Der vorliegende Abschnitt gibt einen allgemeinen Überblick zum Klimawandel anhand aktueller Statistiken. Ziel ist es ein Grundverständnis für die relevanten Zahlen, Daten und Fakten zum Themenfeld Klimawandel zu erlangen.

Definition Klimawandel

Klimawandel bezieht sich auf eine Änderung des Zustands des Klimas, der über einen längeren Zeitraum, typischerweise Jahrzehnte oder länger, anhält. Der Klimawandel kann auf natürliche interne Prozesse oder externe Einflüsse wie Veränderungen der Sonnenzyklen, Vulkanausbrüche und anhaltende Veränderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre oder der Landnutzung zurückzuführen sein. Zu beachten ist, dass das Rahmenübereinkommen über Klimaänderungen (UNFCCC) in

Artikel 1 den Klimawandel definiert als: „eine Klimaänderung, die direkt oder indirekt auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist, [...] welche die Zusammensetzung der globalen Atmosphäre verändert.“ Die UNFCCC unterscheidet daher zwischen dem Klimawandel, der auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist, die die atmosphärische Zusammensetzung verändern, und der Klimavariabilität, die auf natürliche Ursachen zurückzuführen sind. Siehe auch Klimavariabilität, globale Erwärmung, Ozeanversauerung und Erkennung und Zuordnung.

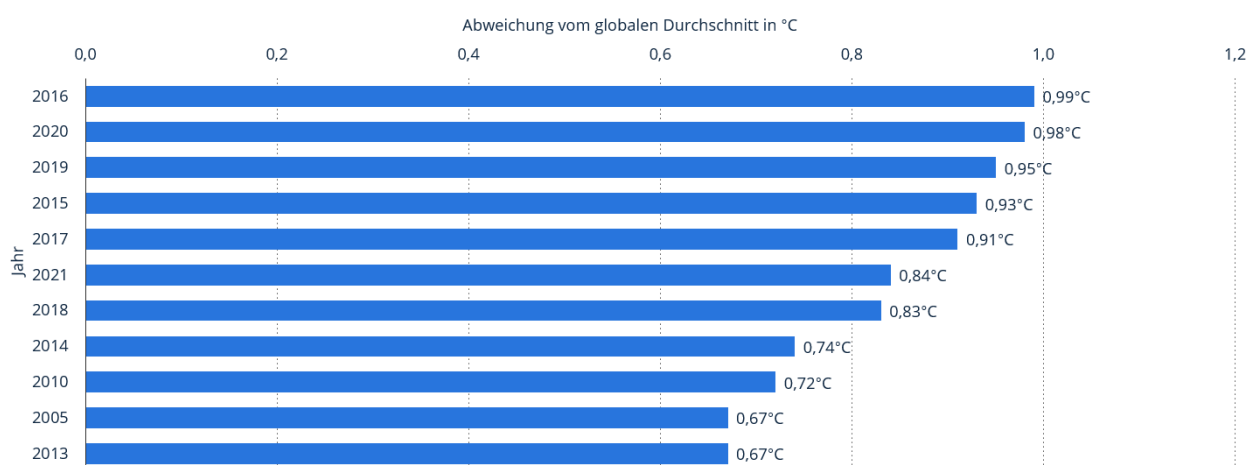


Abbildung 8: Wärmste Jahre weltweit seit Beginn der Messung bis 2021 (Statista, 2022)

Das weltweit wärmste Jahr seit Beginn der Messungen im Jahr 1880 war das Jahr 2016 mit einer Abweichung von dem globalen Durchschnitt von 0,99 Grad Celsius. Aufgelistet werden die zehn wärmsten Jahre seit Beginn der Messungen. Von den insgesamt also 150 möglichen Jahren sind die zehn wärmsten Jahre nach Abweichung vom globalen Durchschnitt in den vergangenen 16 Jahren gewesen. Die Abweichungen der durchschnittlichen Kontinental-Temperatur auf globaler Ebene, die sich an berechneten langjährigen Temperatur-Mittelwerten messen lassen, lagen seit dem Jahr 1977 über der globalen Kontinental-Temperatur. Die höchste jemals gemessene Temperatur weltweit wurde in Nordamerika gemessen. Sie betrug 56,7 Grad Celsius. Am kältesten war es bisher in der Antarktis mit -89,2 Grad Celsius. Seit Beginn der Messungen war das Jahr 2018 bislang das wärmste Jahr in Deutschland. In Duisburg-Baerl und Tönisvorst (Nordrhein-Westfalen) wurden jeweils im Juli 2019 der bisherige Hitze-Rekord in Deutschland in Höhe von 41,2 Grad Celsius gemessen. Am selben Tag

wiesen über 20 Messstationen eine Temperatur von über 40 Grad Celsius auf. (Statista, 2022)

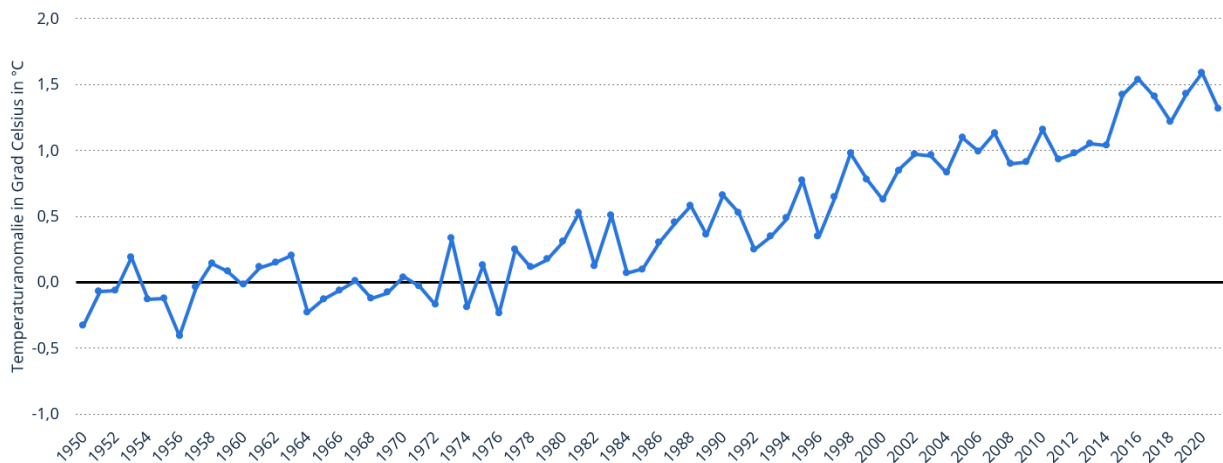


Abbildung 9: Anomalien der globalen durchschnittlichen Kontinental-Temperaturen bis 2021 (Statista, 2022)

Die Statistik zeigt die Anomalien der globalen durchschnittlichen Temperaturen in den Jahren von 1950 bis 2021. Im Jahr 2021 lagen die globalen Temperaturen um 1,32 °C über dem errechneten Temperaturdurchschnitt im Zeitraum von 1901 bis 2000. (Statista, 2022)

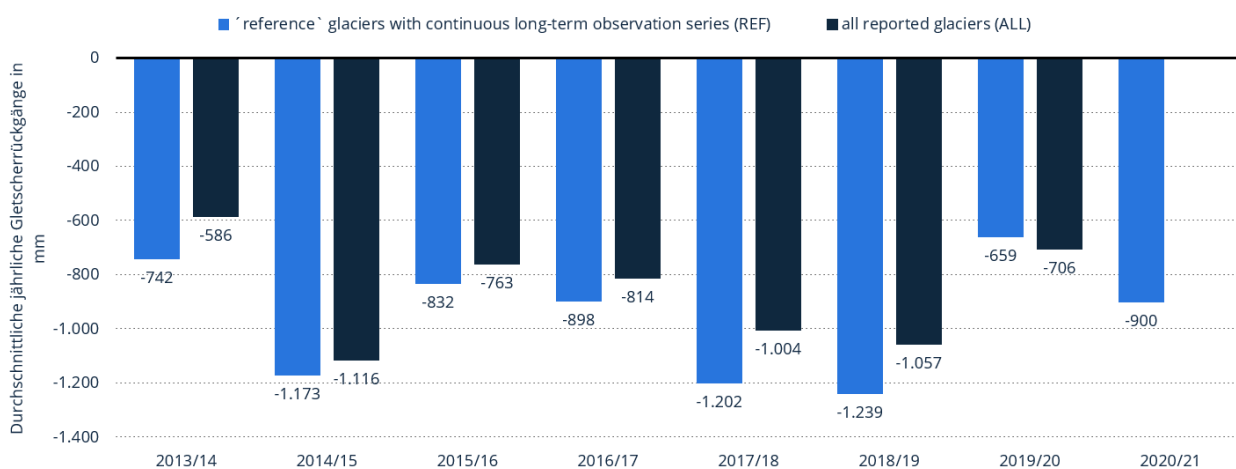


Abbildung 10: Gletscherrückgänge weltweit bis 2021 (in mm) (Statista, 2022)

Die Statistik zeigt den Umfang der Gletscherrückgänge weltweit in den Jahren von 2013 bis 2021. Im Jahr 2019/20 wurde durchschnittlich ein Massenverlust der weltweiten Gletscher um knapp 0,7 Meter gemessen. (Statista, 2022)

Emissionen

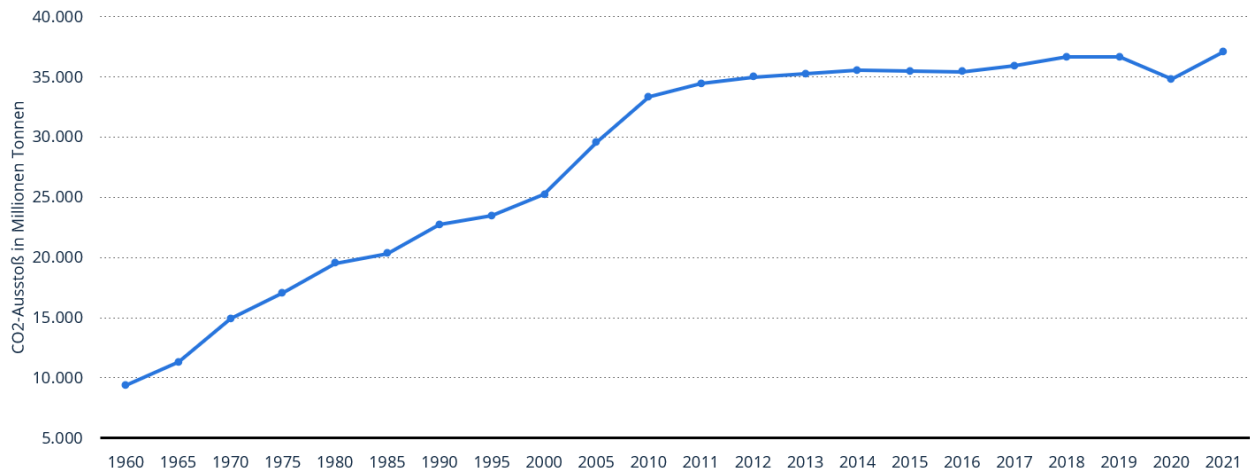


Abbildung 11: CO₂-Ausstoß weltweit bis 2021 (Statista, 2022)

Der weltweite Ausstoß von Kohlenstoffdioxid nahm seit 1960 kontinuierlich zu und erreichte im Jahr 2021 einen Wert von rund 37,1 Milliarden Tonnen Kohlenstoffdioxid. Auch wenn die jährliche Menge an CO₂-Emissionen steigt, geschieht dies in den vergangenen rund sieben Jahren in einem deutlich geringeren Maße. Laut einer Prognose zur weltweiten CO₂-Emission wird die Menge bis zum Jahr 2050 auf bis zu 42,8 Milliarden Tonnen ansteigen. (Statista, 2022)

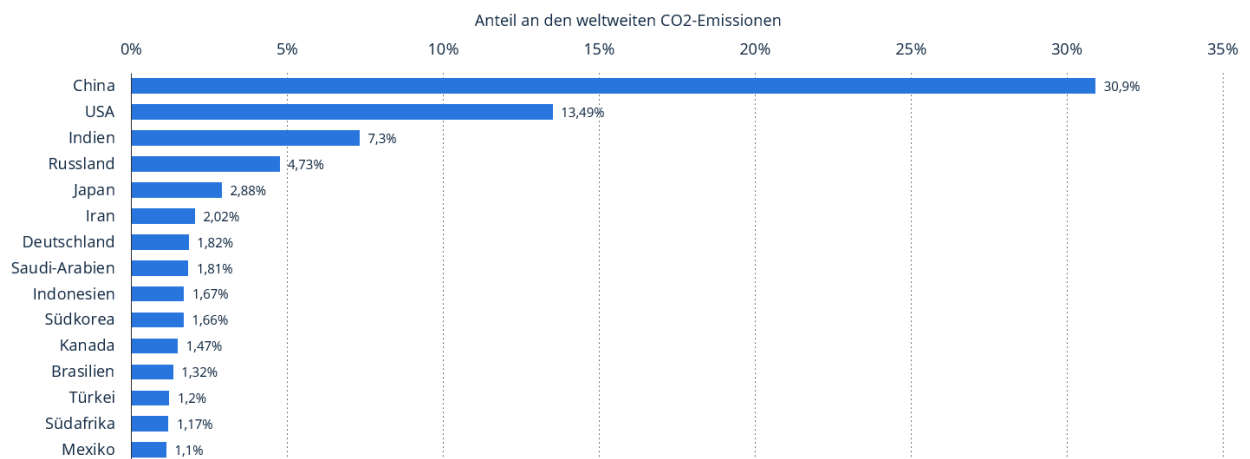


Abbildung 12: CO₂-Ausstoß weltweit nach Ländern 2021 (Statista, 2022)

Beschreibung: Im Jahr 2021 war China mit einem Anteil von rund 31 Prozent an den globalen CO₂-Emissionen der weltweit größte CO₂-Emittent. Die USA trugen mit rund 13 Prozent ebenfalls wesentlich zum CO₂-Ausstoß bei. Der Anteil von CO₂-Emissionen in Deutschland an den weltweiten CO₂-Emissionen lag zuletzt bei knapp zwei Prozent. (Statista, 2022)

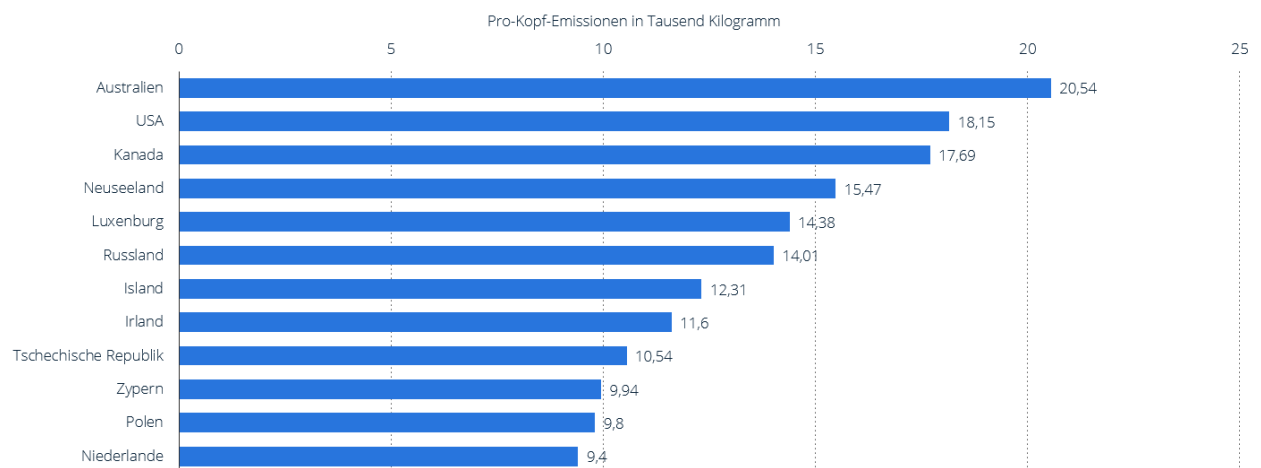


Abbildung 13: Treibhausgas - Pro-Kopf-Emissionen nach Ländern weltweit 2020 (Statista, 2022)

Die Statistik zeigt die Höhe der Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 nach ausgewählten Ländern weltweit. Im Jahr 2020 wurden in Kanada je Einwohner Treibhausgase in Höhe von rund 17,7 Tonnen freigesetzt. (Statista, 2022)

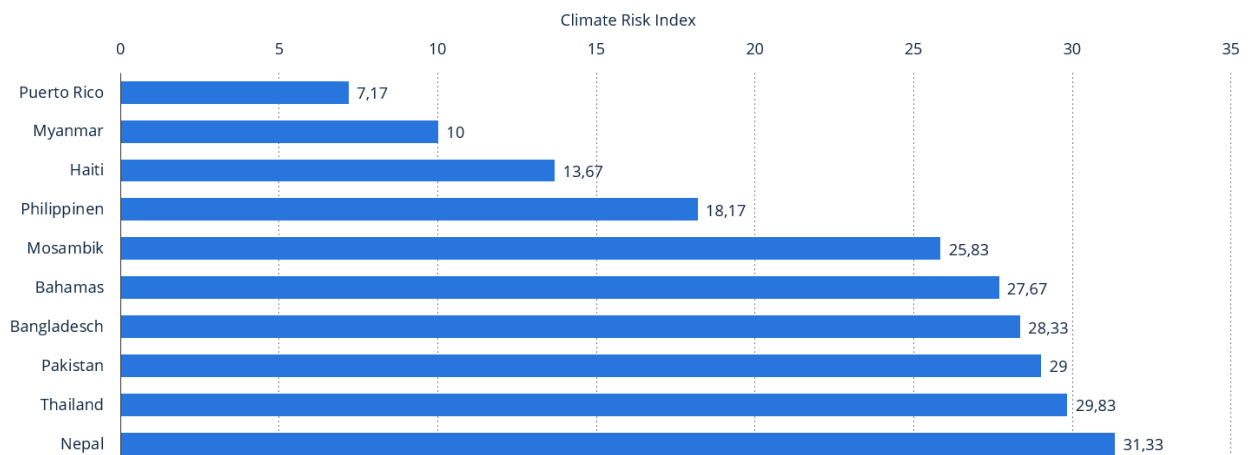


Abbildung 14: Die 10 der am meisten von Naturkatastrophen betroffenen Länder 1999-2019 (Statista, 2022)

Puerto Rico war mit einem Climate Risk Index von 7,17 das am meisten von Naturkatastrophen betroffene Land im Zeitraum von 1999 bis 2019. Dahinter folgten Myanmar und Haiti. Das Ranking ist unter anderem bedingt durch außergewöhnlich große Naturkatastrophen wie den Hurrikan Maria in Puerto Rico (2017), die Hurrikane Jeanne (2004) und Sandy (2012) in Haiti und den Zyklon Nargis (2008) in Myanmar. (Statista, 2022)

Naturkatastrophen

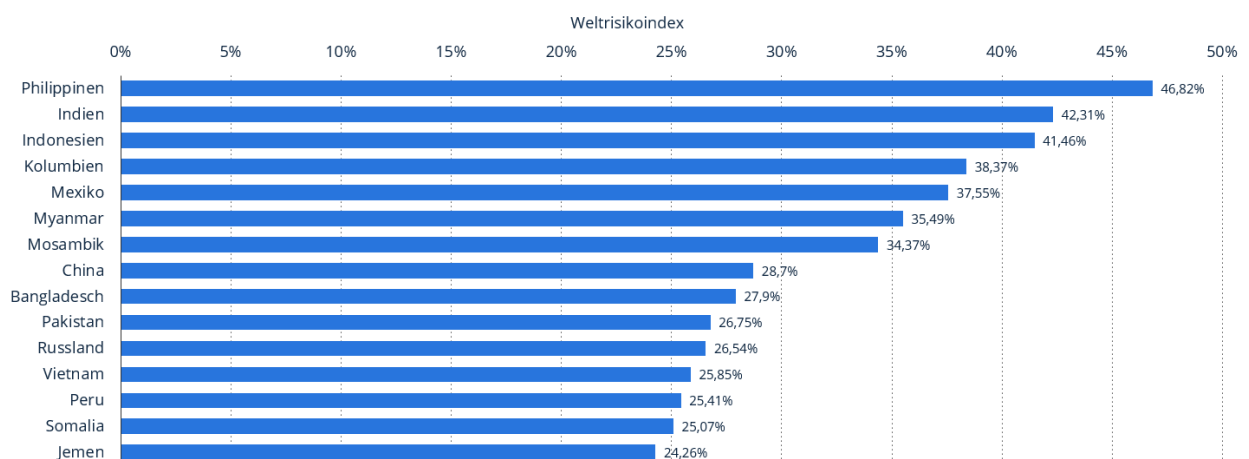


Abbildung 15: Gefährdetste Länder für Naturkatastrophen laut Weltrisikoindex 2021 (Statista, 2022)

Die Philippinen sind laut Weltrisikoindex 2022 mit einem Indexwert von 46,82 Prozent das am meisten durch Naturkatastrophen gefährdete Land der Welt. Das Land mit dem geringsten Gefährdungsgrad durch Naturkatastrophen ist laut dem Weltrisikoindex

Monaco, gefolgt von Andorra und San Marino. Im Weltrisikoindex wird das Katastrophenrisiko als komplexes Zusammenspiel von Naturereignissen, sozialen und politischen sowie Umweltfaktoren ausgedrückt. Dabei legt der Index den Schwerpunkt auf die Gefährdungsanalyse durch Naturereignisse und auf die Vulnerabilität der Bevölkerung, das heißt ihre Anfälligkeit (in Abhängigkeit von Infrastruktur, Ernährung, Einkommen und ökonomischen Rahmenbedingungen), ihre Bewältigungskapazitäten (in Abhängigkeit von Regierungsführung, medizinischer Versorgung und materieller Absicherung) und ihre Anpassungsfähigkeit an solche Naturereignisse und die Folgen des Klimawandels. Die Vulnerabilität einer Gesellschaft ist Ausdruck für die Summe aus Anfälligkeit, Mangel an Bewältigungskapazitäten und Mangel an Anpassungskapazitäten. Der Weltrisikoindex ist schließlich das Produkt aus Gefährdung und Vulnerabilität und wird in Prozent ausgedrückt. Je höher der Indexwert ist, desto größer ist das Risiko.

3 European Green Deal

3.1 Einordnung

Die EU-Kommission sieht in dem Klimawandel eine existenzielle Bedrohung für die Menschen und den Planeten. Daher hat sie sich zum Ziel gesetzt den Übergang zu einem gesunden und digitalen Planeten eine führende Rolle zu übernehmen. Folglich beschließt die EU-Kommission am 16.07.2019 die politischen Leitlinien für die Jahre 2019 bis 2024. Dies sind heruntergebrochene Ziele um das oben genannte übergeordnete Ziel des Übergangs zu einem gesunden und digitalen Planeten, greifbarer zu machen. (Europäische Kommission, 2022)

- Ein europäischer Grüner Deal
- Eine Wirtschaft, deren Rechnung für die Menschen aufgeht
- Ein Europa, das für das digitale Zeitalter gerüstet ist
- Schützen, was Europa ausmacht
- Ein stärkeres Europa in der Welt
- Neuer Schwung für die Demokratie in Europa

Das Ziel mit der größten Relevanz für diese Arbeit hat der Europäische Grüne Deal (European Green Deal). Daher werden dessen Inhalt, Ziele und Umsetzungsstand nachfolgend im Detail beschrieben.

3.2 Inhalt und Ziele

Mit dem European Green Deal soll der Übergang zu einer modernen und ressourceneffizienten Wirtschaft geschaffen werden. Das übergeordnete Ziel des European Green Deals ist es Europa zu dem ersten klimaneutralen Kontinent zu machen. Dies soll laut der Entscheidung der EU-Kommission vom Dezember 2019 bis zum Jahr 2050 erreicht werden. Um dies zu schaffen, wurden acht Maßnahmen in allen Wirtschaftssektoren festgelegt. Nachfolgend werden sieben Maßnahmenfelder kurz

erläutert. Das achte Maßnahmenfeld ist die neue Industriestrategie. Diese wird in einem separaten Kapitel erläutert.

Industriestrategie

Das Maßnahmenfeld mit der größten Bedeutung für diese Arbeit ist die neue Industriestrategie der EU-Kommission. Sie sollte der Grundstein für den Übergang in eine grüne und digitale Industrie sein. Am 10. März 2020 wurde die neue Industriestrategie von der EU-Kommission verabschiedet. Einen Tag später erklärte die Weltgesundheitsorganisation den Ausbruch von COVID-19 als globale Pandemie. Daraufhin wurde die Industriestrategie aktualisiert und durch die Lehren der Pandemie ergänzt. Die Pandemie wirkt sich unterschiedlich stark auf die wirtschaftlichen Ökosysteme aus. Grundsätzlich ist jedoch ein Rückgang der Europäischen Wirtschaft um 6 % zu verzeichnen. Besonders getroffen sind Klein- und mittelständische Unternehmen (KMU). Hier wurde ein Beschäftigungsrückgang von 1,7 % verzeichnet. Zentrale Probleme der Pandemie sind nachfolgend aufgelistet. (Europäische Kommission, 2022)

- Grenzen, die den freien Personen-, Waren- und Dienstleistungsverkehr einschränken
- Unterbrochene globale Lieferketten, die sich auf die Verfügbarkeit grundlegender Produkte auswirken
- Störung der Nachfrage

Die aktualisierte Industriestrategie soll diese Probleme angehen und regiert mit folgenden Maßnahmenpaketen:

- Stärkung der Krisenfestigkeit des Binnenmarkts
- Förderung der offenen strategischen Autonomie Europas durch die Auseinandersetzung mit Abhängigkeiten
- Beschleunigung des grünen und des digitalen Übergangs

Für das erste und besonders für das zweite Maßnahmenpaket gibt es umfangreiches Informationsmaterial, statistische Analysen und Ergebnisse. Das dritte und entscheidende Maßnahmenpaket für diese Arbeit wird von der EU-Kommission nur sehr oberflächlich behandelt. Es entsteht der Eindruck, dass die Corona Pandemie und der

Angriffskrieg von Russland auf die Ukraine, den Übergang in eine grüne und digitale Industrie lähmt. Dies erkennt auch die EU-Kommission und nimmt dazu auf Ihrer Webseite mit folgendem Satz Stellung: *„Durch die Pandemie wurde der Übergang jedoch enorm eingeschränkt.“* (Europäische Kommission, 2022). Dennoch werden nachfolgend die Inhalte und Ziele der aktualisierten Industriestrategie dargestellt. Im Wesentlichen sind dies fünf Handlungsschwerpunkte.

Wege für den Übergang

„Industrie und Interessenträger gestalten gemeinsam Wege für den Übergang und ermitteln, was konkret in welchem Umfang getan werden muss, welcher Nutzen in Aussicht steht und welche Voraussetzungen dafür gegeben sein müssen.“ (Europäische Kommission, 2022)

Mehrländerprojekte

„Um den Wiederaufbau voranzutreiben und digitale und grüne Kapazitäten aufzubauen, unterstützt die Kommission die Mitgliedstaaten in gemeinsamen Projekten, damit im Rahmen der Aufbau- und Resilienzfähigkeit verfügbare Investitionen maximiert werden können.“ (Europäische Kommission, 2022)

Analyse der Stahlindustrie

„Mit Blick auf einen sauberen und wettbewerbsfähigen Sektor ermittelt die Kommission Herausforderungen der Stahlindustrie und mögliche Lösungen.“ (Europäische Kommission, 2022)

Partnerschaften im Rahmen von Horizont Europa

„Durch die Kombination privater und öffentlicher Förderung sollen Forschung und Innovation für Technologien und Prozesse mit niedrigem CO₂-Ausstoß unterstützt werden.“ (Europäische Kommission, 2022)

Ergiebige, zugängliche und erschwingliche emissionsarme Energie

„Die Kommission wird mit den Mitgliedstaaten zusammenarbeiten, um Investitionen in erneuerbare Energiequellen und -netze anzukurbeln und Hürden zu überwinden.“ (Europäische Kommission, 2022)

Klima

Der European Green Deal soll Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinenten der Welt machen. Dafür ist am 29. Juli 2021 das Klimaschutzgesetz in Kraft getreten. Dieses sieht als Zwischenziel vor, die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % im Vergleich zu 1990 zu reduzieren. Des Weiteren sieht es eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßs in allen Wirtschaftssektoren vor. (Europäische Kommission, 2022)

Energie

Auf die Energieerzeugung entfallen mehr als 75 % der Treibhausgasemissionen. Daher soll eine Dekarbonisierung des europäischen Energiesystems stattfinden. Demnach sollen Energieträger mit einem geringen Kohlenstoffgehalt eingesetzt werden um die Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO₂) zu reduzieren. Um dies zu erreichen wurden folgende Ziele definiert. (Europäische Kommission, 2022)

- Verbund der Energiesysteme und besser verzahnte Netze zur Förderung erneuerbarer Energiequellen.
- Förderung innovativer Technologien und moderner Infrastruktur.
- Verbesserung der Energieeffizienz und des Ökodesigns von Produkten.
- Dekarbonisierung des Gassektors und Förderung der sektorübergreifenden intelligenten Integration.
- Stärkung der Verbraucherposition und Unterstützung der Mitgliedstaaten bei der Minderung von Energiearmut.
- Förderung von EU-Energiestandards und -technologien auf globaler Ebene.
- Ausschöpfung des vollen Potenzials der Offshore-Windenergie in Europa.

Landwirtschaft

Im Mittelpunkt des European Green Deal stehen nachhaltige Lebensmittelsysteme um die Gesundheit und die Lebensqualität der Menschen zu erhöhen und den Naturschutz zu verbessern. Um dies zu erreichen sind die Ziele der EU-Kommission wie folgt. (Europäische Kommission, 2022)

- Ernährungssicherheit trotz Klimawandel und Biodiversitätsverlust sicherstellen.

- Den Ökologischen und klimatischen Fußabdruck des EU-Lebensmittelsystems verkleinern.
- EU-Lebensmittelsystem krisenfester machen.
- Weltweiten Übergang zu wettbewerbsgerechter Nachhaltigkeit einläuten.

Umwelt und Ozeane

Die EU-Kommission bezeichnet Europas Umwelt und Ozeane als eine Quelle des natürlichen und wirtschaftlichen Wohlstands für Europa. Anders als in den anderen Maßnahmenfeldern werden hierfür keine Ziele, sondern sogenannten Prioritäten definiert. Diese werden nachfolgend aufgelistet. (Europäische Kommission, 2022)

- Schutz der biologischen Vielfalt und Ökosysteme.
- Verringerung der Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzung.
- Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft.
- Verbesserung des Abfallmanagements.
- Gewährleistung der Nachhaltigkeit unserer blauen Wirtschaft und unserer Fischereisektoren.

Verkehr

Der Verkehrssektor trägt rund 5 % zum Bruttoinlandsprodukt der Europäischen Union bei und beschäftigt mehr als 10 Millionen Menschen in Europa. Für Europas Unternehmen und globale Lieferketten ist er von entscheidender Bedeutung. Zugleich ist der Verkehr nicht ohne Kosten für unsere Gesellschaft. Er verursacht Treibhausgas- und Schadstoffemissionen, Lärm, Unfälle und Überlastung. Der Verkehr verursacht rund 25 % der gesamten Treibhausgasemissionen in der EU. Besonders in den letzten Jahren ist dieser Anteil gestiegen. Um bis 2050 klimaneutral zu werden, ist ein ehrgeiziges Umdenken im Verkehrssektor erforderlich. Für den Verkehrssektor ist das Ziel die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um 90 % zu reduzieren. Dafür wurden die drei Stoßrichtungen nachhaltige Mobilität, intelligente Mobilität und resiliente Mobilität beschlossen. In jeder der drei Stoßrichtungen sind konkrete Ziele definiert. (Europäische Kommission, 2022)

Finanzen und regionale Entwicklung

Um die Ziele des European Green Deals zu erreichen, sagt die EU-Kommission Investitionen in Nachhaltigkeit, in Höhe von 1 Billion Euro zu. Des Weiteren werden 30 % des EU-Haushalts (2021 – 2027) für das Aufbauinstrument „NextGenerationEU“ bereitgestellt. Die EU-Kommission wird grüne Anleihen vergeben, um die erforderlichen Mittel aufzubringen. Neben „NextGenerationEU“ sind fünf weitere Aufbauinstrumente geplant. Da diese keine Relevanz für Arbeit haben werden sie nicht weiter erläutert.

Forschung und Innovation

Unter Forschung und Innovation hat die EU-Kommission das Finanzierungsprogramm „Horizon Europe“ mit einem Budget in Höhe von 95,5 Milliarden Euro, ins Leben gerufen. Der Kern von Horizon Europe ist die sogenannte „offene Wissenschaft“, die auf frühzeitigen Wissens- und Datenaustausch sowie eine offene Zusammenarbeit setzt. (Europäische Kommission, 2022)

Das Programm definiert folgende Verfahrensweisen für eine offene Wissenschaft

- Offener Zugang zu Forschungsergebnissen wie Veröffentlichungen, Daten, Software, Modellen, Algorithmen und Arbeitsabläufen.
- Frühzeitiger und offener Austausch im Forschungsprozess, zum Beispiel durch Vorregistrierung, registrierte Berichte, Vorabdrucke und Schwarmauslagerung von Lösungen für ein bestimmtes Problem.
- Nutzung offener Forschungsinfrastrukturen für die Wissensweitergabe und den Austausch von Daten.
- Beteiligung an offenen Peer-Reviews.
- Maßnahmen zur Sicherstellung der Reproduzierbarkeit von Ergebnissen.
- Offene Zusammenarbeit innerhalb der Wissenschaft und mit anderen Wissensakteuren.



Abbildung 16: Erwartete Ergebnisse des Programms Horizon Europe (Europäische Kommission, 2022)

3.3 Das 55 % Ziel

Europa soll bis 2050 klimaneutral werden und bis 2030 mindestens 55 Prozent der Treibhausgase im Vergleich zu 1990 einsparen. Das EU-Klimagesetz legt diese Ziele erstmals gesetzlich fest. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022)

Verschärfung des bestehenden EU-Emissionshandelssystems

Der EU-Emissionshandel gibt Treibhausgasen einen Preis. Das betrifft bislang Energieunternehmen, der energieintensiven Industrie sowie Teile des Luftverkehrs. Zukünftig sollen die Emissionsrechte noch stärker gekürzt werden. Bis 2030 im Vergleich zu 2005 schrittweise um 61 Prozent. Bislang erhält der Luftverkehr und besonders im internationalen Wettbewerb stehende Industriesektoren kostenlose Emissionszertifikate. Diese sollen schrittweise abgeschafft werden. Auch die Schifffahrt soll ab 2024 mit in den Emissionshandel einbezogen werden. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022)

Ausweitung des Emissionshandels auf Verkehr und Gebäude

Auch im Verkehr und in Gebäuden müssen mehr Treibhausgase eingespart werden. Der neue Emissionshandel II bezieht sich daher ab 2027 auf Kraft- und Brennstoffe, um die Nutzung klimafreundlicher Alternativen im Straßenverkehr oder beim Heizen besserzustellen. Die CO₂-Zertifikate sollen dann genau wie bei dem ursprünglichen europäischen Emissionshandel, frei am Markt gehandelt werden.

CO₂-Grenzwerte für Fahrzeuge

Zur Senkung der hohen Treibhausgas-Emissionen aus dem Straßenverkehr soll eine Kombination von verschiedenen Maßnahmen eingesetzt werden. Neben dem neuen Emissionshandel für Verkehr schlägt die EU-Kommission strengere CO₂-Emissionsnormen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge vor. Die Hersteller sollen ab dem Jahr 2030 anspruchsvollere CO₂-Flottengrenzwerte erfüllen. Ab 2035 müssen zugelassene Neuwagen emissionsfrei sein. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022)

CO₂-Grenzausgleichsmechanismus

Für den Stromsektor und ausgewählte Güter aus den Industriebereichen Zement, Eisen und Stahl, Aluminium und Düngemittel soll schrittweise ab 2026 ein CO₂-Grenzausgleich gelten. Auf bestimmte energieintensive Produkte, die in die EU importiert werden, wird dann ein CO₂-Preis erhoben. Der Mechanismus schafft somit einen Ausgleich für europäische Unternehmen, die dem Emissionshandel unterliegen, gegenüber Unternehmen aus anderen Wirtschaftsräumen. Das Ziel: Die Klimapolitik in Europa soll nicht zu einer Verlagerung von Treibhausgas-Emissionen in andere Länder führen, indem Unternehmen oder Produktionskapazitäten abwandern. Europäische Firmen sollen wettbewerbsfähig bleiben. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022)

Finanzierung der Klimaschutzmaßnahmen und sozialer Ausgleich

Die Einnahmen des neuen Emissionshandels für Gebäude und Straßenverkehr sollen der Finanzierung eines Klimasozialfonds dienen. Mit einer Gesamthöhe von 59 Milliarden Euro über eine Laufzeit von 2027 bis 2032 soll der Fonds Investitionen in effizientere Gebäude und emissionsärmere Mobilität unterstützen. Auch ein Ausgleich

für schutzbedürftige Privathaushalte, Kleinstunternehmen und Verkehrsteilnehmer ist damit möglich. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022)

Nationale Treibhausgasminderungsziele und Landschaftsschutz

Moore, Wälder und andere Naturflächen speichern CO₂. Deshalb sieht der Kommissionsvorschlag ein Gesamtziel auch für den Abbau von CO₂ durch solche Senken vor. So sollen 310 Millionen Tonnen CO₂ bis 2030 in diesen Senken aufgenommen werden. Auch hierfür gibt es nationale Zielvorgaben für jeden Mitgliedstaat. Flankiert wird dies durch die EU-Waldstrategie, die unter anderem den Plan beinhaltet, bis 2030 mindestens drei Milliarden Bäume in Europa zu pflanzen. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022)

Ausbau erneuerbarer Energien

Der überwiegende Teil der Treibhausgas-Emissionen entsteht bei der Produktion sowie dem Verbrauch von Energie. Es ist deshalb wichtig, schnell ein umweltfreundlicheres Energiesystem zu schaffen. Die EU-Mitgliedstaaten haben verbindlich erklärt, Energie ab 2030 zu 40% aus erneuerbaren Quellen zu beziehen. Zudem sollen sich die Rahmenbedingungen für den Hochlauf von grünem Wasserstoff, insbesondere in der Industrie und im Verkehrsbereich, verbessern. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022)

Steigerung der Energieeffizienz

Für einen geringeren Energieverbrauch, weniger Treibhausgas-Emissionen und im Kampf gegen Energiearmut müssen die EU-Staaten Energie effizienter nutzen. Die Kommission hat in der Energieeffizienz-Richtlinie ein höheres Jahresziel für Einsparungen beim Energieverbrauch auf EU-Ebene vorgeschlagen. Das bestehende EU-weite Einsparziel wird nun nochmals deutlich angehoben. Gegenüber der erwarteten Verbrauchsentwicklung bis 2030 müssen der Primär- und der Endenergieverbrauch in der EU um 9 Prozent sinken. (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022)

4 Instrumente zum Erreichen der Klimaziele

4.1 Lean Management als Instrument für Klimaneutralität

Im Abschnitt 2.1 werden die Grundlagen des Lean Management beschrieben. Zusammengefasst handelt es sich um eine ganzheitliche Management-Philosophie mit dem Ziel, Kosten, Qualität und die Lieferfähigkeit zu optimieren. Wenn man eine grundlegende Definition von Lean formulieren will, mag die gemeinsame Basis der meisten Ansätze sein, Werte ohne Verschwendung zu schaffen. Verschwendungen sind hierbei alle nicht wertschöpfenden Tätigkeiten. Wertschöpfend wiederum ist all das, wofür der Kunde bereit ist zu zahlen. Reduziert man nun konsequent die Verschwendungen in Produktionsprozessen steigert man dadurch die Material- und Ressourceneffizienz. Dass der reduzierte Einsatz von Ressourcen besser für die Umwelt ist, lässt sich mit einer einfachen Gleichung aufzeigen. Werden weniger Ressourcen benötigt, fällt weniger Energie bei Gewinnung, Umwandlung, Transport und Entsorgung der entsprechenden Ressourcen, Materialien oder Produkte an. Diese Gleichung verdeutlicht die Nähe zwischen Lean Management und Nachhaltigkeit. Die Verbindung zwischen Lean Management und Nachhaltigkeitsinitiativen hinsichtlich Klimaneutralität wird unter dem Begriff „Lean & Green“ zusammengefasst. Lean & Green beschreibt die Verknüpfung von Lean Management Ansätzen mit Nachhaltigkeitsaspekten in Bezug auf Umwelt und Energie. Im Fokus steht die Frage, wie sich die Ressourceneffizienz eines Unternehmens steigern lässt und eine nachhaltige Unternehmensausrichtung unterstützt werden kann. Lean & Green Ansätze sind somit von zentralem Interesse für Unternehmen aller Bereiche. Treiber dieser Entwicklungen sind politische Rahmenbedingungen, zunehmend bewusste Konsumenten, Rohstoffknappheit oder Kostendruck. Die Ursachen für diese Entwicklungen des Marktes sind unterschiedlich. Zum einen konkurrieren deutsche Unternehmen schon seit einigen Jahren im internationalen Wettbewerb mit Niedriglohnländern, was dazu führt, dass die Herstellkosten drastisch gesenkt werden müssen, um im Wettbewerb mit z. B. Asiatischen oder osteuropäischen Konkurrenten mithalten zu können. Dieser Wettbewerbsdruck wird durch die aktuelle Energiekrise zusätzlich befeuert. Durch ein Handelsembargo auf Energie aus bestimmten Ländern

sind die Energiekosten in Deutschland und der EU explodiert. Das bedeutet den Unternehmen entstehen mehr Kosten für die Produktion von Gütern als vor der Energiekrise. Um profitabel zu bleiben und die gestiegenen Kosten decken zu können, müssen die Preise erhöht werden. Dies wiederum führt zu internationalem Wettbewerbsverlust mit z. B. China, da die Energiepreise in China nicht in dem Maße gestiegen sind wie in Deutschland. Diese Situation erinnert an die Ursprünge des Lean Managements beziehungsweise des Toyota Produktionssystems (TPS) in Japan. Grundlage für die Entwicklung des TPS und somit auch des Lean Managements war Ressourcenknappheit aufgrund von Sanktionen. Dies verdeutlicht umso mehr wie gut die Lean Methoden auf die heutige Wirtschaftssituation bezogen werden können und wie wichtig effiziente über den gesamten Wertstrom sind. Die Gestaltung von energieeffizienten Produktionsprozessen ist einer der wesentlichen Erfolgsfaktoren für deutsche Unternehmen.

Die Nähe des Lean Managements zu Umwelt- und Ressourceneffizienzthemen ist schon länger bekannt und liegt im gemeinsamen Fokus auf der Reduzierung von Verschwendung begründet. Ziel von Lean Management ist es nicht-wertschöpfende Tätigkeiten zu reduzieren. Dies führt zu effizienteren Prozessen und somit auch zu geringerem Ressourceneinsatz. Lean & Green zeigt somit zwei Seiten einer Medaille auf, die sich gegenseitig beeinflussen und direkte Auswirkungen auf die Ressourceneffizienz eines Unternehmens haben. Ein besonders schlankes („Leanes“) Unternehmen ist zugleich auch ressourceneffizient und somit umweltfreundlich beziehungsweise „green“. Dieser direkte Zusammenhang ist zwar grundlegend bekannt, wird bisher aber nur von wenigen Unternehmen strukturiert mit gegenseitigem Nutzen zur Anwendung gebracht. Da Lean Management als eine Unternehmensphilosophie bezeichnet wird und nicht nur ein Baukasten von Optimierungswerkzeugen darstellt, bietet es ein breites Fundament, um Prozesse schlanker und nachhaltiger zu gestalten. Dabei sind die Vermeidung Verschwendungen, die Befähigung von Mitarbeitern und die Integration von Lieferanten und Kunden entlang der Wertschöpfungskette wichtige Elemente, die eine Umsetzung von Nachhaltigkeitsgedanken entscheidend unterstützen.

Ein weiteres wichtiges Lean-Element ist der kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP), auch bekannt unter dem Begriff Kaizen, was so viel bedeutet wie eine stetige

Veränderung zum Guten. Dabei steht das Wissen der Mitarbeiter im Mittelpunkt. Es geht darum Ihre Ideen zu sammeln, zu bewerten und umzusetzen. Die Menschen, die an den Maschinen oder in den Montageprozessen arbeiten, erkennen am ehesten, wo eine Energieverschwendung passiert. Um diese Verschwendungen zu ermitteln, müssen keine komplizierten Messungen durchgeführt oder Equipment installiert werden sondern einfach nur die Mitarbeiter gefragt werden. Des Weiteren sind die Menschen in der Fabrik ein großer Hebel in Sachen Energieersparnis. Denn allein das Bewusstsein und entsprechende Verhalten zu Energieverbrauch, kann dazu beitragen Energie zu sparen. Denn Sie Entscheiden, ob Sie monitore und Maschinen zu Schichtende ausschalten oder laufen lassen. So trägt das Lean-Element des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses entscheidend zu Energieersparnis bei.

Auch die Lean-Methode der Anwendung von Standards ist ein wichtiges Element, um effiziente Prozesse zu entwickeln und zu leben. Ein Standard legt fest und beschreibt, wie sich z. B. zum Thema Energieverbrauch in Produktionsbereichen verhalten werden soll. Dort kann beispielsweise festgelegt sein, welche Anlagen nach der Schicht gänzlich abgeschaltet werden, welche nur in den Standby-Modus gehen und welche eventuell eingeschaltet bleiben. Genauso gut kann ein Standard festlegen welche Leuchtmittel oder Heizmittel in einer Fabrik eingesetzt werden sollen und welche nicht zugelassen sind. Auch die Festlegung einer Standard-Temperatur in Gebäuden kann sinnvoll sein. So erlebt man jüngst in vielen Unternehmen den Aufruf der Geschäftsleitung eine Raumtemperatur von 19 °C nicht zu überschreiten, um Energie einzusparen. Nur wenn in einem Standard festgelegt ist, wie Abläufe durchgeführt werden sollen und Zustände sein sollen, können diese auch eingehalten und vor allem Abweichungen erkannt werden. Bei der Einhaltung von Standards wiederum hilft die Lean-Methode des Shop Floor Managements. Das Shop Floor Management ist ein Werkzeug, zur Erfassung von relevanten Fertigungskennzahlen und Zuständen. Diese werden auf dem Shop Floor Board visuell und transparent dargestellt. Die erfassten Daten werden über eine Kommunikationskaskade von der Produktionsebene bis hin zur Werkleitung oder Geschäftsleitung kaskadiert. Dies sind in der Regel Kennzahlen zu Input/ Output, Störgrößen, Arbeitsunfällen und Krankenstand. Die Ergänzung einer Kennzahl für Energieverbrauch wäre hier besonders für energieintensive Prozesse erstrebenswert. So hilft die Lean-Methode des Shop Floor Management bei der

Anwendung, Einhaltung und Verbesserung von Standards und ist damit ein nicht zu unterschätzendes Element zur Einsparung von Energie.

Der Kunde steht im Lean Management im Fokus. Es geht darum Werte zu schaffen, die der Kunde bereit ist zu bezahlen. Im Lean Management versucht man Kundenwünsche zu erkennen und diese zu ermöglichen. Dieser Kundenzentrische Ansatz von Wertschöpfung kann eine negative Auswirkung auf den Energieverbrauche haben. Ein Analogiebeispiel findet sich im Kundenverhalten von Supermärkten. Kunden fordern eine möglichst hohe Varianz, besonders, was zu Beispiel Früchte oder Gemüsesorten angeht. Menschen wollen z. B. im Winter Erdbeeren oder Flugmangos aus Südamerika essen. Dieser Kundenbedarf führt zu einem hohen Energieverbrauch und CO₂ Ausstoß, da die exotischen Früchte eingeflogen werden müssen. Der Supermarkt-Ansatz ist eng mit dem Lean-Ansatz verbunden, was Kundenzentrität angeht. Man möchte den Kundenwunsch kennen und diesen erfüllen. Die daraus entstehende Anforderung an Varianz führt jedoch nicht nur im Supermarkt sondern auch in produzierenden Unternehmen zu einem erheblichem Energieverbrauch und hat damit einen negativen Einfluss auf das Klima. Gleichzeitig versucht man aber auch im Lean Management den Anteil an Gleichteilen zu erhöhen und den Kundenentkopplungspunkt möglichst weit nach hinten zu verlegen, um die Variantenentstehung erst im letzten Schritt durchzuführen. Dies ist eine Möglichkeit der Kundenanforderung hinsichtlich hoher Varianz zu begegnen. Eine weitere und etwas radikalere Möglichkeit wäre es, dem Kunden eine exotische Variante gar nicht erst anzubieten. Damit würde man vermutlich eine erheblich positive Auswirkung auf die Umwelt erzielen, im gleichen Zug jedoch Kundenfokus verlieren.

Eine zentrale Verschwendungsart im Lean Management sind Materialbestände. Ein zentraler Lean-Ansatz ist die Reduzierung von Beständen und Belieferung von Lieferanten in kurzen Intervallen (z. B. wöchentlich). Dafür ist eine örtliche Nähe zwischen Kunden und Lieferant erforderlich. Dies wiederum führt zu Einsparungen im Energieverbrauch für Transporte. Eine wichtige Randbedingung dafür ist jedoch, dass der LKW optimal ausgelastet wird. Es macht aus Umweltsicht keinen Sinn, den LKW für mit einer 10 % Auslastung, fahren zu lassen. In diesem Fall führt die Reduzierung von Beständen automatisch zu einer größeren Nähe zwischen Kunde und Lieferant und damit zu einer positiven Auswirkung auf das Klima. In dieser Betrachtung drängt sich

die Frage auf, ob eine möglichst kundennahe Produktion sinnvoll ist. Ein in Hamburg produzierter Airbus A320 muss zur Auslieferung an den chinesischen Kunden z. B. erst leer nach China geflogen werden. Der CO₂-Ausstoß für einen solchen Auslieferungsflug beträgt ca. 315 Tonnen CO₂ (vereinfachte Rechnung: 150 Plätze x 300 g/km x 7000 km). Die CO₂-Emissionen für einen Menschen in Deutschland liegen bei rund 8 Tonnen. Somit erzeugt dieser Auslieferungsflug der Airbus A320 so viel CO₂ wie ca. 40 Menschen innerhalb eines ganzen Jahres. Eine 20 Jahre alte Buche baut ca. 10 kg CO₂/ Jahr ab. Demnach wären 31.500 Bäume erforderlich, um die angefallenen CO₂-Emissionen für den Auslieferungsflug von Hamburg nach China auszugleichen. Hier stellt sich die Frage ob es sowohl aus Lean- als auch aus Umweltsicht nicht vorteilhafter ist, das Flugzeug direkt in China herzustellen. Eine allgemeine Antwort, die auch die Airbus Unternehmensstrategie mitberücksichtigt, kann hier nicht gegeben werden. Aus Lean- und Umweltsicht spricht jedoch vieles dafür.

4.2 Digitalisierung als Instrument für Klimaneutralität

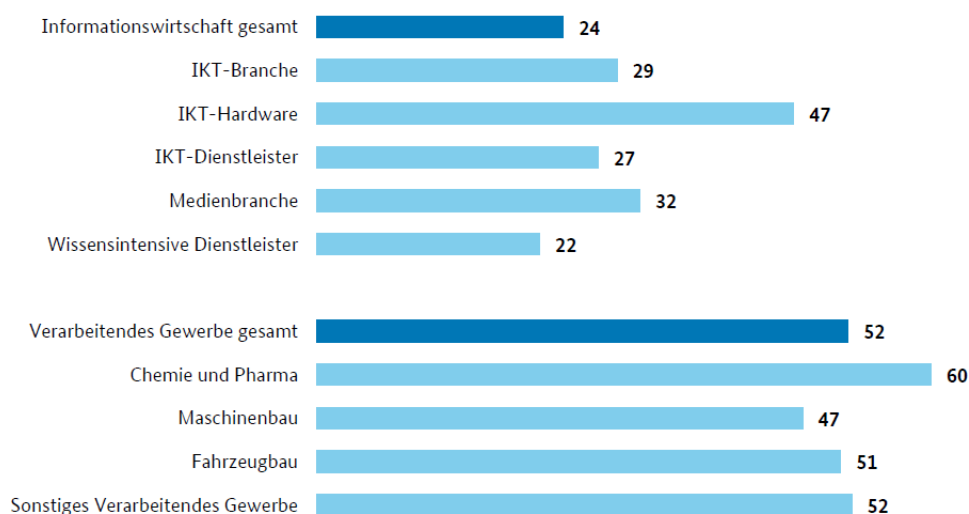
Digitalisierung kann die Entwicklung neuer Produkte und Geschäftsmodelle voranbringen, die der Verwirklichung von Nachhaltigkeitszielen dienen, sowie zur Optimierung bestehender Prozesse beitragen. Doch die Digitalisierung hat auch eine Kehrseite. Denn sie trägt erheblich zur globalen Klima- und Umweltbelastung bei, da digitale Technologien und dadurch benötigte Daten- und Rechenzentren große Mengen an Energie verbrauchen. Die Schwerpunktstudie „Digitalisierung und Energieeffizienz“ des Bundesministeriums für Wirtschaft untersucht inwieweit die Potenziale digitaler Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz in der deutschen Wirtschaft bereits ausgeschöpft sind und welche möglichen negativen Effekte durch gezielte Maßnahmen eingedämmt werden. In der wissenschaftlichen Literatur wird seit einigen Jahren kontrovers diskutiert, ob die Digitalisierung die Energieeffizienz verbessern kann. Bei der Bewertung des Themas ist zu beachten, dass es neben den positiven Effekten der Energieeinsparung auch einen höheren Energieverbrauch durch die Digitalisierung geben kann. Dieses Verhalten ist bekannt unter dem Rebound-Effekt. Laut der internationalen Energieagentur verspricht die Digitalisierung Verbesserung der Sicherheit, Produktivität, Effizienz und Nachhaltigkeit von Energiesystemen weltweit. So führt Digitalisierung beispielsweise zu Dematerialisierung. Dies geschieht, wenn digitale

statt physischer Produkte oder Dienstleistungen angeboten und genutzt werden. Die Verwendung von E-Books statt gedruckter Exemplare, digitales Musikstreaming statt CD's oder Car-Sharing-Konzepte statt eines eigenen Fahrzeugs. Dabei hängen die Einsparpotenziale stark von den jeweiligen Rahmenbedingungen und Nutzungsformen ab. Werden E-Books auf Geräten mit großen Bildschirmen wie Tablets oder Desktops gelesen, sind traditionelle Bücher, die nach Gebrauch recycelt werden, nachhaltiger.

Obwohl positive Effekte durch die neuen Technologien erwartet werden, existieren wenige Studien zu den konkreten Effekten der Digitalisierung auf die Energieeffizienz. Die bestehenden wissenschaftlichen Studien zeigen meist verschiedene Entwicklungsszenarien auf und kommen zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen. Die Recherche der Schwerpunktstudie führt eine aktuelle Studie auf, die zu dem Ergebnis kommt, dass die Digitalisierung bislang mit einem erhöhten Energieverbrauch einhergeht, da die steigernden Effekte stärker ausfallen als die senkenden Effekte. Zu den steigernden Effekten zählen der direkte Energieverbrauch der IKT-Branche sowie das durch die Digitalisierung hervorgerufene wirtschaftliche Wachstum und den damit verbundenen Energieverbrauch. Weltweit steigt der Energieverbrauch durch Rechenzentren, Datenströme und private Endgeräte prozentual sogar stärker als der gesamte Energieverbrauch, so dass die Digitalisierung selbst erheblich zur Umweltbelastung beiträgt. Dabei ist einzelnen digitalen Technologien ein hoher direkter Energieverbrauch nachzuweisen. Ein Beispiel ist die Blockchain-Technologie. Kryptowährungen wie Bitcoin, welche die Blockchain-Technologie anwenden, haben einen hohen Energiebedarf beim Erstellen neuer Blöcke, auch Mining genannt. Der jährliche Energieaufwand allein für Bitcoin wird auf 30 bis 75 Milliarden kWh geschätzt. Zum Vergleich: 30 Milliarden kWh entspricht dem gesamten Energieverbrauch Dänemarks im Jahr 2016. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2022)

Abbildung 17 zeigt, dass 47 Prozent der IKT-Hardware-Unternehmen in den vergangenen drei Jahren gezielte Schritte zur Verbesserung der Energiebilanz unternahmen. In den anderen Teilbranchen initiierten hingegen nur 22 bis 29 Prozent der Unternehmen entsprechende Maßnahmen. Innerhalb des verarbeitenden Gewerbes weicht die Teilbranche Chemie und Pharma positiv vom Durchschnitt ab.

Abbildung 1: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Abbildung 17: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent) (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2022)

In der wissenschaftlichen Literatur wird betont, dass digitale Technologien enorme Potenziale im Bereich der Energieoptimierung besitzen. Dies gilt insbesondere für den Gebäude- und den Produktionsbereich, welchen bei der Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele eine Schlüsselfunktion zukommt. Im Produktionsprozess ergeben sich durch den Einsatz von digitalen Technologien Möglichkeiten zur Energieoptimierung. Durch innovative Ansätze im Bereich der systemübergreifenden Vernetzung von Anlagen, Prozessen und Gebäudeteilen ermöglichen digitale Technologien die effiziente Überwachung, Steuerung und Regelung von kompletten Produktionsprozessen, und zwar auch aus der physischen Distanz. Im Gebäudebereich setzen von ca. ein Drittel der befragten Unternehmen, Automatisierungstechniken zur Senkung des Gebäudeenergieverbrauchs (sogenannte „Smart Building“-Technologien) ein.

Die Corona-Krise hat einen enormen Einfluss auf die Verbreitung digitaler Arbeitsmodelle, was wiederum bislang nicht eindeutige, ökologische Effekte zur Folge hat. So birgt das mobile Arbeiten von Zuhause und der Ersatz von Dienstreisen durch

Telefon- und Videokonferenzen Potenzial für Energieeinsparungen. Digitale Arbeitsmodelle führen zu einer Verringerung des Verkehrsaufkommens. Damit verbunden ist ein gesenkter Energieverbrauch. Des Weiteren kann mobiles Arbeiten zu Energieeinsparungen hinsichtlich der genutzten Bürofläche führen. Wenn Arbeitnehmer vermehrt von Zuhause arbeiten und Arbeitsplätze im Bürogebäude teilen, wird weniger Bürofläche benötigt. Dadurch wird der Energieverbrauch durch Heizung, Beleuchtung und Kühlung des Gebäudes entsprechend verringert. Es gibt eine bisher wenig betrachtete Kehrseite. Denn das ortsflexible Arbeiten kann auch zur Klima- und Umweltbelastung beitragen. Sowohl die Zunahme von privater Mobilität, beispielsweise durch den Wegfall von Einkaufsmöglichkeiten auf dem Arbeitsweg, als auch von privaten Wohnflächen in weniger energieeffizienten Gebäuden und ein dadurch bedingter Anstieg des Energieverbrauchs können die Folge von mobilem Arbeiten sein. Dies zeigt die Komplexität der Schätzung eines Gesamteffekts. Damit digitale Arbeitsmodelle tatsächlich zu einer Senkung der Umwelt- und Klimabelastung führen, muss auch die Digitalisierung der Arbeitswelt energieeffizient gestaltet werden. Energieeffiziente Rechenzentren und Serverräume sowie IKT-Produkte (Hardware) sind entscheidende Stellschrauben im Bereich der energieeffizienten Digitalisierung. Schätzungen zufolge wird vor allem der Energiebedarf der Server aufgrund der hohen Nachfrage nach Rechenleistung in deutschen Rechenzentren vom Jahr 2015 bis zum Jahr 2025 um mehr als 60 Prozent steigen. Demnach kommt dem energieeffizienten Betrieb von Rechenzentren bzw. Serverräumen eine zentrale Bedeutung bei der Erreichung der Klimaziele zu. In diesem Kontext ist auch die Nutzung von Cloud-Technologien relevant. Denn Cloud Computing ermöglicht Energieeinsparungen, zum Beispiel durch die bessere Auslastung, die in Cloud-Rechenzentren aufgrund der Nutzung von Skaleneffekten erzielt werden kann, oder die häufig deutlich bessere Hardware-Ausstattung in modernen Cloud-Rechenzentren. Aber auch die Berücksichtigung des gesamten Produktlebenswegs von IKT-Hardware und dessen Auswirkungen auf das Klima und die Umwelt sollten künftig im Fokus stehen. Die Beschaffung umweltschonender Hardware ist demnach eine weitere wichtige Stellschraube für die Verbesserung der Energieeffizienz. Studien des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie haben gezeigt, dass produzierende Unternehmen einen starken Fokus auf die Nutzung Energieeffizienter Hardware legen. Dazu gehören zum Beispiel Serverhardware, Laptops und Monitore. Studien zeigen,

dass große Unternehmen in der Nutzung energieeffizienter Hardware wesentlich weiter vorne sind, als kleine und mittlere Unternehmen. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2022)

Eine weitere wichtige Stellschraube ist der Stromverbrauch. Es wurde festgestellt, dass der Stromverbrauch im verarbeitenden Gewerbe über die Jahre 2020 bis 2022 gleichgeblieben ist. Es zeigt sich zudem, dass trotz Energieeffizienzmaßnahmen nicht unbedingt ein eindeutiger, messbarer Effekt auf den Stromverbrauch zu beobachten ist. Eine mögliche Erklärung sind Unterschiede in der Anzahl und Tragweite der Maßnahmen, die sich entsprechend unterschiedlich stark auf den Energieverbrauch auswirken. Des Weiteren können Rebound-Effekte die positiven Effekte aufwiegen, so dass der Stromverbrauch insgesamt steigt. Möglich ist zudem ein negativer Einfluss externer Faktoren, wie zum Beispiel des Wetters in bestimmten Regionen, welches den Stromverbrauch unabhängig von Maßnahmen durch vermehrte Kühlung oder Heizung ansteigen lässt. Hier zeigen sich deutlich die Komplexität der Wirkungsketten. Insgesamt weist die Entwicklung des Energieverbrauchs darauf hin, dass in allen Bereichen weiterhin große Potenziale zum Energiesparen bestehen. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2022)

5 Leitfaden für die grüne Transformation

5.1 Ziel und Zielgruppe des Leitfadens

In Abschnitt 3.2 sind die Klimaziele der EU-Kommission beschrieben. Die EU soll als weltweit erster Kontinent bis 2050 klimaneutral leben und wirtschaften. Dazu gehört auch eine klimaneutrale Industrieproduktion bis 2050 umzusetzen. Die Umsetzung dieses Ziels stellt deutsche Industrieunternehmen vor enorme Herausforderungen. Hinzu kommen unterbrochene Lieferketten, hohe Energiekosten und eine damit einhergehende Inflation, verursacht durch die Corona-Pandemie und die Energiekrise. Altbewährte Werkzeuge zur Steigerung der Produktivität und Einsparung von Kosten können Abhilfe schaffen. Lean Management hat sich als erprobtes Werkzeug zur Kostensenkung und Produktivitätssteigerung bewiesen. Digitalisierung hilft dabei Effizienzpotenziale transparent zu machen. In diesem Kapitel wird ein Leitfaden entwickelt, dessen Ziel es ist produzierenden Unternehmen zu helfen Lean Management und Digitalisierung einzusetzen, um den multiplen Krisen zu begegnen und Klimaneutralität zu unterstützen. Er richtet sich an Entscheidungsträger der Branchen produzierendes Gewerbe, Automobilindustrie, Maschinenbau, Chemie- und Pharmaindustrie, Stahlindustrie, Textil- und Bekleidungsindustrie und betrifft z. B. folgenden Berufsgruppen: Chief Executive Officer, Chief Operations Officer, Werkleiter, Produktionsleiter, Umweltbeauftragter, Manufacturing Engineer/ Industrial Engineer. Die Befragten beantworten zu jedem der drei Themenfelder Lean Management, Digitalisierung und Klimaneutralität 9-11 Fragen. Die Antworten führen zu einer Einstufung des Unternehmens für jedes der drei Themenfelder. Des Weiteren werden aus den Antworten Maßnahmen abgeleitet. Als Ergebnis der Abfrage, erhält der Befragte einen Maßnahmenkatalog mit Handlungsempfehlungen zum Einsatz von Lean Management und Digitalisierung, um Klimaneutralität zu unterstützen.

In Tabelle 2 erfolgt eine kurze begriffliche Abgrenzung, um ein gutes Gesamtverständnis für das vorliegende Kapitel zu schaffen.

Tabelle 2: Begriffliche Abgrenzung (eigene Darstellung)

Begriff	Definition für den Leitfaden
Frage	Dient als Ausgangspunkt für die Erstellung der Maßnahmen.
Antwort	Benutzer-Input auf eine Frage. Grundlage für die Reifegradbewertung.
Reifegrad	Bewertungssystem, basierend auf Punkten zwischen 1 und 4. Der Wert 1 ist die niedrigste Ausprägung, die 4 entspricht der höchsten Ausprägung.
Maßnahme	Resultierend aus der Antwort des Benutzers. Jede Antwort ist genau einer Maßnahme zugeordnet.
Leitfaden	Summe der Maßnahmen in Textform.

Die beschriebene Abgrenzung wird durch Abbildung 18 veranschaulicht.

5.2 Entwicklung des Logikmodells zur Abfrage

Der Benutzer des Leitfadens beantwortet zu jedem Themenfeld 9-11 Fragen. Insgesamt handelt es sich um 29 Fragen. Zu jeder Frage gehören vier Antwortmöglichkeiten, es kann nur eine Antwort gewählt werden. Es wurde sich für eine vierstufiges Antwortmodell entschieden, damit der Benutzer nicht die Möglichkeit hat sich für einen neutralen, mittleren Wert zu entscheiden. So wie es zum Beispiel bei einem dreistufigen oder fünfstufigen Fragemodell der Fall wäre. Der Nutzer soll eine Ausprägung wählen die eindeutig einer der beiden gegensätzlichen Richtungen zuzuordnen ist. Zu den Antworten 1 bis 3 gehört genau eine Maßnahme. Der Antwort folgt eine Reifegradeinstufung. Wenn der Nutzer Antwort 4 wählt, bedeutet das, dass er für diese Frage den Reifegrad 4 von 4 besitzt. Dies ist der höchste Reifegrad, daher ist für ihn keine Maßnahme erforderlich. Abbildung 18 stellt das Logikmodell der Befragung, prinzipiell für zwei Fragen, in visueller Form dar. In diesem prinzipiellen Beispiel befindet sich der Benutzer gerade im Themenfeld 1. Er hat auf die Frage 1 mit der Antwort 1.3 geantwortet (Benutzer Input). Für diese Frage bekommt der Nutzer den Reifegrad 3 von 4 zugewiesen. Das bedeutet er benötigt die Maßnahme der Antwort 3, um den Reifegrad 4 von 4 zu erreichen. Bei Frage 2 hat er Antwort 2.2 gewählt und somit für diese Frage den Reifegrad 2 von 4 zugeordnet bekommen. Um von Reifegrad

2 zu Reifegrad 3 zu gelangen, hilft ihm die Maßnahme 2.2. Um von Reifegrad 3 zu Reifegrad 4 zu gelangen, hilft ihm die Maßnahme 2.3.

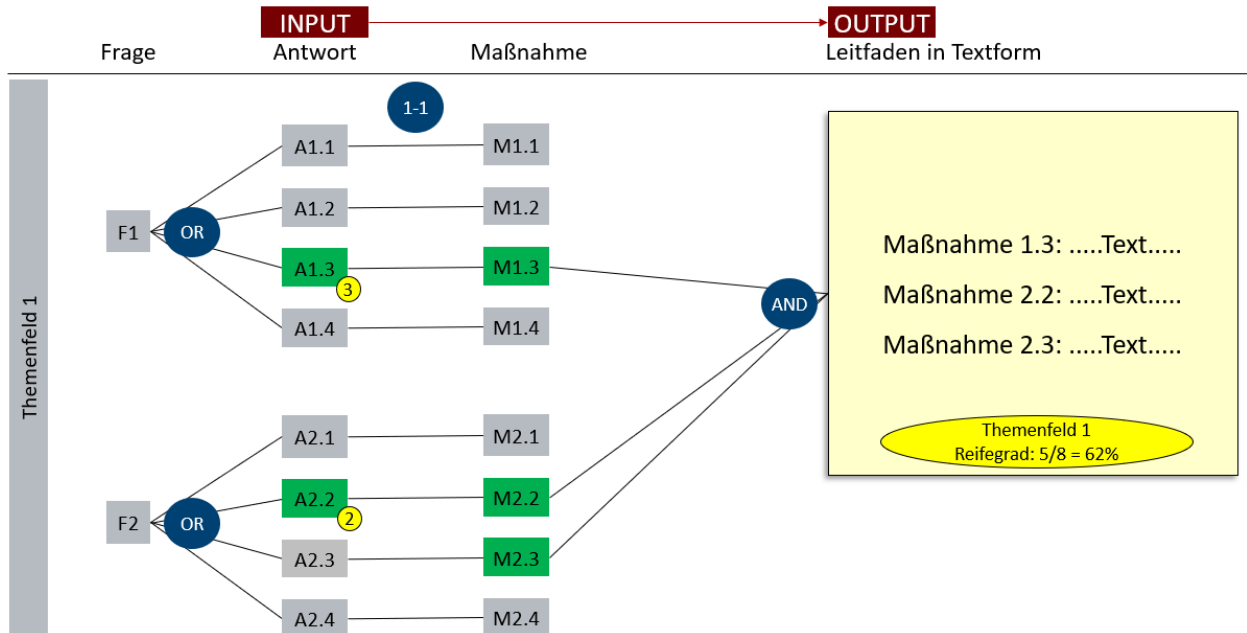


Abbildung 18: Logikmodell zur Befragung (eigene Darstellung)

Die in Abbildung 18 gelb dargestellten Zahlen stellen den Reifegrad zu jeder Frage dar. Jede Frage reicht von Reifegrad 1 bis Reifegrad 4. Antwort 1 entspricht Reifegrad 1, Antwort 2 entspricht Reifegrad 2 und so weiter. Die maximale Anzahl an Reifegradpunkten ergibt sich durch die Anzahl der Fragen multipliziert mit den maximal zu erreichenden 4 Punkten.

Lean Management: 9 Fragen x 4 Punkte = max. 36 Punkte.

Digitalisierung: 9 Fragen x 4 Punkte = max. 36 Punkte.

Klimaneutralität: 11 Fragen x 4 Punkte = max. 36 Punkte.

Der Reifegrad in Prozent ist das Verhältnis zwischen tatsächlich erreichter Punktzahl und maximal erreichbarer Punktzahl. Es gibt an, wie fortgeschritten ein Unternehmen in dem jeweiligen Themenfeld ist. In Abbildung 19 ist die prinzipielle Reifegradbewertung visuell in einem dreiachsigen Netzdiagramm dargestellt. Die dargestellten Kategorien entsprechen den drei Themenfeldern Lean Management, Digitalisierung und Klimaneutralität. Das in Abbildung 19 dargestellte Beispiel zeigt einen 25 % Reifegrad im Themenfeld Lean Management, 50 % in Digitalisierung und 62% in Klimaneutralität.

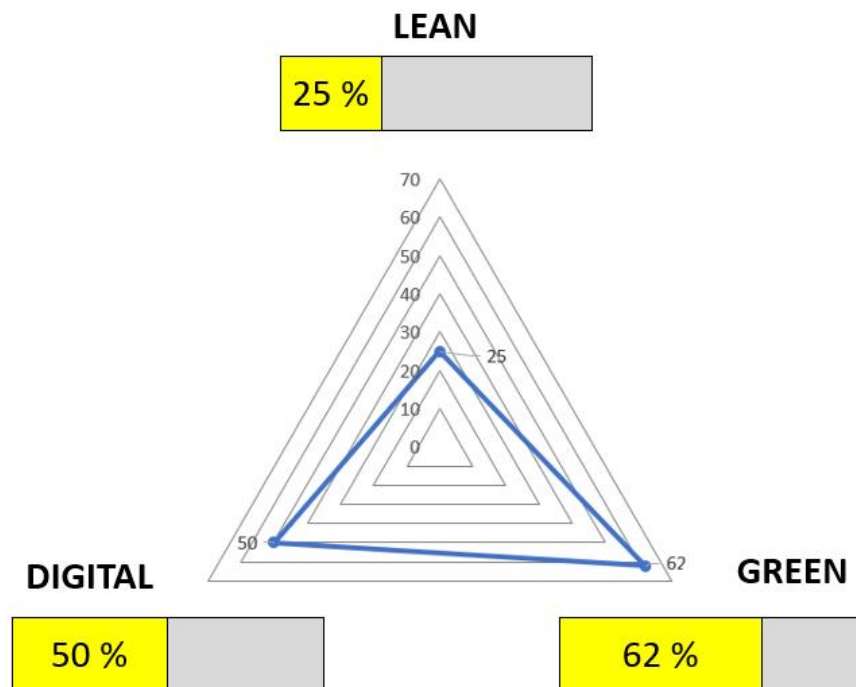


Abbildung 19: Exemplarische Reifegradbewertung (eigene Darstellung)

5.3 Entwicklung der Fragen, Antworten und Maßnahmen

Durch die Abschnitte 2-4 wurde der wissenschaftliche Stand zu den Themenfeldern Lean Management, Digitalisierung und Klimaneutralität diskutiert und erörtert. Durch den Abschnitt 4 wurde die Wirkung von Lean Management und Digitalisierung auf das Klima dargestellt. Es wurde erläutert, welche positiven und negativen Wirkungen Lean Management und Digitalisierung auf das Klima haben. Aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Analyse werden 9-11 Fragen pro Themenfeld entwickelt. Die Auswahl und Formulierung der geeigneten Fragen stammt aus dem Grundlagenteil und der Wirkanalyse in Abschnitt 4. Bei der Auswahl der richtigen Fragen zu den Themenfeldern Lean Management und Digitalisierung wurde darauf geachtet, dass bei jeder Frage auch ein Umweltbezug möglich ist. In den Fragen, Antworten und Maßnahmen wird auf diesen jedoch nicht immer explizit eingegangen. Bei der Abfrage des Themenfeldes Klimaneutralität wird immer, wenn es möglich ist der Zusammenhang zum Lean Management oder zur Digitalisierung herausgestellt. Nachfolgend wird beschrieben, wie die Fragen ausgewählt wurden. Das wesentliche Kriterium war die Wichtigkeit eines Themas im Themenfeld sowie die Wirkung auf die Umwelt. Eines der wichtigsten Elemente im Lean Management ist der Mensch. Denn im

übertragenen Sinne wird jede Verbesserung durchgeführt um dem Menschen einen qualitativ guten und sicheren Arbeitsplatz zu gewährleisten. Um Arbeitsplätze zu sichern, ist kurzfristig jedoch erst einmal eine Kosteneinsparung bzw. Profitmaximierung erforderlich. Denn nur so kann sich ein Unternehmen langfristig im Wettbewerb behaupten. Daher wurde als erste und eine der wichtigsten Fragen die des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses gewählt. Denn die Menschen, die an den Anlagen und in den Montageprozessen arbeiten, wissen am besten, wo Ineffizienzen herrschen. Ein weiteres wichtiges Element im Lean Management ist die Wertstrommethode. Sie hilft zu verstehen und visuell einheitlich abzubilden, wie ein Prozess abläuft. Hier werden Produktionsschritte sowie Material- und Informationsflüsse sichtbar. Die Wertstrommethode ist erforderlich, um Verschwendungen überhaupt erst einmal sichtbar zu machen. Daher wurde die Wertstrommethode als wichtige Frage mit in den Fragekatalog aufgenommen. Drei Kernelemente zur Optimierung des Wertstroms sind die Prinzipien Takten, Fließen, Ziehen. Wenn diese Prinzipien konsequent angewendet werden, verschwinden Verschwendungen aus dem Prozess von ganz allein. Zu jedem der drei Prinzipien wurde eine Frage im Leitfaden formuliert. Wenn die drei genannten Prinzipien konsequent angewendet werden, führt jeder Fehler z. B. im Material zu einem Produktionsstillstand. Im Lean Management werden Fehler als Schätze oder auch Verbesserungspotenzial gesehen, das es zu bergen gilt. Hinsichtlich Fehlerkultur besteht ein enormes Ausbaupotenzial in der deutschen Industriekultur. Daher wurde auch zum dem Null-Fehler-Prinzip eine Frage gewählt. Um festzulegen, wie ein Prozess abzulaufen hat, sind Standards erforderlich. Sie helfen Führungskräften und Mitarbeitern ein einheitliches Verständnis von einem Arbeitsablauf zu haben. Erst wenn beschrieben ist, wie ein Prozess funktionieren soll, kann auch eine Verbesserung durchgeführt und formuliert werden. Die Festlegung, Einhaltung und Anpassung von Standards sind wichtige Elemente, um Verschwendungen zu erkennen und zu reduzieren.

Bei dem Themenfeld Digitalisierung steht der Mensch genauso im Mittelpunkt wie im Lean Management. Daher wurden hier mehrere Fragen hinsichtlich der Integration des Menschen in die Fertigung gestellt. Denn je höher ein Digitalisierungs- oder Automationsgrad in der Fertigung ist, desto wichtiger ist es die Qualifikation der Menschen, die in der Fertigung arbeiten zu berücksichtigen. Auch die Mensch-zu-Maschine-Schnittstellen sind wichtige Elemente für eine effiziente Kommunikation

zwischen Menschen und Maschinen. Kann mit Maschinen z. B. dezentral kommuniziert werden oder muss der Mitarbeiter vor Ort gehen, um eine Programmierung an einer Anlage vorzunehmen? Ein weiterer wichtiger Aspekt in der Digitalisierung ist die Erhebung und Verarbeitung von Daten und die Vernetzung der Produktion. In einer vernetzten Produktion können Daten erhoben, sowie effizient verarbeitet und transportiert werden. Dadurch entsteht im Zukunftsszenario eine automatische Fertigungssteuerung. Daher wurden auch zu den Themen Datenverarbeitung und Vernetzung mehrere Fragen ausgewählt. Ein weiterer wichtiger Aspekt in der Digitalisierung ist die IT-Sicherheit. Durch mangelnde IT-Sicherheit kam es in den letzten Jahren immer wieder zu Hackerangriffen auf Unternehmen, die mitunter für Schlagzeilen in der Presse sorgten. Daher wurde auch zu dem Thema Cyber Security eine Frage gestellt. Im Fragenteil zum Themenfeld Klimaneutralität geht es um das Zusammenwirken der Themenfelder Lean Management und Klimaneutralität, sowie Digitalisierung und Klimaneutralität. Der Fragenteil ist in vier Kategorien geclustert: Strategie, Maschineneffektivität, Materialeffizienz, Instandhaltbarkeit/ Recyclebarkeit und Energieeffizienz. Mehrere Fragen zu jedem der Kategorien führt zu einer möglichst vollumfänglichen Abfrage zu dem Themenfeld Klimaneutralität für produzierende Unternehmen.

Je nach Literatur existieren zu jedem der drei Themenfelder noch weitere Fragen, die man hätte berücksichtigen können. Diese werden teilweise durch die bestehenden Fragen, Antworten und Maßnahmen mit angeschnitten, sodass es bereits Überschneidungen gibt und somit einzelne bzw. zusätzliche Fragen zu bestimmten Themen keinen Sinn ergeben hätten. So wie es zum Beispiel bei dem Lean-Prinzip der „minimalen Wege“ der Fall ist. Die Relevanz dieses Themas für diese Arbeit ist selbstverständlich da. Dennoch wird dieses Prinzip bereits durch die vorhandenen Fragen mit abgehandelt und bedarf daher keiner eigenen Frage.

Der Leitfaden entsteht durch eine Abfrage von insgesamt 30 Fragen. Es gibt keine richtige oder falsche Antwort. Jedes Unternehmen hat einen unterschiedlichen Reifegrad in den abgefragten Themenfeldern. Es sollte so geantwortet werden, wie es dem aktuellen Zustand entspricht und nicht wie es theoretisch sein sollte. Die Ausprägungen der Antwort 1 und Antwort 4 sind gegensätzlich.

Exemplarische Beispielfrage: Bevorzugen Sie den Strand oder die Berge?

Antwort 1: Ich bevorzuge den Strand.

Antwort 2: Ich bevorzuge den Strand, mag aber auch die Berge.

Antwort 3: Ich bevorzuge die Berge, mag aber auch den Strand.

Antwort 4: Ich bevorzuge die Berge.

Die Entwicklung der Fragen erfolgt durch Ableitung aus den Grundlagen und Erkenntnissen des vorangegangenen Kapitels.

5.3.1 Lean Management

Tabelle 3: Leitfaden zum Themenfeld Lean Management

Frage		Antwortmöglichkeit	Maßnahme
F1	Nutzen Sie die Philosophie des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP)	Nein, es gibt keine Aktivitäten in dieser Richtung.	Nutzen Sie das Potenzial Ihrer Mitarbeiter, in dem Sie ein Vorschlagswesen für Verbesserungen initiieren. Entwickeln Sie dafür ein Standardformular und nutzen Sie dafür z.B. die 6-W-Fragetechnik: Was ist das Problem? Wie zeigt sich das Problem? Warum ist es ein Problem? Wer ist betroffen? Wo tritt das Problem auf? Wann tritt das Problem auf?
		Es existiert ein Vorschlagswesen für Verbesserungen. Es wird nur schleppend angenommen.	Sie haben ein Vorschlagswesen, dieses wird jedoch nur mangelhaft angenommen. Ermitteln Sie die Ursachen. Eine Ursache könnte sein, dass Sie vergangene Verbesserungsvorschläge nicht wertgeschätzt haben oder den Mitarbeitern gar kein Feedback gegeben haben. Versuchen Sie nicht die Mitarbeiter monetär zu motivieren. Vielmehr sollte die Motivation durch Anerkennung der Vorschläge durch das Management erfolgen.
		Es existiert ein Vorschlagswesen für Verbesserungen. Mitarbeiter entwickeln eigenmotiviert Verbesserungsvorschläge.	Um mehr Verbesserungsvorschläge zu erhalten, widmen Sie dem Thema die notwendige Ernsthaftigkeit. Beantworten Sie Vorschläge innerhalb von 24 Stunden. Bauen Sie ein organisiertes Kaizen Verbesserungsmanagement auf. Fordern Sie Mitarbeiter auf, Verbesserungen sowohl für akute Probleme als auch für das Erreichen der Unternehmensziele vorzuschlagen.
		Es existiert ein organisiertes Kaizen Management z.B. nach der Hoshin Kanri Methode. Feedback kommt innerhalb von 24 Stunden.	
F2	Inwiefern sind Sie mit der Wertstrommethode vertraut?	Mir ist die Methode nicht bekannt.	Ein Wertstrom hilft Ihnen dabei, Ihren Prozess übersichtlich und visuell darzustellen. Die Darstellungsform und optischen Elemente sind in der Literatur vorgegeben und standardisiert. Schauen Sie sich dafür zum Beispiel das „Praxishandbuch Lean Management“ von Gorecki und Pautsch an. Nutzen Sie die Methode, um einen bestehenden Prozess zu analysieren und anschließend zu verbessern. Beginnen Sie damit Ihre Prozesse visuell darzustellen.
		Wir verbessern unsere Prozesse punktuell und führen vereinfachte Visualisierungen durch.	Visualisieren Sie Ihre Prozesse nicht formlos, sondern versuchen Sie die wissenschaftliche Wertstrommethode zu nutzen. Dadurch gelingt es Ihnen nicht nur möglichst viel Transparenz über einen Prozess zu bekommen, sondern auch die notwendigen Prozessdaten zuzuordnen.
		Wir nutzen die Wertstrommethode bezogen auf begrenzte Prozessabschnitte, die sich überwiegend im Bereich Produktion befinden.	Bevor Sie mit der Analyse beginnen, überlegen Sie sich welches Produkt Sie untersuchen bzw. optimieren möchten. Bilden Sie Produktgruppen, um in der Wertstromanalyse und im späteren Wertstromdesign ähnliche Arbeitsinhalte zu erkennen und gegebenenfalls zusammenführen zu können. Es gibt verschiedene Arten der Durchführung. Eine Durchführung am Ort des Geschehens (auf dem Shop Floor) und unter Einbeziehung der relevanten Teammitglieder hat sich bewährt. Dazu können Sie beispielsweise ein Brown Paper und Post-it's nutzen. Die Durchführung und Dokumentation sollten durch einen geschulten Moderator erfolgen. Schaffen Sie eine Projektfläche, die allen Beteiligten offensteht. Nutzen Sie die Methode sowohl für bestehende Produkte und Prozesse, sowie auch für Neuproduktentwicklungen. Berücksichtigen Sie bei der Untersuchung nicht nur den Produktionsprozess, sondern auch vor- und nachgelagerte Prozesse (End-to-End)
		Die Methode wird von uns über den gesamten Wertstrom, vom Kunden bis zum Lieferanten genutzt. Auch bei der Neuproduktentwicklung findet die Methode Berücksichtigung.	

F3	Sind Ihre Prozesse getaktet? Hinweis: Der Kunde gibt den Takt vor. Prozessschritte sollten sich am Kundentakt orientieren. In einer gut getakteten Fertigung sind Arbeitsinhalte gleichmäßig verteilt. Sodass sich zwischen Arbeitsschritten keine Bestände bilden.	Ich kenne dieses Prinzip nicht.	Die Anwendung des Takt-Prinzips hat zum Ziel, im Wertstrom einen sinnvollen und möglichst gleichmäßigen Takt zu implementieren. Wenn Sie verschiedene Arbeitsstationen haben und diese unterschiedlich schnell sind, führt dies zu einer ungleichmäßigen Auslastung und hohen Beständen zwischen den Arbeitsstationen. In einer schlanken (Lean) Fertigung sind Arbeitsinhalte optimal verteilt und jede Station fertigt gleich schnell.
		Die Arbeitsinhalte der Stationen sind überwiegend gleichmäßig verteilt. Der Kundentakt ist nicht bekannt.	In welchem Takt gefertigt wird, gibt der Kunde vor. Der Takt einer Fertigung sollte sich am Kundenbedarf orientieren und die Rahmenbedingungen des Betriebs berücksichtigen. Man spricht hier vom Kundentakt. Ermitteln Sie den Kundentakt der Produktgruppe, die Sie analysieren möchten. Passen Sie die Arbeitsinhalte jedes Arbeitsplatzes so exakt wie möglich an diesen Takt an.
		Einige Arbeitsstationen sind exakt ausgetaktet. Sie orientieren sich jedoch nicht am Kundentakt. Der Kundentakt ist bekannt.	Der Kundentakt errechnet sich aus der verfügbaren Zeit einer Periode, geteilt durch die Anzahl der vom Kunden geforderten Produkte in dieser Periode. Legen Sie fest, in welchen Produktionsbereichen Sie im Kundentakt fertigen wollen. Legen Sie die verfügbare Zeit in einer Periode (zum Beispiel pro Tag oder pro Jahr) für diesen Produktionsbereich fest. Ermitteln Sie die Absatzmenge für die Produkte, die in diesem Produktionsbereich innerhalb einer Periode produziert werden.
		Alle Arbeitsstationen sind exakt ausgetaktet und orientieren sich am Kundentakt.	
F4	Nutzen Sie das Fluss-Prinzip Hinweis: Das Fluss-Prinzip ist erfüllt, wenn das Material im Sinne der Wertschöpfung immer in Bewegung ist und kein Materialstau stattfindet. Das Fluss-Prinzip zeichnet sich durch geringe Wartezeiten und wenig Bestände zwischen Fertigungsschritten aus.	Ich kenne dieses Prinzip nicht.	In einer getakteten Fertigung fließt das Material und kommt vor, während und nach der Fertigung nicht zum Stehen. Materialfluss bedeutet Materialbewegung. Das Takt-Prinzip und das Fluss-Prinzip begünstigen sich gegenseitig. Wenn Sie das Fluss-Prinzip umsetzen möchten, achten Sie auf möglichst gleichmäßig getaktete Arbeitsinhalte.
		Arbeitsinhalte sind bestmöglich ausgetaktet, sodass die Grundlage für eine fließende Fertigung geschaffen ist. Die Losgrößen sind eher groß als klein.	Eine fließende Fertigung wird durch kleine Losgrößen begünstigt. Umso größer die Losgröße, desto öfter wartet ein Produkt auf die Weiterverarbeitung. Schauen Sie sich die Losgrößen in Ihrer Fertigung genau an und reduzieren Sie diese nach Möglichkeit. Eine Reduzierung der Rüstzeiten ermöglicht eine Fertigung in kleinen Losen. Dies wiederum führt zu niedrigen Lager- und Transportkosten.
		Losgrößen sind reduziert. Materialbestände sind bisher nicht auf ein Minimum reduziert.	Neben großen Losgrößen, verschleiern auch hohe Bestände, Probleme in der Produktion. Dies können z. B. Materialfehler, Fehler an Betriebsmitteln, fehlendes Material oder ein hoher Krankenstand sein. Reduzieren Sie die Bestände, machen Sie die Fehler sichtbar und gehen Sie die Ursachen an. Eine Fertigung im sogenannten "one-piece-flow" repräsentiert eine Fließfertigung. Die Umsetzung von one-piece-flow sollte mit Augenmaß geschehen. Nicht jeder Prozess ist für diese Art der Fertigung geeignet. Wenn Sie das Flussprinzip bereits über den gesamten Wertstrom anwenden, sollte sich dies in wenigen Beständen im Wertstrom widerspiegeln. Prüfen Sie die Bestandsituation im Kundenlager, in Ihrer Fertigung und im Rohteillager. Beurteilen Sie die jeweilige Reichweite. Ist diese angemessen?
		Das Flussprinzip wird über den gesamten Wertstrom angewendet. Weder in der Produktion noch in vor- und nachgelagerten Prozessen befinden sich große Materialbestände. Es wird nach Möglichkeit das one-piece-flow Prinzip genutzt (Losgröße 1).	
F5	Nutzen Sie das Pull-Prinzip?	Ich kenne dieses Prinzip nicht.	Ermitteln Sie die Fertigungssteuerung Ihrer Produktionsprozesse. Fertigen die Mitarbeiter unkontrolliert ein Teil nach dem anderen in einen Puffer (Push)? Oder Fertigen Sie nur dann etwas, wenn der Kunden auch etwas fordert (Pull)? Mit dem Kunden ist hier nicht der Endverbraucher im klassischen Sinne zu verstehen. Es kann sich auch um einen internen Kunden wie z.B. einen nachfolgenden Prozessschritt handeln. Legen Sie feste Grenzen für Materialpuffer in der Produktion fest und achten Sie darauf, dass diese eingehalten werden.

		<p>Innerhalb der Produktion sind feste Bestandsgrenzen für Materialpuffer festgelegt. Es wird nur dann etwas gefertigt, wenn der nachfolgende Prozess etwas entnimmt. Richtung Kundenlager gibt es keine Grenzen. Es wird so viel produziert, dass die Produktion möglichst gut ausgelastet ist.</p>	<p>Wenn Sie das Pull Prinzip nutzen wollen, überlegen Sie in welchen Bereichen es Ihnen einen Mehrwert bietet. Die Pull-Fertigung muss nicht über den gesamten Fertigungsprozess erfolgen. Wenn Sie Ihren Kunden schnell beliefern wollen, setzen Sie in den letzten Montageschritten (z.B. in der Endmontage) ein Pull-Prinzip um. So können Sie Ihre Kunden schnell beliefern, indem dieser sich seine Teile aus einem „Supermarkt“-Lager entnimmt. Sobald im Lager ein Platz freigeworden ist, ist dies das Signal für die Nachproduktion. Um dies umzusetzen, definieren Sie Puffergrößen für alle Plätze. In einer Fertigung, die das Pull-Prinzip nutzt, sind Materialpuffern, klare Minimal- und Maximalgrenzen zugewiesen und werden eingehalten. Ist eine Maximalgrenze erreicht, wird nicht weiter produziert. Ist sie unterschritten wird produziert.</p>
		<p>In der Produktion sind Bestandsgrenzen definiert und werden eingehalten. Es existiert ein Fertigteilelager (Kundenlager). Erst wenn der Kunde dort ein Teil entnimmt, wird auch ein weiteres nachproduziert. Die Steuerung über diese Läger funktioniert nicht einwandfrei.</p>	<p>Sie können noch etwas konsequenter in der Nutzung des Pull-Prinzips werden. Analysieren die Ursachen, die dazu führen, dass Sie das Pull-Prinzip nicht in allen Produktionsbereichen anwenden können. Eventuell führt die Anwendung anderer Lean Prinzipien dazu, dass Sie das Pull-Prinzip besser anwenden können. Wenn Sie Ihre Arbeitsstationen durch das Takt-Prinzip besser austakten, sind Puffer eventuell nicht mehr erforderlich. In einer schlanken Fertigung sind Puffer nur dort zu finden, wo Sie Prozesse, technisch, örtlich oder zeitlich voneinander entkoppeln müssen. Die Ursache kann zum Beispiel eine Aushärtezeit oder eine Prüfzeit sein. Wenn Ihre Materialpuffer definiert sind, richten Sie feste Minimal- und Maximalgrenzen ein und machen Sie diese sichtbar. Sorgen Sie dafür, dass diese Grenzen konsequent eingehalten werden. Wenn die Maximalgrenze erreicht ist, wird nicht weiter produziert. Wenn Sie kundenindividuelle Teile fertigen, ist bei Ihnen vermutlich ein später Kundenentkopplungspunkt sinnvoll. So können Sie auf Kundenanfragen schnell reagieren, ohne dass Sie sich jede Variante auf Lager legen müssen. Nutzen Sie Ihre definierten Puffer als Steuerungsinstrument. Ist eine Bestandsgrenze erreicht, ist dies das Signal zum nachproduzieren.</p>
		<p>Bei uns wird nach dem Supermarkt-Prinzip gefertigt. Es wird nur dann produziert, wenn der Folgeprozess (Kunde) etwas fordert bzw. die Steuergrenzen (min/max) erreicht sind. Der Kundenentkopplungspunkt (KEP) liegt weit hinten im Prozess. Es gibt kein dezentrales Vertriebslager. Nach dem letzten Fertigungsschritt existiert ein Kundenlager in der Produktion. Erst wenn der Kunde aus diesem Lager ein Teil entnimmt, wird ein weiteres nachproduziert. Die Supermarktsteuerung funktioniert einwandfrei.</p>	
F6	Wie konsequent wenden Sie das Null-Fehler-Prinzip an?	<p>Dieses Prinzip findet bei uns keine Anwendung. Fehler werden durch hohe Materialbestände ausgeglichen.</p>	<p>Bei dem Null-Fehler-Prinzip geht es darum die Fehlerkette zu unterbrechen. Dafür dürfen Fehler von Ihnen nicht angenommen werden. Das Null-Fehler-Prinzip erfordert von Ihnen ein radikales Umdenken. Denn es ist oft einfacher sich ein paar mehr Teile zu bestellen, wenn man doch weiß, dass ein gewisser Teil an Ausschuss dabei ist. Dieser Ausschuss könnte ja einen Linienstillstand verursachen und das möchte man um jeden Preis vermeiden. In der deutschen Industriekultur werden Fehler verharmlost, nicht eingestanden oder vertuscht. In der Lean-Kultur werden Fehler als Schätze gesehen, die geborgen werden müssen, um Prozesse zu optimieren.</p>
		<p>Fehler werden durch konstruktive Maßnahmen (Poka-Yoke) so gering wie möglich gehalten. Wenn Probleme in der Fertigung auftreten, werden diese an die entsprechende Fachabteilung weitergeleitet. Die Produktion wird deshalb nicht angehalten.</p>	<p>Schaffen Sie eine Organisation, in der alle Beteiligten des Problems kurzfristig zusammenkommen und gemeinsam an der Lösung arbeiten. Dies kann über das Shop Floor Management oder über sogenannten "cross functional Teams (CFT)" erfolgen. Beteiligte Abteilungen sind zum Beispiel die Abteilungen Einkauf, Betriebsmittelbau, Entwicklung und Produktmanagement.</p>
		<p>Fehler werden täglich über das Shop Floor Management erfasst und bei Bedarf werden die entsprechenden Fachbereiche in die Produktion geholt. Ein Produktionsstillstand bei Fehlern ist nicht gewollt.</p>	<p>Damit Probleme die notwendige Aufmerksamkeit erhalten, müssen sie Schmerzen verursachen. Erst dann wird sich ernsthaft und schnell mit einer Ursachenanalyse beschäftigt. Wenn Fehler in der Produktion auftreten, ziehen Sie konsequent die "Reißleine" und halten schlimmstenfalls auch die Linie an, um dem Problem die notwendige Aufmerksamkeit zu geben und es schnell zu lösen. Dies führt langfristig zu weniger Problemen und einer hohen Problemlösekompetenz.</p>

		Bei uns existiert eine ausgeprägte Fehlerkultur. Jeder Fehler wird mit der notwendigen Priorität behandelt. Die geringen Bestände und strengen Taktzeiten führen bei Fehlern zwangsläufig zum Produktionsstillstand. Probleme erhalten die notwendige Aufmerksamkeit und sind in den meisten Fällen schnell behoben.	
F7	Trennen Sie Wertschöpfung und Verschwendung in Ihren Prozessen konsequent?	Nein, ich wüsste nicht, wie das getrennt werden kann.	Verinnerlichen Sie sich die Definition von Wertschöpfung und Verschwendung nochmals. Stellen Sie sich einen Unfallchirougen vor, der sich das Skalpell erst aus dem Lager holen muss, bevor er mit der Notoperation beginnen kann. Diese Tätigkeit erledigt sein Assistent für ihn, sodass er genau das Material vor Ort hat, welches er für diese Operation benötigt.
		Nein, eine Trennung von Wertschöpfung und Verschwendung lässt sich in der Praxis nicht umsetzen.	Eine Trennung von Wertschöpfung und Verschwendung führt zu diversen Vorteilen hinsichtlich Effizienz. Wenn die Verschwendung über einen großen Prozess verteilt ist, lässt sich diese schwer erkennen und eliminieren. Versuchen Sie Verschwendung zu bündeln um diese besser erkennen und eliminieren zu können.
		Ja, es wird darauf geachtet Wertschöpfung und Verschwendung im Prozess zu trennen.	Die klare Trennung von Wertschöpfung und Verschwendung führt zur Vermeidung von Fehlern, die durch das Unterbrechen der wertschöpfenden Tätigkeit entstehen. Des Weiteren sind sowohl die wertschöpfenden als auch die nicht wertschöpfenden Tätigkeiten besser planbar. Ein weiteres Argument ist, dass Sie Mitarbeiter hinsichtlich Ihrer Qualifikation und Entgeltstufen gezielt einsetzen können. So kann sich ein Facharbeiter auf Fachtätigkeiten oder Wertschöpfung konzentrieren und ein Montagehelfer auf unterstützende Tätigkeiten.
		Ja, Wertschöpfung und Verschwendung ist klar getrennt.	
F8	Nutzen Sie das FiFo-Prinzip?	Ich kenne dieses Prinzip nicht.	FiFo bedeutet First in - First out. Material wird in der Reihenfolge, in der es in den Prozess gegeben wurde, wieder aus dem Prozess entnommen.
		Ich habe schonmal davon gehört und kann mir gut vorstellen das Prinzip anzuwenden.	Die Anwendung des FiFo-Prinzips führt zu diversen Vorteilen. Sie reduzieren Fehler, in dem Sie verhindern, dass veraltetes Material im Prozess verbleibt. Wenn zum Beispiel eine Materialänderung stattgefunden hat, das alte Material aufgebraucht werden soll und erst dann das neue Material verwendet werden soll.
		Ja, in einigen Bereichen wird das FiFo-Prinzip angewendet.	Entscheiden Sie für welche Materialien Sie das FiFo-Prinzip verwenden möchten. Die Nutzung von FiFo ist für fast alle Teile sinnvoll. Entwerfen Sie geeignete Materialfluss-, Lager- und Transportsysteme zur stringenten Anwendung des FiFo-Prinzips. Wenn Sie das FiFo-Prinzip stringent anwenden, profitieren Sie von weniger Ausschuss, einer vereinfachten Steuerung und simplen Bestückungs- und Entnahmeprozessen des Materials.
		Ja, bei allen relevanten Materialien wird das FiFo-Prinzip angewendet.	
F9	Sind Ihre Prozesse standardisiert?	Nein, unsere Prozesse sind nicht standardisiert.	Standards helfen Ihnen dabei, Verschwendung zu erkennen und zu reduzieren. Sie legen fest, wie ein Prozess funktioniert. Standards sind zum Beispiel Prozessbeschreibungen, Visualisierungen (z. B. Bodenmarkierungen, Puffergrenzen). Denn ohne, dass ein Prozess in einem Standard beschrieben ist, ist nicht einheitlich geklärt, wie dieser Prozess genau abzulaufen hat. Ohne eine standardisierte Ablaufbeschreibung würde jeder Mitarbeiter die Tätigkeit anders ausführen.
		Standards existieren zwar aber die Mitarbeiter halten sich nicht daran.	Die Einhaltung von Standards ist Führungsaufgabe. Ihre Führungskräfte sind dafür verantwortlich die Einhaltung von Standards einzufordern. Dafür ist es wichtig, dass die Führungskräfte eine Abweichung vom Standard erkennen. Machen Sie Ihren Mitarbeitern bewusst, was Abweichungen vom Standard für Konsequenzen für das Unternehmen haben können. Im Bereich der Luffahrt haben kleinste Abweichungen vom Standard, enorme Konsequenzen. Stellen Sie sich vor, jeder Pilot hat seine eigene Checkliste für den Flugzeugstart.
		Ja, Standards existieren und werden größtenteils eingehalten.	Eine standardisierte Methode zur Einhaltung von Standards ist zum Beispiel die Prozessbestätigung. Bei dieser Methode wird die Einhaltung von Standards über eine Checkliste abgefragt. Eine Prozessbestätigung kann man sehr gut am Anfang einer Schicht durchführen. Hier kann zum Beispiel abgefragt werden ob alle Werkzeuge zu Schichtbeginn am Arbeitsplatz sind. Um schnell erkennen zu können welche Werkzeuge genau an dem Arbeitsplatz sein sollen, sind sogenannte Schattenborte (Shadowboards) hilfreich.
		Ja, alle Prozesse laufen standardisiert ab.	

5.3.2 Digitalisierung

Tabelle 4: Leitfaden zum Themenfeld Digitalisierung

Frage		Antwortmöglichkeit	Maßnahme
F1	Integration und Ausbildung der Mitarbeiter.	Hoher Anteil geringqualifizierter Mitarbeiter. Hoher Anteil an manuellen Montage- und Hilfstätigkeiten.	Wenn Ihre Prozesse einen geringen Automationsgrad haben, denke Sie über einen weiteren Ausbau der Digitalisierung nach.
		Teilautomation von Prozessen. Einsatz von Fachkräften im mechatronischen Bereich mit entsprechendem Weiterbildungsangebot.	Ihre Produktionsprozesse sind bereits teilautomatisiert. Sie nutzen zum Beispiel Portalsysteme oder Roboter, die über eine Maschinensteuerung verfügen. Damit diese Anlagen das erwartete Potenzial erbringen und die Ausfallzeiten so gering wie möglich sind, benötigen Sie qualifiziertes Personal. Dieses muss über eine hohe Problemlösekompetenz verfügen und schnell zu einer Lösung kommen. Ist das geeignete Personal noch nicht vorhanden bzw. nicht ausgebildet, initiieren Sie ein geeignetes Weiterbildungsangebot und bilden Sie Ihre Mitarbeiter dementsprechend aus. In der Industrie 4.0 wird gut ausgebildetes Fachpersonal immer wichtiger. Einfache Montagetätigkeiten werden tendenziell weniger. Mensch und Maschine rücken näher zusammen und arbeiten gemeinsam.
		Hoher Automationsgrad. Wenig manuelle Montagetätigkeiten.	Sie haben das Potenzial der Digitalisierung erkannt und verfügen über einen hohen Automationsgrad. Ihre Prozesse, Betriebsmittel und Maschinen sind miteinander vernetzt. Sie brauchen gut ausgebildete Mitarbeiter, mit hoher Kompetenz in Informations- und Kommunikationstechnologie, sowie Automatisierungstechnik. Ihre Mitarbeiter müssen über eine hohe Problemlösekompetenz verfügen und kreativ sein. Dies sind entscheidende Vorteile des Menschen gegenüber den Maschinen. Stellen Sie qualifiziertes Personal ein oder etablieren Sie ein geeignetes Weiterbildungsangebot.
		Hoher Anteil Cyber-Physischer-Systeme. Einsatz von hochqualifiziertem Fachpersonal, welches eigenständig Probleme an Cyber-Physischen-Systemen löst.	
F2	Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M).	Es findet keine Kommunikation zwischen den eingesetzten Maschinen statt. Die Maschinen sind dafür nicht ausgestattet.	Bewerten Sie das Potenzial, das sich aus einer Maschinenkommunikation ergibt. Überlegen Sie sich dafür Anwendungsfälle, die in Ihrem Unternehmen zu einem Mehrwert führen. Dafür können Sie auf der Plattform Industrie 4.0 ein Benchmarking durchführen, um für Sie interessante Anwendungsfälle zu entdecken. Alternativ schauen Sie sich Ihre größten Probleme auf dem Shop Floor an und überlegen sich, ob und wie Sie diesen Problemen mit einer Maschine-zu-Maschine-Kommunikation begegnen könnten. Nachdem Sie den Mehrwert quantifiziert haben, liegt eine weitere Herausforderung in der technischen Anpassung Ihrer Maschinen. Statten Sie Ihre Maschinen mit den notwendigen Schnittstellen zur Kommunikation aus. Gängige Schnittstellen für Datenübertragung sind Feldbus und Ethernet.
		Die Maschinen sind mit Feldbus und Ethernet Schnittstellen ausgestattet.	Ihre Maschinen sind grundsätzlich mit der notwendigen Hardware zur Kommunikation mit anderen Maschinen ausgestattet. Sie können die Maschinen direkt miteinander verbinden und diese in einem lokalen Netzwerk zusammenarbeiten lassen. Dies kann auch über eine Kopplung speicherprogrammierbarer Steuerungen stattfinden. Eine weitere Möglichkeit der Maschinenkommunikation ist über das Internet. Dies ist in der Regel etwas aufwändiger in der initialen Umsetzung, dafür jedoch flexibler in der Erweiterung und Anpassung. Entscheiden Sie, welche Variante der Maschinenverbindung für Sie das beste Aufwand/ Nutzen Verhältnis hat. Beziehen Sie dazu Ihre IT-Abteilung ein, da die Maschinenverbindung mit dem Internet ein Sicherheitsrisiko darstellt.

		Die Maschinen verfügen über einen Zugang zum Internet.	Ihre Maschinen sind mit dem Internet verbunden und bieten somit grundlegend die Möglichkeit miteinander zu interagieren. Sie müssen Ihren Maschinen nun eine einheitliche Sprache zuweisen, damit sie kommunizieren können. Nutzen Sie dafür sogenannte „Standard Industrieprotokolle“. Eines der gängigsten Industrieprotokolle ist das OPC/UA Protokoll oder MQTT. Führen Sie diese Protokolle gemeinsam mit einem Spezialisten ein.
		Die Maschinen sind miteinander Verbunden und interagieren.	
F3	Mensch-Maschine-Schnittstellen.	Einsatz lokaler Anzeigeräte an Maschinen.	Ihre Maschinen verfügen über Ausgabe und Eingabemöglichkeiten z.B. zur lokalen Darstellung des Betriebszustands oder zur Eingabe von Maschinenparametern. Prüfen Sie, ob ein dezentraler Zugriff auf Ihre Maschinen einen Mehrwert bringt. Rüsten Sie Ihre Maschinen mit der erforderlichen Hardware und Software für eine dezentrale Überwachung und Steuerung Ihrer Maschinen aus.
		Zentrale oder dezentrale Produktionsüberwachung und -steuerung.	Sie können Ihre Produktion über einen zentralen Punkt im Unternehmen oder auch dezentral von jedem beliebigen Ort aus überwachen und steuern. Setzen Sie mobile Anzeigeräte in der Produktion ein um beispielsweise Maschinenzustände, Produktionsfortschritt oder auch Zeichnungen zu einem Produkt oder einer Maschine digital und ortonunabhängig aufrufen zu können.
		Einsatz mobiler Anzeigeräte in der Produktion.	Wenn Sie bereits mobile Anzeigeräte in der Produktion einsetzen, finden Sie passende Anwendungsfälle für den Einsatz assistierter Realität (Augmented Reality, AR). Dies kann zum Beispiel für die Fernwartung von Maschinen oder bei komplexen Produkten das Aufrufen der Zeichnung sein. Berücksichtigen Sie die Wirtschaftlichkeit des ausgewählten Anwendungsfalls.
		Erweiterte und assistierte Realität in der Produktion.	
F4	Datenverarbeitung in der Produktion.	Es findet keine Verarbeitung von Daten statt.	Informieren Sie sich z. B. über die Plattform Industrie 4.0 zum Thema Industrie 4.0 und Datenverarbeitung. Des Weiteren bietet das Fachbuch "Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0" einen guten Überblick zum dem Themenfeld. Auf der technischen Seite ist es ratsam, relevante Daten Ihres Produktionsprozesses zu erfassen. Statten Sie Ihre Maschinen dafür mit den notwendigen Sensoren aus. Welche Daten Sie erfassen wollen liegt bei Ihnen. Achten Sie auf den betriebswirtschaftlichen Mehrwert. Datenverarbeitung und Datenverfügbarkeit stellt einen Grundpfeiler der Industrie 4.0 dar.
		Speichern und Auswerten von Daten zur Prozessüberwachung wird bei uns durchgeführt.	Sie erfassen bereits Produktionsdaten zur Prozessüberwachung. Ihr nächster Schritt ist nun, diese Daten zu nutzen, um einen Mehrwert zu generieren. Ihre Daten sind ideal geeignet, um den Produktionsprozess zu planen, zu steuern und zu verbessern. Die Daten zum Fertigungsfortschritt helfen Ihnen beispielsweise dabei die nächste Zeitperiode zu planen und zu steuern. Daten zu Qualitätsraten können Ihnen helfen die Leistung eines Fertigungsprozesses zu bewerten und Optimierungspotenziale zu erkennen. Entscheiden Sie, welche Daten Sie nutzen möchten. Definieren Sie dafür vorab das Ziel der Datennutzung.
		Eine Auswertung der Daten zur Prozessplanung/ -steuerung findet statt.	Sie nutzen erfasste Daten bereits, um Ihren Produktionsprozess zu planen und zu steuern. Ihr nächster Schritt ist die Automatisierung der Planung und Steuerung des Fertigungsprozesses unter Nutzung vorliegender Daten. Es gibt bereits verschiedene Programme zur automatisierten Prozessplanung. Dies sind in der Regel ERP-Systeme. Der bekannteste Anbieter ist SAP. Welche Lösung für Sie die Richtige ist sollten Sie durch eine Technologieanalyse gemeinsam mit Ihrer IT-Abteilung ermitteln. Sobald Sie die richtige Software gefunden haben, führen Sie ein Proof-of-Concept Projekt durch um, die Machbarkeit und das Ergebnis der von Ihnen ausgewählten Lösung zu bewerten. Holen Sie ebenfalls ein Nutzerfeedback ein und lassen dieses in Ihre Bewertung mit einfließen. Wenn Sie die Software als geeignet einstufen, rollen Sie diese in Ihrem Unternehmen aus. Das Ziel ist eine automatisiert gesteuerte Fertigung. Idealerweise handelt es sich um eine Kundenbedarfssteuerung nach der Lean-Methode.
		Es findet automatische Prozessplanung/ -steuerung statt.	

F5	Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion.	Informationsaustausch über E-Mail und Telekommunikation.	Sie tauschen Informationen wie zum Beispiel Fertigungsauftragsdaten oder Maschinenbelegung überwiegend per Telefon und E-Mail aus. Diese Art des Informationsaustauschs ist aufwändig und fehleranfällig. Schauen Sie sich die Automatisierungspyramide in dem Buch „Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0“ von Armin Roth an. Unterteilen Sie die Prozesse zur Datenerhebung und -verarbeitung Ihres Unternehmens in die sechs Ebenen der Automatisierungspyramide beziehungsweise ordnen Sie diese zu. So schaffen Sie die notwendige Struktur für Ihr Digitalisierungsvorhaben. Versuchen Sie zur Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Unternehmensebenen Standard Datenträger und Datenformate zu nutzen. Dies kann in einem ersten Schritt zum Beispiel die Nutzung einer Excel-Tabelle sein. Der von Ihnen anzustrebende Zielzustand hängt von verschiedenen Faktoren wie zum Beispiel Unternehmensgröße und Produktkomplexität ab. Die höchste Ausbaustufe der unternehmensweiten Vernetzung ist die Nutzung eines Manufacturing Execution Systems (MES).
		Einheitliche Datenformate und Regeln zum Datenaustausch.	Sie nutzen bereits einheitliche Datenformate zum Datenaustausch und haben definierte Regeln für den Umgang damit. Versuchen Sie nun eine abteilungsübergreifende Vernetzung zu realisieren. In der Automatisierungspyramide stellt dies die Vernetzung zwischen den sechs Ebenen dar und wird als vertikale Integration bezeichnet. Stellen Sie Ihre Daten dafür auf zentralen Datenservern zur Verfügung, auf die sowohl die Produktion als auch die Produktionsplanung und Unternehmensleitung zugreifen kann.
		Abteilungsübergreifend vernetzte Datenserver	Ihr Reifegrad in der unternehmensweiten Vernetzung ist bereits fortgeschritten. Sie nutzen einheitliche Datenformate und Datenserver für den abteilungsübergreifenden Datenaustausch und sind damit auf dem besten Weg zur Industrie 4.0. Um weitere Ausbaustufen zu erreichen ist es hilfreich die für Ihr Unternehmen relevanten Industrie 4.0-Lösungen strukturiert zu betrachten. Dabei hilft Ihnen das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Eine operative nächste Ausbaustufe kann zum Beispiel die Einführung eines Manufacturing Execution Systems (MES) sein. Der Mehrwert muss jedoch unternehmensspezifisch bewertet werden.
		Abteilungsübergreifende, vollständig vernetzte IT-Lösungen	
F6	Informations- und Kommunikations-Infrastruktur in der Produktion.	Zentrale Datenserver in der Produktion.	Die Infrastruktur für Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ist ein entscheidender Baustein zur Umsetzung der Industrie 4.0. Denn nur mit der richtigen IKT-Infrastruktur schaffen Sie eine Vernetzung Ihres gesamten Wertschöpfungsnetzwerks. Ihre Produktionsdaten liegen bereits auf zentralen Datenservern. Versuchen Sie die Produktionsdaten auf den zentralen Datenservern online verfügbar zu machen. Schauen Sie ob und wie Sie die Server mit dem Internet verbinden können. Rüsten Sie die notwendige Technologie an den Servern nach. Dadurch realisieren Sie einen dezentralen Datenzugang für alle relevanten Stakeholder im Wertschöpfungsnetzwerk. Somit setzen Sie einen Grundstein für weitere Digitalisierungsschritte.
		Internetbasierte Portale mit gemeinsamer Datennutzung.	Ihre IKT-Infrastruktur ist bereits dazu in der Lage eine webbasierte Datennutzung unterschiedlicher Partner im Wertschöpfungsnetz abzubilden. Ihr nächster Schritt sollte die Automatisierung des Informationsaustauschs sein. Versuchen Sie den Partnern im Wertschöpfungsnetz die benötigten Daten benutzerspezifisch und automatisiert zur Verfügung zu stellen. Dies kann für die Produktionsplaner zum Beispiel der Fortschritt eines Fertigungsauftrags sein. Implementieren Sie die dafür notwendige Hardware- und Software-Infrastruktur.
		Automatisierter Informationsaustausch.	Der unternehmensinterne Informationsaustausch ist bereits automatisiert und damit in einem fortschrittlichen Zustand. Der nächste Ausbauschritt ist der unternehmensübergreifende Informationsaustausch. Beziehen Sie relevante Stakeholder Ihres Wertschöpfungsnetzwerks mit ein. Dies können zum Beispiel Lieferanten und Kunden sein. Lösen Sie zum Beispiel Bestellungen bei Ihren Lieferanten automatisiert aus, um Aufwand zu reduzieren. Geben Sie Ihren Kunden die Möglichkeit den Fertigungsfortschritt zu sehen und Änderungen in der Produktkonfiguration (z. B. Farbe, Größe) noch während des Produktionsprozesses vorzunehmen.
		Zulieferer / Kunden sind vollständig in Prozessgestaltung integriert.	

F7	Effizienz bei kleinen Losgrößen	Starre Produktionsmittel und geringer Anteil von Gleichteilen.	Vermutlich haben Sie mit hohen Rüstkosten zu kämpfen, da Ihre Produktion wenig flexibel ist und Sie wenige Gleichteile verwenden. Eine hochproduktive Einzelfertigung in Losgröße 1, ist ein erklärtes Ziel der Industrie 4.0 und wird auch im Lean Management angestrebt. Dieses muss jedoch nicht zwangsläufig für jede Fertigung sinnvoll sein. Prüfen Sie ob kleine Losgrößen für Ihre Produktion sinnvoll sind. Für Montagebereiche ist eine kleine Losgröße in den meisten Fällen von Vorteil. Trifft dies auf Ihr Unternehmen zu, prüfen Sie, ob Sie an Ihren Produkten mehr Gleichteile einsetzen, können. Setzen Sie zum Beispiel gleiche Schrauben für alle Produkte ein, sodass Sie wenige Schraubentypen verwenden. Prüfen Sie, ob Sie weitere Teile substituieren können. Dies führt zu Vorteilen, wie zum Beispiel geringeren Rüstkosten, weniger Platzbedarf, Skaleneffekten im Einkauf und weniger Logistikkosten. Prüfen Sie darüber hinaus, ob Sie Ihre Produktionsmittel, wie zum Beispiel Werkzeuge oder Montagelinien, für alle Produkte einsetzen können.
		Nutzung von flexiblen Produktionsmitteln und Gleichteilen.	Sie verwenden in Ihren Produkten bereits einen hohen Anteil an Gleichteilen und Ihre Produktionsmittel können flexibel für verschiedene Produkte genutzt werden. Versuchen Sie Ihre Produkte zukünftig so zu konstruieren, dass Sie möglichst aus vorgefertigten Modulen zusammengesetzt werden können. Dadurch schaffen Sie es zum Beispiel eine möglichst kurze Durchlaufzeit auf Ihrer Endmontagelinie zu erzielen und können viele verschiedene Varianten in kurzer Zeit fertigen.
		Flexible Produktionsmittel und modulare Baukästen für die Produkte.	Konstruieren Sie Ihre Produkte so, dass diese modular vorgefertigt werden können. Ihre Produkte sollten idealerweise aus nur wenigen und gleichen Teilen bestehen. Prüfen Sie, ob die Endmontage der Module ausgelagert werden kann. Zum Beispiel zum Kunden oder Serviceteam.
		Bauteilgetriebene, flexible Produktion modularer Produkte im Unternehmen.	
F8	Cyber Security (IT-Sicherheit)	In unserem Unternehmen gibt es keine regulatorischen Anforderungen an IT-Sicherheit.	Etablieren Sie Regeln für Informationssicherheit in Ihrem Unternehmen. Informieren Sie sich dafür zum Beispiel in Normen wie der ISO/IEC 27002. Hier sind die Anforderungen an IT-Sicherheit regulatorisch festgehalten. Ein Schutz vor äußeren Einwirkungen ist wichtig. Diesen gewährleisten Sie für Ihre Büro-IT grundsätzlich durch das Windows-Betriebssystem und die damit verbundenen standardisierten Sicherheitsupdates. Als Produktionsunternehmen haben Sie eventuell Betriebsmittel oder Maschinen, die sie vernetzen oder mit dem Internet verbinden möchten. Dies spielt in Zeiten der Digitalisierung und Industrie 4.0 eine immer wichtigere Rolle. Die Erfassung von Messwerten, Taktzeiten oder der Anlagenverfügbarkeit wird immer wichtiger.
		Die Büro-IT und die Produktions-IT arbeiten in unterschiedlichen Netzwerken und sind grundsätzlich voneinander getrennt. Betriebsmittel sind nicht mit dem Internet verbunden.	Wenn Sie Ihre Betriebsmittel oder Maschinen vernetzen oder mit dem Internet verbinden möchten, tun Sie dies möglichst kontrolliert. Verbinden Sie Ihre Maschine nicht mit dem Internet, ohne dass Sie vorher das Risiko überprüft haben. Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Maschine eine Sicherheitslücke für Ihre gesamte Unternehmens-IT darstellt? Versuchen Sie die sogenannte "Default Deny Strategy" (Verweigerungsstrategie) anzuwenden. Das bedeutet, Sie lassen nur dort Kommunikation zu, wo auch Kommunikation stattfinden soll. Sie verbinden nur das, was auch wirklich miteinander verbunden sein muss. Auf Betriebsmitteln laufen oft eigenentwickelte Softwarelösungen die nicht über ausreichend Schutz verfügen und für die keine regelmäßigen Sicherheitsupdates stattfinden.
		Betriebsmittel sind sicher mit dem Internet verbunden.	Sie haben bereits einen fortschrittlichen Stand hinsichtlich IT-Sicherheit erreicht. Jedes Unternehmen entscheidet individuell über die Intensität Ihrer IT-Sicherheit. Entscheiden Sie für Ihr Unternehmen, ob der von Ihnen erreichte Schutz ausreichend ist, und leiten Sie gegebenenfalls weitere Maßnahmen ein. Die höchste Ausbaustufe ist der Aufbau und die Anwendung eines Information Security Management System nach ISO/IEC 27001.
		Wir nutzen ein Information Security Management System nach ISO/IEC 27001.	
F9	Klima und Digitalisierung	Energie-Verbrauchsdaten werden nicht separiert erfasst und ausgewertet.	Energiemonitoring wird immer relevanter. Daher fordern Normen wie die ISO 50001 bereits konkrete Maßnahmen zum Energiemanagement. Die Umsetzung der Maßnahmen ist heute noch keine Pflicht, führt jedoch zu Steuererleichterungen für Energie. Prüfen Sie welche regulatorischen Anforderungen Ihr Unternehmen an Energiemanagement treffen muss oder sollte. Versuchen Sie Energieverbräuche in Ihrem Unternehmen auf Prozessebene transparent zu machen. Sodass Sie zum Beispiel einzelnen Maschinen einen Energieverbrauch zuordnen können. Dabei unterstützt Sie der Einsatz von Digitalisierung unter Nutzung von z. B. Smart Metern.

	Energieverbräuche einzelner Produktionsanlagen werden erfasst und sind verfügbar.	Die Erfassung der Energieverbräuche einzelner Produktionsanlagen ist der Grundstein für ein unternehmensweites Energiemonitoring und die Anwendung von Energie Performance Indikatoren (EnPI's). Führen Sie Kennzahlen zum Energiemonitoring ein. Überwachen Sie die EnPI's, legen Sie Grenzwerte fest und definieren Sie Maßnahmen bei Überschreitung der Grenzwerte.
	Kennzahlen zum Energiemonitoring (EnPI's) werden überwacht. Grenzwerte und Maßnahmen für eine Grenzwertüberschreitung sind festgelegt.	Etablieren Sie ein Energiemanagementsystem (EMS) nach ISO 50001. Dazu können Sie unter anderem mit folgenden Maßnahmen beginnen. Benennen Sie einen Energiebeauftragten bzw. ein Energieteam. Erarbeiten Sie zusammen mit dem Energieteam eine Energiestrategie und Energieziele für Ihr Unternehmen. Kommunizieren Sie die Energiestrategie und die Ziele unternehmensweit. Überwachen Sie die Energieziele und fordern Sie einen regelmäßigen Bericht von dem Energieteam ein. Implementieren Sie interne Audits zur Einhaltung der Energiestrategie und Energieziele.
	Es wird ein Energiemanagementsystem (EMS) nach ISO 50001 genutzt.	

5.3.3 Klimaneutralität

Tabelle 5: Leitfaden zum Themenfeld Klimaneutralität

Frage		Antwortmöglichkeit	Maßnahme
F1	Strategie: Inwiefern wurde in Ihrem Unternehmen eine Nachhaltigkeitsstrategie formuliert?	Es ist keine Nachhaltigkeitsstrategie erkennbar.	Nutzen Sie für die Implementierung einer Nachhaltigkeitsstrategie das richtige Timing. Das können zum Beispiel Änderungen der gesetzlichen Regularien oder neue Marktchancen sein. Erzeugen Sie durch die richtigen Einflüsse, einen notwendigen Handlungsdruck, um die Veränderungsbereitschaft in Ihrem Unternehmen zu stärken.
		Existiert als Teil der Unternehmensstrategie. Fokussiert sich eher auf Produkte als auf die Herstellprozesse und Lieferkette.	Viele Unternehmen entwickeln energiesparende Produkte und nutzen dies zu Marketingzwecken. Sie produzieren diese Produkte jedoch in umweltbelastenden Fertigungsprozessen. Dieses Verhalten wird auch als "green washing" bezeichnet. Also als Maßnahmen, die die Außendarstellung des Unternehmens verbessern sollen, aber kaum oder unzureichende Veränderungen nach sich ziehen. Versuchen Sie eine möglichst ganzheitliche Nachhaltigkeitsstrategie zu formulieren. Legen Sie das Ziel und den Umfang der Strategie fest und erzeugen Sie den notwendigen Handlungsdruck. Definieren sie außerdem die groben Implementierungsschritte.
		Ziel und Umfang sind formuliert. Der Handlungsdruck ist in der Belegschaft kommuniziert und verstanden.	Unerlässlich für den Erfolg der Implementierung der Nachhaltigkeitsstrategie ist es, das Thema mit der notwendigen Management-Priorität zu behandeln. Die Führungskräfte Ihres Unternehmens müssen die Notwendigkeit des Wandels verstehen und diesen unterstützen. Identifizieren Sie den entscheidenden Personenkreis und stoßen Sie die Implementierung an.
		Das Top-Management treibt die Implementierung der Nachhaltigkeitsstrategie konsequent voran.	
F2	Strategie: Inwiefern werden in Ihrem Unternehmen Nachhaltigkeitskennzahlen kurzzyklisch (z. B. täglich, wöchentlich) in der Regelkommunikation (z. B. Produktionsrunde oder Shop Floor Management) überprüft und Maßnahmen abgeleitet?	Es sind keine Nachhaltigkeitskennzahlen hinsichtlich Klimaneutralität bekannt z. B. Energieverbrauch, CO ₂ -Emissionen, Wasserverbrauch, Abfallaufkommen.	Einhergehend mit der Formulierung der Strategie und den Zielen, definieren Sie die richtigen Kennzahlen zur Messung der Wirksamkeit Ihrer getroffenen Nachhaltigkeitsmaßnahmen. Die Identifikation der geeigneten Maßnahmen kann eine Herausforderung darstellen. Versuchen Sie sich auf möglichst wenige prägnante Indikatoren zu konzentrieren, die Sie idealerweise aus bereits bestehenden Berichtssystemen ableiten können.
		Es sind konkrete Kennzahlen zur Messung der Wirksamkeit von Nachhaltigkeitsmaßnahmen definiert. Hierzu werden jedoch noch keine Daten erhoben.	Je detaillierter Daten aus einzelnen Bereichen zur Verfügung stehen, desto genauer kann verursachergerecht auch Verantwortung zugeteilt und Verbesserung messbar gemacht werden. Wenn die von Ihnen festgelegten Kennzahlen sich nicht aus bestehenden Berichten ableiten lassen, legen Sie die grundlegende Messmethodik fest. Nutzen Sie zum Beispiel existierende Messtechnik wie analoge oder digitale Meter. Integrieren Sie die Kennzahlenerfassung und Überwachung in Ihr bestehendes Berichtssystem z.B. Shop Floor Management.
		Die relevanten Kennzahlen sind bekannt und die zugehörigen Daten werden erhoben und sind transparent.	Wenn Sie die Messmethodik und die Kennzahlen definiert haben, sowie diese mit Ihrer Strategie verknüpft haben, erarbeiten Sie einen groben Implementierungsplan. Wählen Sie anhand der ermittelten Kennzahlen die energieintensiven Prozesse und/ oder "low hangig fruits" als erste Umsetzungsprojekte für die Anwendung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen aus. Setzen Sie dabei auf die zügige Umsetzung erster "Leuchtturmprojekte", welche das spätere Rollout vereinfachen. Berichten Sie Ihre Kennzahlen innerhalb und außerhalb des Unternehmens in Form eines Nachhaltigkeitsberichts. Dadurch steigern Sie den Markenwert und die Attraktivität Ihres Unternehmens z. B. als Arbeitgeber. Halten Sie sich bei der Berichterstattung an gültige Normen und Standards.
		Die Wirksamkeit von Nachhaltigkeitsmaßnahmen kann anhand der erhobenen Kennzahlen gemessen und zugeordnet werden. Es findet eine Berichterstattung sowohl intern als auch extern statt.	

F3	<p>Maschineneffektivität: Inwieweit werden in Ihrem Unternehmen strukturierte Methoden zur Reduzierung von Störzeiten und zur Steigerung der Anlagenverfügbarkeit wie z. B. die Total Productive Maintenance Methode (TPM) genutzt? Erklärung: TPM steht für Total Productive Maintenance. Genau wie bei der Methode des Lean Managements, ist in der Literatur keine einheitliche Definition für TPM zu finden. TPM ist ein strukturierter Ansatz zur Minimierung von Prozess-/Anlagenstörungen. Der Ansatz eignet sich gut, um Störungen und dessen Umweltauswirkungen zu bewerten. Vereinfacht betrachtet, hat jede Störung eine negative Umweltauswirkung unterschiedlicher Intensität.</p>	<p>Mir sind keine Methoden in dieser Richtung bekannt.</p>	<p>Als ersten Schritt zur Anwendung von TPM ist es wichtig, dass Sie die Hauptprobleme von Maschinen und Anlagen erfassen. Ziel ist es, die Zuverlässigkeit und Effizienz der Anlagen zu erhöhen. Definieren Sie Schadklassen (z. B. Störungsauswirkungen auf Kunden, interne Störungsauswirkung, Umweltauswirkung, etc.), die Ihnen dabei helfen die Anlagenstörungen zu priorisieren. Um TPM zur Verbesserung der Umweltbilanz zu nutzen, erfassen Sie nicht nur die Anlagenverfügbarkeit (Overall Equipment Efficiency - OEE) sondern auch die Energieverbräuche und Energieeffizienz einer Anlage.</p>
		<p>Probleme an Maschinen und Anlagen werden erfasst und über Schadklassen priorisiert. Eine Bewertung der Störungsauswirkung auf die Umwelt findet statt.</p>	<p>Versetzen Sie die Maschinenbediener in die Lage, die Probleme an Anlagen eigenständig zu beheben. Schulen Sie die Bediener mit grundlegenden Instandhaltungskompetenzen. So schaffen Sie es Stillstandszeiten zu verkürzen und ihr Instandhaltungsteam zu entlasten. Definieren Sie ein Abschaltverhalten für Anlagen und dessen Peripheriegeräte. Beziehen Sie auch die Kontrolle von Medienverbräuchen (z. B. Druckluftleckagen) mit in Ihre Checklisten ein.</p>
		<p>Die Maschinenbediener sind in der Lage, Störungen und Stillstände von Anlagen eigenständig zu beheben und somit eine autonome Instandhaltung zu gewährleisten. Darüber hinaus sind Abschaltvorgaben für Anlagen und Peripheriegeräte definiert und die Bediener halten sich an diese.</p>	<p>Definieren Sie ein Experten-Team für Instandhaltung und befähigen Sie dieses vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen durchführen zu können. Beauftragen Sie das Team Instandhaltungsmaßnahmen in festgelegten Abständen oder nach vorgeschriebenen Kriterien durchzuführen. Um noch eine weitere Ausbaustufe von TPM zu erreichen, erhöhen Sie den Digitalisierungsgrad Ihrer Fertigung und rüsten Sie Ihre Anlagen mit Sensortechnologie aus um zustandsorientierte Instandhaltung durchführen zu können.</p>
		<p>Es existiert ein Team speziell Ausgebildeter Instandhaltungsmitarbeiter, die präventive Instandhaltungsmaßnahmen in festgelegten Abständen oder nach vorgeschriebenen Kriterien durchführen (z. B. Betriebsstunden, produzierte Menge). Eine weitere Steigerung ist die prädiktive Instandhaltung anhand von erfassten Maschinenzuständen, durch den Einsatz moderner Sensortechnologie.</p>	
F4	<p>Materialeffizienz: Wie hoch ist die Transparenz, die Sie über Ihre Materialverschwendungen haben? Vermeiden Sie konsequent die Verschwendungsart "Überproduktion" aus dem Lean Management? Hinweis: Dass der reduzierte Einsatz von Ressourcen besser für die Umwelt ist, lässt sich mit einer einfachen Gleichung aufzeigen. Werden weniger Ressourcen benötigt, fällt weniger Energie bei der Gewinnung, Umwandlung, Transport oder Entsorgung von Ressourcen, Materialien oder Produkten an.</p>	<p>Mir ist in unserem Unternehmen keine Kennzahl zu Material- und Ressourceneffizienz wie z. B. Materialbeständen oder Durchlaufzeiten bekannt.</p>	<p>Die Erhöhung der Transparenz über Ihre Material- und Ressourceneffizienz bringt mehrere Vorteile mit sich. Zum einen steigt die Planungssicherheit hinsichtlich zu beschaffender Materialien und es wird nur das bestellt, was auch wirklich benötigt wird. Zum anderen sind Materialbestände ein perfekter Schleier für Ineffizienzen und Probleme. Schaffen Sie Transparenz über Ihre Bestände und Verbräuche, um einen Startpunkt zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu haben. Dies schaffen Sie am besten durch den Einsatz einer Stoffstromanalyse.</p>
		<p>Es herrscht Transparenz über die Materialbestände und -verbräuche. Die Transparenz wird anhand von Stoffstromanalysen festgestellt. Materialkosten und Materialverluste sind nicht aufgeführt.</p>	<p>Wenn Sie Ihre Stoffströme in Form von Materialmengen sowie Material- und Energieverbräuchen kennen, ist der nächste Schritt diese monetär zu quantifizieren. Setzen Sie dafür ein möglichst interdisziplinäres Team aus Einkauf, Logistik, Produktion, Qualität, etc. zusammen. Stellen Sie den Input und Output für jeden Prozessschritt in Form von Menge und Euro dar. Fügen Sie neben Materialkosten weitere Kosten für z. B. den Prozess, die Energie oder die Entsorgung hinzu. Als Ergebnis der Stoffstromanalyse und Materialflusskostenrechnung liegen Ihnen die Einsparpotenziale vor. Kategorisieren und priorisieren Sie diese sinnvoll.</p>
		<p>Neben einer Stoffstromanalyse wird auch eine Materialflusskostenrechnung durchgeführt. Es erfolgt eine monetäre Erfassung der tatsächlichen Verlustkosten. Einsparpotenziale werden kategorisiert und priorisiert.</p>	<p>Nachdem Sie die Einsparpotenziale kategorisiert und priorisiert haben, gilt es die Verschwendungen zu reduzieren und die Einsparungen zu heben. Arbeiten Sie dafür notwendige Maßnahmen aus. Führen Sie eine finanzielle Bewertung der Maßnahmen durch. Überführen Sie die Maßnahmen in ein Projekt (z. B. Projektstrukturplan) und erstellen Sie eine Roadmap (z. B. Gantt Diagramm).</p>
		<p>Zu den Ergebnissen der Stoffstromanalyse und Materialflusskostenrechnung werden Maßnahmen definiert und dessen Umsetzung wird in einer Projekt Roadmap geplant.</p>	

F5	Materialeffizienz: Vermeiden Sie Over-Engineering in der Produktentwicklung, um eine möglichst hohe Materialeffizienz zu erreichen? Vermeiden Sie Over-Processing in der Produktion und nutzen ein fertigungsgerechtes Produktdesign?	Das Thema Over-Engineering spielt in unserem Unternehmen keine Rolle. Entwickelt wird lieber mit einem großem Sicherheitsfaktor und Toleranzen sind nach "altem" Brauch des Maschinenbaus im Millimeterbereich.	Eine Überdimensionierung Ihrer Produkte führt zwangsläufig zu hohen Herstellkosten sowohl im Einkauf als auch in Ihrer eigenen Produktion. Nur ein geringer Teil des eingesetzten Materials ist tatsächlich erforderlich, um die Kundenanforderungen zu erfüllen. Dieses Missverhältnis bezeichnet man als Materialineffizienz. Diese Ineffizienz kann dazu führen, dass Sie Marktanteile verlieren, da Ihre Preise im Vergleich zur Konkurrenz höher sind. Nutzen Sie nur so viel Material und nur so viel Sicherheit, wie der Kunde bereit ist zu bezahlen.
		Man hat erkannt, dass das aktuelle Produktportfolio in vielerlei Hinsicht überdimensioniert ist. Produktfunktionen liegen oft über den Anforderungen des Kunden. Dies führt zu hohen Herstellkosten. Design for Manufacturing (Produktionsgerechtes Produktdesign) ist bei uns nicht bekannt.	Bewerten und verstehen Sie die Anforderungen Ihrer Kunden bestmöglich. Dies ist die entscheidende Eingangsgröße für Ihre Produktentwicklung. Achten Sie darüber hinaus darauf, dass Ihre Produkte leicht herzustellen sind.
		Es wird nach Möglichkeit darauf geachtet nicht über den Kundenanforderungen zu entwickeln. Es wird versucht ein fertigungsgerechtes Produktdesign zu gewährleisten.	Versuchen Sie die Anforderungen Ihrer Kunden im Detail zu ermitteln und zu verstehen. Entwickeln Sie Ihre Produkte so exakt wie möglich an den Spezifikationen Ihrer Kunden. Hier gilt die Devise "so wenig wie möglich, so viel wie nötig". Achten Sie darauf Wandstärken und Verbindungen auf ein Minimum zu reduzieren. Fertigungstoleranzen sollten angemessen niedrig formuliert werden, um hohe Herstellkosten zu vermeiden.
		Kundenanforderungen sind im Detail bekannt und verstanden. Produkte werden so exakt an den Spezifikationen des Kunden entwickelt wie möglich. Materialdimensionierung wie z. B. Wandstärken oder Verbindungen werden auf ein Minimum reduziert. Fertigungstoleranzen sind angemessen niedrig formuliert, um eine günstige Fertigung zu gewährleisten.	
F6	Instandhaltbarkeit im Lebenszyklus: Inwiefern wird die Instandhaltbarkeit Ihrer Produkte bereits in der Produktentwicklungsphase berücksichtigt?	Die Instandhaltbarkeit spielt bei uns keine Rolle.	Versuchen Sie bereits in der Produktentwicklungsphase Ihr Produkt so zu gestalten, dass Komponenten austauschbar sind. Selbst wenn sich dies nicht für alle Teile realisieren lässt, designen Sie die Hauptkomponenten oder diese mit dem höchsten Umwelteinfluss austauschbar.
		Einige Komponenten können ausgetauscht werden. Dies ist für den Verbraucher meist nicht wirtschaftlich, weshalb sich eher für die Entsorgung und den Neukauf entschieden wird.	Versuchen Sie bereits in der Produktentwicklungsphase den Aufwand für den Austausch von Hauptkomponenten oder Teile mit hohem Umwelteinfluss möglichst gering zu halten.
		Bereits in der Produktentwicklungsphase wird darauf geachtet, dass Hauptkomponenten und Komponenten mit hohem Umwelteinfluss ohne viel Aufwand ausgetauscht werden können.	Erhöhen Sie den Anteil an austauschbaren Komponenten. Versuche Sie alle Teile austauschbar zu gestalten. Damit Nutzer die Teile nicht entsorgen, sondern reparieren, ist es wichtig, dass die Teile möglichst einfach auszutauschen sind. Ohne, dass ein Servicetechniker erforderlich ist. Veröffentlichen Sie zum Beispiel Reparaturanleitungen auf Ihrer Unternehmenswebseite. Geben Sie den Nutzern außerdem die Möglichkeit Feedback zu der Gerätereparatur zu geben. So wird die Instandhaltbarkeit Stück für Stück besser und es wird der MVP-Methode aus dem Lean Management gefolgt.
		Alle Komponenten müssen möglichst einfach austauschbar sein, ohne dass z. B. ein Servicetechniker/ eine Servicestelle aufgesucht werden muss. Dazu stehen detaillierte Anleitungen auf der Unternehmenswebseite zur Verfügung.	
F7	Recyclebarkeit im Lebenszyklus: Inwiefern wird bereits in der Produktentwicklungsphase die Recyclebarkeit des eingesetzten Materials	Die Recyclebarkeit von Materialien spielt bei uns keine Rolle.	Versuchen Sie nach Möglichkeit Material einzusetzen was wieder verwendet werden kann oder vielleicht sogar bereits wiederverwendet wurde. Nutzen Sie recycelte Kunststoffe, Holz oder Metall statt neues. Neben wirtschaftlichen Vorteilen kann dies Ihre Reputation erhöhen und als Marketinginstrument genutzt werden.
		Bereits in der Produktentwicklungsphase wird nach Möglichkeit recyclebares oder bereits recyceltes Material genutzt.	Wenn Sie neue Produkte entwickeln, achten Sie darauf den Anteil an recycelten oder recyclebaren Materialien möglichst hochzuhalten. Damit schaffen Sie den ersten Schritt in Richtung einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft Ihrer Produkte.

	berücksichtigt?	Es wird ausschließlich recyclebares und recyceltes Material eingesetzt. Das eingesetzte Material lässt sich aufgrund der Materialeigenschaften allerdings nicht immer zu 100% recyceln.	Die höchste Ausbaustufe ist die Anwendung des Cradle-to-Cradle Prinzips, in dem 100% Ihres eingesetzten Materials wiederverwendet werden kann. Fordern Sie in Ihrer Produktentwicklung die Wiederverwendbarkeit von eingesetztem Material als ein Muss-Kriterium bei der Materialauswahl ein.
		Material wird nach dem Cradle-to-Cradle Prinzip ausgewählt. Die 100% Recyclebarkeit ist in der Produktentwicklung ein Muss-Kriterium bei der Materialauswahl. Damit alle Komponenten am Ende des Lebenszyklus wiederverwendet werden können.	
F8	Energieeffizienz: Inwiefern herrscht in Ihrem Unternehmen Transparenz über den Energieverbrauch Ihrer Prozesse, Infrastruktur und Zulieferkette?	Es existieren keine Zahlen zu Energieverbräuchen.	Entscheiden Sie, wie viel Transparenz Sie über Ihre Energieverbräuche brauchen und was wirtschaftlich sinnvoll ist. Konzentrieren Sie sich im ersten Schritt auf die Messung des Energieverbrauchs der Hauptverbraucher. Rüsten Sie diese mit geeigneter Messtechnik aus.
		Einige Hauptverbraucher sind mit Messgeräten wie z. B. digitalen Metern (Smart Metern) ausgestattet. Energieverbräuche werden erfasst und dokumentiert.	Versuchen Sie Ihre Hauptverbraucher flächendeckend mit Smart Metern auszurüsten. Erfassen Sie sowohl den Verbrauch von Maschinen und Anlagen als auch den Verbrauch von Infrastruktur. Allein die Erfassung der Verbrauchswerte führt noch nicht zu einem Mehrwert oder mehr Nachhaltigkeit. Erfassen Sie die Werte nicht nur sondern dokumentieren Sie diese in digitaler Form und z. B. auch durch das Shop Floor Management. Ermitteln Sie die Verursacher der höchsten Verbräuche. Leiten Sie aus den ermittelten Werten die richtigen Nachhaltigkeitsmaßnahmen ab.
		Alle Hauptverbraucher sind mit Smart Metern ausgerüstet. Der Verbrauch von Produktionsprozessen und Infrastruktur ist bekannt und es werden Maßnahmen zur Verbrauchsreduzierung abgeleitet.	Die Wertstrommethoden aus dem Lean Management kann hervorragend genutzt werden, um kostengünstig Transparenz hinsichtlich Energieverbrauch zu erzeugen. Das Vorgehen zum Erstellen eines sogenannten Energiewertstroms ähnelt dabei der klassischen Wertstromanalyse. Nehmen Sie neben den Produktionsdaten auch Energiedaten pro Prozessschritt auf.
		Die Energiewertstrommethode wird genutzt, um Energieverbräuche über den gesamten Wertstrom zu erfassen und Maßnahmen abzuleiten. Hierzu zählt auch die Lieferkette in Richtung Kunde und Lieferant.	
F9	Energieeffizienz: Inwiefern existiert in Ihrem Unternehmen ein Energiemanagement um Effizienzverluste und -potenziale erkennen und heben zu können.	Nein, es existiert kein Energiemanagement.	Eine einfache Möglichkeit, um Ihre Energieeffizienz langfristig zu steigern und die CO ₂ -Emissionen zu senken ist der Einsatz von erneuerbaren Energien. Prüfen Sie, ob Sie "grünen" Strom von Ihrem Versorger beziehen können oder ob z. B. die Errichtung einer Photovoltaikanlage auf Ihrem Gelände möglich ist.
		Es werden erneuerbare Energien eingesetzt, um selbst Energie zu erzeugen.	Es ist eine Herausforderung die Produktion an den Schwankungen der erneuerbaren Energien auszurichten. Prüfen Sie, ob der Einsatz von Energiespeichern für Sie infrage kommt, um Schwankungen auszugleichen. Somit erhöhen Sie die Flexibilität der Nutzung Ihrer selbst gewonnenen Energie.
		Es existieren Energiespeicher, wodurch die Flexibilität der Energienutzung steigt. So können Schwankungen in den erneuerbaren Energien überbrückt werden.	Eine weitere Möglichkeit, um die Energieeffizienz zu steigern ist die sogenannte Energieflexibilisierung. Dies bedeutet, Sie passen Ihre Produktion und somit auch Ihren Energiebedarf den aktuellen Strompreisen an. Führen Sie energieintensive Produktionsverfahren nur dann aus, wenn die Strompreise an der Strompreisbörse niedrig sind.
		Es wird die sogenannte Energieflexibilisierung genutzt, in der die Produktion und somit der Energiebedarf, sich an den aktuellen Strompreisen ausrichten. Energieintensive Vorgänge werden z.B. nur durchgeführt, wenn Strompreise niedrig sind.	

F10	Energiemanagement: Inwiefern ist Ihr Unternehmen nach einer gültigen Norm zu Energie- und/ oder Umweltmanagement zertifiziert?	Nein, ist nicht vorhanden und nicht angestrebt.	Die Zertifizierung nach gültigen Normen kann für Sie zu diversen Vorteilen führen. Neben den Einsparungen für Energiekosten, eröffnen sich dadurch gegebenenfalls auch neue Marktchancen und Steuererleichterungen. Halten Sie sich für die Zertifizierung an die Inhalte der jeweiligen Organisation oder Norm. Dies kann zum Beispiel die ISO 14001 oder auch die ISO 50001 sein. Die ISO 50001 empfiehlt den PDCA-Zyklus zur Implementierung der Instrumente zum Erreichen des Standards und zur Umsetzung der Maßnahmen. Als eine erste Maßnahme können Sie zum Beispiel einen Energiebeauftragten oder Energieteam benennen, welches den Aufbau einer Energiemanagement-Organisation vorantreibt.
		Ein Energieteam oder ein Energiebeauftragter ist benannt und verantwortet den Aufbau einer Energiemanagement-Organisation.	Ermitteln Sie weitere Schritte um eine Zertifizierung nach ISO 14001 und/ oder ISO 50001 zu erlangen. Planen Sie die Zertifizierung systematisch und strukturiert. Beide Normen ähneln in der Struktur den ISO-Managementsystemnormen wie z. B. der ISO 9001 und lassen sich ohne Schwierigkeiten in diese Systeme integrieren.
		ISO 14001 oder ISO 50001 zertifiziert	Ermitteln Sie welche Vorteile für Ihr Unternehmen entstehen, wenn Sie sowohl ISO 14001 als auch ISO 50001 zertifiziert sind.
		ISO 14001 und ISO 50001 zertifiziert	
F11	Energiemanagement: Inwiefern nutzen Sie den kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) um Ihre Energie oder Emissionseinsparpotenziale zu finden und zu heben? Erklärung: Diese Methode stammt aus dem Lean Management. Im Zentrum steht die Einbeziehung und das Wissen Ihrer Mitarbeiter.	Der Ansatz des kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) wird gar nicht bzw. nur im Lean-Kontext genutzt.	Nutzen Sie die Vorteile des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP). Dieser ist in einem Großteil der weltweiten Industrie bereits gelebter Standard. Denn niemand kennt die Prozesse und damit auch die Ineffizienzen und schlummernden Verbesserungspotenziale besser, als die Menschen die täglich in diesen Prozessen arbeiten. Bauen Sie eine Brücke zwischen dem Lean Management, den Energiemanagern und den Umweltverantwortlichen, sodass eine Regelkommunikation stattfindet. Integrieren Sie Nachhaltigkeitskennzahlen oder Energieverbräuche in das Shop Floor Management.
		Lean Manager und KVP-Koordinatoren sind eng mit den Umweltverantwortlichen und Energiemanagern vernetzt. Nachhaltigkeitskennzahlen werden am Shop Floor Board abgefragt.	Integrieren Sie in das bestehende KVP-System auch Verbesserungsvorschläge hinsichtlich Energieersparnis. Motivieren Sie Ihre Belegschaft nicht nur Verbesserungsvorschläge zu Prozessverbesserungen einzureichen, sondern auch welche zu Energieeinsparungen.
		Verbesserungsvorschläge hinsichtlich Energieersparnis sind in das bestehende KVP-System integriert bzw. werden strukturiert bewertet und beantwortet.	Beziehen Sie die Mitarbeiter aus den operativen Bereichen möglichst eng mit ein. So stellen Sie sicher, dass neue Ideen und Verhaltensänderung zu Tragen kommen.
		Die Umsetzung von Verbesserungsvorschlägen und die Förderung von Verhaltensänderungen wird in die Hände der operativen Mitarbeiter gegeben.	

5.4 Anforderungen zur Digitalisierung des Leitfadens

Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist ein Leitfaden, bestehend aus 30 Fragen, 120 Antworten, 120 Maßnahmen und einer Reifegradbewertung. Das Ergebnis ist in tabellarischer Form in Abschnitt 5.3 dargestellt. Des Weiteren wurde in dieser Arbeit ein auf Excel basierender Prototyp zur Benutzer-Abfrage entwickelt. Dafür wurde eine verschachtelte WENN-Funktion genutzt. Hier ein Ausschnitt der Funktion:

```
=WENN(Abfrage!G6=1;Abfrage!I6:I8;WENN(Abfrage!G7=1;Abfrage!I7:I8;WENN(Abfrage!G8=1;Abfrage!I8;)))
```

Solange der Benutzer sich an die Eingaberegeln in der „Anleitung“ des Excel-Prototypen hält, ist die Funktionsfähigkeit zuverlässig. Im Layout und der Formatierung besteht Optimierungspotenzial. Um eine möglichst nutzerfreundliche Anwendung des Leitfadens zu realisieren, wird eine Überführung in eine App angestrebt. Die Überführung selbst ist nicht Inhalt der Arbeit. Durch diesen Abschnitt soll die Überführung des Leitfadens in eine geeignete App vorbereitet werden. Daher werden nachfolgend die Anforderungen an die App in Form einer Anforderungsliste beschrieben.

Anforderungen des Leitfaden-Entwicklers:

- Die in dieser Arbeit vorgesehene Abfragelogik muss technisch in die App überführt werden können. Die App muss diese Abfragelogik abbilden können.
- Speicherung der Nutzerdaten (Name, Vorname, E-Mailadresse, Unternehmen, Funktion) und Abfrage einer Datenschutzerklärung, um rechtlich korrekt zu handeln.
- Speicherung der Antworten in einem Standarddatenformat (z.B. CSV oder Excel), um anschließende Auswertungen durchführen zu können.
- Die Maßnahmen sollen als Fließtext in einem vorgefertigten Template angezeigt werden.
- Zu jeder Antwort gehört eine Reifegrad-Einstufung. Die Summe der Reifegrad Punkte pro Themenfeld soll in dem Leitfaden als Ergebnis angezeigt werden.

Anforderungen des Nutzers:

- Webbasierter Zugriff auf den Fragebogen, um ihn von überall aus durchführen zu können.
- Kostenloser Zugriff auf den Fragebogen.
- Eine Vorabanleitung angezeigt bekommen, um zu verstehen, wie die Befragung vom Nutzer durchzuführen ist.
- Übersicht der Themenfelder, um einen Gesamtüberblick zu haben.
- Überblick über die Anzahl der Fragen.
- Übersicht über den Fortschritt der Befragung, um zu sehen wie viele Fragen noch vor einem liegen und wie viele bereits beantwortet wurden.
- Die Möglichkeit haben zu einer vorherigen Frage zurückspringen zu können, um die Antwort zu ändern.
- Keine zeitliche Begrenzung, um alle Fragen in Ruhe beantworten zu können.
- Zum Ende der Befragung den Leitfaden als pdf-Datei erhalten, um ihn einsetzen zu können.

6 Schlussbetrachtung

6.1 Fazit

In dieser Arbeit wurde untersucht, wie Lean Management und Digitalisierung eingesetzt werden können, um den Wandel zu einer klimafreundlichen Industrie zu unterstützen. Um dies umfassend zu bewerten ist ein einheitliches Verständnis des aktuellen wissenschaftlichen Sachstands erforderlich. Dies erfolgte in Abschnitt 2 für Lean Management und Digitalisierung. Für Lean Management lässt sich zusammenfassend feststellen, dass sich die Grundprinzipien seit Prägung des Begriffs Lean Management in den 90er Jahren, kaum verändert haben. Im Mittelpunkt steht die Vermeidung von Verschwendung nach den sieben Verschwendungsarten. Hinzu kommt die Anwendung von bestimmten Prinzipien (Lean-Prinzipien), die in der Literatur leicht variieren. In dieser Arbeit wurden die wichtigsten Lean-Prinzipien identifiziert und beschrieben. Des Weiteren wurde der Begriff Digitalisierung – im industriellen Umfeld auch bekannt unter dem Begriff Industrie 4.0 – untersucht. Es handelt sich dabei um ein junges und umfangreiches Themenfeld. Auch Unternehmen haben Schwierigkeiten mit der Komplexität des Themenfeldes. Armin Roth hat in seinem Buch „Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0“ die Komplexität in der sogenannten „Automatisierungspyramide“ strukturiert und in den Kontext einer Unternehmensorganisation gesetzt. Dies war bereits ein großer Schritt zur Schaffung eines einheitlichen Verständnisses des Themenkomplexes. Dennoch fehlten ein einheitliches Wording und das Verständnis für das Zusammenwirken der einzelnen Technologien. Daher wurde mit dem Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) der Plattform Industrie 4.0, ein weiteres Werkzeug zu Handhabung der Komplexität geschaffen. Zwei wesentliche Elemente in der Industrie 4.0 sind der Mensch und die IT-Sicherheit. Da sich dazu weder in der Automatisierungspyramide noch im RAMI 4.0. hinreichend beschäftigt wird, wurden diese in Abschnitt 2.2.6 und 2.2.7 thematisiert. Damit wurden die Grundlagen zu den Themenfeldern Lean Management und Digitalisierung geschaffen.

Das übergeordnete Ziel der EU-Kommission ist es, die EU als ersten Kontinenten der Welt, bis 2050 klimaneutral zu machen. Dafür wurde in Abschnitt 3 der European Green

Deal und die Klimaziele der EU-Kommission erläutert und analysiert. Um das übergeordnete Ziel bis 2050 zu erreichen, wurden für 2030 mehrere Etappenziele festgelegt. Diese sind nachfolgend in komprimierter Form aufgeführt:

- Verschärfung des bestehenden EU-Emissionshandelssystems durch Kürzung der Emissionsrechte um 61% im Vergleich zu 2005.
- Ausweitung des Emissionshandels auf Verkehr und Gebäude durch Besserstellung der Nutzung klimafreundlicher Kraftstoffe im Straßenverkehr oder beim Heizen.
- Strengere CO₂-Grenzwerte für Fahrzeuge durch Einführung von CO₂-Flottengrenzwerten für Hersteller und ab 2035 nur noch Neuzulassungen emissionsfreier Neuwagen.
- Einführung eines CO₂-Grenzausgleichsmechanismus ab 2026 zur Stärkung energieintensiver europäischer Unternehmen.
- Finanzierung der Klimaschutzmaßnahmen und sozialer Ausgleich durch Verwendung der Einnahmen des Emissionshandels im Klimasozialfonds. Die Laufzeit geht von 2027 bis 2032 und die Höhe beträgt 59 Milliarden Euro.
- Nationale Treibhausgasminderungsziele und Landschaftsschutz durch Einsparung von 310 Millionen Tonnen CO₂ bis 2030 unter Einsatz künstlicher und natürlicher Senken.
- Ausbau erneuerbarer Energien: bis 2030 beziehen alle EU-Mitgliedsstaaten 40% der Energie aus erneuerbaren Quellen.
- Steigerung der Energieeffizienz durch Einführung der Energieeffizienzrichtlinie.

Damit wurden durch Abschnitt 3, die EU-Klimaziele aufgeschlüsselt und eine weitere wichtige Grundlage für diese Arbeit geschaffen. Um nun die Wechselwirkung zwischen Lean Management, Digitalisierung und Klimaneutralität bewerten zu können wurden die drei Themenfelder in Abschnitt 4 zusammengeführt. Es wurde untersucht wie Lean Management und Digitalisierung eingesetzt werden können, um Klimaneutralität zu unterstützen. Der Kern des Lean Managements ist die konsequente Reduzierung von Verschwendungen, um Werte zu schaffen. Verschwendungen sind hierbei alle nicht wertschöpfenden Tätigkeiten. Wertschöpfend wiederum ist all das, wofür der Kunde

bereit ist zu zahlen. Reduziert man konsequent die Verschwendungen in Produktionsprozessen steigert man dadurch die Material- und Ressourceneffizienz. Werden weniger Ressourcen benötigt, fällt weniger Energie bei Gewinnung, Umwandlung, Transport und Entsorgung der entsprechenden Ressourcen, Materialien oder Produkte an. Für das Themenfeld Lean Management ist die positive Umweltauswirkung leicht nachzuvollziehen. In der Praxis wird diesem positiven Zusammenhang bisher jedoch nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Anders verhält es sich mit dem Themenfeld der Digitalisierung. Die Aufmerksamkeit ist seit Jahren hoch und die Kehrseite der Digitalisierung findet hingegen nur wenig Beachtung. Es ist richtig, dass Digitalisierung die Verwirklichung von Nachhaltigkeitszielen und die Optimierung bestehender Prozesse stark unterstützen kann. Die Digitalisierung trägt gleichzeitig, erheblich zur globalen Klima- und Umweltbelastung bei. Denn digitale Technologien benötigen Daten- und Rechenzentren und diese wiederum verbrauchen große Mengen Energie. Eine ganzheitliche Bewertung ist hierbei aufgrund der Komplexität nur eingeschränkt möglich. In der Wissenschaft herrscht Uneinigkeit über die Umweltauswirkung von der Digitalisierung. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Lean Management eine überwiegend positive Auswirkung auf den Energieverbrauch hat und bei der Digitalisierung Uneinigkeit über die Umweltauswirkung herrscht. Damit wurde die Auswirkung von Lean Management und Digitalisierung auf Klimaneutralität untersucht und das Ziel 1 der Arbeit erreicht.

Um einen möglichst hohen Praxisbeitrag zu leisten, wurde sich in dieser Arbeit zum Ziel gesetzt, Unternehmen in der Umsetzung der EU-Klimaziele unter Anwendung von Lean Management und Digitalisierung zu unterstützen. So münden die Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchung in einem Leitfaden für Entscheidungsträger in produzierenden Unternehmen. Der Leitfaden ist dynamisch und liefert benutzerspezifische Ergebnisse in Form von Maßnahmen. Dafür füllt der Benutzer einen digitalen Fragebogen aus. Als Ergebnis der Befragung erhält er einen individuellen Leitfaden mit spezifischen Maßnahmen zu den drei Themenfeldern. Somit wurde in Abschnitt 5 ein Leitfaden zum Erreichen der EU-Klimaziele unter Anwendung von Lean Management und Digitalisierung entwickelt und damit das Ziel 2 dieser Arbeit erreicht.

Durch das Erreichen der Ziele dieser Arbeit wurde schrittweise untersucht und dargestellt wie Lean Management und Digitalisierung den Wandel zu einer klimafreundlichen Industrie unterstützen können. Damit wurde die wissenschaftliche Fragestellung dieser Arbeit beantwortet.

6.2 Kritische Würdigung

Keine Allgemeingültigkeit

In der produzierenden Industrie in Deutschland herrscht eine große Branchenvielfalt. Das bedeutet es werden viele unterschiedliche Produkte in nochmals unterschiedlichen und nicht miteinander vergleichbaren Prozessen hergestellt. Die Erkenntnisse dieser Arbeit und auch der Leitfaden sind nicht für jede Art von Branche gleichermaßen geeignet. In der Prozessindustrie beispielsweise, trägt der Einsatz von Digitalisierung vermutlich besser zur Klimaneutralität bei als der Einsatz von Lean Management. Die Arbeit hat nicht zum Ziel in perfektionistischer Art und Weise, für jede Branche und jede Prozessvariation eine exakt passende Antwort parat zu haben. Sie dient vielmehr dazu auf die Wechselwirkung der Themenfelder aufmerksam zu machen und ruft dazu auf diese in Zeiten den Klimawandels stärker zu berücksichtigen.

Fehlende statistische Analyse

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine qualitative und nicht um eine quantitative Untersuchung. Die Ergebnisse scheinen bei oberflächlicher Betrachtung und unter Nutzung vereinfachter Vergleiche als richtig. Dennoch wurde keine empirische Untersuchung durchgeführt und das Ergebnis der Arbeit konnte nicht statistisch bewiesen werden. Die wesentliche Ursache dafür liegt bei den fehlenden statischen Daten.

Eingeschränkte Gültigkeit

Der technologische und gesellschaftliche Wandel der Industrielandschaft ist enorm und besonders in den vergangenen Jahren geprägt von Volatilität. Daher erhebt diese Arbeit keinen Anspruch auf uneingeschränkte Gültigkeit. Es gibt Marktsituationen, für die eine stumpfe Anwendung von Lean Management und Digitalisierung falsch sein kann. Besonders in Zeiten der Corona-Pandemie und der Energiekrise kann es sogar zum Nachteil sein, Lean Management und Digitalisierung anzuwenden. Heute sind z. B.

Materialbestände die Versicherungspolice einiger Unternehmen und die Energie für den Einsatz von digitalen Geräten ist erheblich teurer als vor Krisenzeiten. Dennoch ist heute der richtige Zeitpunkt, um dem Thema mehr Aufmerksamkeit zu schenken. Der richtige Einsatz bewährter Methoden kann dabei helfen den derzeitigen Krisen zu begegnen.

6.3 Ausblick

Statistische Untersuchung

Der Einsatz bekannter Methoden wie Lean Management und Digitalisierung können einen entscheidenden Beitrag zum Erreichen der Klimaziele leisten. Auch in der Wissenschaft erhält das Thema „Lean, Green, Digital“ immer mehr an Aufmerksamkeit. Dennoch haben erst wenige Unternehmen das Potenzial erkannt und verfolgen eine konsequente Anwendung der Methoden. Die vorliegende Arbeit bietet einen guten Ausgangspunkt für weitere wissenschaftliche Untersuchungen auf statistischer Basis, um wissenschaftliche belastbare Beweise zu schaffen. Dazu kann zum Beispiel folgende oder ähnliche Hypothesen formuliert werden: „Der konsequente Einsatz von Lean Management führt zu weniger Energieverbrauch“. Diese sollten anschließend durch eine Datenerhebung und einen Hypothesentest getestet werden. Auch der Einsatz einer Korrelationsanalyse zwischen dem Einsatz von Lean Management und dem Energieverbrauch, durch eine Umfrage oder der Nutzung vorliegender Studien kann sinnvoll sein. Die Arbeit soll nicht zwangsläufig dazu aufrufen umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen zu starten. Vielmehr geht es darum ein Bewusstsein für die positiven, sowie die negativen Umweltauswirkungen von Lean Management und Digitalisierung zu schaffen.

Überführung des Leitfadens in eine App

Der in dieser Arbeit entwickelte Leitfaden kann dabei unterstützen das Potenzial von Lean Management und Digitalisierung zu nutzen, um klimaneutral zu werden. Dafür ist eine möglichst benutzerfreundliche Anwendung des Leitfadens, sowie der Abfrage erforderlich. Bisher liegt der Leitfaden in Excel-Form vor und die Benutzerfreundlichkeit ist nicht für einen großflächigen Einsatz geeignet. Im nächsten Schritt sollte eine

Digitalisierung des Leitfadens durch eine Überführung in eine App erfolgen. Dies wurde in Abschnitt 5.4 bereits vorbereitet.

7 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Abgrenzung der Themenfelder (eigene Darstellung).....	2
Abbildung 2: Abgrenzung der Arbeit über den Produktlebenszyklus (eigene Darstellung) 4	
Abbildung 3: Die Automatisierungspyramide der industriellen Fertigung (Roth, 2016, S. 49) 17	
Abbildung 4: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) (Plattform Industrie 4.0, 2022)	20
Abbildung 5: RAMI 4.0 Informationsebene der Hierarchie-Achse (ZVEI, 2022) ..	21
Abbildung 6: RAMI 4.0 Architektur-Achse (Plattform Industrie 4.0, 2022)	22
Abbildung 7: RAMI 4.0 Kommunikationsschicht (Plattform Industrie 4.0, 2022) ...	22
Abbildung 8: Wärmste Jahre weltweit seit Beginn der Messung bis 2021 (Statista, 2022) 31	
Abbildung 9: Anomalien der globalen durchschnittlichen Kontinental-Temperaturen bis 2021 (Statista, 2022)	32
Abbildung 10: Gletscherrückgänge weltweit bis 2021 (in mm) (Statista, 2022)	32
Abbildung 11: CO ₂ -Ausstoß weltweit bis 2021 (Statista, 2022)	33
Abbildung 12: CO ₂ -Ausstoß weltweit nach Ländern 2021 (Statista, 2022)	34
Abbildung 13: Treibhausgas - Pro-Kopf-Emissionen nach Ländern weltweit 2020 (Statista, 2022)	34
Abbildung 14: Die 10 der am meisten von Naturkatastrophen betroffenen Länder 1999- 2019 (Statista, 2022)	35
Abbildung 15: Gefährdetste Länder für Naturkatastrophen laut Weltrisikoindex 2021 (Statista, 2022)	35
Abbildung 16: Erwartete Ergebnisse des Programms Horizon Europe (Europäische Kommission, 2022).....	43

Abbildung 17: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent) (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2022)	52
Abbildung 18: Logikmodell zur Befragung (eigene Darstellung)	57
Abbildung 19: Exemplarische Reifegradbewertung (eigene Darstellung).....	58

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Merkmale und Kriterien der ersten bis dritten industriellen Revolution (Andelfinger & Hänisch, 2017, S. 41)	14
Tabelle 2: Begriffliche Abgrenzung (eigene Darstellung).....	56
Tabelle 3: Leitfaden zum Themenfeld Lean Management.....	62
Tabelle 4: Leitfaden zum Themenfeld Digitalisierung	66
Tabelle 5: Leitfaden zum Themenfeld Klimaneutralität	71

9 Literaturverzeichnis

Andelfinger, V., & Hänisch, T. (2017). *Industrie 4.0 - Wie cyber-physische Systeme*. Wiesbaden: Springer Gabler.

Bertagnolli, F. (2020). *Lean Management*. Wiesbaden: Springer Gabler.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (14. 11 2022). Von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/schwerpunktstudie-digitalisierung-energieeffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=12 abgerufen

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (23. 10 2022). Von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2022/06/20220629-energie-und-umweltraete-stellen-die-weichen-fuer-eine-klimaneutrale-europaeische-wirtschaft.html> abgerufen

Dombrowski, U., & Krenkel, P. (2021). *Ganzheitliches Produktionsmanagement*. Berlin: Springer Vieweg.

Europäische Kommission. (01. September 2022). Von https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/political-guidelines-next-commission_de.pdf abgerufen

Europäische Kommission. (01. September 2022). Von https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de#thematicareas abgerufen

Europäische Kommission. (02. September 2022). Von https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_2350 abgerufen

Europäische Kommission. (02. September 2022). Von <file:///C:/Users/schendel/Downloads/KI0320710DEN.de.pdf> abgerufen

Europäische Kommission. (02. September 2022). Von https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_de abgerufen

Gorecki, P., & Pautsch, P. (2014). *Praxishandbuch Lean Management*. München: Hanser.

Hänggi, R., Fimpel, A., & Siegenthaler, R. (2021). *LEAN Production – einfach und umfassend*. Stuttgart: Springer Vieweg.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (04. 10 2022). Von <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/glossary/> abgerufen

Plattform Industrie 4.0. (08. August 2022). Von <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html> abgerufen

Plattform Industrie 4.0. (31. August 2022). Von <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Infografiken/referenzarchitekturmodell-4-0.html> abgerufen

Plattform Industrie 4.0. (31. August 2022). Von https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.pdf?__blob=publicationFile&v=7 abgerufen

Plattform Industrie 4.0. (27. September 2022). Von <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Leitbild-2030-f%C3%BCr-Industrie-4.0.html> abgerufen

Reichert, D., Cito, C., & Barjasic, I. (2018). *Lean & Green: Best Practice*. Wiesbaden: Springer Gabler.

Roth, A. (2016). *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*. Heidelberg: Springer Gabler.

Statista. (14. 10 2022). Von <https://de.statista.com/statistik/studie/id/41248/dokument/klimawandel/> abgerufen

Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T., & ten Hompel, M. (2017). *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 4*. Berlin: Springer Vieweg.

Wikipedia. (27. Juli 2022). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Prinzip> abgerufen

Wikipedia. (31. August 2022). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Digitalisierung> abgerufen

ZVEI. (27. September 2022). *youtube.com*. Von <https://www.youtube.com/watch?v=fFIQ2o-5QLo> abgerufen



Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Schendell

Vorname: Maximilian

dass ich die vorliegende Masterarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Lean Management und Digitalisierung als Instrumente zur Umsetzung einer klimaneutralen Industrie.

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Ort

Datum

Unterschrift im Original