

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Entwicklung eines Umweltmanagementkonzeptes nach ISO 14000 für die Pilotfabrik Industrie 4.0

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. rer. soc. oec. Selim Erol

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Katharina Schmid

01027156 (066 482)

Steinmüllergasse 41

1160 Wien

Wien, im August 2018

Katharina Schmid



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im August 2018

Katharina Schmid

Danksagung

Anfänglich möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während des Erstellens dieser Arbeit stets unterstützt und motiviert haben.

Ein großer Dank gilt dem Institut für Managementwissenschaften für die Bereitstellung dieses äußerst interessanten Themas meiner Diplomarbeit. Mein besonderer Dank richtet sich an Herrn Dr. Selim Erol, für seine hervorragende akademische Betreuung und seinen Einsatz. Vor allem möchte ich mich für die rasche und hervorragende Kommunikation mit Herrn Dr. Selim Erol, gerade in der Anfangsphase, bedanken.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Freunden bedanken. Sie haben mich während des ganzen Studiums unterstützt und mir ein besonders schönes Umfeld neben dem Unialltag geschaffen.

Der größte Dank richtet sich an meine Familie. Ganz besonders an meine Eltern, meine Schwester und meinen Lebensgefährten, welche mich über all die Jahre stets unterstützt haben, mich in schweren Zeiten motiviert haben und mir während des gesamten Studiums Freiraum zur Selbstentfaltung gegeben haben. Dieser familiäre Rückhalt, gemeinsam mit meiner Motivation, hat einen sehr großen Beitrag für den Erfolg dieses Studiums beigetragen.

Kurzfassung

In den letzten Jahren haben Umweltbewusstsein und nachhaltiges Handeln einen immer größeren Stellenwert in Industrieländern eingenommen und Konsumenten achten immer mehr auf Umweltverträglichkeit der Produkte. Einerseits sind Käufer oftmals bereit einen höheren Preis für Produkte zu bezahlen, wenn sie diese als (ökologisch) nachhaltig empfinden und andererseits Produkte, welche ihren Ansprüchen an Umwelt und Nachhaltigkeit nicht entsprechen, zu substituieren. Unternehmen stehen somit vor der Herausforderung diese (neuen) Kundenbedürfnisse zu befriedigen und rasch und flexibel zu agieren.

Weiters wurde im Jahr 2011 Industrie 4.0 als Zukunftsprojekt im Rahmen der Hightech-Strategie erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt. Laut *Acatech - die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften* sind Ziele von Industrie 4.0 eine Schaffung von neuen Formen der intelligenten Produktionstechnik, eine Optimierung von Produkten der Automatisierungstechnik und eine intelligente Gestaltung von Produktion, Engineering und Produktionsumfeld. Allerdings wurde in ihrem Abschlussbericht „*Industrie 4.0 Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*“ die Sicherstellung der Nachhaltigkeit und Umwelt nur teilweise erwähnt.

Um diese bestehende Lücke zu schließen, wird in dieser Arbeit die Verbindung von Industrie 4.0 mit Umweltmanagementsystemen erforscht. Einerseits werden mögliche Auswirkungen von Industrie 4.0 Merkmalen und modernen Technologien auf Umweltmanagementsysteme und deren Anforderungen betrachtet und andererseits wird nach Chancen zur Effizienz- und Effektivitätssteigerung von Umweltmanagementsystemen durch moderne Technologien geforscht. Um diese Fragen zu beantworten wurde im ersten Schritt eine explorative Literaturrecherche durchgeführt. Als nächstes haben leitfadengestützte Experteninterviews stattgefunden und die Ergebnisse wurden mit jenen aus der Literaturrecherche verglichen. In einem weiteren Schritt wurde der Bezug zur Praxis geschaffen, in dem eine Erstellung eines Umweltmanagementkonzeptes für die TU Wien Pilotfabrik stattgefunden hat.

Sowohl Literaturrecherche, als auch Experteninterviews haben ergeben, dass sich Industrie 4.0 und Umweltmanagement sehr gut verbinden lassen könnten und dadurch viele positive Auswirkungen auf die (ökologische) Nachhaltigkeit entstehen würden. Weiters konnten Möglichkeiten zur Effizienz- und Effektivitätssteigerung herausgefunden werden. Es konnte gezeigt werden, dass in Zeiten von Industrie 4.0 vor allem Anforderungen an Flexibilität, Datensicherheit, Risikoabschätzung, Mitarbeiterschulung und an das Feststellen der Erfordernisse und Erwartungen interessanter Parteien für Umweltmanagementsysteme entstehen könnten. Die gewonnenen Ergebnisse konnten in dem Umweltmanagementkonzept für die TU Wien Pilotfabrik umgesetzt werden.

Abstract

In recent years, environmental awareness and sustainable action have become increasingly important in industrialized countries, and consumers are increasingly paying attention to the environmental compatibility of their products. On the one hand, buyers are often willing to pay a higher price for products if they feel that they are sustainable (ecological) and, on the other hand, substitute products that do not meet their environmental and sustainability standards. Enterprises are therefore faced with the challenge of satisfying these (new) customer needs and acting quickly and flexibly.

In addition, Industry 4.0 was presented to the public for the first time in 2011 as a future project in the context of the high-tech strategy. According to *Acatech - die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften*, the goals of Industry 4.0 are the creation of new forms of intelligent production technology, an optimization of automation technology products and an intelligent design of production, engineering and production environment. However, in its final report *„Industrie 4.0 Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“*, the assurance of sustainability and the environment was only partially mentioned.

To close this gap, this dissertation explores the connection between Industry 4.0 and environmental management systems. On the one hand, possible effects of Industry 4.0 characteristics and modern technologies on environmental management systems and their requirements are considered, and on the other hand, opportunities for increasing the efficiency and effectiveness of environmental management systems by using modern technologies are being researched. In order to answer these questions, an explorative literature search was carried out in the first step. Next, guideline-based expert interviews took place and the results were compared with those from the literature review. In a further step, the relationship to practice has been established, in which an environmental management concept for the Pilotfabrik was created.

Both, literature research and expert interviews strongly indicate that Industry 4.0 and environmental management could be very well combined and that many positive effects on (ecological) sustainability would arise. Furthermore, possibilities for increasing efficiency and effectiveness could be discovered. It could be shown that in times of Industry 4.0, requirements for flexibility, data security, risk assessment, employee training and the identification of the requirements and expectations of interesting parties for environmental management systems could arise. The results were translated into the environmental management concept for the TU Wien Pilotfabrik.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Allgemeine Einleitung in das Themenfeld.....	2
1.2	Forschungsfragen und Ziele	3
1.3	Aufbau und Struktur der Arbeit	4
2	Theoretischer Hintergrund	6
2.1	Entwicklungsgeschichte und Verknüpfung nachhaltiger Entwicklung und Umweltmanagement	6
2.2	Nachhaltigkeitsmanagement	9
2.2.1	Corporate Social Responsibility	12
2.3	Umweltmanagement.....	13
2.3.1	Definition Umweltmanagement	13
2.3.2	Umweltmanagementsysteme.....	15
2.3.3	Umweltleistungsbewertung	21
2.4	Industrie 4.0.....	24
2.4.1	Definition und Ziele Industrie 4.0.....	24
2.4.2	Terminologie Industrie 4.0	25
2.4.3	Industrielle Revolutionen.....	27
2.5	Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit	29
3	Auswirkungen der Industrie 4.0 auf die Anforderungen eines Umweltmanagementsystems.....	31
3.1	Vorgehensweise	31
3.1.1	Vorgehensweise explorative Literaturanalyse.....	31
3.1.2	Vorgehensweise Experteninterviews	33
3.2	Grundlegende Anforderungen aus der ISO 14001	38
3.3	Analyse der Auswirkungen	39
3.3.1	Phasenübergreifende Auswirkungen	39
3.3.2	Auswirkungen auf die Bestimmung des Kontextes der Organisation	43
3.3.3	Auswirkungen auf die Bestimmung der Umweltpolitik.....	46
3.3.4	Auswirkungen auf die Phase der Planung	49
3.3.5	Auswirkungen auf die Phase des Betriebs.....	53

3.3.6	Auswirkungen auf die Phase der Leistungsbewertung	57
3.3.7	Auswirkungen auf die Phase der Verbesserung	59
3.3.8	Auswirkungen auf die Unterstützung für die einzelnen Phasen	60
3.4	Zusammenfassung	63
4	Entwicklung eines Umweltmanagementkonzeptes für die Pilotfabrik der TU Wien 74	
4.1	3D- Drucker und Nachhaltigkeit.....	74
4.2	Ziele und Nutzungskonzept der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0.....	76
4.3	Kontext der Organisation.....	78
4.4	Umweltpolitik und Verantwortung	79
4.5	Bestimmung und Bewertung von Umweltaspekten	81
4.5.1	Erhebung des IST-Zustandes	81
4.5.2	Bestimmung bedeutender Umweltaspekte	84
4.6	Bestimmung von Umweltzielen	84
4.7	Umweltleistungsbewertung.....	85
4.7.1	Planen.....	85
4.7.2	Umsetzen/ Do	93
4.7.3	Überprüfung/ Check und Handeln/ Act	102
4.8	Zusammenfassung	103
5	Diskussion und Ausblick	105
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	105
5.2	Grenzen der Arbeit	107
5.3	Ausblick	107
6	Literaturverzeichnis	108
7	Abbildungsverzeichnis	115
8	Tabellenverzeichnis	116
9	Abkürzungsverzeichnis	117

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Einleitung in das Themenfeld

In den letzten Jahren konnte in der Bevölkerung in hochentwickelten Ländern ein deutlicher Anstieg des Interesses im Bereich der Nachhaltigkeit gemessen werden. Dies wird beispielsweise durch den Werteindex (Index, der gesellschaftliche Werte nach Bedeutung in der Bevölkerung reiht) der letzten Jahre verdeutlicht: 2009 und 2012 war der Wert Nachhaltigkeit am Beispiel Deutschland noch nicht in den Top 10 zu finden. Seit 2014 ist dieser allerdings stets unter den ersten Zehn Plätzen und ist laut dem Marktforschungsunternehmen Kantar TNS für 2018 auf Platz 9.¹

Nachhaltiges Handeln, „*die Bedürfnisse der Gegenwart zu befriedigen ohne zu riskieren, dass die Bedürfnisse künftiger Generationen nicht befriedigt werden können*“², spielt eine immer wichtiger werdende Rolle. Um diese Bedürfnisse zu decken, werden Ressourcen, welche eine ökonomische, ökologische und soziale Komponente haben, benötigt. Hierbei fallen Energieverbrauch, Emissionen, Transport, Abfall und Ressourcenverbrauch in die ökologische und Wirtschaftsentwicklung, Produktivität, Unternehmertum, Innovation und Investition in die ökonomische Komponente. Zur sozialen werden Beschäftigung, Bildung, Einkommensverteilung, Zugang zu digitalen Services und Arbeitsbedingungen gezählt. Laut dem *Verein Deutscher Ingenieure VDI*, ist der Verbrauch an Rohstoffen und Energie ursächlich für viele globale Umwelt- und Nachhaltigkeitsprobleme. Hierzu werden Klimawandel, die Emission von Schadstoffen in der Umwelt, aber auch lokale und regionale Umweltfolgen des Abbaus von Rohstoffen gezählt.³

Weiters steigt das Interesse an der vierten industriellen Revolution, welche unter dem Schlagwort *Industrie 4.0* bekannt ist. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen Industrieunternehmen ständig Produkt-, Produktions- und Logistikanpassungen an die momentane Marktsituation durchführen. Es kommt zum Einsatz von intelligenter Sensorik und Aktorik, Verflechtung von physischer und digitaler Welt, Anwendung von Big Data, u.Ä. mit dem Ziel eine intelligente Wertschöpfungskette aufzubauen.³

Der *Verein Deutscher Ingenieure* erwähnt, dass durch diese digitale Transformation neue Möglichkeiten zur Steigerung der Ressourceneffizienz entstehen könnten. Somit könnte diese einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit, sowie dem Erreichen von Umweltzielen der Organisationen beitragen.³

¹ (Kantar TNS, 2017)

² (The World Commission on Environment and Development, 1987)

³ (VDI ZRE, 2017)

Umweltmanagementsysteme unterstützen Organisationen dabei, diese Ziele zu erreichen. Umweltvorschriften müssen in Form von Gesetzen, Verordnungen und Genehmigungen eingehalten werden und Umweltauswirkungen aller Produkte, Tätigkeiten und Dienstleistungen des Unternehmens sind zu analysieren und zu bewerten.⁴

Diese Arbeit befasst sich einerseits mit dem momentanen Stand der Verbindung von Umweltmanagementsystemen mit Industrie 4.0 und deren Auswirkungen, andererseits liefert sie ein Konzept für ein Umweltmanagementsystem einer Industrie 4.0 Organisation: *Umweltmanagementsystem 4.0*.

1.2 Forschungsfragen und Ziele

Aktuell ist die Verknüpfung von Industrie 4.0 und Umweltmanagementsystemen noch kaum erforscht. Im Zuge dieser Diplomarbeit wird eine Analyse und Zusammenfassung von ausgewählter Literatur zum Thema *Umweltmanagementsysteme in Zeiten von Industrie 4.0* durchgeführt. In einer explorativen Literaturanalyse wird erforscht, ob Industrie 4.0 und Umweltmanagementsysteme bereits zusammen betrachtet werden und welche Konsequenzen dies hat. Zusätzlich zur Literaturanalyse werden Experteninterviews geführt. Dadurch wird einerseits Literatur analysiert und andererseits wird dank der Experteninterviews die momentane Situation in Industrie und in Organisationen wiedergegeben. Ziel ist es folgende Forschungsfragen zu beantworten:

- *Ob und in welcher Form können Industrie 4.0 und Umweltmanagement verbunden werden und welche Auswirkungen hat dies in Bezug auf Nachhaltigkeit?*
- *Welche Anforderungen an ein modernes Umweltmanagement in Zeiten zunehmender Digitalisierung, Industrie 4.0, gibt es bzw. welche Auswirkungen hat Industrie 4.0 auf Umweltmanagementsysteme? Welchen Anforderungen sehen sich Industrieunternehmen gegenüber?*
- *Wie können moderne Technologien und Methoden (z.B.: Cyber-Physische Systeme, Big Data,...) das Umweltmanagement effektiver und effizienter machen?*

Die Ergebnisse der explorativen Literaturrecherche und der Experteninterviews werden verwendet um ein Umweltmanagementkonzept für die Pilotfabrik der TU Wien zu erstellen. Hier ist das Ziel ein Umweltmanagementkonzept zu erarbeiten, welches moderne Technologien verwendet, effizient und effektiv ist und mit welchem die TU Wien Pilotfabrik als ein Best Practice Beispiel für Industrie 4.0 und Umweltmanagement vorangehen kann.

⁴ (Förtsch & Meinholz, 2011)

Alle Ergebnisse, Daten, Methoden, Annahmen und Grenzen der Diplomarbeit werden transparent und mit ausreichender Ausführlichkeit dargelegt. Ziel ist es, dem Leser zu ermöglichen Komplexität und Wechselwirkungen von Industrie 4.0 in Verbindung mit Umweltmanagementsystemen zu verstehen.

1.3 Aufbau und Struktur der Arbeit

Diese Arbeit ist in fünf Abschnitte unterteilt, welche in einer logischen Nachfolge gereiht sind.

Als Beginn dieser Arbeit werden in **Kapitel 1, Einleitung**, eine allgemeine Einleitung gegeben, die Problemstellung identifiziert und daraus Forschungsfragen und Forschungsziele abgeleitet.

Um dem Leser einen bestmöglichen Einstieg in das Thema Umweltmanagementsysteme in Zeiten von Industrie 4.0 zu gewährleisten, wird in **Kapitel 2** der *theoretische Hintergrund* bearbeitet. Beginnend mit der Entwicklungsgeschichte und Verknüpfung von nachhaltiger Entwicklung und Umweltmanagement, werden im Anschluss Nachhaltigkeitsmanagement, Umweltmanagement und Industrie 4.0 explizit betrachtet. Im letzten Unterkapitel dieses Blockes wird der aktuelle Stand von Industrie 4.0 in Verbindung mit Nachhaltigkeit betrachtet. Ziel dieses Kapitels ist es, dass einerseits das Verständnis für Umweltmanagementsysteme allgemein, vor allem ISO 14001 und EMAS, aber andererseits auch für Industrie 4.0 im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit und Umweltperformancemessungen größer wird.

In **Kapitel 3, Auswirkungen der Industrie 4.0 auf die Anforderungen eines Umweltmanagementsystems**, werden Auswirkungen der Industrie 4.0 auf die Anforderungen eines Umweltmanagementsystems erarbeitet. Hierfür werden die einzelnen Phasen eines Umweltmanagementsystems, nach ISO 14001, genauer betrachtet und Auswirkungen auf diese erarbeitet. Um dies zu erreichen, finden sowohl eine explorative Literaturrecherche, als auch Experteninterviews statt. Die leitfadengestützten Interviews werden mit sieben einschlägigen Experten dieses Gebiets durchgeführt, analysiert und eingearbeitet. Neben den Auswirkungen von moderner Technologie und Industrie 4.0 Merkmalen auf die einzelnen Phasen des Umweltmanagementsystems werden auch Stärken und Schwächen der ISO 14001 analysiert und Verbesserungsvorschläge gemacht. Ziel dieses Kapitels ist es die Forschungsfragen zu beantworten und eine Grundlage für die Entwicklung des Umweltmanagementkonzeptes für die TU Wien Pilotfabrik zu schaffen.

Im **Kapitel 4, Entwicklung eines Umweltmanagementkonzeptes für die Pilotfabrik der TU Wien**, wird aufbauend auf den Ergebnissen der explorativen Literaturrecherche und der Experteninterviews ein Umweltmanagementkonzeptes für die Pilotfabrik der TU Wien entwickelt. Ausgehend von dem Nutzungskonzept und den Zielen der TU

Wien Pilotfabrik werden Kontext, Umweltpolitik und Verantwortung der Pilotfabrik erarbeitet. Im nächsten Schritt der Konzepterarbeitung wird auf eine Erhebung des IST-Zustandes eingegangen, sowie bedeutende Umweltaspekte definiert. Darauf aufbauend werden mögliche Umweltziele der Pilotfabrik entwickelt. Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der Umweltleistungsbewertung und hierfür wird das Managementmodell „Planen-Umsetzen-Prüfen-Handeln (PDCA) angewendet. Als erster Schritt werden operative Leistungskennzahlen, Managementleistungskennzahlen und Umweltzustandsindikatoren definiert. Im Anschluss werden mögliche Datenquellen und Möglichkeiten zur Datenerfassung beschrieben.

Kapitel 5, Diskussion und Ausblick, fasst die Ergebnisse der Diplomarbeit zusammen, zeigt Grenzen dieser und gibt Empfehlungen für weiterführende Forschungen.

Abbildung 1 gibt die allgemeine Vorgehensweise wieder.

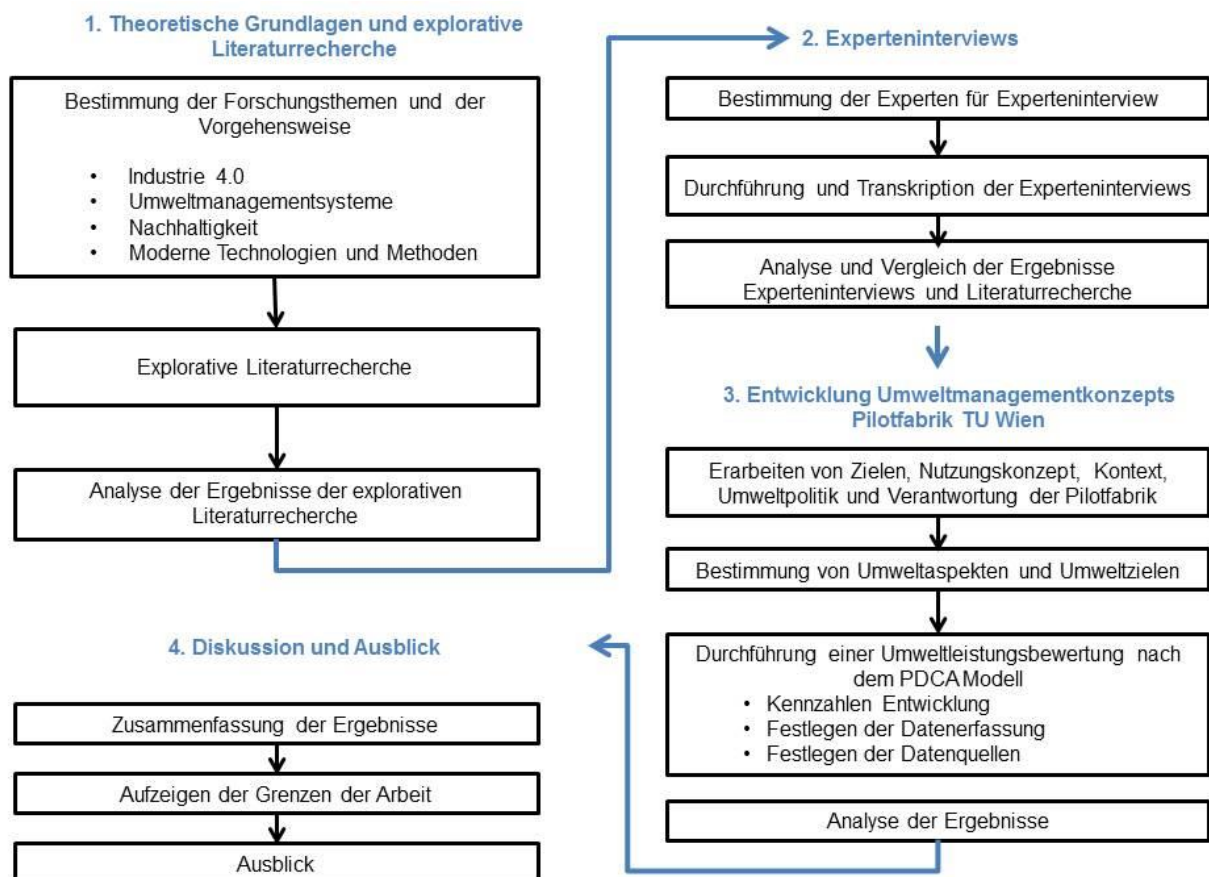


Abbildung 1: Allgemeine Vorgehensweise (eigene Darstellung)

2 Theoretischer Hintergrund

Dieses Kapitel bietet eine Einleitung in die Thematik von nachhaltiger Entwicklung, Umweltmanagement und Industrie 4.0. Zuerst wird die Entwicklungsgeschichte von Umweltmanagement beschrieben und es wird gezeigt, wie sich diese mit nachhaltiger Entwicklung verknüpfen lässt. Im nächsten Schritt wird Nachhaltigkeitsmanagement definiert und es wird erläutert wie sich umweltorientierte nachhaltige Entwicklung in Unternehmen umsetzen lässt. Weiters werden Umweltmanagementsysteme definiert und es wird auf deren Vorteile eingegangen. Anschließend wird ein Überblick über die ISO 14000 Reihe, die EMAS Verordnung gegeben und es werden diese miteinander verglichen. Als nächstes wird Umweltleistungsbewertung definiert und Umweltkennzahlen werden klassifiziert. Im letzten Teil dieses Kapitels erfolgt eine Einführung in das Thema Industrie 4.0. Es werden die historische Entwicklung von Industrie 4.0 sowie die Ziele dieser aufgezeigt. Weiters findet eine Definition von Industrie 4.0 statt und Terminologien werden erläutert. Abschließend wird ein Überblick von Industrie 4.0 in Verbindung mit Nachhaltigkeit gegeben.

2.1 Entwicklungsgeschichte und Verknüpfung nachhaltiger Entwicklung und Umweltmanagement

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts hat die Menschheit erkannt, dass sie mit ihrer Lebens- und Wirtschaftsweise die Umwelt stark belastet. In den 70er Jahren wurde begonnen die Erde als ein ganzheitliches Ökosystem zu betrachten und festgestellt, dass ihr Schutz eine globale Aufgabe ist. „*Only one Earth*“ lautete das Motto der ersten Umweltkonferenz der Vereinten Nationen, welche 1972 in Stockholm stattgefunden hat. Diese hat zum Resultat, dass das weltweite Umweltbewusstsein erwacht ist. Im selben Jahr erschien der Bericht an den Club of Rome „*Die Grenzen des Wachstums*“, welcher mit Hilfe mathematischer Berechnungen aufzeigte, dass die natürlichen Ressourcen beschränkt sind. Weiters machte der Bericht darauf aufmerksam, dass die Erde ein ständiges Bevölkerungs- und Produktionswachstum nicht tragen kann und die Menschen sparsamer mit den Ressourcen umgehen müssen. Wissenschaftler und Umweltverbände befassten sich seit Ende der 70er mit der Entstehung eines neuen wirtschaftlichen Leitbildes, welches als „*qualitatives Wachstum*“ bekannt wurde. 1983 wurde die WCED, Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, gegründet und 1987 veröffentlichte diese, vom norwegischen Ministerpräsidenten geleitet, den Abschlussbericht „*Our Common Future*“. Dieser Bericht prägte den Begriff *Sustainable Development* und zeigte Wege zu einer nachhaltigen Entwicklung. Bei der Konferenz für „*Umwelt und Entwicklung*“ der Vereinten Nationen wurden im Juni 1992 in Rio de Janeiro internationale politische Vereinbarungen für eine nachhaltige Entwicklung getroffen. Aus dieser Konferenz ging die Agenda 21 hervor, wel-

che von mehr als 170 Staaten unterzeichnet wurde. In dieser verpflichteten sich die Staaten den Übergang zu einer nachhaltigen Entwicklung nicht nur in Industriestaaten, sondern auch in Entwicklungsländern zu fördern. Somit wird Nachhaltigkeit als globales Ziel festgelegt. Die Agenda 21 hat hierfür Ziele und Maßnahmen definiert und es wurden alle Staaten aufgerufen nationale Aktionspläne und Strategien zu entwickeln. Hierbei stehen Umwelt und Mensch stets im Mittelpunkt. 2002 hat in Johannesburg der *Weltgipfel für Nachhaltige Entwicklung* stattgefunden, bei welchem die Verpflichtungen zur nachhaltigen Entwicklung erneuert wurden. Es konnte verhindert werden, dass eine Unterordnung der internationalen Umweltvereinbarung unter die Regeln der Welthandelsorganisation (WTO) stattgefunden hat. Weiters wurden die ökologische und die soziale Verantwortung der global handelnden Unternehmen als wichtiger Bestandteil der nachhaltigen Entwicklung anerkannt und gestärkt.⁵

2005 wurde das Kyoto-Protokoll beschlossen. Damit dieses in Kraft treten konnte, mussten 55 Staaten, welche mindestens 55% der CO₂-Emissionen der Industrieländer von 1990 ausmachten, das Protokoll unterzeichnen. Ausgenommen waren Indien, China und Entwicklungsländer die keine festen Vorgaben zu Mindestvereinbarungen haben. Sieben Jahre später, 2012, haben sich 194 Staaten bei der UN-Konferenz in Rio de Janeiro +20 zu einer weiteren Verpflichtungsperiode verpflichtet. 2013 wurde der *Climate Change Action Plan* für Amerika in einem Paper von Barack Obama beschrieben. Dieses hatte zum Ziel, klimaschädliche Gase zu reduzieren, eine international führende Rolle bei dem Entgegenwirken des Klimawandels einzunehmen und die USA auf Klimawandelauswirkungen vorzubereiten.^{6,7}

2015 hat in New York erneut ein Gipfeltreffen der Vereinten Nationen stattgefunden, welche die „Agenda 2030 für Nachhaltige Entwicklung“ beschlossen hat. Diese wurde von 193 Mitgliedsstaaten unterzeichnet, welche sich zu einer Umsetzung dieser, mit ihren 17 nachhaltigen Entwicklungszielen (Sustainable Development Goals, SDG), auf nationaler und internationaler Ebene verpflichteten. Die 17 Ziele berücksichtigen Wirtschaft, Soziales und Ökologie. Aus Sicht der ökologischen Umwelt ergeben sich folgende Ziele⁸:

- Sauberes Wasser und Sanitärversorgung
- Bezahlbare und saubere Energie
- Industrie, Innovation und Infrastruktur
- Nachhaltige Städte und Gemeinden
- Verantwortungsvolle Konsum- und Produktionsmuster

⁵ (Baumast & Pape, 2003)

⁶ (Dornhöfer, 2016)

⁷ (Vajda, 2016)

⁸ (Bundeskanzleramt, 2017)

- Maßnahmen zum Klimaschutz
- Leben unter Wasser
- Leben an Land

Weiters wurde 2015, bei der 21. UN-Klimakonferenz, das Klimaabkommen von Paris unterzeichnet. Dieses Abkommen hat die Verpflichtungen des Klimarahmenabkommens von Rio de Janeiro konkretisiert und verfolgt das Ziel, den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter 2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu halten, mit Anstrengungen diesen auf 1,5°C zu begrenzen. Österreich hat sich bis 2030 zu einer Reduktion der Treibhausgase von 40% gegenüber dem Basisjahr 1990 ausgesprochen.^{9,10}

Abbildung 2 zeigt eine Zeitachse der Nachhaltigkeit und des Umweltmanagements.

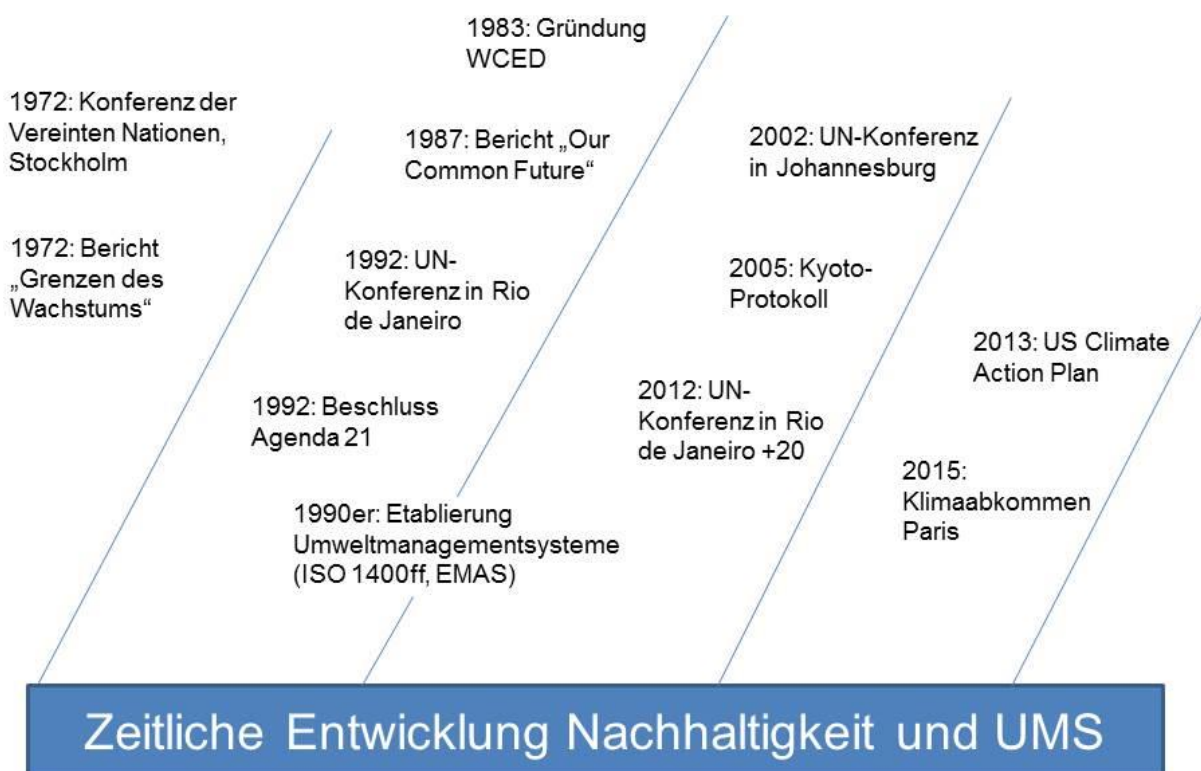


Abbildung 2: Zeitachse Nachhaltigkeit und UMS (eigene Darstellung)

⁹ (Hiltgartner, 2017)

¹⁰ (Dornhöfer, 2016)

Unterschiedliche Nachhaltigkeitsauffassungen der Mitgliedsstaaten erschwerten die Gestaltung nachhaltiger Entwicklung auf lokaler und regionaler Ebene. Es wird folgende, in Tabelle 1 ersichtlich, systematische Verzahnung von Nachhaltigkeitsentwicklung und Planungsmethoden empfohlen, welche einen guten Überblick über die Beiträge des Umweltmanagements zur Umsetzung nachhaltiger Entwicklung liefert.¹¹

Elemente zur Gestaltung nachhaltiger Entwicklungsprozesse	Elemente von Umweltmanagementsystemen
Leitbild nachhaltiger Entwicklung	Umweltpolitik
Umweltziele	Umweltziele, Umweltprogramm
Nachhaltigkeits-Indikatoren	Umweltkennzahlen
Nachhaltigkeits-Berichterstattung (Monitoring)	Umweltberichte, Umwelterklärungen/Umweltinformationen
Erfolgskontrollen (Evaluation)	Umweltbetriebsprüfungen

Tabelle 1: Beiträge des Umweltmanagements für eine Nachhaltige Entwicklung¹¹

2.2 Nachhaltigkeitsmanagement

Die Definition der World Commission on Environment and Development für nachhaltige Entwicklung lautet:¹²

“Sustainable Development meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”.

Auf Deutsch lautet diese: Nachhaltige Entwicklung befriedigt die Bedürfnisse der Gegenwart ohne zu riskieren, dass die Bedürfnisse künftiger Generationen nicht befriedigt werden können.

Brauweiler definiert Nachhaltigkeitsmanagement folgendermaßen:¹³

„Nachhaltigkeitsmanagement stellt ein methodisches Hilfsmittel dar, die unternehmerischen Nachhaltigkeitsmanagementaktivitäten in ein Gesamtkonzept zu überführen und dadurch zu systematisieren und zu strukturieren.“

Die Kernelemente des Nachhaltigkeitsmanagements sind¹⁴:

- Umweltmanagement
- Qualitätsmanagement
- Risikomanagement
- Wahrung von Anliegen der Mitarbeiter
- Sozial- und umweltverträgliche Ausrichtung der Lieferantenkette
- Betriebliche Informationssysteme

¹¹ (Baumast & Pape, 2003)

¹² (The World Commission on Environment and Development, 1987)

¹³ (Brauweiler, 2010)

¹⁴ (Schaltegger u. a., 2007)

- Bekämpfung von Korruption

Radke erwähnt in dem Buch *Nachhaltige Entwicklung*, dass das betriebswirtschaftliche Konzept der Nachhaltigkeit seinen Ursprung in der Forstwirtschaft hatte, welches eine langfristige Nutzung des Waldes als Ziel definiert hat. Als Hauptaufgabe wurde die Erhaltung bestimmter Stromgrößen gesehen, welche die wirtschaftliche Leistung des Waldes charakterisierten, es wurde von der Verwirklichung dynamischer Nachhaltigkeit gesprochen. Die Voraussetzung für dynamische Nachhaltigkeit war der Erhalt von Waldfläche und Holzvorrat (statische Nachhaltigkeit). Weiters wird erwähnt, dass sich auch in der Gegenwart der Nachhaltigkeitsgedanke in Unternehmen immer weiter verbreitet.¹⁵

Laut Meffert und Kirchgeorg benötigt es für die Umsetzung des Konzeptes einer nachhaltigen Entwicklung in einem Unternehmen drei Prinzipien, das Verantwortungsprinzip, das Kreislaufprinzip und das Kooperationsprinzip. Wird das Verantwortungsprinzip betrachtet, sollten Unternehmen die verfügbare Ressourcenbasis auch für zukünftige Generationen erhalten und nichtakzeptable Umweltauswirkungen sollten vermieden werden. Basis des Kreislaufprinzips ist die Vorstellung, dass ökonomische Prozesse im Sinne eines Kreislaufs abzubilden sind. Der Verminderung des Ressourcenbestands soll durch Wiederverwendung und –verwertung, sowie Weiterverwendung und –verwertung von Ressourcen entgegen gewirkt werden. Unternehmen sollten zusammenarbeiten um Vorteile wie überbetriebliches Recycling zu erzielen. Diese überbetrieblichen Kreisläufe lassen sich mit Hilfe des Kooperationsprinzips gestalten und es sollten Stoffkreisläufe über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes gesteuert werden. Möchten Unternehmen eine nachhaltige Entwicklung einführen, müssen sie das entsprechende Leitbild in ihre Unternehmenskultur und Strategie überführen. Hierfür sollte Umweltschutz als Führungsfunktion im Unternehmen integriert werden und Umweltkoordinaten sollten als Prozesspromotoren gemeinsam mit Macht- und Fachpromotoren funktionsübergreifende Innovationsprozesse einleiten und koordinieren.¹⁶

Verfolgen Unternehmen eine umweltorientierte nachhaltige Entwicklung, ergeben sich laut Schaltegger et al ökologische, soziale und ökonomische, sowie Integrationsherausforderungen. Die ökonomische Nachhaltigkeitsherausforderung hat als Ziel, durch eine wirtschaftliche Gestaltung von Umweltmanagement und Sozialmanagement ein möglichst gutes wirtschaftliches Ergebnis zu erreichen. Die Steigerung der Sozio-Effektivität zählt zu den sozialen Herausforderungen. Hierbei werden gesellschaftliche, kulturelle und individuelle soziale Ansprüche berücksichtigt. Zu diesen zählen unter anderem Gleichberechtigung, Arbeitsplatzsicherheit, Kinderarbeit, Ar-

¹⁵ (Radke, 2013)

¹⁶ (Meffert & Kirchgeorg, 1992)

beitsbedingungen, Gesetzestreue, Betriebsklima, Führungsstil im Unternehmen, Aus- und Weiterbildung, sowie kulturelles Engagement. Als ökologische Nachhaltigkeits-herausforderung wird die Steigerung der Öko-Effektivität gesehen, welche den Grad der absoluten Umweltverträglichkeit, nämlich wie gut das Ziel der Minimierung von Umwelteinwirkungen erreicht wurde, misst. Die Integrationsherausforderung befasst sich mit der Zusammenführung dieser drei Herausforderungen.¹⁷

Auch Förtsch und Meinholz schreiben, dass neben der ökonomischen Dimension bei einer umweltorientierten, nachhaltigen Unternehmensführung die ökologische, sowie die soziale Dimension betrachtet werden. Letztere lässt sich in Mitarbeiter und Umfeld unterteilen. Wollen Unternehmen über die ökonomische Dimension eine Veränderung in Richtung eines nachhaltigen wirtschaftlichen Verhaltens erreichen, müssen sie wirtschaftlich leistungsfähig sein. Auf der ökologischen Ebene spielen Umweltaspekte und deren Auswirkungen eine zentrale Rolle. Diese Belastungen sollen sowohl für Mensch, als auch für Umwelt allgemein dauerhaft reduziert werden. Weiters sind das Umfeld, hier vor allem Recht, Kunde und Gesellschaft, sowie die Mitarbeiter wichtige Aspekte in der umweltorientierten Unternehmensführung. Diese Dimension wird als soziale Dimension bezeichnet. Abbildung 3 zeigt die Dimensionen einer umweltorientierten, nachhaltigen Unternehmensführung.¹⁸

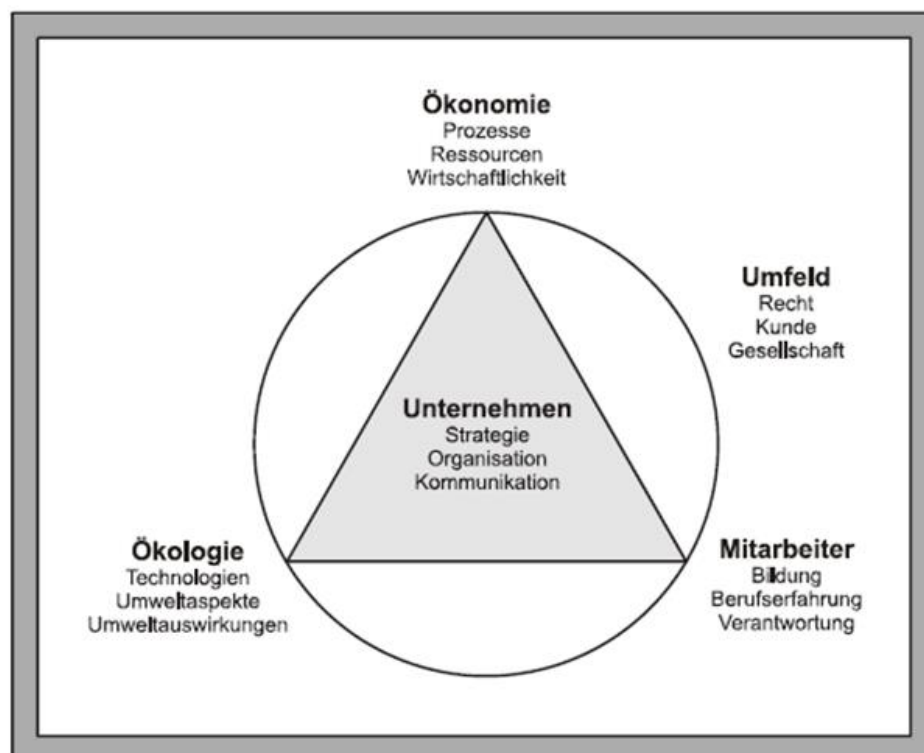


Abbildung 3: Dimensionen einer umweltorientierten, nachhaltigen Unternehmensführung¹⁸

¹⁷ (Schaltegger u. a., 2007)

¹⁸ (Förtsch & Meinholz, 2011)

2.2.1 Corporate Social Responsibility

Laut Schaltegger et al haben sich immer mehr Unternehmen in den letzten 15 Jahren mit Corporate Social Responsibility (CSR), unternehmerischer Nachhaltigkeit (Corporate Sustainability) und unternehmerischem Nachhaltigkeitsmanagement befasst. Unternehmen sollten ihre Aktivitäten so steuern, dass sie auf die, in *Kapitel 2.2 Nachhaltigkeitsmanagement*, drei Dimensionen nachhaltiger Unternehmensführung keinen negativen Einfluss haben. Außerdem sollten unternehmerische Aktivitäten einen positiven Einfluss auf eine nachhaltige Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft haben. Um den vier Nachhaltigkeitsforderungen (ökologische, ökonomische, soziale und integrative) gerecht zu werden existieren verschiedene Systeme/ Konzepte. Hierbei sind unter anderem das betriebliche Umweltinformationssystem, Nachhaltigkeitsmanagementsysteme, Qualitätsmanagementsysteme und CSR zu erwähnen. Die Europäische Union definiert, dass sich Corporate Social Responsibility mit der gesellschaftlichen Verantwortung von Unternehmen befasst, wobei ökologische und gesellschaftliche Dimensionen gleichberechtigt zu sehen sind. Unternehmen sollen soziale und ökologische Aspekte freiwillig in ihre Unternehmensstrategie integrieren. CSR wird oftmals auch mit Corporate Sustainability (unternehmerischer Nachhaltigkeit) umschrieben. Um den Beitrag der Unternehmen an einer nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft zu verbessern, sollte CSR in allen unternehmerischen Funktionsbereichen integriert werden und Teil des Nachhaltigkeitsmanagements werden. Eine Schwäche von CSR ist, dass nicht überprüft wird in wieweit die Selbstverpflichtungen umgesetzt werden. Schaltegger et al schlägt eine Konkretisierung von Grundsätzen und Leitbildern vor, in dem Standards geschaffen werden und CSR-Aktivitäten von Unternehmen in Nachhaltigkeitsberichten dokumentiert und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.¹⁹

Laut der Quelle *Corporate Social Responsibility* von Dubielzig und Schaltegger versuchen Unternehmen die sozialen und ökologischen Ansprüche durch eine freiwillige Integration von sozialen und umweltbezogenen Aspekten in ihre Unternehmenstätigkeit gerecht zu werden. Weiters können durch CSR Verantwortlichkeiten und Pflichten gegenüber Stakeholdern wahrgenommen werden und deren Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllt werden. Relevante Aspekte für die Einführung und Dokumentation von CSR sind:

- Menschenrechte
- Mitarbeiterrechte
- Standortverhalten
- Geschäftsverhalten
- Umweltschutz

¹⁹ (Schaltegger u. a., 2007)

Um diesen Aspekten gerecht zu werden, existieren verschiedene Methoden und Ansätze, wie z.B.: Sustainability Balanced Scorecard und Sustainability Reporting.²⁰

2.3 Umweltmanagement

2.3.1 Definition Umweltmanagement

In der Quelle *Handbuch Betriebliches Umweltmanagement* wird erwähnt, dass sich die Anforderungen des gesellschaftlichen Umfeldes an eine umweltorientierte, nachhaltige Unternehmensführung auch in Zukunft weiter verstärken werden. Unternehmen müssen jederzeit die Rechtsvorschriften zum Schutz von Mensch und Umwelt erfüllen, denn all ihre Tätigkeiten, Verfahren, Produkte und Dienstleistungen haben Auswirkungen auf die Umwelt. In einer Gesellschaft in der Individualität immer wichtiger und das Umweltbewusstsein der Gesellschaft immer stärker werden, verstärken sich dies Anforderungen an eine umweltorientierte, nachhaltige Unternehmensführung. Unternehmen sollten die Wünsche des Umfeldes rasch aufnehmen und in Strategien implementieren. Um dies zu erreichen sind alle Umweltaspekte zu ermitteln, dies sind Bestandteile der Tätigkeiten oder Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation, die in Wechselwirkung mit der Umwelt treten oder treten können. Laut der Definition nach ISO 14001 können Umweltaspekte eine oder mehrere Umweltauswirkungen verursachen. Folgende Umweltschutzbereiche sind für Umweltmanagement relevant:²¹

- Emissionen in die Luft
- Einleitungen in Gewässer
- Abfallwirtschaft
- Bodenkontaminationen
- Verbrauch von Rohstoffen und natürlichen Ressourcen
- Nutzung von Energie
- Örtliche Umwelt- und Gemeinschaftsbelange

Abbildung 4 zeigt die Systematik des Umweltmanagements einer Organisation. Es wird die Umweltpolitik der Organisation festgelegt und dafür werden Umweltziele definiert, welche intern und extern kommuniziert werden sollen. Diese orientieren sich an vorgegebenen Gesetzen und Verordnungen. Im nächsten Schritt ist eine Darstellung, Umsetzung und Messung der zuvor definierten Umweltziele vorgesehen. Dies kann mit Hilfe der ISO 14004 geschehen, welche als allgemeiner Leitfaden über Grundsätze, Systeme und unterstützende Methoden für Umweltmanagementsysteme gilt. Diese gliedert sich in die Bereiche Management-Handbuch, Betriebs-, Arbeits-

²⁰ (Dubielzig & Schaltegger, 2005)

²¹ (Förtsch & Meinholz, 2011)

und Verfahrens-Anweisungen, sowie Prozess-Beschreibungen. Im Anschluss soll ein Umweltmanagementsystem (UMS) eingeführt werden, welches eine Umsetzung, Kontrolle und Verbesserung der Umweltziele verfolgt. Dies kann mit Hilfe der internationalen Norm ISO 14001 oder der europäischen Norm EMAS III (Eco- Management- und Audit-System) geschehen. Die kontinuierliche Verbesserung des UMS geschieht durch die PDCA-Methode (Plan, Do, Check, Act) und es kann von einer Umweltprüfung gesprochen werden.²²

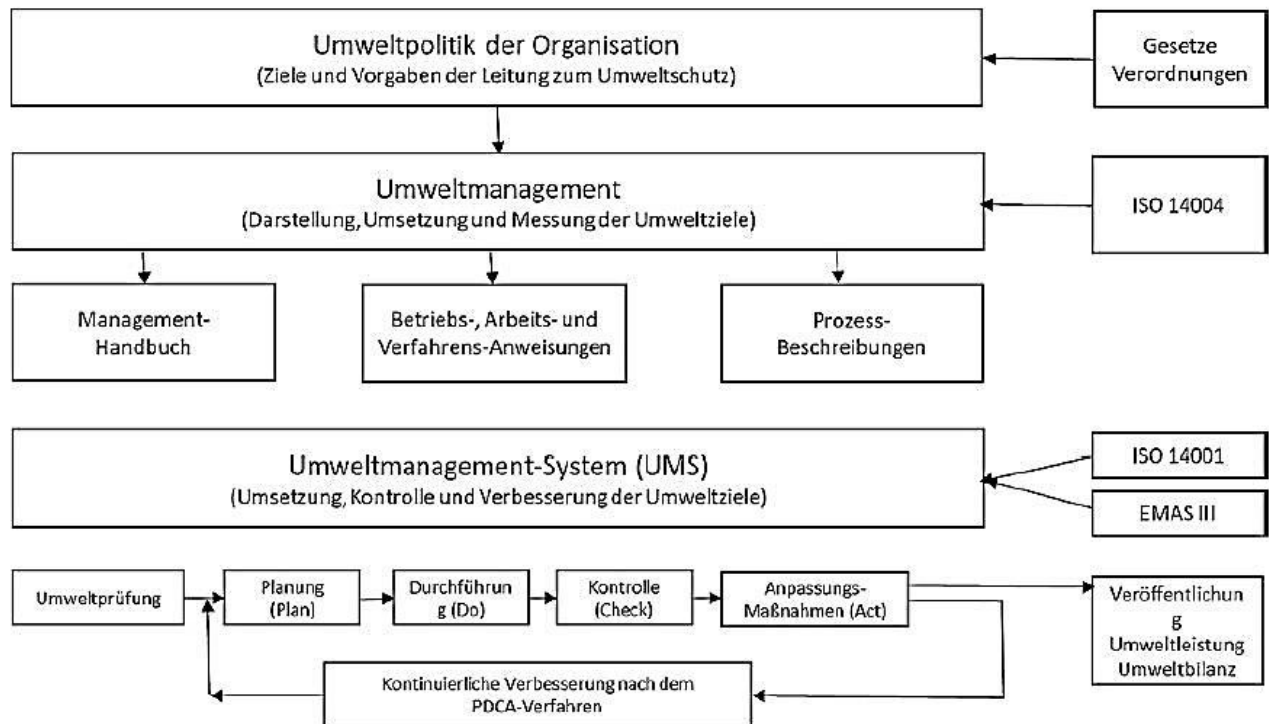


Abbildung 4: Aufbau Umweltmanagement in einer Organisation²²

Laut Förtsch und Meinholz ist zu erwähnen, dass gut ausgebildete Mitarbeiter unerlässlich für die Erreichung von Umweltzielen der Organisationen sind. Durch ein funktionierendes Umweltmanagement lassen sich Prozesse optimieren, sowie Ressourcen einsparen. Dadurch kann die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens erhöht und Umweltauswirkungen reduziert werden. Wird dies erreicht, kann von einer umweltorientierten, nachhaltigen Unternehmensführung gesprochen werden.²³

Umweltmanagement ist eine spezielle Form des Managements in einem Unternehmen oder einer Organisation, welches sich die ökologischen Aspekte und Auswirkungen des operativen Geschäftes bezieht. Laut Dyckhoff befasst sich Umweltmanagement mit allen sich auf die Umwelt bezogenen Aspekte der Unternehmensführung. Weiters wird erwähnt, dass der Begriff umweltorientierte Unternehmensführung

²² (Hering & Schulz, 2018)

²³ (Förtsch & Meinholz, 2011)

oft als Synonym für betriebliches Umweltmanagement verwendet wird. Nach Schaltegger et al kann Umweltmanagement als Teil des Nachhaltigkeitsmanagements gesehen werden.^{24,25}

2.3.2 Umweltmanagementsysteme

2.3.2.1 Definition, Entwicklung und Vorteile

Um eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung sicherzustellen, wurden zertifizierte Normen eingeführt. Es wurde festgestellt, dass eine nachhaltige Entwicklung nicht durch den Staat alleine angeordnet und erreicht werden kann, sondern durch einen Lernprozess in der Gesellschaft. 1993 hat die Europäische Gemeinschaft in ihrem 5. Umweltprogramm die EMAS-Verordnung eingeführt. Diese soll einen Rahmen für den betrieblichen Umweltschutz bieten und die nachhaltige Entwicklung unterstützen. Auch auf internationaler Ebene wurde eine zertifizierte Norm für Umweltmanagementsysteme geschaffen. Die 1947 gegründete internationale Trägerorganisation für Normung, *International Organization for Standardization* (ISO), hat die ISO 14000ff herausgebracht. Diese unterstützt die Privatwirtschaft dabei, effektive Umweltmanagementsysteme und Instrumente einzuführen, um durch die Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes einen Beitrag für die nachhaltige Entwicklung zu leisten.²⁶

Laut Baumast und Pape sind UMS Systeme, welche umweltspezifische Verhaltenserwartungen der Mitarbeiter definieren, umweltschutzbezogene Willensbildung und Durchsetzung dieser fördern. Es kann von einem führenden und entscheidungsunterstützenden System gesprochen werden. Aus dem gewünschten Zukunftsbild des Unternehmens werden Strukturen und Abläufe zum Beitrag der Zielerreichung abgeleitet. Den Organisationsmitgliedern sollen zur Vorgabenumsetzung entscheidungsunterstützende Instrumente, z.B. die Ökobilanz, zur Verfügung gestellt werden. Aus der Implementierung und der Zertifizierung betrieblicher Umweltmanagementsysteme ergeben sich mehrere Vorteile, welche zusammen mit den durchzuführenden Aufgaben zur Erreichung dieser, in Tabelle 2 aufgelistet sind:²⁶

Vorteile	Aufgaben zur Erreichung
Ressourceneinsparung und Ressourcenschonung	Systematische Erhebung und Bewertung von Auswirkungen der Tätigkeiten (z.B.: Ökobilanz)
Steigerung der Mitarbeitermotivation	Bereitstellung von Informationen über Arbeits- und Gesundheitsaspekte der Produktion und Umweltverträglichkeit der Produkte an Mitarbeiter

²⁴ (Dyckhoff, 2000)

²⁵ (Schaltegger u. a., 2007)

²⁶ (Baumast & Pape, 2003)

Vorteile	Aufgaben zur Erreichung
Risikovorsorge	Aufdeckung umweltrelevanter Gefährdungspotenzialen und Sicherstellung der Einhaltung von Umweltvorschriften (z.B.: UVP, Umweltaudits)
Absatzsteigerung	Produktbezogene Stoff- und Energiebilanzen, Lebenszyklusanalysen
besseres Verhältnis zu Nachbarn und Umweltverbänden	Bereitstellung der Informationen
bei der Fremdkapitalbeschaffung	Erkennung und Vermeidung von Gefährdungspotenzialen durch Umweltaudits
bei der Beschaffung von Eigenkapital	Bereitstellung ökologischer Informationen für Anteilseigner
bei Versicherungskonditionen	Bereitstellung der Daten des zertifizierten UMS zur Ermittlung des Versicherungstarifes
Vollzugserleichterungen	Sammlung, Verarbeitung und Überprüfung von behördenspezifischen Informationen

Tabelle 2: Vorteile der Standardisierung und Zertifizierung von UMS²⁷

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das oberste Ziel von Umweltmanagementsystemen die Verbesserung der Umweltleistung eines Unternehmens ist. Umweltvorschriften müssen in Form von Gesetzen, Verordnungen und Genehmigungen eingehalten werden. Umweltauswirkungen aller Produkte, Tätigkeiten und Dienstleistungen des Unternehmens sind zu analysieren und anschließend zu bewerten. Ein systematisches Management des betrieblichen Umweltschutzes unterstützt das Erreichen guter Umweltleistungen. Wichtig sind eine kontinuierliche Verbesserung des Umweltmanagementsystems, sowie dass die umweltorientierte Leistung messbar und transparent ist.²⁸

2.3.2.2 ISO 14000 Reihe

Die ISO 14001 definiert Umweltmanagementsysteme als:

„Teil des Managementsystems, der dazu dient, Umweltaspekte zu handhaben, bindende Verpflichtungen zu erfüllen und mit Risiken und Chancen umzugehen.“

Einige wichtige und in dieser Arbeit verwendete Normen der ISO 14000ff sind:²⁹

- DIN EN ISO 14001, Umweltmanagementsysteme — Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung
- DIN EN ISO 14004, Umweltmanagementsysteme — Allgemeiner Leitfaden über Grundsätze, Systeme und unterstützende Methoden

²⁷ (Baumast & Pape, 2003)

²⁸ (Förtsch & Meinholz, 2011)

²⁹ (DIN EN ISO 14001, 2015)

- DIN EN ISO 14031, Umweltmanagement — Umweltleistungsbewertung — Leitlinien
- DIN EN ISO 14045, Umweltmanagement — Ökoeffizienzbewertung von Produktsystemen — Prinzipien, Anforderungen und Leitlinien

Mit der ISO 14001 möchte die internationale Trägerorganisation für Normung einen Beitrag zur ökologischen Säule der Nachhaltigkeit leisten. Um dies zu erreichen verfolgt sie einen systematischen Ansatz beim Umweltmanagement und stellt einen Rahmen zum Schutz der Umwelt, sowie zur Reaktion auf sich ändernde Umweltzustände bereit. Es werden Anforderungen festgelegt, die es einer Organisation ermöglichen, die von ihr beabsichtigten Ergebnisse des Umweltmanagementsystems zu erreichen. Der Erfolg der Organisationen soll durch Einführung der Norm langfristig gefördert werden:³⁰

- Durch Minderung der möglichen nachteiligen Auswirkung von Umweltzuständen auf die Organisation
- Beim Erfüllen von bindenden Verpflichtungen wird die Organisation unterstützt
- Umweltleistung wird verbessert
- Steuerung der bzw. Einfluss auf die Art und Weise, wie Produkte und Dienstleistungen der Organisation entwickelt, produziert, vertrieben, konsumiert und entsorgt werden. Vorbeugung einer unbeabsichtigten Verschiebung von Umweltauswirkungen innerhalb des Lebenswegs durch Betrachtung des Lebensweges
- Verwirklichung umweltverträglicher Alternativen, welche die Marktposition der Organisation stärken, werden mögliche finanzielle und betriebliche Vorteile erreicht
- Umweltinformationen werden gegenüber relevanten interessierten Parteien kommuniziert

Ausgangspunkt der ISO 14001 ist die Festlegung der Umweltpolitik, in der die Organisation den Rahmen für ihre umweltbezogenen Ziele absteckt. Es müssen Verpflichtungen zur Einhaltung umweltrelevanter Vorschriften, eine Verpflichtung zur kontinuierlichen Verbesserung und eine Vermeidung von Umweltbelastungen enthalten sein. Als nächstes findet die Planung statt. Im Anschluss wird das Modell des Planens-Durchführens-Prüfens-Handelns (PDCA) für das Umweltmanagementsystem angewendet. Es werden folgende Schritte durchlaufen³⁰:

- Planen: Festlegung erforderlicher Umweltziele und Prozesse, um Ergebnisse in Übereinstimmung mit der Umweltpolitik der Organisation zu erhalten
- Durchführen: Verwirklichung der geplanten Prozesse

³⁰ (DIN EN ISO 14001, 2015)

- Prüfen: Überwachung der Prozesse anhand der Umweltpolitik, Messung dieser und Berichterstattung
- Handeln: Maßnahmen zur fortlaufenden Verbesserung finden statt

Diese Norm ist auf alle Organisationen anwendbar, unabhängig von Beschaffenheit, Art und Größe. Es sei zu erwähnen, dass der Begriff Organisation unter anderem Einzelunternehmer, Gesellschaft, Konzern, Firma, Unternehmen, Behörde, Handelsgesellschaft, Wohltätigkeitsorganisation, Institution oder Teile oder eine Kombination der genannten, ob eingetragen oder nicht, öffentlich oder privat erfasst. Sie gilt für jene Umweltaspekte ihrer Tätigkeiten, Produkte und Dienstleistungen, welche die Organisation als entweder von ihr steuerbar, oder beeinflussbar bestimmt. Weiters werden keine spezifischen Umweltleistungskriterien festgelegt und die Norm kann im Ganzen oder in Teilen für die Verbesserung des Umweltmanagements genutzt werden. Allerdings kann Konformität nur beansprucht werden, wenn alle Anforderungen in das Umweltmanagementsystem einer Organisation aufgenommen und ohne Ausnahme erfüllt sind.³¹

2.3.2.3 EMAS

Die EMAS III Verordnung definiert Umweltmanagementsysteme folgendermaßen:³²

„Als der Teil des gesamten Managementsystems, der die Organisationsstruktur, Planungstätigkeiten, Verantwortlichkeiten, Verhaltensweisen, Vorgehensweisen, Verfahren und Mittel für die Festlegung, Durchführung, Verwirklichung, Überprüfung und Fortführung der Umweltpolitik und das Management der Umweltaspekte umfasst.“

Die Anwendung dieser Verordnung, welche 1993 von der EG-Kommission begründet wurde, erfolgt auf freiwilliger Basis. Als Anreizmechanismus dient die Erlaubnis zur Verwendung eines Logo. Der Geltungsbereich dieser Verordnung ist im Gegensatz zur ISO-Norm auf EU-Mitgliedstaaten begrenzt. Ziel der EMAS-Verordnung ist eine kontinuierliche Verbesserung der Umweltleistung von Organisationen. An dieser Verordnung kann jede Organisation teilnehmen, die ihren betrieblichen Umweltschutz verbessern möchte, Hauptgruppe sind allerdings Unternehmen.³³

Abbildung 5 zeigt den EMAS-Prozess, wobei der gelbe Prozess bei der erstmaligen Einführung dem Kreislauf vorgeschaltet ist, blaue Prozesse die internen Teile des betrieblichen UMS darstellen und grüne von externer Seite notwendig sind, um den Zyklus erfolgreich abzuschließen. Dabei sind in der Vorbereitungsphase erste Überlegungen zu dem UMS zu tätigen, die Zeit- und Kostenplanung durchzugehen, externe Fördermöglichkeiten zu prüfen, umfassende Mitarbeiterbeteiligung sicherzustellen, ein EMAS-Team zusammenzustellen, Kontaktaufnahme zu Umweltgutachter

³¹ (DIN EN ISO 14001, 2015)

³² (Europäische Kommission, 2009)

³³ (Baumast & Pape, 2003)

aufzunehmen, detaillierte Informationen an die Mitarbeiter zu geben und ein Dialog mit der Öffentlichkeit zu führen. Im Anschluss finden die erste Umweltprüfung und die Formulierung der Umweltpolitik statt. Danach wird ein Umweltprogramm mit Zielsetzungen erstellt und Schulungen für Mitarbeiter werden implementiert. Es muss stets auf eine vollständige Dokumentation geachtet werden und eine Notfallvorsorge und Gefahrenabwehr durchgeführt werden. Das UMS wird überwacht und seine Funktionsfähigkeit wird gemessen. Im nächsten Schritt findet eine Verfassung bzw. eine Aktualisierung der Umwelterklärung statt. Es wird ein Programm für die Umweltbetriebsprüfung aufgestellt und dieses wird mit dem Begutachtungsprogramm des Umweltgutachters abgestimmt. Im Anschluss finden eine interne Umweltbetriebsprüfung und eine Managementbewertung statt. Die nächsten Schritte sind von externer Seite notwendig und beginnen mit der Vorbereitung des externen Begutachtungstermins. Danach erfolgt die externe Begutachtung. Ist diese positiv absolviert worden, wird ein Antrag auf Registrierung bzw. Aufrechterhaltung gestellt. Als finaler Schritt finden eine Veröffentlichung der Umwelterklärung und der Erhalt des EMAS-Logos statt.³⁴

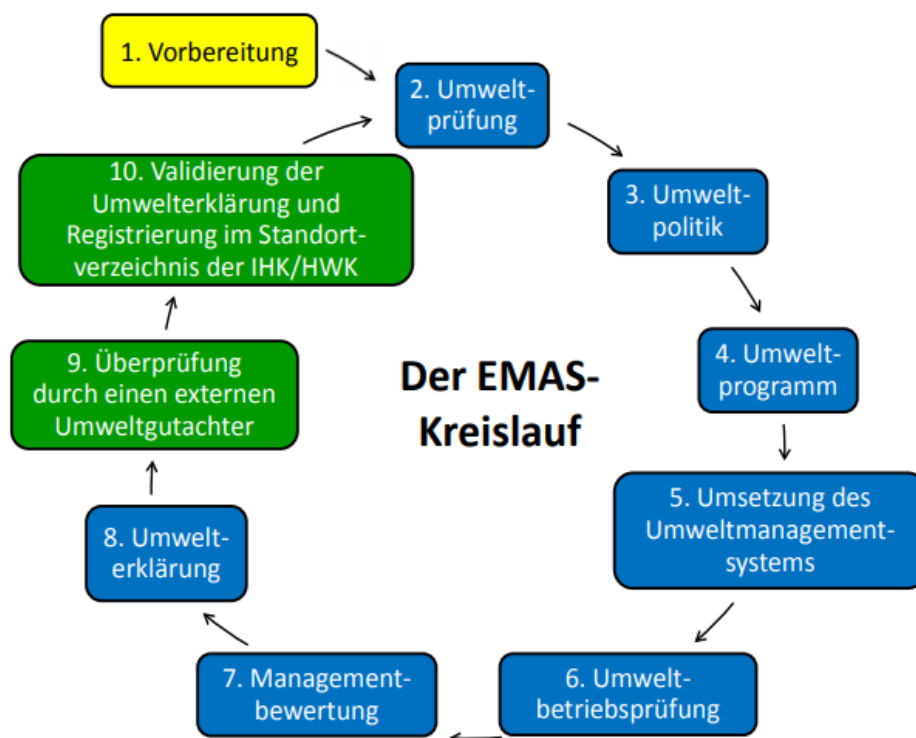


Abbildung 5: EMAS Kreislauf³⁴

Zusammenfassend sind die Unterschiede und die Gemeinsamkeiten der EMAS-Verordnung und der ISO 14001 in Tabelle 3 aufgelistet.

³⁴ (Europäische Kommission, 2015a)

	EMAS	ISO 14001
Grundlage	Öffentlich-rechtliche Grundlage als europäische Verordnung	Internationaler Standard DIN EN ISO 14001
Inhalt	UMS, interne und externe Überprüfung, Umweltbericht und öffentliche Registrierung	UMS, interne und externe Überprüfung, Zertifikat
Ziele	Ergebnis- und Umweltleistungsorientiert, kontinuierliche Verbesserung der Umweltleistung	Verfahrens- und systemorientiert, kontinuierliche Verbesserung des UMS
Anforderungen	- Anforderungen der ISO 14001 - Umweltprüfung (IST-Zustand) - Nachweis über Einhaltung von Rechten und Genehmigungen - Verbesserung der Umweltleistung - Mitarbeiterbeteiligung - Externe Kommunikation - Bereitstellung von Umweltinformationen durch die Umwelterklärung	- Anforderungen der ISO 14001 - Umweltpolitik - Geltende rechtliche Verpflichtungen ermitteln und einhalten - Umsetzung des UMS sicherstellen und intern kommunizieren - Dokumentation und Aufzeichnung - Notfallvorsorge und Gefahrenabwehr - Überprüfung, Messung, Korrekturen, interne Audits und Vorbeugemaßnahmen - Managementbewertung
Prüfungsinhalt	Einsicht in Dokumente, Audit vor Ort - Umsetzung der Umweltprüfung, Umweltpolitik, interne Umweltbetriebsprüfung und des UMS müssen EMAS-Verordnung entsprechen - Prüfung der Daten und Informationen in der Umwelterklärung	Einsicht in Dokumente, Audit vor Ort - UMS muss mit Anforderungen der ISO 14001 übereinstimmen
Nachweis	Gültigkeitserklärung gültig für drei Jahre und Registrierung in EMAS-Register	Zertifikat gültig für drei Jahre
Zeitlicher Rhythmus	Wiederholungsaudit alle drei Jahre und jährliche Validierung des Umweltberichtes	Wiederholungsaudit alle drei Jahre und jährliches Überwachungsaudit

	EMAS	ISO 14001
Einbeziehung der Mitarbeiter	erforderlich	erforderlich

Tabelle 3: Unterschiede EMAS und ISO14001³⁵

2.3.3 Umweltleistungsbewertung

Umweltleistung wird laut Mechel als „*die messbaren Ergebnisse des Managements der Umweltaspekte einer Organisation durch diese Organisation*“ definiert.³⁶

Auch in der ISO 14001 wird Umweltleistung als fortlaufender Prozess zur Erfassung und Auswertung von Daten und Informationen festgelegt. Dies ermöglicht eine Leistungsbewertung durchzuführen und Leistungstrends darzustellen.

Möchte ein Unternehmen seine Umweltleistung beschreiben, ist es notwendig alle Umweltaspekte (Ursache) und deren Umweltauswirkungen (Wirkung) als Ergebnis des Managements dieser Aspekte zu identifizieren und zu bewerten. Dies findet nach dem Ursache-Wirkungs-Prinzip statt.³⁶

Unter einer Umweltauswirkung wird die Veränderung der Umwelt, ob günstig oder ungünstig, die sich ganz oder teilweise durch Umweltaspekte einer Organisation ergibt verstanden. Hingegen wird unter Umweltaspekte jener Bestandteil der Tätigkeiten, Produkte oder Dienstleistungen einer Organisation, der in Wechselwirkung mit der Umwelt tritt oder treten kann verstanden. Aus wichtigen Umweltaspekten können sich Risiken und Chancen ergeben. Diese sind entweder mit nachteiligen Umweltauswirkungen (Bedrohungen), oder mit vorteilhaften Umweltauswirkungen (Chancen) verbunden.³⁷

Es wird zwischen direkten und indirekten Umweltaspekten unterschieden. Direkte stehen im Zusammenhang mit Tätigkeiten, Produkten und Dienstleistungen der Organisation selbst und unterliegen der direkten betrieblichen Kontrolle. Indirekte Aspekte hingegen, sind das Ergebnis der Interaktion einer Organisation mit Dritten. Diese sind nur in gewissem Maße von einer Organisation beeinflussbar. Ziel der Unternehmen ist es, vornehmlich Maßnahmen zu tätigen, die eine Reduzierung von Umweltauswirkungen als Ergebnis haben und damit auf signifikante Umweltaspekte und deren Auswirkungen abzielen. Mit Hilfe von Umweltkennzahlen werden Umweltleistungen des Unternehmens messbar gemacht.³⁶

Staehle definiert Kennzahlen wie folgt: „*(Betriebswirtschaftliche) Kennzahlen sind Verhältniszahlen und absolute Zahlen, die in konzentrierter Form über einen zahlenmäßig erfassbaren (betriebswirtschaftlichen) Tatbestand informieren.*“ Unter absoluten Zahlen werden Einzelzahlen, Summen, Differenzen und Mittelwerte gesehen.

³⁵ (TÜV, 2016)

³⁶ (Mechel, 2017)

³⁷ (DIN EN ISO 14001, 2015)

Verhältniszahlen hingegen sind Verhältnisse von Mengengrößen bzw. Wertegrößen. Die Relation zwischen ihrem Zähler und Nenner muss signifikant, logisch, aussagekräftig und einsatzfähig sein. Kennzahlen helfen bei der Analyse, Planung, Steuerung und Kontrolle des Organisationsgeschehens.³⁸

Bezogen auf Umweltleistungskennzahlen, wird zwischen Umweltleistungskennzahlen und Umweltzustandskennzahlen/Umweltzustandsindikatoren unterschieden. Umweltzustandsindikatoren liefern Informationen über den Zustand der Umwelt, welche durch die Organisation beeinträchtigt werden könnte. Sie können oftmals schwer direkt mit operativen Tätigkeiten einer einzelnen Organisation in Verbindung gebracht werden. Wichtig hierbei ist es, alle Faktoren und Quellen, welche ähnliche Einflüsse auf die Umwelt haben könnten, zu berücksichtigen. Diese Indikatoren können verwendet werden um einerseits Ausgangszustände zu berechnen, Tendenzen zu überwachen, aber auch zulässige Schadstoffobergrenzen festzulegen und Anreize zu schaffen. Umweltleistungskennzahlen liefern Informationen im Zusammenhang mit dem Management der wichtigsten Umweltaspekte der Organisation. Weiters veranschaulichen sie die Ergebnisse der Umweltmanagementprogramme. Es wird zwischen Managementleistungskennzahlen (Umweltmanagementkennzahlen) und operativen Leistungskennzahlen (operative Umweltleistungskennzahlen) unterschieden. Erstere haben als Aufgabe Informationen über die Aktivitäten des Managements zur Beeinflussung der Umweltleistung des Managements einer Organisation zur Verfügung zu stellen. Diese Kennzahlen können Verbesserungen innerhalb der sozialen oder der wirtschaftlichen, nicht aber der ökologischen Dimension aufzeigen. Werden Informationen über die Umweltleistung einer Organisation im operativen Bereich zur Verfügung gestellt, wird von operativen Leistungskennzahlen gesprochen. Diese Kennzahlen können Verbesserungen in allen drei Dimensionen, sozial, wirtschaftlich und ökologisch aufzeigen.³⁹

Abbildung 6 veranschaulicht die verschiedenen Umweltkennzahlen zur Umweltleistungsbewertung.⁴⁰

³⁸ (Staehe, 1969)

³⁹ (DIN EN ISO 14031, 2013)

⁴⁰ (Mechel, 2017)

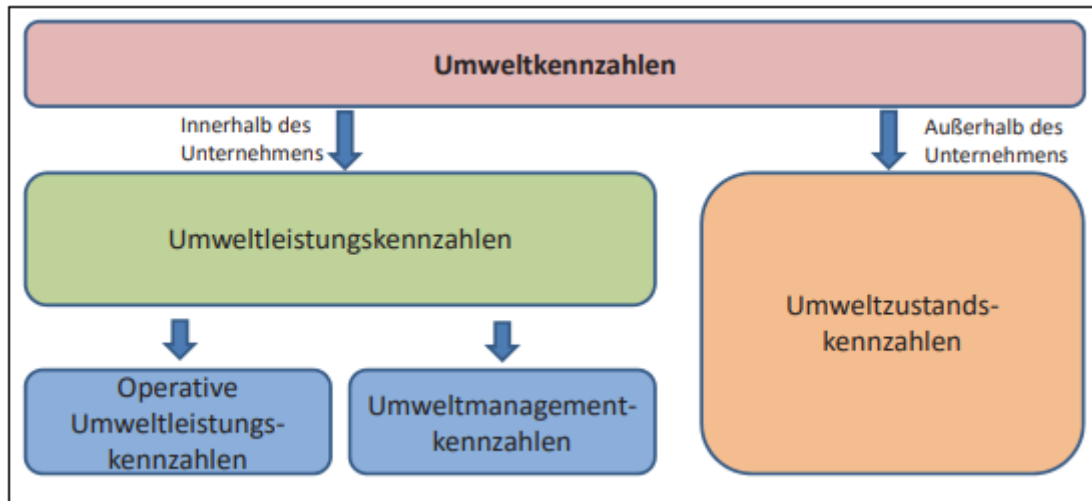


Abbildung 6: Klassifizierung von Umweltkennzahlen⁴¹

Wie bereits erwähnt erfolgt die Umweltsleistungsbewertung mit dem PDCA-Modell, welches in Abbildung 7 ersichtlich ist.⁴²

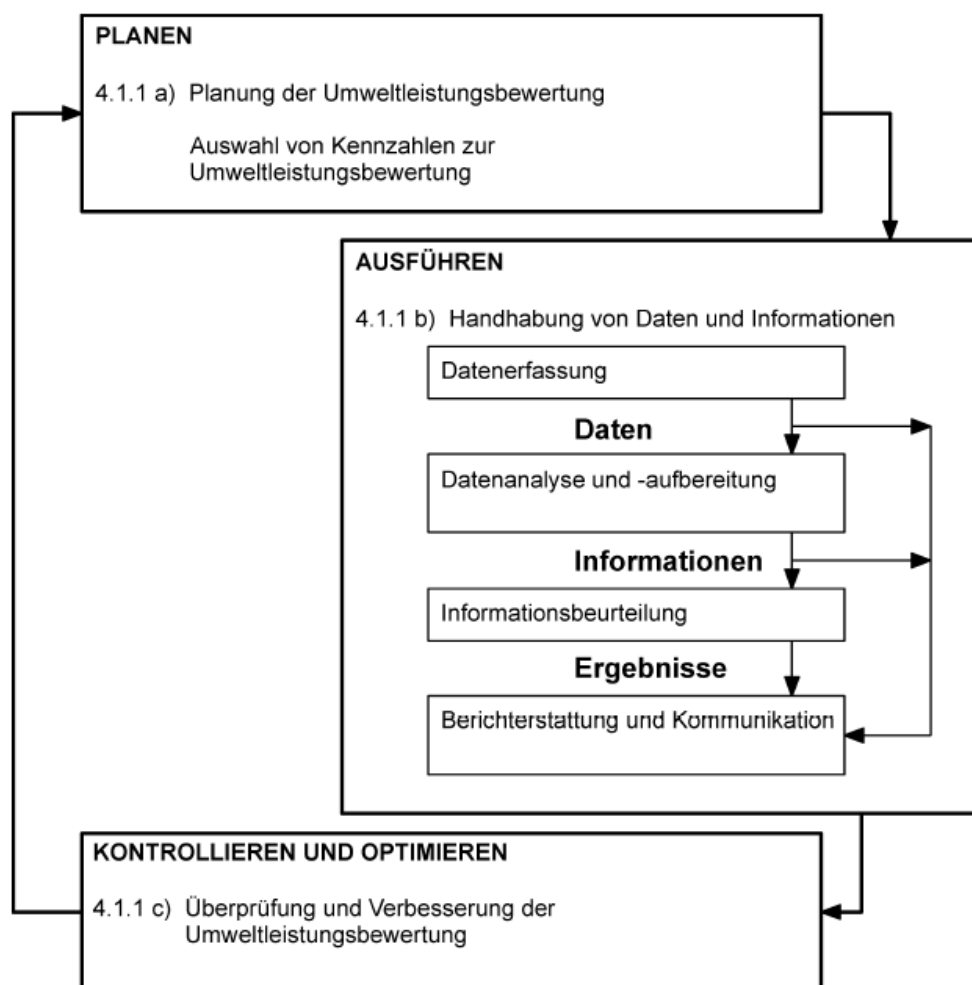


Abbildung 7: Übersicht Umweltsleistungsbewertung⁴²

⁴¹ (Mechel, 2017)

⁴² (DIN EN ISO 14031, 2013)

Weiters ist zu erwähnen, dass Umweltleistungsbewertungen folgende Prinzipien beinhalten müssen:⁴³

- **Relevanz:** Es ist wichtig, dass die Leistungsinformation für die Bemühungen der Organisation ihre Umweltaspekte handzuhaben, relevant sind.
- **Vollständigkeit:** Um sicherzustellen, dass alle Faktoren berücksichtigt werden sollte die Leistungsinformation vollständig sein.
- **Folgerichtigkeit und Genauigkeit:** Um valide Vergleiche zwischen früherer, gegenwärtiger und künftiger Leistung zu erlauben, sollten Leistungsinformationen folgerichtig und genau sein.
- **Transparenz:** Um vorgesehenen Benutzern Zugang und Verständnis der Leistungsdaten zu ermöglichen, damit sie Entscheidungen mit hinreichender Sicherheit treffen können, sollten Leistungsinformationen deutlich und transparent sein.

2.4 Industrie 4.0

2.4.1 Definition und Ziele Industrie 4.0

Unter Industrie 4.0 wird die vierte industrielle Revolution verstanden. Es kann von einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus der Produkte gesprochen werden. Laut der Plattform Industrie 4.0 wird die Individualisierung der Produkte auch in Zukunft weiter zunehmen. Produkte werden durch integrierte Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und deren Funktionalitäten untereinander, sowie mit dem Internet verbunden sein. Durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung teilnehmenden Instanzen, sind relevante Informationen in Echtzeit verfügbar. Produktions- und Logistikprozesse zwischen Unternehmen im selben Produktionsprozess können intelligent miteinander verbunden werden, wodurch die Produktion noch effizienter und flexibler wird. In dem Bericht der acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften ist erwähnt, dass durch Anwendung von Industrie 4.0 Geschäftsprozesse optimiert werden können.^{44,45}

Industrie 4.0 verfolgt folgende Ziele:⁴⁵

- Neue Formen der intelligenten Produktionstechnik sollen geschaffen werden, wodurch innovative Produkte entstehen und Fabriken ressourceneffizienter und flexibler gestaltet werden.

⁴³ (DIN EN ISO 14031, 2013)

⁴⁴ (Plattform Industrie 4.0 Germany, 2018)

⁴⁵ (acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012)

- Bestehende Produkte der Automatisierungstechnik zu optimieren und neue Produkte zu erfinden.
- Produktion, Engineering und Produktionsumfeld intelligent gestalten und somit eine Standort- und Beschäftigungssicherung zu erreichen.
- Neue kollaborative Formen der Arbeitsorganisation in der Smart Factory schaffen, welche auf interessante Arbeitszusammenhänge, zunehmende Eigenverantwortung und Selbstentfaltung, sowie qualitative Anreicherung ausgelegt ist.

Laut acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften ermöglicht Industrie 4.0 eine zunehmende Flexibilisierung und Robustheit von Engineering-, Produktions- und Logistikprozessen. Mit ihrer Hilfe können zunehmende Komplexität und Dynamik beherrscht werden. Dies spielt sowohl bei maschinenbaulicher und anlagentechnischer Ausführung und dem Betrieb von Produktionssystemen der Zukunft, Lifecycle-Betrachtungen bezüglich des zu produzierenden Produkts und der dabei verwendeten Ressourcen, Energieversorgung und Umweltbilanzierung künftiger Anlagen und Fabriken, sowie der Einbindung in umfangreiche und rasche Wertschöpfungsnetze eine Rolle. Die Kommunikation von Mensch und Maschine ist selbstverständlich und physische und digitale Welt wachsen zusammen. Um Einzelstücke rentabel produzieren zu können und damit den Kundenwünschen nachzukommen, wird der Einsatz von neuen Produktionstechnologien wie z.B. generativen Verfahren („3D-Druck“) verstärkt zum Einsatz kommen.⁴⁶

2.4.2 Terminologie Industrie 4.0

Folgende Begriffe spielen eine zentrale Rolle in der vierten industriellen Revolution.^{46,47,48,49,50,51}

Internet der Dinge: Darunter wird eine globale Infrastruktur für die Informationsgesellschaft verstanden. Diese ermöglicht durch Verbindung von physischen und virtuellen Dingen fortgeschrittene Dienstleistungen. Physische und virtuelle Dinge haben ihre eigene Identitäten, physische Eigenschaften und virtuelle Persönlichkeiten.

Cyber-Physical Systems (CPS): Darunter werden Systeme verstanden, die reale (physische) Objekte und Prozesse mit virtuellen (informationsbearbeitenden) verknüpft. Dies geschieht mit Hilfe von offenen, teilweise globalen und jederzeit miteinander verbundenen Informationsnetzen.

⁴⁶ (acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012)

⁴⁷ (Schleipen, 2015)

⁴⁸ (Wieselhuber und Partner & Fraunhofer IPA, 2015)

⁴⁹ (Jabbour & Filho, 2018)

⁵⁰ (VDI/VDE-GMA, 2015)

⁵¹ (VDI ZRE, 2017)

Cyber-Physical Production Systems (CPPS): Es wird ein CPS, welches in der Produktion eingesetzt wird, verstanden. CPPS ermöglichen es industrielle Prozesse in der Produktion, dem Engineering, der Materialverwendung und des Lieferketten- und Lebenszyklusmanagements stark verbessern zu können.

Smart Factory/Intelligente Fabriken: Darunter werden Fabriken verstanden, die Selbstorganisationsfunktionen in der Produktion und in allen die Produktion betreffenden Geschäftsprozessen ermöglichen. Dies wird durch den tiefen Integrationsgrad der Fabriken erreicht. Durch das virtuelle Abbild der Fabrik werden intelligente Entscheidungen ermöglicht. Ziel ist die Steigerung von Effizienz, Effektivität, Flexibilität und/oder Wandlungsfähigkeit. Produkte in einer Smart Factory sind eindeutig identifizierbar, jederzeit lokalisierbar und kennen ihre Historie, den aktuellen Zustand sowie, falls notwendig, alternative Wege zum Zielzustand.

Smart Product/Intelligentes Produkt: Ein in der Smart Factory hergestelltes oder gefertigtes (Zwischen-) Produkt, das die Kommunikationsfähigkeit (nach außen) zur Vernetzung, sowie intelligente Interaktion mit anderen Produktionsteilnehmern mitbringt.

Embedded Systems/Eingebettete Systeme: Darunter werden Computersysteme verstanden, welche aus Software und Hardware bestehen und in einem komplexen technischen System integriert sind. Teilweise sind diese drahtlos an Informationsnetzwerke angebunden und können wichtige Daten mit anderen Systemen (Unternehmensextern oder -intern) austauschen sowie auf webbasierte Daten zugreifen.

Big Data: Darunter wird die Menge von manuell nicht behandelbaren und erfassbaren Daten verstanden. Diese kann durch Verwendung spezieller Computersoftware verwertet werden.

Cloud Computing: Darunter wird eine bedarfsgerechte und dezentrale Bereitstellung von Daten, Services und ganzen Geschäftsmodellen über das Internet verstanden. Es wird ein Datenaustausch zwischen Produkt und Betriebsumfeld, Hersteller, Nutzer und anderen Systemen ermöglicht.

Additive Fertigung: Darunter wird eine Produktherstellung verstanden, welche keine speziellen Werkzeuge und Konstruktionen benötigt. Flexible und vernetzte Prototypenfertigung von Komponenten in großem Maßstab wird ermöglicht. Ein Beispiel für additive Fertigung ist der 3D-Drucker.

Vertikale Integration: Darunter wird die Vernetzung von Produktionsmitteln (z.B.: Automatisierungsgeräte und Dienste) untereinander verstanden und es kommt zur vollständigen Vernetzung zwischen allen Unternehmensebenen.

Horizontale Integration: Darunter wird die Vernetzung aller Maschinen, Geräte und Mitarbeiter auf einer Unternehmensebene verstanden. Diese wird innerhalb der Wertschöpfungskette (zwischen den Unternehmen) vernetzt. Dadurch können dynamische Wertschöpfungsnetzwerke gebildet werden.

Smarte Aktoren und Sensoren: Durch die qualitative oder quantitative Erfassung bestimmter physikalischer oder chemischer Eigenschaften können Informationen gewonnen und die erfassten Signale in Form digitaler Daten umgewandelt und weitergeleitet werden. Ein Beispiel für smarte Sensorik ist RFID.

2.4.3 Industrielle Revolutionen

Über die letzten Jahrhunderte ist der Grad der Komplexität stets gestiegen und es haben drei industrielle Revolutionen stattgefunden, bevor es zur Industrie 4.0 kam.^{52,53,54:}

Erste industrielle Revolution, Industrie 1.0: 1750 kam es zur Entwicklung der Dampfmaschine und 1784 wurde der erste mechanische Webstuhl entwickelt. Es wurden mechanische Produktionsanlagen mit Hilfe von Wasser- und Dampfkraft entwickelt und eingeführt. Diese Arbeits- und Kraftmaschinen haben eine Industrialisierung ermöglicht und haben dazu geführt, dass es in industriell geprägten Ländern keine strukturell bedingten Hungerkatastrophen mehr gab. Es kam zu einer Spaltung in der Gesellschaft, den von der Industrialisierung ausgebeuteten Fabrikarbeitern und den an dieser verdienenden Fabrikbesitzern.

Zweite industrielle Revolution, Industrie 2.0: Am Beginn des 20. Jahrhunderts kam es zu einer Einführung von arbeitsteiliger Massenproduktion mit Hilfe von elektrischer Energie. Henry Ford entwickelte das Fließband und die wissenschaftliche Betriebsführung nach Frederic W. Taylor wurde bekannt. Weiters wurden elektrische Antriebe und Verbrennungsmotoren entwickelt und es kam zu einer großindustriellen Massenproduktion in Chemie- und Elektroindustrie, sowie im Maschinenbau und in der Automobilindustrie. In dieser Zeit kam es auch zur Entwicklung der Sozialdemokratie und Ideen des Kommunismus haben sich verbreitet. Es wurde die Basis für die heutige konsumorientierte Wohlstandsgesellschaft gelegt.

Dritte industrielle Revolution, Industrie 3.0: Diese begann nach dem zweiten Weltkrieg und war von dem Einsatz von Elektronik und IKT geprägt. Dadurch kam es zu einer weiteren Automatisierung der Produktion. In den 80er Jahren waren viele Märkte gesättigt und es wird von einer Wohlstandsgesellschaft gesprochen. Verkäufermärkte wurden zu Käufermärkten. Die Kundenwünsche wurden immer individuel-

⁵² (Bauernhansl, Ten Hompel, & Vogel-Heuser, 2014)

⁵³ (acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012)

⁵⁴ (Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz GmbH (DFKI), 2015)

ler und es kam zur variantenreichen Serienproduktion. Wissen wurde dank Informations- und Kommunikationstechnologien und das Internet weltweit verfügbar.

Abbildung 8 zeigt die zeitliche Entwicklung der Industrie bis hin zu Industrie 4.0.^{55,56,57}

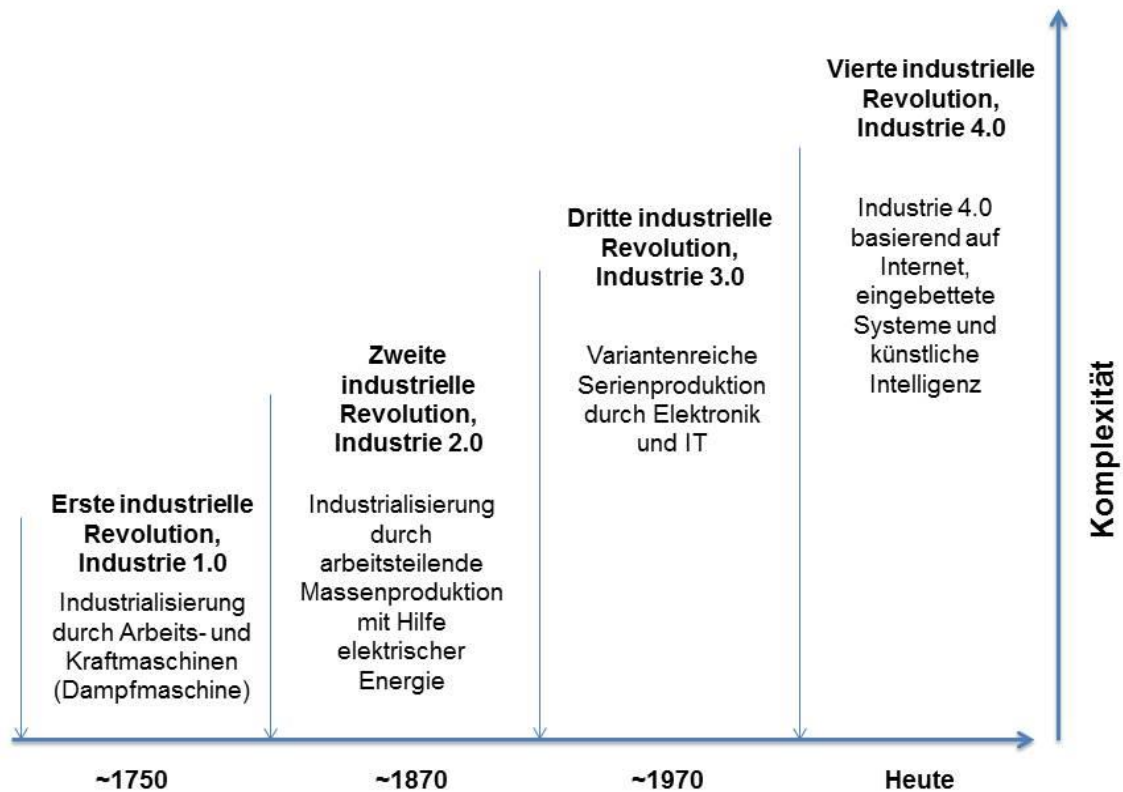


Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung Industrie (eigene Darstellung)

Laut Bauernhansl et al steigt die äußere Marktkomplexität, Marktsicht, immer mehr an. Funktionalität, Vielfalt, Verfügbarkeit, Preis und Verträglichkeit der Produkte spielen eine wichtige Rolle, aber auch das Bevölkerungswachstum, Digitalisierung und zunehmender Ressourcenverbrauch sind zu erwähnen. Aus Unternehmenssicht gibt es hinsichtlich der Mengen keine sicheren Prognosen mehr und Unternehmen müssen höchst flexibel und rasch agieren. Das Produktportfolio, Kunden- und Lieferantenportfolio, die Anzahl an verwendeten und verwerteten Materialien, die unterschiedlichen Prozesstechnologien, IT-Systeme etc. bringen Herausforderungen für Unternehmen und die Komplexität steigt weiter an. Weiters erwähnt Bauernhansl, dass dezentrale autonome Intelligenz in synergistischen Strukturen benötigt wird um diese innere und äußere Komplexität auszugleichen und dass es notwendig ist zu

⁵⁵ (acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012)

⁵⁶ (Bauernhansl u. a., 2014)

⁵⁷ (Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz GmbH (DFKI), 2015)

dezentralisieren, Verantwortung zu delegieren und autonome Einheiten zu bilden. Außerdem wird erwähnt, dass der Grad der Autonomie und der Dezentralisierung zunimmt. Im nächsten Schritt werden CPS entwickelt, welche über das Internet kommunizieren können. Außerdem können diese Systeme dank entsprechender Sensorik ihre Umwelt erfassen, mit Hilfe von weltweit verfügbaren Daten und Diensten auswerten und speichern. Dank Aktoren können sie auf die physikalische Welt einwirken. CPS können dezentral und autonom Netzwerke aufbauen und sich selbstständig optimieren und es entstehen Smart Factories, welche Daten in Echtzeit zur Verfügung haben. Diese intelligenten Fabriken sind ein zentrales Merkmal der vierten industriellen Revolution, Industrie 4.0.⁵⁸

2.5 Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit

In dem Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 „*Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0*“ wurde die Sicherstellung der Nachhaltigkeit nur teilweise erwähnt. Dabei sei neben dem Erhalt des Wertes einer installierten Basis im Umfeld von CPPS, Produktivität und Ressourceneffizienz der Produktionssysteme zu berücksichtigen. Mittelfristig sollen Potenziale der Ressourceneffizienz, Produktivitäts- und Wirkungsgradsteigerung ausgeschöpft werden. Dazu zählen Energieeffizienz, Energiebetrachtung wie das Vermeiden von Energiespitzen, Material Lifecycle Assessment, Recycling etc. In dem Abschlussbericht wird erwähnt, dass stets auf ein Gesamtoptimum bezüglich Produktivität, Wirkungsgrad und Ressourceneffizienz zu achten ist. Als Beispiel für Recycling wird die saubere Rückgewinnung von seltenen Erden genannt. Langfristig steht die ökologische Gesamtbetrachtung (CO₂-Footprint, Sustainable-Index usw.) im Zentrum des Handelns und es wird erwähnt, dass sich dies positiv auf die Außenwahrnehmung eines Unternehmens, sowohl in der Gesellschaft, als auch am Arbeitsmarkt, auswirken wird. Außerdem soll eine weitere Entwicklung und Einführung von material- und energieeffizienter Technologien stattfinden.⁵⁹

Weiters wird in dem Abschlussbericht das Thema des Up-Cyclings angesprochen. Hierbei können ganze Baugruppen wiedergenutzt werden, wodurch sich Effizienzsteigerungen, z.B. beim Energieeinsatz erzielen lassen können. Diese Entwicklung spielt bei Hightech-Produkten, welche oftmals sehr teure Rohstoffe benötigen, eine wichtige Rolle. Unternehmen verkaufen zwar die Nutzung ihrer Produkte, behalten allerdings das Eigentumsrecht. Schon bei der Entwicklung wird das Up-Cycling geplant und hierfür müssen alle relevanten Daten am Produkt über den gesamten Lebenszyklus gespeichert werden. Weiters kann durch bereitgestellte Informationen

⁵⁸ (Bauernhansl u. a., 2014)

⁵⁹ (acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012)

über das Produkt der sinnvollste Weg der Weiterverwendung der Rohstoffe generiert werden.⁶⁰

Wie bereits erwähnt, werden Kunden und potenzielle Nutzer immer mehr in den Wertschöpfungsprozess integriert, wodurch neue Möglichkeiten der nachhaltigen Nutzung entstehen. Massenproduktion und Massenkonsum erfüllen weder soziale, noch ökologische Ansprüche. Petschow et al erwähnt, dass es dank Digitalisierung und neuer IKT zu einer Zerlegung (Modularisierung) der Arbeitsschritte kommt und dass ein Dezentralisierungsprozess stattfindet. Durch Dezentralisierung lassen sich signifikante Einsparungen in der Logistikkette, inklusive Lagerhaltung, erreichen. Weiters kann die Gefahr der Überproduktion reduziert werden, in dem effektivere und ressourcenschonendere Herstellungsverfahren angewendet werden und auf die Kundennachfrage eingegangen wird. Laut Petschow et al sei allerdings erwähnt, dass die Aspekte der Nachhaltigkeit und ökologischer Effekte der zukünftigen Produktionssysteme in aktuellen politischen und wissenschaftlichen Diskussionen eher nur am Rande betrachtet werden. Der Schwerpunkt wird hierbei auf Effizienzsteigerung (Energie und Material) gelegt.⁶¹

⁶⁰ (acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2012)

⁶¹ (Petschow, Ferdinand, Dickel, Flämig, & Steinfeldt, 2014)

3 Auswirkungen der Industrie 4.0 auf die Anforderungen eines Umweltmanagementsystems

In diesem Kapitel wurde eine explorative Literaturanalyse zu dem Thema Umweltmanagement in Zeiten von Industrie 4.0 durchgeführt. Ziel dieser Recherche ist es, Auswirkungen der Industrie 4.0 auf ein Umweltmanagementsystem bzw. auf Anforderungen an dieses festzustellen. Um dem Leser einen guten Überblick zu verschaffen, werden zuerst die grundlegenden Anforderungen aus der ISO 14001 erläutert. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Literaturrecherche, welche Auswirkungen Industrie 4.0 auf die einzelnen Phasen des Umweltmanagements hat, dargestellt. Hierfür wurden in einem ersten Schritt die jeweiligen Phasen der ISO Norm beschrieben und im Anschluss die Ergebnisse der explorativen Literaturanalyse erläutert. Weiters wurden Experten interviewt, um deren persönliche Erfahrungen und Einschätzungen mit den Auswirkungen von Industrie 4.0 und modernen Technologien auf Umweltmanagementsystemen zu erfahren. Darüber hinaus wurden die Schwächen der ISO 14001 aufgezeigt und Verbesserungsvorschläge gemacht. Ziel dieses Kapitels ist es die Forschungsfragen:

- Kann Industrie 4.0 und Umweltmanagement verbunden werden und wenn ja, welche Auswirkungen hat dies in Bezug auf Nachhaltigkeit?
- Welche Auswirkungen hat Industrie 4.0 auf ein Umweltmanagementsystem bzw. welche neuen Anforderungen an dieses entstehen?
- Wie können Umweltmanagementsysteme effektiver bzw. effizienter gestaltet werden und welche Rolle spielen hierbei moderne Technologien?

zu beantworten. Weiters liefert diese Recherche eine Grundlage für die Entwicklung eines Umweltmanagementkonzeptes für die Pilotfabrik der TU Wien.

3.1 Vorgehensweise

3.1.1 Vorgehensweise explorative Literaturanalyse

Für die explorative Literaturanalyse wurden Recherchen mit dem CatalogPlus der TU Wien, der Datenbank der TU Wien, sowie Google Scholar durchgeführt. Hierbei wurde nach Schlagwörtern wie „Industrie 4.0 und Umweltauswirkungen“, „Umweltauswirkungen moderne Technologien“, „Chancen Industrie 4.0“, „Industry 4.0 environment“, „Sustainable manufacturing industry 4.0“ gesucht. Weiters wurde Fachliteratur aus der Bibliothek der TU Wien und der WU Wien entnommen und analysiert. Es konnten 22 Literaturen recherchiert, analysiert und in die Diplomarbeit einbezogen werden. Tabelle 4 zeigt die verwendete Literatur.

Autor	Titel	Jahr
Boiral O.	Corporate Greening Through ISO 14001: A Rational Myth?	2007
Boiral, O., Guillaumie, L., Heras-Saizarbitoria, I., & Tene, C. V. T.	Adoption and Outcomes of ISO 14001: A Systematic Review	2017
Brödner P.	Industrie 4.0 und Big Data- Wirklich ein neuer Trend?	2017
Corbett, C. J.	ISO 14000: An Agnostic's Report from the Frontline	1999
Förtsch, G., & Meinholz, H.	Handbuch Betriebliches Umweltmanagement	2011
Garetti, M., & Taisch, M.	Sustainable manufacturing: trends and research challenges	2012
Geissbauer, D. R., Kuge, S., Schrauf, S., & Koch, V.	Industrie 4.0: Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution	2014
Gomez, A., & Rodriguez, M. A.	The effect of ISO 14001 certification on toxic emissions: an analysis of industrial facilities in the north of Spain	2011
Hertel, M.	Risiken der Industrie 4.0 – Eine Strukturierung von Bedrohungsszenarien der Smart Factory	2015
Hillary, R.	Environmental management systems and the smaller enterprise	2004
Ivanova, A., Gray, J., & Sinha, K.	Towards a unifying theory of management standard implementation: The case of ISO 9001/ISO 14001	2014
Kagermann, H.	Chancen von Industrie 4.0 nutzen	2017
Krückhans, B., & Meier, H.	Industrie 4.0 – Handlungsfelder der Digitalen Fabrik zur Optimierung der Ressourceneffizienz in der Produktion	2013
McKinsey	Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector.	2015
PricewaterhouseCoopers	Industrie 4.0 Österreichs Industrie im Wandel	2015
Snijders, C., Matzat, U., & Reips, U.-D.	„Big Data“ : Big Gaps of Knowledge in the Field of Internet Science	2012
Song, M.-L., Fisher, R., Wang, J.-L., & Cui, L.-B.	Environmental performance evaluation with big data: theories and methods.	2016
Stock, T., & Seliger, G.	Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0.	2016
Strachan, P. A., Sinclair, I. M., & Lal, D.	Managing ISO 14001 implementation in the United Kingdom Continental Shelf (UKCS)	2003
Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F.	Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data	2018
VDI ZRE.	Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes	2017
VDI/VDE-GMA.	Begriffsdefinitionen rund um Industrie 4.0.	2015

Tabelle 4: Literaturrecherche

3.1.2 Vorgehensweise Experteninterviews

Zur weiteren Ermittlung der Auswirkungen der Industrie 4.0 auf Umweltmanagementsysteme bzw. auf die Anforderungen dieser wurden Experteninterviews durchgeführt. Hierbei wurden Experten aus verschiedenen Organisationen und folgenden Bereichen befragt:

- Klimaschutz
- Nachhaltigkeit
- Umwelt und Energie
- Umweltmanagement

Der erste Schritt war der Entwurf eines Leitfadens und das Interview wurde in Form eines leitfadengestützten halbstrukturierten Interviews gehalten. Den Experten wurden Zweck und Ziel des Interviews erklärt und eine persönliche Vorstellung, sowie eine kurze Vorstellung des Institutes wurden durchgeführt. Im nächsten Schritt wurden die Experten gebeten sich kurz vorzustellen und ihre Rolle im Unternehmen wiederzugeben. Danach wurden sie zu ihrer Beziehung zu Umweltmanagementsystemen und ISO 14001 befragt. Ziel hierbei war es, herauszufinden wie die Experten Umweltmanagementsystemen, Industrie 4.0 und der ISO Norm generell gegenüber stehen und ob sich Nachhaltigkeit und moderne Technologie ihrer Meinung nach verbinden lässt oder ein Widerspruch ist. Anschließend wurde nach den Hauptanforderungen an ein Umweltmanagementsystem, in den Zeiten von Industrie 4.0 und nach positiven, sowie negativen Auswirkungen von Industrie 4.0 Technologien gefragt. Danach wurde nach Voraussetzungen für eine positive Einführung des Umweltmanagementsystems und nach möglichen Problemen bei dieser gefragt. Als letztes wurden die Experten nach Chancen und Potentialen für effektivere und effizientere Umweltmanagementsysteme gefragt und ob es ihrer Meinung nach Verbesserungsvorschläge für die ISO 14001 gibt. Abbildung 9 zeigt den Leitfaden des Experteninterviews.

Leitfaden Experteninterview

Unternehmen:

Name:

Datum:

Zweck des Interviews

Mit diesem Interview sollen die wichtigsten Anforderungen an ein Umweltmanagementsystem in Zeiten der Industrie 4.0, sowie positive und negative Auswirkungen der Industrie 4.0 Technologien auf diese ermittelt werden. Die Ergebnisse sollen

dabei helfen, ein geeignetes Umweltmanagementkonzept nach ISO 14001 und ISO 14031 für die Pilotfabrik der TU Wien zu entwickeln.

Ziele des Interviews

- Ermittlung der Hauptanforderungen an ein Umweltmanagementsystem in Zeiten der Industrie 4.0, sowie Auswirkungen von Industrie 4.0 auf UMS.
- Ermittlung von kritischen Erfolgsfaktoren für eine positive Einführung des Umweltmanagementsystems nach ISO 14001, sowie von Schwächen und Verbesserungsvorschläge der ISO 14001.
- Ermittlung der Hauptvorteile, welche sich durch moderne Technologien ergeben, sowie der Chancen für effektivere und effizientere Umweltmanagementsysteme in Zeiten der Industrie 4.0.

Struktur des Interviews/ zu behandelnde Themen

1. Persönliche Vorstellung, Vorstellung des Instituts, Grund für das Interview
2. Erklärung warum Experteninterviews durchgeführt werden
3. Erklärung meiner Rolle während des Interviews
4. Vorstellung der Expertin/ des Experten
5. Beziehung der Expertin/des Experten zu Umweltmanagementsystemen in Zeiten der Industrie 4.0 und zur ISO 14000
6. Gespräch über die Hauptanforderungen eines Umweltmanagementsystems in Zeiten der Industrie 4.0 und positive sowie negative Auswirkungen von Industrie 4.0 (Technologien) auf diese
7. Gespräch über Erfolgsfaktoren für die positive Einführung des Umweltmanagementsystems
8. Gespräch über die Chancen für effektivere und effizientere Umweltmanagementsysteme und die Rolle moderner Technologien

Ad1. Persönliche Vorstellung, Vorstellung des Instituts, Grund für das Interview

Im Zuge meiner Diplomarbeit am Institut für Managementwissenschaften an der Technischen Universität Wien bearbeite ich das Thema „*Umweltmanagement 4.0 - Entwicklung eines Umweltmanagementkonzeptes nach ISO 14000 für die Pilotfabrik Industrie 4.0*“. Dieses Interview soll als Unterstützung für die Literaturrecherche, sowie als Hilfe für die Entwicklung des Umweltmanagementkonzeptes dienen.

Ad2. Erklärung warum Experteninterviews durchgeführt werden

Ziele der Diplomarbeit sind eine Analyse und Zusammenfassung von Literatur zum Thema Umweltmanagement in Zeiten der Industrie 4.0 und das Erstellen eines beispielhaften Umweltmanagementkonzeptes nach ISO 14001 und ISO 14031 für die

Pilotfabrik Industrie 4.0 der Technischen Universität Wien. Es werden Expertinnen und Experten aus der Forschung und aus der Industrie mit einbezogen, um deren persönliche Erfahrungen und Einschätzungen mit der Auseinandersetzung mit Umweltmanagementsystemen in Zeiten der Industrie 4.0 zu erfahren.

Ad3. Erklärung meiner Rolle während des Interviews

Das Experteninterview wird im Zuge meiner Diplomarbeit an der Technischen Universität durchgeführt.

Ad4. Vorstellung der Expertin/ des Experten

- Bitte beschreiben Sie mir Ihre Rolle in diesem Unternehmen/ dieser Institution bzw. Ihre Aufgabengebiete?

Ad5. Beziehung der Expertin/des Experten zu Umweltmanagementsystemen in Zeiten der Industrie 4.0 und ISO 14000

- Bitte erläutern Sie welche Verbindung Sie zu Umweltmanagementsystemen und Industrie 4.0 haben?
 - Haben Sie Umweltmanagementsysteme nach ISO 14000 oder EMAS für Unternehmen im Bereich der Industrie 4.0 bereits eingeführt?
- Wie stehen Sie dem Thema Umweltmanagement generell gegenüber?
 - Haben Sie in den letzten Jahren eine Veränderung gemerkt?
 - Wie denken Sie wird sich dieses Thema in Zukunft entwickeln?
- Wie stehen Sie der ISO 14000 generell gegenüber?
 - Wo sehen Sie ihre größten Vorteile?
 - Wo sehen Sie ihre Schwächen?
- Wo sehen Sie die größten Vorteile eines Umweltmanagementsystems für ein Unternehmen?
 - Wie glauben Sie kann ein Umweltmanagementsystem Unternehmen in Zeiten von Industrie 4.0 helfen?
 - Wo sehen Sie die größten Potentiale?
- Lässt sich Ihrer Meinung nach Industrie 4.0 mit Nachhaltigkeit verbinden?
 - Welche Rolle spielen Ihrer Meinung nach moderne Technologien?

Ad6. Gespräch über die Hauptanforderungen eines Umweltmanagementsystems in Zeiten der Industrie 4.0 und positive sowie negative Auswirkungen von Industrie 4.0 (Technologien) auf diese

- Welche sind für Sie die Hauptanforderungen an ein Umweltmanagementsys-

tem in den Zeiten von Industrie 4.0? Welche sind positive und negative Auswirkungen?

- In welchen Phasen (Planung, Betrieb, Verbesserung....) des Umweltmanagements spielen Industrie 4.0 Technologien eine besonders große Rolle?
- Gibt es Ihrer Meinung nach Unterschiede zwischen Umweltmanagementsystemen vor Industrie 4.0 und Umweltmanagementsystemen in Zeiten von Industrie 4.0? Welche wären das?
- Welche Industrie 4.0 Technologien spielen Ihrer Meinung nach eine große Rolle?

Ad7. Gespräch über Erfolgsfaktoren für die positive Einführung des Umweltmanagementsystems

- Welche Voraussetzungen existieren für eine positive Einführung des Umweltmanagementsystems in Zeiten der Industrie 4.0?
 - Was sind Ihrer Meinung nach kritische Erfolgsfaktoren?
- Wo sehen Sie die größten Probleme bei der Einführung eines Umweltmanagementsystems in Zeiten der Industrie 4.0?
 - Treten diese Probleme auch bei der Einführung durch ISO 14000 auf?

Ad8. Gespräch über die Chancen für effektivere und effizientere Umweltmanagementsysteme

- Welche Chancen/Potentiale sehen Sie für effektivere und effizientere Umweltmanagementsysteme?
 - Welche Rolle spielen Ihrer Meinung nach moderne Technologien im Zusammenhang mit ökologischer Nachhaltigkeit?
- Welche Verbesserungsvorschläge hätten Sie bezogen auf UMS nach ISO 14001 und Industrie 4.0?

Abbildung 9: Leitfaden Experteninterview

Drei Interviewpartner wurden von Dr. Erol als einschlägige Experten in dem Bereich Umweltmanagement und Nachhaltigkeit empfohlen. Die Kontaktaufnahme mit diesen Personen hat mittels E-Mail stattgefunden und es wurden Interviewtermine vereinbart. Vier weitere Experten wurden durch Internetrecherche ermittelt und auch hier hat die Kontaktaufnahme mittels E-Mail stattgefunden und Interviewtermine wurden vereinbart. Hierbei wurde darauf Augenmerk gelegt, dass Experten aus verschiede-

nen Bereichen und Organisationen befragt werden. Allen Experten wurde der Leitfaden des Interviews vorab geschickt. Vier Experten haben ISO 14001 bereits selbst erfolgreich in ihrer Organisation eingeführt bzw. sind für das UMS der Organisation zuständig oder haben Organisationen als Berater dabei unterstützt diese ISO Norm einzuführen. Zwei Experten haben als externe Prüfer ISO 14001 geprüft und ein Experte hat Umweltmanagement und Nachhaltigkeit studiert und ist gerade dabei zu entscheiden, ob er eines seiner neuentwickelten Produkte ISO 14001 zertifizieren lässt. Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Experteninterviews.

Name	Unternehmen/ Organisation	Unternehmensbereich	Position	Dauer Interview	Art des Interviews	aufgenommen
DI Kaltenbrunner	Denkstatt GmbH	Umwelt und Nachhaltigkeit	Geschäftsführer, Miteigentümer	45min	Face-to-face	Ja
DI Melnitzky	ARECon GmbH	Gesunde Organisation und Nachhaltigkeit	Geschäftsführer	1h 8min	Face-to-face	Ja
Mag. Reitinger	Hekktor	Selbstständiger Gründer und Berater	Gründer Projektplattform	33min	Face-to-face	Ja
Mag. Bauer	WU Wien	Campusmanagement WU Wien	Stv. Leiter Campusmanagement, Stv. Umweltmanager	45min	Face-to-face	Ja
MSc Hackenauer	Quality-austria GmbH	Umwelt und Energie	Netzwerkpartner, Produktexperte Umwelt und Energie, Auditor und Umweltgutachter	56min	Face-to-face	Ja

DI Saleta	Anonyme Umwelt-schutz-organisa-tion	Klima-schutz	Projektmanager Umwelt und Wirtschaftsteam	37mi n	Face-to-face	Ja
Ing. Mustafa	OMV Refining & Marke-ting GmbH	Integrierte Manage-mentsys-teme	Global Process Manager Refin-ing & Petro-chemicals	49mi n	Face-to-face	Ja

Tabelle 5: Übersicht Experteninterviews

3.2 Grundlegende Anforderungen aus der ISO 14001

In der ISO 14001 werden Organisationen keine konkreten Ziele vorgegeben, sondern ein Prozess aufgezeigt, welcher ihnen helfen soll sich selbst adäquate Ziele zu setzen und diese systematisch umzusetzen. Die Norm ist allgemein formuliert, um für alle Arten von Organisationen anwendbar zu sein. Um einen Beitrag zu einer ökologischeren Wirtschaftsweise zu leisten, werden in der ISO 14001 Anforderungen, welche Organisationen erfüllen müssen, um Konformität mit dieser internationalen Norm zu beanspruchen, beschrieben. Als erstes muss eine Organisation den *Kontext der Organisation* bestimmen. In diesem Schritt sind externe und interne Themen zu definieren, welche zu einem Erreichen der beabsichtigten Ergebnisse ihres Umweltmanagementsystems führen. Unternehmen müssen Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien bestimmen und die Grenzen und Anwendbarkeit ihres UMS definieren. Im nächsten Schritt müssen Organisationen ihre *Umweltpolitik* formulieren und Rollen, Verantwortlichkeiten und Befugnisse in der Organisation zuweisen. Im Rahmen eines PDCA-Zyklus wird die festgelegte Umweltpolitik umgesetzt. Dieser Zyklus gliedert sich in die Phasen *Planung* (Plan), *Betrieb* (Check), *Bewertung der Leistung* (Check) und *Verbesserung* (Act). Zur *Unterstützung* der Verwirklichung der Umweltpolitik müssen Organisationen ihre erforderlichen Ressourcen bestimmen und bereitstellen, Bewusstsein für die Umweltpolitik der Organisation, der bedeutenden Umweltaspekte und den Folgen einer Nichterfüllung der Anforderungen schaffen. Interne und externe Kommunikation in Bezug auf das UMS muss aufgebaut, verwirklicht und aufrechterhalten werden und alle von der internationalen Norm geforderten Informationen müssen dokumentiert werden. Ziel ist es, eine *kontinuierliche Verbesserung* bei jedem Durchlaufen eines Zyklus zu erhalten und Organisationen sollen sich ihren in der Umweltpolitik definierten Zielen immer enger annähern. Abbildung 10 zeigt die Anforderungen der ISO 14001.⁶²

⁶² (DIN EN ISO 14001, 2015)

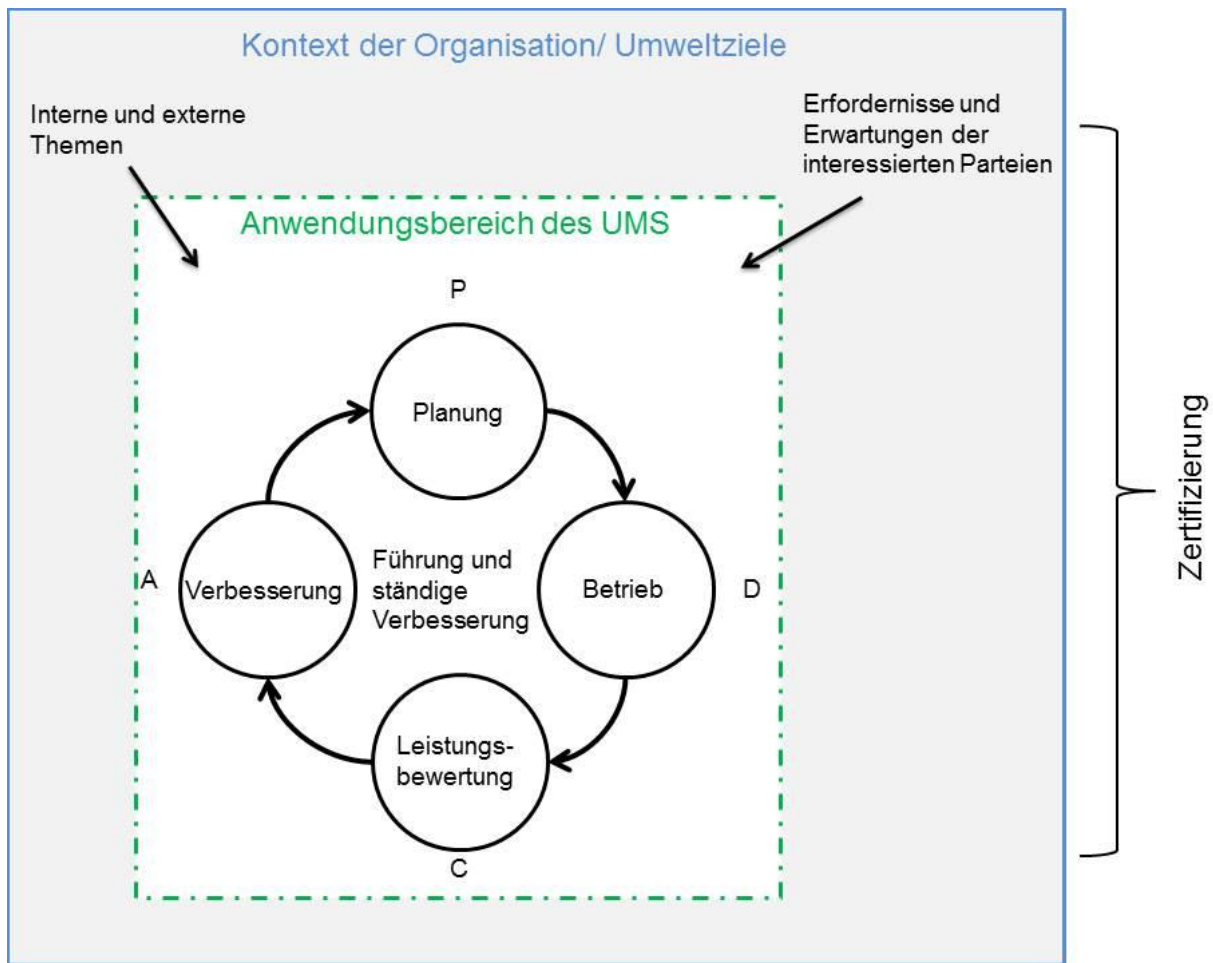


Abbildung 10: Anforderungen der ISO 14001 (eigene Darstellung in Anlehnung an⁶³)

In den folgenden Abschnitten werden Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die oben genannten Anforderungen eines Umweltmanagementsystems erläutert und die Ergebnisse der Experteninterviews zusammengefasst.

3.3 Analyse der Auswirkungen

3.3.1 Phasenübergreifende Auswirkungen

In diesem Unterkapitel werden Auswirkungen, welche sich nicht nur auf eine Phase des Umweltmanagementsystems, sondern auf mehrere Phasen beziehen, erläutert.

3.3.1.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Laut dem Artikel *Environmental performance evaluation with big data: theories and methodes* von Song M.L. ist das Sammeln und Zusammenstellen von Daten (**Big Data**) die Basis für die Verbesserung der Effektivität und Effizienz des betrieblichen Umweltschutzes. Big Data hat bereits die Industrie und die verschiedensten Unternehmensfelder durchdrungen. Diese Daten können laut Snijders et al nicht durch die

⁶³ (DIN EN ISO 14001, 2015)

Verwendung von traditionellen Datenerfassungstools erfasst, kuratiert, gehandhabt und verarbeitet werden. Charakteristisch für diese Daten sind die 5Vs, volume (Volumen), velocity (Geschwindigkeit), variety (Vielfalt), veracity (Wahrhaftigkeit) und valorization (Aufwertung). Big Data steht für ein sehr großes Volumen an Daten und dieses nimmt aufgrund der immer größer werdenden Speicherkapazität zu. Diese Daten werden aus dynamischen, high-speed Datenflüssen generiert und sollten in Echtzeit getestet und analysiert werden. Weiters bestehen diese Daten aus verschiedenen Datentypen. Kann Big Data in Verbindung mit Umweltleistungsmessungstools eingesetzt werden, hat dies auf die verschiedensten Bereiche des Umweltmanagementsystems positive Auswirkungen, insbesondere in der Planungsphase, der Phase der Bestimmung bedeutender Umweltaspekte, der Leistungsbewertungsphase, sowie der Phase des Verstehens der Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien. In letzterer Phase unterstützt Big Data dadurch, dass umweltbezogene Informationen/Daten über eine Organisation den Kunden mit Hilfe des Internets bereitgestellt werden. Diese Informationen erreichen die Kunden, Investoren, Lieferanten etc. schnell und diese können Entscheidungen hin zu umweltfreundlicheren Produkten treffen. Durch Data Sharing gelangen Informationen und Erwartungen des Kunden, der Investoren, Lieferanten etc. zurück zur Organisation und hilft ihnen dabei, diese besser zu verstehen.^{64,65}

McKinsey erwähnt, dass der Einsatz von **Big Data** und **Advanced Analytics** zu einer 20- bis 25%igen Erhöhung des Produktionsvolumens und dadurch zu einer 45%igen Reduktion von Stillstandzeiten führen kann. Somit können Stand-by-Verluste minimiert und Energie für die Bedienung der Anlagen einspart werden.⁶⁶

Neben positiven Auswirkungen von **Big Data** auf Umweltmanagementsysteme hat Brödner erwähnt, dass diese auch kritisch hinterfragt werden müssen. Der Autor erwähnt, dass die Datenqualität von Daten aus unterschiedlichen Quellen oftmals nicht ausreichend gut ist und diese teilweise fehlerhaft, nicht repräsentativ oder auch nicht konsistent sind. Weiters kann es laut Brödner schwer werden, Kausalitäten und Muster in diesen Daten zu erkennen bzw. zu unterscheiden, welche Daten sinnvoll und welche sinnlos sind. Daten beschreiben oftmals die Realität, welche allerdings erst durch diese Beschreibung geformt wird. Teilweise wird Objektivität und Faktizität vorgespielt, allerdings fehlt für die tatsächliche Bedeutung teilweise der vollständige Kontext, welcher jedoch nicht immer verfügbar ist.⁶⁷

Laut Tao et al unterstützten Daten über den **Product Lifecycle** Organisationen dabei, interne und externe umweltrelevante Themen festzulegen und können somit einen weiteren positiven Beitrag zur Verbesserung von Umweltmanagementsystemen

⁶⁴ (Snijders, Matzat, & Reips, 2012)

⁶⁵ (Song, Fisher, Wang, & Cui, 2016)

⁶⁶ (McKinsey, 2015)

⁶⁷ (Brödner, 2017)

liefern. Der Product Lifecycle enthält die Entwicklung des Konzepts, das Produkt Design, die Beschaffung, die Fertigung, den Transport, den Verkauf, die Verwendung des Produktes, den After-Sale-Service und das Recycling. Daten über die Kundennachfrage, welche nicht nur Wünsche, sondern auch Beschwerden beinhalten, sowie Informationen über die Marktsituation erleichtern Organisationen die Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien zu verstehen. Weiters ermöglichen Daten über die Fertigung (z.B.: Prozessdaten, Maschinen- und Gerätedaten), Daten über den Transport (z.B.: Planungsdaten, Emissionsdaten), Daten über die Beschaffung (z.B.: Lieferantendaten), Daten über den After-Sale-Service (z.B.: Ausfalldaten, Qualitätsdaten), aber auch Daten über das Recycling (z.B.: Energieverbrauchsdaten, Daten über den Status der einzelnen Komponenten) Organisationen, Umweltaspekte ihrer Tätigkeiten, Dienstleistungen und Produkte zu definieren und Umweltauswirkungen dieser zu bestimmen und haben somit positive Auswirkungen auf die Phasen der Planung, des Betriebs und der Leistungsbewertung.⁶⁸

Corbett und Kirsch erwähnen, dass Zertifizierungen von Umweltmanagementsystemen (nach ISO 14001) von Unternehmen oftmals als Marketingtool eingesetzt werden. Weiters führen sie an, dass es eine Schwäche der Norm ist, dass sie **keine spezifischen Praktiken**, sowie **keine definierten Anforderungen** an die Ergebnisse der Zertifizierung haben. Dies ist ein Problem welches sich durch alle Phasen des Umweltmanagementsystems ziehen kann, unabhängig davon, welche modernen Technologien eingesetzt werden.⁶⁹

3.3.1.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Zwei Experten haben erwähnt, dass durch Industrie 4.0 keine neuen Anforderungen (an das System) entstehen werden, wobei ein Experte der Meinung war, dass es in der Umsetzung der Standards und des Systems zu Unterschieden kommen wird.

Experte Hackenauer: „Für Umweltmanagementsysteme werden durch Industrie 4.0 keine Veränderungen entstehen! Themen wie Digitalisierung waren immer schon da, nur hat man es nicht unter dem Begriff Industrie 4.0 gekannt.“

Experte Kaltenbrunner: „Im Sinne des Standards wird es keine neuen Anforderungen geben. Allerdings wird es in der Umsetzung Unterschiede geben!“

Fünf Experten haben erwähnt, dass es die **Bereitstellung von Dateninformationen über den gesamten Lebenszyklus** positive und phasenübergreifende Auswirkungen auf ein Umweltmanagementsystem hat. Momentan sind Umweltdaten oftmals noch nicht online bzw. es existieren Daten mit Vergangenheitsbezug. Durch **Online-daten** und **Echtzeitdaten** entstehen große Chancen in allen Phasen des Umweltmanagementsystems Verbesserung schneller zu erreichen. Weiters kommt es zu einer

⁶⁸ (Tao u. a., 2018)

⁶⁹ (Corbett, 1999)

Vernetzung über die Wertschöpfungskette der eigenen Organisation hinweg und es findet ein gemeinsames und kein geschlossenes Agieren statt, wodurch Synergien besser genutzt werden können.

Experte Saleta: „Große Unternehmen können mit der Einführung eines Umweltmanagements hier als Best Practice Beispiele vorangehen und durch die digitale Vernetzung kleinere Unternehmen und ihre Lieferanten unterstützen und motivieren. Ich sehe hier ein sehr großes Potential!“

Auch waren die Experten der Meinung, dass durch Betrachtung des gesamten Lebenszyklus und Miteinbeziehung der **ganzen Kette größere Abhängigkeiten** entstehen und somit auch **Risikoabschätzungen** verändern werden. Da nicht mehr nur die eigene Organisation mit einbezogen wird, sondern durch digitale Vernetzung auch das Umfeld, kommt es hier zu neuen Anforderungen. Risikoabschätzungen werden laut den Experten schwieriger. **Umweltmanagementsysteme** müssen in allen Phasen **flexibler** sein, da das ganze System dynamischer sein wird. Allerdings war ein Experte der Meinung, dass das Risikomanagement durch diese digitale Vernetzung und den intensiveren und schnelleren Informations- und Datenaustausch unterstützt werden kann.

Experte Kaltenbrunner: „Es könnten beispielsweise Early Warnings über nicht eingehaltene Arbeitsrechtvorgaben oder Umweltauflagen von Key Suppliern erzeugt werden und an das Umweltmanagementsystem der Organisation weiter gegeben werden.“

Ein weiterer Experte hat erwähnt, dass es durch die **großen Datenmengen** und die Möglichkeit jederzeit und überall Zugriff auf diese zu haben, zu neuen Herausforderungen in allen Phasen der Umweltmanagementsysteme kommen kann.

Experte Mustafa: „Eine Schwierigkeit von Industrie 4.0 ist, dass es enorme Datenmengen gibt und es muss erst mal entscheiden werden was wirklich benötigt wird und brauchbar ist.“

Weiters wurde erwähnt, dass die ISO 14001 allen Organisationen gerecht werden muss. Diese **allgemeine Formulierung** hat zwar den Vorteil, dass sie von Organisationen jederart und aus den verschiedensten Bereichen eingesetzt werden kann, allerdings ist eine Selbstdisziplin der Organisationen notwendig.

Experte Hackenauer: „Manche Organisationen betrachten den gesamten Lebensweg ihrer Produkte, Prozesse und Dienstleistungen, bis hin zum Recycling und andere nicht. Die ISO 14001 ist nicht über den gesamten Lebensweg aufgebaut und lässt Organisationen selbst bestimmen, welche Phasen sie betrachten wollen. Organisationen können selbst entscheiden, ob sie in die Tiefe gehen wollen oder eben leider nicht!“

Die Experten haben erwähnt, dass **strengerer Auditieren** stattfinden sollte, um die positiven Auswirkungen auf UMS zu steigern. Formalanforderungen sollten weniger streng betrachtet werden, dafür aber Auswirkungen des UMS umso stärker. Das Umweltmanagementsystem muss in der ganzen Organisation bekannt sein und von allen Mitarbeitern gelebt werden.

Experte Melnitzky: „Norm ist streng, aber die Auditoren sind es nicht! Oft ist nicht klar, ob alle Mitarbeiter ihr Umweltmanagementsystem überhaupt kennen!“

Weiters würde die Einführung einer **Baseline** einen Vorteil für Organisationen haben. In der ISO 14001 wird keine Basis, von welcher aus Verbesserungen gemessen werden definiert. Mit der Einführung einer Baseline hätten Organisationen einen Anhaltspunkt mit welchem sie ihre Verbesserung vergleichen könnten.

3.3.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass **Big Data**, das **Bereitstellen von Dateninformationen über den gesamten Lebenszyklus** und **Echtzeitdaten** positive Auswirkungen auf Umweltmanagementsysteme haben können. Daten sind die Basis für die Verbesserung der Effektivität und Effizienz des betrieblichen Umweltschutzes und es kann (z.B. durch Onlinedaten) zu einer stärkeren Vernetzung über die Wertschöpfungskette der eigenen Organisation hinweg kommen. Allerdings sei zu erwähnen, dass bei diesen großen Volumen an Daten oftmals Datenqualität nicht ausreichend sein kann, Kausalitäten und Muster nicht mehr zu erkennen sind und es oftmals schwer werden kann zu erkennen, welche Daten sinnvoll und welche es nicht sind. Um die positiven Auswirkungen zu maximieren, schlagen Experten eine Baseline und strengerer auditieren vor. Es sei allerdings zu erwähnen, dass durch stärkere Vernetzung und Betrachtung des gesamten Lebenszyklus **Risikoabschätzungen schwieriger** werden könnten, **Umweltmanagementsysteme** dann **flexibler** werden müssen und auf den schnelleren Informations- und Datenaustausch reagieren sollten.

3.3.2 Auswirkungen auf die Bestimmung des Kontextes der Organisation

In dieser Phase müssen Organisationen externe und interne Themen bestimmen, welche ihnen dabei helfen bzw. darauf Einfluss haben könnten die gewünschten Ergebnisse ihres Umweltmanagementsystems zu erreichen. Hierfür müssen Organisationen die Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien verstehen, den Anwendungsbereich des UMS festlegen und dieses aufbauen, verwirklichen, aufrecht-

erhalten und fortlaufend verbessern.⁷⁰ In diesem Unterkapitel werden Auswirkungen auf die Bestimmung des Kontextes der Organisation analysiert.

3.3.2.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Eine Studie von PWC *Industrie 4.0- Österreich im Wandel* aus dem Jahr 2015 zeigt auf, dass **Big Data** eine zentrale Rolle bei der Nutzung und beim Austausch von Daten mit Kooperationspartnern und Kunden spielt. Es lassen sich die Erfordernisse, Erwartungen interessierter Parteien besser verstehen und deren Anforderungen, welche für das Umweltmanagementsystem relevant sind, herausfiltern. Big Data unterstützt Organisation bei der Festlegung ihrer bedeutenden Umweltaspekte und liefert somit einen positiven Beitrag.⁷¹

Kagermann erwähnt, dass **Big Data** durch intelligente Algorithmen, welche auf Wahrscheinlichkeitsberechnungen und Korrelationen basieren, gehoben werden kann. Zuerst werden die Daten analysiert und im Anschluss werden Muster festgestellt, aus welchen Informationen gewonnen werden können, welche wiederum zu neuem Wissen verknüpft werden können. Dies wird unter dem Schlagwort Smart Data verstanden. **Smart Data** kann Unternehmen in allen Phasen ihres Umweltmanagementsystems unterstützen.⁷² Allerdings sei auch hier wieder auf Brödner verwiesen, welcher erwähnt, dass es oftmals sehr schwer ist zu erkennen welche Daten sinnvoll und welche sinnlos sind, genauso wie oftmals Zusammenhänge von Daten verloren gehen. Dadurch können für Umweltmanagementsysteme neue Herausforderungen entstehen.⁷³

Laut dem *Verein Deutscher Ingenieure* ist ein Vorteil von dem Einsatz **digitaler Objektgedächtnisse**, dass die Bereitstellung eines **Ressourcen-Footprints** der Produkte ermöglicht wird. Interessierte Parteien haben hohe Erwartungen und Anforderungen an das (ökologisch) nachhaltige Wirtschaften einer Organisation. Die Bereitstellung des ökologischen Fußabdrucks hilft Unternehmen dabei dies den Kunden, Lieferanten, Aufsichtsbehörden, Investoren etc. aufzuzeigen und hat somit eine positive Auswirkung auf Umweltmanagementsysteme.⁷⁴

Bei der Bestimmung des Kontextes der Organisation kann es laut Ivanova et al zu Schwierigkeiten kommen. Oftmals führen erhöhte Papierarbeit und Implementierungskosten dazu, dass Organisationen die Einführung des ISO 14001 Zertifikates nicht auf Grund des Wunsches von sich wesentlich verändernden internen Praktiken, sondern **auf Grund von äußeren Einflüssen**, z.B. Imagegewinn und Reputation durchführen. Allerdings ermöglichen, laut der Quelle von Ivanova et al, intern ange-

⁷⁰ (DIN EN ISO 14001, 2015)

⁷¹ (PricewaterhouseCoopers, 2015)

⁷² (Kagermann, 2017)

⁷³ (Brödner, 2017)

⁷⁴ (VDI ZRE, 2017)

triebene Zertifizierungs-Entscheidungen eine höhere Top Management Unterstützung, ein besseres Systemdesign um bereits existierende Prozesse und ein positiveres Verhalten der Mitarbeiter bezogen auf die Umweltmanagementsystem Einführung. Außerdem führt ein Systemdesign um bereits bestehende Prozesse zur Verwendung Informations-Technologie, wodurch Mitarbeiter erneut höher in den Implementierungsprozess miteingezogen werden. Eine hohe Mitarbeiter Einbeziehung ermöglicht eine Effektivitätssteigerung der Implementierung.⁷⁵ Um die positiven Auswirkungen moderner Technologie auf ein Umweltmanagementsystem nutzen zu können, sollten die Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien zwar verstanden und in die Umweltpolitik mit einbezogen werden, allerdings sollte der Entscheidungsgrund für ein UMS stets intern getrieben sein.

Der Effekt der Einführung eines UMS aufgrund von äußeren Wünschen und Druck wurde von Gomez und Rodriguez untersucht. In ihrer Studie *“The effect of ISO 14001 certification on toxic emissions: an analysis of industrial facilities in the north of Spain”* wurden die Auswirkungen einer Zertifizierung nach ISO 14001 auf giftige Emissionen untersucht und es haben sich die Schadstoffemissionen nach Einführung der Norm nicht signifikant verringert. Weiters erwähnen sie, dass Organisationen eine Zertifizierung als ein **reaktives** und nicht als ein proaktives **Investment** wahrnehmen. Es wird erwähnt, dass Zertifizierungen auf Grund von äußerem Druck (z.B. durch Investoren, Kunden) und nicht als Investment für eine verbesserte Umwelt gesehen werden. Oftmals wird die Zertifizierung verwendet um zu zeigen, dass Organisationen regelkonform handeln, aber es kommt zu keiner Veränderung im Umweltmanagement des Unternehmens.⁷⁶

3.3.2.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Alle Experten waren sich einig, dass sich immer mehr Organisationen Gedanken über ihre Umweltauswirkungen machen. Für große Organisationen sind Themen wie Umweltschutz, Umweltmanagement und Nachhaltigkeit nicht mehr wegzudenken. Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien, Kunden und Partnern müssen verstanden werden, um ein Umweltmanagementsystem aufzubauen.

Experte Mustafa: „Umweltmanagementsysteme, ob zertifiziert oder nicht, sind ein Muss für jeden Produktionsbetrieb und nicht mehr wegzudenken in Zukunft!“

Weiters waren sich fünf der Befragten einig, dass die Revision der ISO 14001 einen positiven Beitrag zur Verbesserung von Umweltmanagementsystemen geleistet hat. Das Umfeld wird nun stärker analysiert und in die Zielsetzung miteingebunden, Umweltauswirkungen und Aspekte werden nun immer stärker entlang des Lebenszyklus betrachtet und nicht mehr nur im eigenen Unternehmen. Weiters ist die Involvierung

⁷⁵ (Ivanova, Gray, & Sinha, 2014)

⁷⁶ (Gomez & Rodriguez, 2011)

und Verpflichtung des Top Managements strenger geworden und eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Zertifizierung. Als Vorteile der ISO 14001, welche als einen der ersten Schritte die Festlegung des Kontextes der Organisation vorsieht, wurden von den Experten folgende Punkte erwähnt:

- Auseinandersetzung mit Kosten (Energiekosten, Materialkosten, Abfallkosten...)
- Möglichkeit zur Kosteneinsparung
- Strukturiertes Managementsystem
- Rechtskonformität
- Kollektiver Verbesserungsprozess
- Große Durchdringungsrate in Österreich

Drei Experten sehen eine Chance in dem Erstellen eines **ökologischen Fußabdruckes**. Organisationen erhalten Daten über den CO₂ Verbrauch ihrer Lieferanten bzw. Fußabdrücke von Vorprodukten und Rohstoffen, wodurch Organisationen sich bewusst für ein ökologisch nachhaltiges Wirtschaften entscheiden können und dies auch interessierten Parteien, Kunden und Partnern aufzeigen können.

Experte Saleta: „Ein sehr großes Potential sehe ich in dem Erstellen eines ökologischen Fußabdruckes. Momentan sind kleinere Unternehmen oft nicht im Stande diesen zu erstellen. Ermöglicht moderne Technologie dies, können Unternehmen auch ihren Kunden zeigen, dass sie nachhaltig agieren und es entsteht eine größere Transparenz.“

3.3.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend sei zu erwähnen, dass **Big Data** Umweltmanagementsysteme in der Phase der Bestimmung des Kontextes der Organisation unterstützen könnte, indem sie Organisationen helfen Erfordernisse, Erwartungen interessierter Parteien besser verstehen zu können und diese dabei unterstützen deren Anforderungen, welche für das Umweltmanagementsystem relevant sind, herausfiltern zu können. Durch das Erstellen eines **ökologischen Fußabdruckes**, z.B. mit Hilfe von **digitalen Objektgedächtnissen** kann dieser Schritt weiter unterstützt werden. Um diese positiven Auswirkungen nutzen zu können, sollten Umweltmanagementsysteme (nach ISO 14001) stets auf Grund von **internem Wunsch** und nicht durch äußeren (Marketingeffekt, Image,...) geschehen.

3.3.3 Auswirkungen auf die Bestimmung der Umweltpolitik

Die Bestimmung der Umweltpolitik ist Teil der Phase der Führung. Organisationen müssen in Bezug auf das Umweltmanagementsystem Führung und Verpflichtung

zeigen. Hierzu zählen die Rechenschaftspflicht für die Wirksamkeit des UMS, Sicherstellung, dass die Umweltpolitik festgelegt ist und mit der strategischen Ausrichtung und dem Kontext der Organisation übereinstimmt, Sicherstellung dass die Anforderungen des Umweltmanagementsystems in die Geschäftsprozesse der Organisation integriert werden etc. Es muss eine Umweltpolitik festgelegt, verwirklicht und aufrechterhalten werden. Diese muss als dokumentierte Information aufrechterhalten werden, interessierten Parteien zur Verfügung stehen und innerhalb der Organisation bekanntgemacht werden. Weiters muss die Organisation Verantwortlichkeiten und Befugnisse zuweisen und intern kommunizieren.⁷⁷ In diesem Unterkapitel werden Auswirkungen auf die Bestimmung der Umweltpolitik erläutert.

3.3.3.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Laut der Studie *Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution* von PWC ermöglicht eine **horizontale Integration** des Wertschöpfungsprozesses eine bessere Erfüllung von Kundenanforderungen. Diese vertiefte Kooperation mit den Wertschöpfungspartnern hilft nicht nur in der Phase des Verstehens der Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien (Verstehen des Kontextes der Organisation), sondern führt dazu, dass die festgelegte Umweltpolitik interessierten Parteien zur Verfügung steht.⁷⁸

3.3.3.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Alle Experten stehen dem Thema Umweltmanagement äußerst positiv gegenüber und sind der Meinung, dass dieses Thema auch in Zukunft immer wichtiger wird. Weiters wurde vielfach die Meinung vertreten, dass das Thema Umwelt in den letzten Jahren allgemein einen höheren Stellenwert in unserer Gesellschaft eingenommen hat. Somit sind sich die Experten einig, dass für erfolgreiche Organisationen eine gewissenhafte und nachhaltige Bestimmung der Umweltpolitik unumgänglich sein wird.

Experte Reitinge: „Wir haben eine generationelle Verantwortung. Das wird auch immer mehr Menschen bewusst.

Als größter Vorteil eines Umweltmanagementsystems wurde von allen Experten die **Rechtskonformität** genannt. Umweltmanagementsysteme helfen Organisationen hierbei und bieten einen sehr guten Rahmen. Weiters wurde erwähnt, dass durch das Vorhandensein eines Umweltmanagementsystems ein **Imagegewinnen** und somit ein **Wettbewerbsvorteil** erzielt werden kann. Dies resultiert laut Experten daraus, dass Umweltthemen immer wichtiger in der Gesellschaft werden und sich Konsumenten, aber auch Vor- und Nachlieferanten sich bewusst für Organisationen mit einem Umweltmanagementsystem entscheiden. Daher ist eine Festlegung der Um-

⁷⁷ (DIN EN ISO 14001, 2015)

⁷⁸ (Geissbauer, Kuge, Schrauf, & Koch, 2014)

weltpolitik und Übereinstimmung mit der strategischen Ausrichtung und dem Kontext der Organisation laut Experten unausweichlich. Weiters bieten Umweltmanagementsysteme Organisationen die Möglichkeit einer strukturierten Herangehensweise und eine valide Ausgangsbasis für weitere Umweltüberlegungen. Weiters wurde von einem Experten erwähnt, dass durch externe Audits die menschliche Schwäche des „Zurücklehns und Nichtstuns“ bewältigt wird, denn zu den Auditterminen müssen die Anforderungen erfüllt sein. Ein weiterer Experte hat erwähnt, dass Organisation durch ein Umweltmanagementsystem ihren IST Zustand kennen und auf dessen Basis eine Verbesserung stattfinden kann.

Experte Mustafa: „Ich weiß genau wo ich bin und wo ich stehe. Ich kenne meine Energieverbräuche, sowie meine Ressourcenverbräuche und auf dieser Basis kann ich eine kontinuierliche Verbesserung beginnen.“

Um diese Vorteile nutzen zu können, haben die Experten folgende Punkte als kritische Erfolgsfaktoren genannt, welche bereits in der Bestimmung der Umweltpolitik zu beachten sind:

- Mitarbeitereinbindung
- Organisatorische Verankerung von den Umweltmanagern
- Kommunikation
- Kommitment der obersten Leitung/ von dem Topmanagement
- Ausstattung mit Ressourcen
- Stakeholder Einbindung
- Saubere IST-Zustand Erhebung
- Dokumentation
- Fundierte Datengrundlage/ ausreichende Datenqualität

Weiters haben zwei Experten erwähnt, dass ein sehr gut funktionierender **Informationsfluss** zwischen den Personen in der Organisation und auch nach außen zu Stakeholdern geschaffen werden muss. Mitarbeiter und auch das miteinbezogene Umfeld müssen sich über Vernetzungen in dem System, aber auch über die Grenzen des Systems hinaus, im Klaren sein.

Experte Melnitzky: „Damit ein System funktionieren kann müssen alle Betroffenen das System verstanden haben und es muss ihnen bewusst sein, welche Vernetzungen es in diesem gibt. Dies ist oftmals nicht der Fall in Organisationen und das ist ein großes Problem bei der Einführung eines Umweltmanagementsystems.“

Laut einigen Experten fehlt die **strategische Zielsetzung** in der ISO 14001. Dies wäre in der Phase der Bestimmung der Umweltpolitik ein wichtiger Punkt, welcher in Zukunft stärker betrachtet werden sollte.

Experte Kaltenbrunner: „Eine Planung der nächsten drei bis fünf Jahre wäre ein sehr spannender Zugang!“

Experte Mustafa: „Oftmals lässt sich von einigen Maßnahmen nach drei Jahren noch keine Verbesserung nachweisen. Das funktioniert bei vielen Maßnahmen, aber nicht bei langfristigen Maßnahmen. Hier wäre ein längerer Zertifizierungszyklus hilfreich.“

Es sind sich alle Experten einig, dass sich Industrie 4.0 sehr gut mit Nachhaltigkeit verbinden lässt und kein Widerspruch ist. Nachhaltigkeit, sozial, ökologisch und ökonomisch ist für Unternehmen sehr wichtig und muss in ihre Umweltpolitik miteinfließen.

Experte Hackenauer: „Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit, das ist eine wirklich hervorragende Symbiose!“

Experte Saleta: „Es entsteht durch Digitalisierung eine sehr gute Chance für Umwelt und Nachhaltigkeit!“

Experte Mustafa: „Es entsteht durch Industrie 4.0 die Möglichkeit die richtigen Daten zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Form zur Verfügung zu stellen!“

3.3.3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine **horizontale Integration** des Wertschöpfungsprozesses dazu führen kann, dass Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien besser und schneller verstanden werden können, somit effizienter und effektiver umgesetzt werden können und die Umweltpolitik interessierten Parteien zu Verfügung gestellt werden kann. Laut Experten ist eine sauber entwickelte Umweltpolitik ein unumgänglicher Schritt zur erfolgreichen Einführung eines Umweltmanagementsystems und die größten Vorteile dieses sind **Rechtskonformität**, **Imagegewinn** und **Wettbewerbsvorteil**. Um die positiven Effekte eines Umweltmanagements nach ISO 14001 noch stärker zu erreichen, empfehlen Experten eine **strategisch stärker ausgerichtete Zielsetzung**.

3.3.4 Auswirkungen auf die Phase der Planung

In dieser Phase müssen Organisationen Maßnahmen zum Umgang mit Risiken und Chancen festlegen. Organisationen müssen innerhalb des von ihnen festgelegten Anwendungsbereiches Umweltaspekte ihrer Tätigkeiten, Dienstleistungen und Produkte, welche sie steuern können, definieren. Umweltauswirkungen welche sich durch die bedeutenden Umweltaspekte ergeben sind festzulegen. Im nächsten

Schritt müssen Organisationen bindende Verpflichtungen, welche mit ihren Umweltaspekten zusammenhängen, definieren. Maßnahmen für den Umgang mit bedeutenden Umweltaspekten, bindenden Verpflichtungen, Risiken und Chancen sind zu entwerfen und Maßnahmen zur Bewertung dieser zu definieren. Umweltziele und eine Planung zu Erreichung dieser sind festzulegen. Organisationen müssen Kennzahlen zur Überwachung des Erreichens der Umweltziele bestimmen.⁷⁹ In diesem Unterkapitel werden Auswirkungen auf die Phase der Planung analysiert.

3.3.4.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Laut dem *Verein Deutscher Ingenieure* ermöglicht die **Vernetzung von Sensoren und Aktoren** Datenerfassung, Datenanalyse, Entdeckung von Potenzialen und höhere Prozesstransparenz. Daten lassen sich in allen Bereichen der Organisation erfassen und miteinander verknüpfen. Anforderungen für den effektiven und effizienten Einsatz von vernetzten Sensoren und Aktoren sind, einerseits Sicherheitsanforderungen (Verfügbarkeit, Vertraulichkeit, Datenintegrität und Datenauthentizität), andererseits sollen die verwendeten Aktoren und Sensoren energiearm, fehlerrobust, skalierbar und mobil sein. Wird dies erfüllt, ist eine Bestimmung bedeutender Umweltaspekte und eine Identifizierung möglicher Einsparpotentiale in der Planung möglich. Die durch vernetzte Sensoren und Aktoren gewonnenen Informationen über den Umweltzustand der Organisation können zur Ermittlung von Tätigkeiten, Produkten und Dienstleistungen dieser, welche sich auf bestimmte Umweltzustände auswirken können, genutzt werden.⁸⁰

Die Studie *Industrie 4.0- Österreichs Industrie im Wandel* von PWC hat verdeutlicht, dass durch **erweiterte Sensorik** zusätzliche Daten generiert werden können. Weiters kann eine Analyse von umfangreichen **Datenmengen in Echtzeit**, sowie die Nutzung dieser, zu einem positiven Ergebnis für die Phase der Planung führen.⁸¹

Werden Produkte, Maschinen und Feldgeräte mit einem **digitalen Objektgedächtnis** ausgestattet, können Speicherung und Nutzung von relevanten Daten (z.B. Produktionsdaten) direkt am Produkt stattfinden. Relevante Produktionsdaten lassen sich direkt zum Ressourcenverbrauch des Bauteils zuordnen. Laut dem *Verein Deutscher Ingenieure* finden eine Sicherung der Produktqualität und Dokumentation durchgeführter Wartungsoperationen statt und es liegen Informationen zu Zusammensetzung, Herkunft, Qualität, Lagerbedingungen etc. direkt am Produkt vor. Es können Analysen bereits vorhandener Daten über Material- und Energieverbräuche, Abwässer, Abfälle und Emissionen etc. stattfinden und somit ein positiver Beitrag zur

⁷⁹ (DIN EN ISO 14001, 2015)

⁸⁰ (VDI ZRE, 2017)

⁸¹ (PricewaterhouseCoopers, 2015)

Ermittlung bedeutender Umweltaspekte und ihrer jeweiligen Bedeutung im Rahmen der Umweltleistungsbewertung geleistet werden.⁸²

Laut Krückhans und Meier sind **Simulationsanwendungen** wichtige Werkzeuge der Industrie 4.0 um Ressourceneffizienz zu erreichen. Simulationen sind zusammen mit 3D Visualisierungen Teil einer digitalen Fabrik. Mit Hilfe von rechnergeschützten Werkzeugen und Methoden werden Prozesse und Produkte virtuell in Modelle abgebildet, die geplante Produktion lässt sich numerisch optimieren und es wird ein fehlerfreier Betrieb erzeugt, welcher in der realen Fabrik übernommen werden soll. Somit ist die digitale Fabrik ein Bindeglied zwischen virtueller und realer Produktion. Der Einsatz von Simulationen, welche parallel zu physischen Prozessen ablaufen, ermöglicht eine ressourcenorientierte Planung, welche Rohstoff- und Energiebedarf reduziert, wodurch es zu einer Unterstützung in der Phase der Planung von Maßnahmen zur Erreichung der Umweltziele kommt.⁸³

Durch die Integration verschiedener Komponenten in die Wertschöpfungskette der Industrie 4.0. entstehen zunehmende **Abhängigkeiten zwischen Menschen, physischer Produktion und virtuellen Informationsnetzen**. Dadurch können laut Hertel neuartige **Sicherheitsrisiken** entstehen, die bereits in der Phase der Planung (Umgang mit Risiken) berücksichtigt werden sollen. Bedrohungen, welche die Sicherheitsrisiken verursachen, sind Infektionen der IT mit Malware, gezielte Cyber-Angriffe auf Fernwartungszugänge oder Steuerungskomponenten, Kompromittierung von Cloud Komponenten oder Geräten und Denial-of-Service Angriffe (hierbei wird die Verfügbarkeit von Diensten, Systemen und Netzen durch absichtlich herbeigeführte Überlastungen dieser beeinflusst).⁸⁴

Weiters sei zu erwähnen, dass laut Hillary die **Kosten** die größte Schwäche der Einführung von Umweltmanagementsystemen (z.B. nach der ISO 14001) sind. Organisationen befürchten, dass die Kosten des Einführungsprozesses, sowie die Kosten der Beibehaltung des Zertifikates ihr Geschäft ruinieren würden. Zu diesen Kosten zählen Registrierungsgebühren, Prüfkosten und optionale Kosten eines externen Beraters.^{85,86} Oftmals steigen die Kosten auf Grund eines Mangels an Ressourcen, dazu zählen ein Mangel an Training, Spezialisten, Management, Mitarbeitern und Zeit für die Einführung. Es konnte festgestellt werden, dass es teilweise an Bewusstsein der Vorteile seitens des Managements fehlt.⁸⁷ Hierbei ist es wichtig, dass ein Umweltmanagementsystem stets in die Geschäftsprozesse der Organisation integriert

⁸² (VDI ZRE, 2017)

⁸³ (Krückhans & Meier, 2013)

⁸⁴ (Hertel, 2015)

⁸⁵ (Strachan, Sinclair, & Lal, 2003)

⁸⁶ (Boiral, Guillaumie, Heras- Saizarbitoria, & Tene, 2017)

⁸⁷ (Hillary, 2004)

wird und bereits in der Phase der Planung benötigte Trainings, Experten, Mitarbeiter etc. bedacht werden.

Außerdem erwähnt Hillary, dass weitere Hindernisse bei der Einführung des Umweltmanagementsystems **erhöhte Bürokratie und Dokumentation** sind. Oftmals kommt es zu Schwierigkeiten bei der Evaluierung von Umweltauswirkungen bzw. des Feststellens der Relevanz dieser für die Organisation. Organisationen schaffen es nicht Tätigkeiten, Dienstleistungen und Produkte, welche sie steuern können, zu definieren, welches der erste Schritt in der Phase der Planung ist.⁸⁸ Zusätzliche Bürokratie und Dokumentation verhindert effiziente Managementpraktiken. Mitarbeiter sehen in Verbindung mit einer ISO 14001 Zertifizierung oftmals enorme Papierarbeit. Um dieser Schwäche entgegen zu wirken, muss ein internes Marketing für Umweltmanagementsysteme durchgeführt werden. Mitarbeitern muss bewusst sein, welche positiven Effekte ein Umweltmanagementsystem mit sich bringt und sollen dadurch motiviert werden, die notwendige Bürokratie der Zertifizierung durchzuführen.^{88,89}

3.3.4.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Auch waren einige der Experten der Meinung, dass die **Kosten** der Zertifizierung eine Schwäche der ISO Norm ist. Gerade für kleinere Organisationen stellt sich die Frage, ob sich eine Zertifizierung und eine Beibehaltung des Zertifikates finanziell rentieren werden. Oftmals haben große Organisationen schon eine ISO Zertifizierung und verlangen diese von ihren Lieferanten bzw. wird ein Nichtvorhandensein der Zertifizierung zu einem Ausschlusskriterium. Kleinere Organisationen sehen sich somit unter Druck gesetzt und eine Zertifizierung findet nicht auf Grund von Eigeninitiative, sondern als **Reaktion auf äußeren Vorgaben** statt.

Experte Reitinger: „Als kleine Unternehmen sieht man sich hier schnell unter Druck gesetzt!“

Experte Melnitzky: Vor allem früher war ein Kundenwunsch der Hauptgrund für eine Zertifizierung. Das ist heute, und das finde ich sehr gut so, schwieriger, weil darauf geachtet wird, ob ein Umweltmanagementsystem mit den Prozessen des Unternehmens verknüpft ist.

Eine weitere Schwäche, welche von den Experten genannt wurde, ist **erhöhte Bürokratie und Dokumentation**. Oftmals wird eine Zertifizierung der ISO Norm von Mitarbeitern wie eine Parallelwelt aufgenommen und als sehr starr empfunden. Einige Mitarbeiter sehen nur die zusätzliche Arbeit, erkennen aber nicht den Benefit des Umweltmanagementsystems.

⁸⁸ (Hillary, 2004)

⁸⁹ (Boiral, 2007)

Experte Melnitzky: „Oftmals war das Augenmerk der Auditoren zu stark auf eine genaue Dokumentation mit Checklisten und Arbeitsanweisungen gerichtet. Oftmals hat eine genaue Dokumentation für das Audit gereicht und es wurde nicht darauf geachtet wie es der Firma geht. Das Kernsystem des Verbesserungsprozesses der strategischen Ausrichtung, das herausfordernde Ziele für das nächste Jahr gesetzt werden, wird seit der Revision der ISO Norm zwar stärker betont, muss aber auch in Zukunft immer stärker betont werden, sonst ist der Nutzen nicht ausreichend.“

Experte Bauer: „Es steckt eine enorme Manpower dahinter und es ist wichtig Mitarbeitern den Vorteil dieser zusätzlichen Arbeit von Anfang an klar zu machen!“

3.3.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammengefasst sei zu erwähnen, dass **vernetzte Sensoren und Aktoren**, welche eine Echtzeitdatenerfassung ermöglichen und **digitale Objektgedächtnisse**, welche eine Speicherung und Nutzung von relevanten Daten (z.B. Produktionsdaten) direkt am Produkt ermöglichen die Phase der Planung unterstützen können. Allerdings sei zu erwähnen, dass durch **größere Abhängigkeiten zwischen Menschen, physischer Produktion und virtuellen Informationsnetzen neuartige Sicherheitsrisiken** entstehen können und diese bereits in der Phase der Planung berücksichtigt werden sollten. Auch sollten die **hohen Kosten, zusätzliche Bürokratie und Dokumentation**, welche entstehen können, bereits in früheren Phasen berücksichtigt werden.

3.3.5 Auswirkungen auf die Phase des Betriebs

In der Phase des Betriebs müssen Organisationen einerseits Prozesse zur Erfüllung der Anforderungen an das Umweltmanagementsystem aufbauen, verwirklichen, steuern und aufrechterhalten. Geplante Änderungen sind zu überwachen, die Folgen von ungeplanten Änderungen zu beurteilen und Maßnahmen zur Minderung negativer Auswirkungen durchzuführen. Umweltaanforderungen für Entwicklungsprozess, Beschaffung, Transport, Nutzung und Behandlung am Ende des Lebensweges müssen bestimmt werden und wesentliche Umweltaanforderungen an externe Anbieter und Vertragspartner kommuniziert werden. Andererseits sind Prozesse aufzubauen, welche bei dem Eintritt von Notfallsituationen (z.B.: Explosion, Brand, Überschwemmung) benötigt werden. Organisationen müssen Maßnahmen zur Verhinderung oder Minderung nachteiliger Umweltauswirkungen festlegen.⁹⁰ In diesem Unterkapitel werden Auswirkungen auf die Phase des Betriebs erläutert.

3.3.5.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Die **Einführung und Verwendung von Ortungs- und Lokalisierungssystemen** ermöglicht, dass gefertigte Produkte und Maschinen leichter in der Produktionsstätte

⁹⁰ (DIN EN ISO 14001, 2015)

gefunden und zugeordnet werden können. Laut dem *Verein Deutsche Ingenieure* ergibt sich die Möglichkeit überflüssige Transporte zu verhindern und die Transparenz des Transportflusses zu erhöhen. Fehlerhafte, oder nicht qualitätskonforme, Teile können z.B. durch optische Sensoren während der Produktion lokalisiert werden und können direkt aus der Produktionslinie entfernt werden. Der *Verein Deutscher Ingenieure* hat festgestellt, dass sich neben einer Reduzierung der Fehlerrate, innerbetriebliche Transportaufwendungen verringern lassen und es zu einer Einsparung von Energieressourcen (Treibstoff und elektrische Energie) und Emissionen (z.B.: CO₂) kommt.⁹¹

Laut dem *Verein Deutscher Ingenieure* ermöglicht **durchgängige Datenintegration**, Abweichungen und Fehler zwischen Planung und Fertigung festzustellen und somit Fehlproduktionen zu reduzieren. Weiters verhindert eine effizientere Nachverfolgbarkeit über Systemgrenzen hinweg eine Überproduktion, die Weiterverarbeitung defekter Produkte, sowie unnötige Materialeinkäufe. Dadurch können in der Phase des Betriebs Ressourcenverbräuche optimiert werden und es kommt zu einer Einsparung von Rohstoffen, Energieressourcen, Abfall, CO₂ und Fläche.⁹¹

Kontinuierliche Überwachung und Analyse von Sensoren und Aktoren, **Zustandsüberwachung**, führt zu einer Erkennung von Abweichungen vom Soll-Zustand, welche behoben werden können. Laut dem *Verein Deutscher Ingenieure* können Maschinenausfälle verhindert werden und es kommt zu einer Reduzierung der Fehlproduktionen. Dadurch können erneut Rohstoffe, Energieressourcen und Abfall während des Betriebes eingespart werden.⁹¹

Eine weitere positive Auswirkung der Industrie 4.0 Technologien auf die Anforderungen an ein Umweltmanagementsystem wird laut dem *Verein Deutscher Ingenieure* durch **virtuelle Produktentwicklung** ermöglicht. Hierbei verringert sich der Bedarf an physischen Prototypen bzw. können diese mit Hilfe von additiver Fertigung (z.B.: 3D-Druck) erzeugt werden. Dadurch kommt es zu einer deutlichen Ressourceneinsparung, da weniger Rohstoffe benötigt werden und Werkzeuge für die Herstellung teilweise wegfallen. Überflüssige Prototypen werden nicht mehr benötigt und es kommt zu einer Reduktion von elektrischer Energie, Materialien, Betriebs- und Hilfsstoffe, Maschinenverschleiß. Dies trägt zu einem Erreichen der Umweltanforderungen beim Entwicklungsprozess und Produktionsprozess des Produktes bei.⁹¹

Der *Verband deutscher Maschinen und Anlagenbau* erwähnt in seinem Beitrag *Industrie 4.0 konkret*, dass **intelligente Sensorik** einen positiven Beitrag auf die Phase des Betriebs hat. Durch RFID-Tags findet eine raschere Identifikation der Produkte

⁹¹ (VDI ZRE, 2017)

statt und somit auch eine schnellere Feststellung von Abweichungen bzw. Fehlprodukten.⁹²

Laut dem Artikel *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0* werden Werkzeugmaschinen und Produktionsmaschinen mit **intelligenten Sensoren** ausgestattet, um Faktoren der Wertschöpfung rascher zu identifizieren und zu lokalisieren. Weiters überwachen diese den Herstellungsprozess. Die eingesetzten Aktoren können in Echtzeit auf Veränderungen der Produkte und der Prozesse reagieren, wodurch smarte Sensorik einen positiven Beitrag auf die Phase des Betriebs leistet.⁹³

Der *Verein Deutscher Ingenieure* erwähnt, dass **dezentrale Steuerung** eine positive Auswirkung auf Anforderungen von Umweltmanagementsystemen hat. Alle Komponenten des Produktionssystems (Sensor, Aktor, Steuerungseinheit) können ohne zentrale Steuerung mit anderen Komponenten des Netzwerks kommunizieren, wodurch Fehler frühzeitig erkannt, Störungen vermieden und Potenziale zur Optimierung von Produkt- und Produktionseffizienz identifiziert werden können. Es kann eine Fehlproduktion vermieden werden, wodurch es zu einer Einsparung von Rohstoffen, Energieressourcen und Abfall kommt. Voraussetzungen für eine dezentrale Steuerung sind z.B. der Einsatz von vernetzten Sensoren und Aktoren, durchgängiger Datenintegration und digitalen Objektgedächtnissen.⁹⁴

Laut dem *Verein Deutsche Ingenieure* lassen sich durch **multimodale Assistenzsysteme** Fehlproduktion und Ausschuss reduzieren und eine effizientere Materialausnutzung und Instandhaltung erreichen. Durch exakte Anweisungen auf mobilen Endgeräten bzw. durch in den Arbeitsplatz integrierte Sensorik, werden Werker unterstützt. Assistenzsysteme können zu einer Einsparung von Rohstoffen, Energieressourcen und Abfall führen.⁹⁴

Laut Hertel verändert sich durch die **zunehmende Automatisierung und Digitalisierung von Fertigungsprozessen** die **Rolle des Menschen in der Produktion**. Menschen werden über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen mit den IT Systemen (ERP, MES, SCADA, SPS etc.) agieren und ihr Einsatzgebiet wird sich von monotonen, motorischen Tätigkeiten hin zur flexiblen Unterstützung und Koordination verlagern. Dadurch können sich die Prozesse zur Erfüllung der Anforderungen an das Umweltmanagementsystem verändern. Weiters wird erwähnt, dass **menschliches Versagen** (z.B.: Ein Programmierfehler bei online angebundenem Lieferanten

⁹² (VDMA, 2017)

⁹³ (Stock & Seliger, 2016)

⁹⁴ (VDI ZRE, 2017)

führt zu einer Verzögerung in Produktion) in hochvernetzten Systemen **enorme Folgen** haben können und auch dies berücksichtigt werden muss.⁹⁵

Der *Verein Deutscher Ingenieure* erwähnt, dass **dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung** dabei helfen, mehrere Produktvarianten herzustellen, sowie eine einfachere Anpassung von Produktionsprozessen zu ermöglichen. Werden Anlagen und Anlagenteile nicht genutzt, können sie abgeschaltet, Stand-by Verluste vermieden und eine bessere Auslastung erreicht werden. Findet eine modulare Produktionsfertigung statt, müssen Produkte nicht die komplette Produktionslinie durchlaufen. Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierungen können Organisationen dabei helfen negative Umweltauswirkungen zu reduzieren (z.B.: Abfall) und somit einen Beitrag zur Erfüllung der Anforderungen an das Umweltmanagementsystem leisten.⁹⁶

3.3.5.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Vier der Experten waren der Meinung, dass eine **nicht bzw. zu wenig strukturierte Datenerfassung**, sowie eine **nicht vollständige bzw. zielführende Datenanalyse** die Hauptprobleme bei der Einführung eines Umweltmanagementsystems sind. Diese Aufgaben sind sehr zeitaufwendig, sowie ressourcenintensiv und um sie erfüllen zu können, muss das System von den Mitarbeitern verstanden werden. Oftmals fehlen den Organisationen interne Kompetenzen und die Experten sind sich einig, dass diese Organisationen externe Unterstützung benötigen.

Experte Hackenauer: „Ein großes Problem bei der Einführung ist fehlende und/oder zu wenig vorhandene Kompetenz. Diese muss entwickelt werden und unter Umständen in diese investiert werden. Organisationen müssen bereit sein hier zu investieren und sich unter Umständen Unterstützung von außen holen!“

Weiters waren sich die Experten einig, dass sich **Ressourceneffizienz** und **Energieeffizienz** erhöhen werden. Hierbei wurden beispielsweise **weniger Verschleiß durch vorausschauende Wartung, bessere Reaktionen auf Echtzeitdaten** im Materialeinkauf und eine **erhöhte Ausfallsicherheit** erwähnt. Zwei der Experten haben allerdings hinzugefügt, dass sie hierbei von betrieblich gesehenen Ergebnissen sprechen und sich nicht sicher sind, ob es absolut auch zu einer Reduktion kommen wird. Einer der befragten Experten war der Meinung, dass durch Industrie 4.0 Technologien **bestehende Ressourcen weltweit besser genutzt** werden können, da uns durch Vernetzung mehr Informationen zur Verfügung stehen.

Experte Hackenauer: „Bestehende Ressourcen können weltweit besser genutzt werden und es kommt zu einer Ressourceneinsparung. Der durch Vernetzung erhaltene

⁹⁵ (Hertel, 2015)

⁹⁶ (VDI ZRE, 2017)

Informationsgewinn ermöglicht es, dort zu produzieren wo Bedarf ist und es müssen nicht unnötig Ressourcen aufgebaut werden.“

Auch waren sich zwei weitere Experten einig, dass die **Vernetzung zwischen den Betrieben** zu einer **Ressourcen- und Energieeffizienzsteigerung** führen wird.

Experte Melnitzky: „Die Informationsgesellschaft profitiert enorm. Industrien schauen ob jemand noch „Abfall“ hat, welchen sie noch als Rohstoff verwenden können. Das funktioniert dank Vernetzung!“

Weiters wurde von einem Experten erwähnt, dass die **Verknüpfung von rechtlichen Daten**, welche aus dem Umweltmanagement kommen, mit **Instandhaltungsdatenbanken** eine positive Auswirkung auf die Phase des Betriebes für Organisationen hätte.

Experte Kaltenbrunner: „Durch diese Datenverknüpfung könnte die Umweltbetriebsprüfung unterstützt werden. Wiederkehrende Maschinenprüfungen, welche in Instandhaltungssoftware abgebildet werden, könnten mit den rechtlichen Anforderungen verknüpft werden.“

3.3.5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass **Ortungs- und Lokalisierungssysteme, durchgängige Datenintegration, Zustandsüberwachung, virtuelle Produktentwicklung, intelligente Sensorik, dezentrale Steuerung und multimodale Assistenzsysteme** positive Auswirkungen auf Umweltmanagementsysteme haben können. Ressourcen- und Energieeffizienz lassen sich laut Experten dank **vorausschauender Wartung, Echtzeitdatennutzung** und einer stärkeren **Vernetzung zwischen Organisationen** steigern und bestehende Ressourcen können weltweit besser genutzt werden. Es sei allerdings zu erwähnen, dass sich die **Rolle des Menschen** in der Produktion verändern werden kann und menschliches Versagen schwerere Folgen als bislang haben könnte. Laut Experten kann es durch nicht bzw. zu wenig strukturierter **Datenerfassung**, sowie eine nicht vollständige bzw. zielführende **Datenanalyse** zu schweren Problemen während der Phase des Betriebes kommen und hier sei größte Vorsicht geboten. Um den rechtlichen Anforderungen gerecht zu werden, wird eine **Verknüpfung von rechtlichen Daten**, welche aus dem Umweltmanagement kommen, mit **Instandhaltungsdatenbanken** empfohlen.

3.3.6 Auswirkungen auf die Phase der Leistungsbewertung

In dieser Phase müssen Organisationen eine Überwachung, Messung, Analyse und Bewertung von ihrer Umweltleistung durchführen und die Wirksamkeit ihres Umweltmanagementsystems bewerten. Organisationen müssen in geplanten Abständen interne Audits durchführen um festzustellen, ob das Umweltmanagementsystem die

Anforderungen der Organisation und der Internationalen Norm erfüllt. Weiters muss die oberste Leitung der Organisation das Umweltmanagementsystem in geplanten Abständen bewerten um festzustellen, ob es weiterhin geeignet ist. Dabei werden unter anderem der erreichte Erfüllungsgrad der Umweltziele, Angemessenheit von Ressourcen und relevante Äußerungen interessierter Parteien, einschließlich Beschwerden, festgestellt und bewertet.⁹⁷ In diesem Unterkapitel werden Auswirkungen auf die Phase der Leistungsbewertung erläutert.

3.3.6.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Mit Hilfe von **prädiktiver Wartung** lassen sich Maschinenfehler (z.B.: Störungen oder Maschinenausfälle) zustandsabhängig voraussagen. Durch diese Wartung sind Reparaturen bedarfsgerecht durchführbar und die Menge der Ersatzteile verringert sich, was sich positiv auf die Lagerung auswirkt. Laut dem *Verein Deutscher Ingenieure* findet eine Überwachung und frühzeitige Identifikation von Verschleiß und erhöhtem Ressourcenverbrauch statt und somit trägt sie einen positiven Beitrag zur Überwachung, Messung, Analyse und Bewertung von Umweltleistungen bei. Voraussetzung für prädiktive Wartung ist das Vorhandensein einer Zustandsüberwachung.⁹⁸

Laut der Quelle *Risiken der Industrie 4.0- Eine Strukturierung von Bedrohungen der Smart Factory* erfordern **technische Möglichkeiten und Technologien der Industrie 4.0** einen **erhöhten Schutz der Informationssicherheit**, da diese Sicherheit essentiell für die Verlässlichkeit einer Smart Factory ist. Zu Informationssicherheit gehören die Kategorien Vertraulichkeit, Verfügbarkeit, Integrität und Authentizität. Bezogen auf Vertraulichkeit dürfen Produktions- und Auslastungsdaten nicht eingesehen werden (Spionage) und es soll ein Schutz der Information von unbefugter Preisgabe bestehen. Informationen sollen geschützt werden und diese dürfen nur für autorisierte Akteure und Systeme zugänglich sein. Die Zugriffsmöglichkeiten auf die in Echtzeit vorhandenen Informationen sollen jederzeit gewährleistet sein (Verfügbarkeit). Bezogen auf Integrität können Anwendungs- und Systemdaten manipuliert werden (Sabotage) oder gespeicherte Daten können geschädigt sein. Informationen, Objekte und Akteure müssen eindeutig identifizierbar sein (Authentizität). Diese Entwicklung, hervorgerufen durch Industrie 4.0 Technologien, hat nicht nur auf Umweltmanagementsysteme eine Auswirkung, sondern auch auf Managementsysteme allgemein. In Bezug auf UMS sei zu erwähnen, dass es während der Planung, des Betriebes, aber auch der Leistungsbewertung zu **Datenmanipulation** und auch **Datenspionage** kommen kann und daher **Umweltziele nicht erreicht** bzw. **Umweltauswirkungen falsch dargestellt** oder gar von außen manipuliert werden können.⁹⁹

⁹⁷ (DIN EN ISO 14001, 2015)

⁹⁸ (VDI ZRE, 2017)

⁹⁹ (Hertel, 2015)

Echtzeit-Datenerfassung durch intelligente Sensoren ermöglicht Organisationen ihren Energieverbrauch in Echtzeit festzustellen und dadurch wird eine aktuelle Überwachung und Bewertung ihrer Produktion ermöglicht. Laut der Quelle *Sustainable manufacturing: trends and research challenges* sollen standardisierte EKPIs (energy key performance indicators) entwickelt werden und in Einklang mit bereits existierenden Standards, wie der ISO 14001 und EN 16001, gebracht werden. Diese standardisierten Indikatoren ermöglichen nicht nur die Überwachung und Bewertung eines energieeffizienten Produktionsprozess, sondern auch den Vergleich mit anderen Organisationen (Benchmark).¹⁰⁰

3.3.6.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Drei Experten waren der Meinung, dass eine Anforderung an die **Datensicherheit** entstehen wird. Durch den leichteren Austausch und Zugriff auf (digitale) Daten, könnte es zu Gefahren kommen.

Experte Hackenauer: „Informationen über Anlagen und Betriebe können missbraucht werden, genauso wie eine Manipulation von Smartmetern, Sensoren und ähnlichem stattfinden kann. Digitalisierung unterstützt diese Bedrohung!“

Weiters wurde von zwei Experten erwähnt, dass durch moderne Technologien **menschliche Fehler immer weniger** werden. Moderne Maschinen ersetzen teilweise Aufgaben der Menschen und dadurch kommt es nicht nur zu einer Ressourceneinsparung, sondern auch zu einer positiven Auswirkung auf die Überwachung, Messung, Analyse und Bewertung der Umweltleistung.

3.3.6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend sei zu erwähnen, dass Echtzeitdatenerfassung durch **intelligente Sensoren** und **prädiktive Wartung** die Phase der Leistungsbewertung positiv beeinflussen kann. Es finden eine aktuelle Überwachung und Bewertung der Produktion und frühzeitige Identifikation von Verschleiß und erhöhtem Ressourcenverbrauch statt. Allerdings sei zu erwähnen, dass ein **erhöhter Schutz der Informationssicherheit** und Datensicherheit nötig sein kann, um Datenspionage, Datenmanipulation und falsch dargestellte Umweltauswirkungen nicht zu ermöglichen.

3.3.7 Auswirkungen auf die Phase der Verbesserung

Organisationen müssen Möglichkeiten zur Verbesserung bestimmen und Maßnahmen umsetzen um ihre Umweltziele zu erreichen. Weiters müssen Organisationen auf Nichtkonformitäten reagieren und Maßnahmen zur Korrektur und Überwachung treffen. Um die Umweltleistung zu verbessern müssen Organisationen die Eignung, Angemessenheit und Wirksamkeit ihres Umweltmanagementsystems fortlaufend

¹⁰⁰ (Garetti & Taisch, 2012)

verbessern.¹⁰¹ In diesem Unterkapitel werden Auswirkungen auf die Phase der Verbesserung analysiert.

3.3.7.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Wie bereits erwähnt, trägt laut dem Artikel *Environmental performance evaluation with big data: theories and methodes* von Song M.L. **Big Data** dazu bei, dass es zu einer Verbesserung der Effektivität und Effizienz des betrieblichen Umweltschutzes kommt und wenn Big Data in Verbindung mit Umweltleistungsmessungstools eingesetzt werden kann, hat dies auch für die Phase der Verbesserung Vorteile.¹⁰²

Weiters kann laut Stock und Seliger **intelligente Sensorik**, welche eine Echtzeitdatenerfassung ermöglicht, Umweltmanagementsystemen bei ihrer Wirksamkeitsprüfung unterstützen und bei Nicht-Erfüllung können neue Maßnahmen gesetzt werden.¹⁰³

3.3.7.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Fünf der befragten Experten haben erwähnt, dass moderne Technologien bei der **Datenerfassung** unterstützen und es somit zu einer Effizienzsteigerung kommen kann. Organisationen haben durch **Echtzeitdatenerfassung** und einer besseren Überwachung von Prozessen die Möglichkeit die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge besser zu verstehen. Weiters kann durch diese Echtzeitdatenerfassung und durch **intelligentes Monitoring** eine **Wirksamkeitsprüfung** von gesetzten Maßnahmen erleichtert werden. Dies ist laut einem Experten oftmals eine Schwachstelle von Umweltmanagementsystemen, denn Maßnahmen werden oftmals umgesetzt, allerdings nicht überprüft ob und wie sie wirksam waren.

3.3.7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend sind zur Unterstützung der Verbesserungsphase **Big Data** und **Echtzeitdatenerfassung** (z.B.: durch **intelligente Sensorik**) zu erwähnen. Weiters wird von einem Experten erwähnt, dass eine **Wirksamkeitsprüfung** von gesetzten Maßnahmen mit Hilfe von Echtzeitdatenerfassung ermöglicht werden kann.

3.3.8 Auswirkungen auf die Unterstützung für die einzelnen Phasen

In dieser Phase müssen Organisationen Ressourcen für den Aufbau, die Verwirklichung und die ständige Verbesserung auswählen und bereitstellen. Weiters müssen Organisationen die erforderliche Kompetenz für Personen, die unter ihrer Aufsicht arbeiten bestimmen, sowie Maßnahmen einleiten um fehlende Kompetenz zu erwerben. Es muss für alle Personen Bewusstsein für Umweltpolitik, bedeutende Umweltaspekte und Folgen der Nichterfüllung der Anforderungen geschaffen werden. Die

¹⁰¹ (DIN EN ISO 14001, 2015)

¹⁰² (Song u. a., 2016)

¹⁰³ (Stock & Seliger, 2016)

benötigten Prozesse für interne und externe Kommunikation sind aufzubauen, zu verwirklichen und aufrechtzuerhalten. Organisationen müssen dokumentierte Informationen erstellen und aktualisieren, diese verfügbar machen und angemessen schützen.¹⁰⁴ In diesem Unterkapitel werden Auswirkungen auf die Unterstützung für die einzelnen Phasen erläutert.

3.3.8.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Cloud Computing ermöglicht laut dem *Verein Deutscher Ingenieure* Datenaustausch zwischen Betriebsumfeld und Produkt, Nutzer, Hersteller und anderen Systemen. Lokale Services und Prozessabläufe werden in die Cloud versetzt, wodurch eine bedarfsgesteuerte Informationsauswertung realisiert wird. Dies hat einen geringeren Administrationsaufwand zum Resultat. Anstatt betriebsinternen Servern werden energieeffizientere externe Rechenzentren verwendet, wodurch eine Energieeinsparung zustande kommt. Server und deren Infrastruktur, sowie Rohstoffe und Materialien zur Fertigung der Server können eingespart werden.¹⁰⁵

Im Artikel *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0* wird erwähnt, dass die Kommunikation und der Austausch von Daten zwischen den Wertschöpfungsfaktoren (Produkte, Prozesse, Menschen, Organisation, Betriebsmittel), sowie den verschiedenen Bereichen der Wertschöpfungskette (Marketing & Sales, HRM, Service, Produktion, Forschung & Entwicklung, Beschaffung) mit Hilfe einer **Cloud** in Echtzeit durchgeführt werden. Dadurch können dokumentierte Informationen aktualisiert und verfügbar gemacht werden.¹⁰⁶

Neben dem Vorteil des geringeren Administrationsaufwands kann es laut dem Artikel *Industrie 4.0 und Big Data – wirklich ein neuer Technologieschub?* durch Datenverlust und Datendiebstahl (z.B.: Spionage und Sabotage) zu sehr großen Risiken und Problemen für Organisationen kommen. Dieses Risiko („Cyber-Angriff“) erhöht sich, wenn Daten und Verarbeitungsprozesse an Service Provider oder in die Cloud ausgelagert werden. Organisationen müssen ausgeklügelte **Sicherheitsvorkehrungen** treffen um sich hier zu schützen.¹⁰⁷

3.3.8.2 Ergebnisse der Experteninterviews

Vier Experten waren der Meinung, dass durch **größere Abhängigkeiten von Experten** Anforderungen an das Umweltmanagementsystem entstehen werden. Die Systeme werden komplexer und es werden Personen benötigt, welche sich mit den neuen Technologien und Möglichkeiten auskennen. Organisationen muss bewusst sein, dass spezielle Schulungen, sowie externe und interne Experten benötigt werden.

¹⁰⁴ (DIN EN ISO 14001, 2015)

¹⁰⁵ (VDI ZRE, 2017)

¹⁰⁶ (Stock & Seliger, 2016)

¹⁰⁷ (Brödner, 2017)

Experte Melnitzky: „Für Organisationen kann die Gefahr entstehen, dass sie keine oder zu wenig Experten haben, die sich mit moderner Steuerungstechnik und Regeltechnik, Cloudsystemen und anderen modernen Technologien auskennen. Es wird ein neues Expertentum gefragt sein. Auch sind die Auswirkungen menschlichen Versagens in einem Industrie 4.0 Unternehmen, durch all die Vernetzungen und Automatisierungen, schlimmer!“

Weiters wurde von zwei Experten erwähnt, dass **Risikoabschätzungen** und **Fehleranalysen** bei Industrie 4.0 Unternehmen **komplexer** werden und Experten (intern und/oder extern) essentiell für den Erfolg sind. Organisationen müssen hier mit dem notwendigen Know-How und **Ressourcen** ausgestattet sein.

Weiters hat ein Experte erwähnt, dass sich der **Entwicklungszyklus eines Umweltmanagements** verändern wird. Dieser Zyklus wird in Zukunft viel länger brauchen, da das System komplexer sein wird. Menschen in der Organisation werden zum Beispiel länger brauchen um das komplette Vernetzungssystem zu verstehen. Mitarbeiter müssen alle Prozesse verstehen, auch jene die von Robotern ausgeführt werden. Laut Experten ist es wichtig, dass alle vorgelagerten und nachgelagerten Stufen verstanden werden.

Als eine mögliche Unterstützung in den einzelnen Phasen wurde die Verbindung der ISO 14000 Reihe mit dem **Natural Capital Protocol**, welches ein internationales Rahmenwerk zur Erfassung und Bewertung von Naturkapital für Unternehmen ist, genannt. Es können Wechselwirkungen der Organisationen mit der Natur und Gesellschaft bewertet werden und in unternehmerische Entscheidungen miteinbezogen werden. Mit Hilfe dieser Verknüpfung könnten Umwelteffekte monetarisiert werden, wodurch ein weiterer Anreiz einer Zertifizierung geschaffen werden könnte.

3.3.8.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend sei zu erwähnen, dass **Cloud Computing** Energieeinsparungen (intern für die Organisationen), einen geringeren Administrationsaufwand, raschere Kommunikation (Echtzeitdaten) zwischen den verschiedenen Bereichen der Wertschöpfungskette, sowie Materialeinsparungen (z.B.: für Fertigung von Servern) ermöglichen kann. Allerdings sei hierbei zu erwähnen, dass sich durch die Verwendung von Cloud-Systemen das Risiko für „Cyber-Angriffe“ erhöhen kann und strengere Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden müssen. Weiters werden laut Experten **Risikoabschätzungen** und **Fehleranalysen** komplexer und der **Entwicklungszyklus** eines Umweltmanagements verlängert sich. Experten waren der Meinung, dass durch eine Verbindung von der ISO 14001 Norm und dem **Natural Capital Protocol** die einzelnen Phasen des Umweltmanagements unterstützt werden können.

3.4 Zusammenfassung

Die Literaturrecherche und auch die Experteninterviews haben ergeben, dass sich Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit sehr gut verbinden lassen. Alle Experten waren der Meinung, dass sich durch diese Verbindung enorme Chancen für die Umwelt ergeben können. Moderne Technologien können in allen Phasen eines Umweltmanagementsystems unterstützen. Die Experten waren sich einig, dass keine zusätzliche Norm für Industrie 4.0 in Verbindung mit Umweltmanagementsystemen notwendig sei. In Bezug auf die soziale Nachhaltigkeit sei zu erwähnen, dass sich die Aufgaben und Rollen des Menschen vor allem in der Produktion ändern werden könnten. Moderne Technologien könnten teilweise durch menschliche Arbeit ersetzt werden. Allerdings sind sich Literatur und Experten einig, dass Strategieentscheidungen, Zielsetzungen und Maßnahmenprogramme nach wie vor von Menschen getroffen werden sollten. Da durch moderne Technologien das dynamische System immer komplexer werden kann, ist es besonders wichtig, dass alle Mitarbeiter die eingesetzte Technik, sowie alle Zusammenhänge in dem System verstehen. Auch Förtsch und Meinholz sind der Meinung, dass gut ausgebildete Mitarbeiter unerlässlich für die Erreichung von Umweltzielen der Organisationen sind.¹⁰⁸

Wird die ökologische Nachhaltigkeit betrachtet, ergeben sich durch moderne Technologien sehr viele Chancen zur Ressourcen- und Energieeinsparung. Bereits in der Planung könne ressourcenorientiert gehandelt werden und während des Betriebes können Fehlerrate, Maschinenausfälle und Stillstand deutlich reduziert bzw. vermieden werden, wodurch es erneut zu Einsparungen von Emissionen, Abfall, Energie und Ressourcen kommt. Weiters sei zu erwähnen, dass durch verstärkte Vernetzung zwischen den Betrieben Ressourcen weltweit besser genutzt werden könnten. Eine Bereitstellung des ökologischen Fußabdrucks entlang der gesamten Wertschöpfungskette, von Beschaffung bis Recycling, kann zu mehr Transparenz im Ressourcenmanagement führen und kann Organisationen bei der Auswahl ihrer Lieferanten helfen.

Tabelle 6 fasst die Ergebnisse der explorativen Literaturrecherche und der Experteninterviews zusammen. Es werden Industrie 4.0 Technologien und Merkmale und deren Auswirkungen auf ein Umweltmanagementsystem bzw. auf die Anforderungen an ein Umweltmanagementsystem gezeigt. Hierbei sei vor allem zu erwähnen, dass Anforderungen an die Flexibilität, Datensicherheit, Risikoabschätzung, Mitarbeiterschulung und das Feststellen der Erfordernissen und Erwartungen interessanter Parteien für Umweltmanagementsysteme entstehen.

¹⁰⁸ (Förtsch & Meinholz, 2011)

Industrie 4.0 Technologien und Merkmale	Auswirkungen auf UMS bzw. auf Anforderungen an UMS
Big Data	• Verbesserung der Effektivität und Effizienz des betrieblichen Umweltschutzes • Raschere und geeignetere Bestimmung bedeutender Umweltaspekte • Raschere und erfolgversprechendere Leistungsbewertung • Rascheres und erleichtertes Verstehen der Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien • Fehlende Kausalitäten und Muster → schwerer erkennbar welche Daten sinnvoll und sinnlos sind • Aufgrund von schlechter Datenqualität nicht immer anwendbar
Product Lifecycle Data	• Raschere Festlegung umweltrelevanter (intern und extern) Themen • Einfachere Bestimmung von Umweltaspekten der Tätigkeiten, Dienstleistungen und Produkte • Raschere und erfolgversprechendere Bestimmung von Umweltauswirkungen
Digitale Objektgedächtnisse	• Bereitstellung des ökologischen Fußabdrucks → Erfüllung der Erwartungen und Anforderungen der Kunden, Lieferanten etc. • Einfachere und raschere Ermittlung bedeutender Umweltaspekte z.B. durch direkt am Produkt vorliegenden Informationen über Zusammensetzung, Lagerbedingungen, Herkunft, Material- und Energieverbräuche, Abwässer etc.
Simulationsanwendungen	• Ermöglicht ressourcenorientierte Planung → Rohstoff- und Energiebedarf werden reduziert
Verstärkte Vernetzung zwischen den Betrieben	• Ermöglicht Ressourcen und Energieeffizienzsteigerung • Ermöglicht weltweite Nutzung von bestehenden Ressourcen und gemeinsames Agieren → Synergien können besser genutzt werden
Horizontale Integration	• Einfacheres und rascheres Verstehen der Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien

Industrie 4.0 Technologien und Merkmale	Auswirkungen auf UMS bzw. auf Anforderungen an UMS
	• Ermöglicht festgelegte Umweltpolitik interessierten Parteien zur Verfügung zu stellen
Vernetzte Sensoren und Aktoren/ Intelligente Sensoren und Aktoren	• Ermöglicht Echtzeitdatenerfassung → Vorteile wie z.B.: schnelleres Feststellen des Energieverbrauchs • Erleichtert die Bestimmung bedeutender Umweltaspekte • Erleichterte Überwachung der Prozesse (z.B.: Herstellungsprozess) und schnellere Reaktion auf Veränderungen der Produkte und der Prozesse in Echtzeit • Raschere Identifikation der Produkte → schnelleres Feststellen von Abweichungen und Fehlprodukten (z.B.: RFID) • Wirksamkeitsprüfung von gesetzten Maßnahmen → Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge können leichter verstanden werden
Ortungs- und Lokalisierungssysteme	• Ermöglicht eine Reduzierung der Fehlerrate und von betrieblichen Transportaufwendungen → Einsparung von Energieressourcen und Emissionen
Durchgängige Datenintegration	• Ermöglicht das Feststellen von Abweichungen und Fehlern zwischen Planung und Fertigung → Reduktion von Fehlproduktionen • Ermöglicht eine effizientere Nachverfolgbarkeit über Systemgrenzen hinweg → verhindert Überproduktion, Weiterverarbeitung defekter Produkte, unnötige Materialeinkäufe... • Ermöglicht eine Optimierung von Ressourcenverbräuchen → Einsparung von Rohstoffen, Energieressourcen, Abfall, CO₂ und Fläche
Zustandsüberwachung	• Ermöglicht das Erkennen von Abweichungen vom SOLL-Zustand, Vermeiden von Maschinenausfällen und Reduzieren der Fehlproduktionen → Einsparung von Roh-

Industrie 4.0 Technologien und Merkmale	Auswirkungen auf UMS bzw. auf Anforderungen an UMS
	stoffen, Energieressourcen, Abfall
Virtuelle Produktentwicklung	• Ermöglicht eine Ressourceneinsparung (z.B.: elektrische Energie, Materialien, Betriebs- und Hilfsstoffe)
Dezentrale Steuerung	• Vermeidung von Fehlproduktion, Störungen und Identifizierung von Potenzialen zur Optimierung von Produkt- und Produktionseffizienz → Einsparung von Rohstoffen, Energieressourcen und Abfall
Multimodulare Assistenzsysteme	• Reduktion von Fehlproduktion und Ausschuss, sowie effizientere Materialausnutzung und Instandhaltung → Einsparung von Rohstoffen, Energieressourcen und Abfall
Multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen	• Veränderung der Prozesse zur Erfüllung der Anforderungen an das Umweltmanagementsystem
Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung	• Möglichkeit zur Vermeidung von Stand-by Verlusten und günstigere Auslastung • Vermeidung von negativen Umweltauswirkungen (z.B.: Abfall)
Prädiktive Wartung	• Voraussagen von Maschinenfehlern, sowie Überwachung und frühzeitige Identifikation von Verschleiß und erhöhtem Ressourcenverbrauch → Erhöhte Ausfallsicherheit und weniger Verschleiß
Cloud Computing	• Bedarfsgesteuerte Informationsauswertung ermöglicht geringeren Administrationsaufwand • Einsatz energieeffizienterer externer Rechenzentren → Energieeinsparung für Organisation • Ermöglicht Kommunikation und Austausch von Daten in Echtzeit • Ermöglicht Einsparung von Server und deren Infrastruktur, Rohstoffen und Materialien zur Fertigung der Server • Ermöglicht Kommunikation und Austausch von Daten zwischen den Wertschöpfungsfaktoren und zwischen verschiedenen Bereichen der Wertschöpfungskette
Industrie 4.0 Technologien allgemein	• Datenmanipulation und Datenspi-

Industrie 4.0 Technologien und Merkmale	Auswirkungen auf UMS bzw. auf Anforderungen an UMS
	onage, falsche Darstellung von Umweltauswirkungen, Nicht-Erreichen von Umweltzielen → neue Anforderung an Datensicherheit • Rolle des Menschen in Produktion verändert sich → Veränderung der Prozesse zur Erfüllung der Anforderungen an das UMS • Menschliche Fehler werden weniger, aber enorme Folgen menschlichen Versagens • Es können neuartige Sicherheitsrisiken durch Abhängigkeiten zwischen Menschen, physischer Produktion und virtuellen Informationsnetzen entstehen • Größere Abhängigkeit von Experten und spezielle Schulungen werden für neue Technologien benötigt • Längerer Entwicklungszyklus eines Umweltmanagementsystems • Risikoabschätzungen werden schwerer • Dynamisches System verlangt flexiblere Umweltmanagementsysteme • Natural Capital Protocol → Monetarisierung von Umwelteffekten und Bewertung von Wechselwirkungen der Organisationen mit der Natur und der Gesellschaft durch Verbindung mit ISO 14001

Tabelle 6: Industrie 4.0 Technologien und Merkmale und ihre Auswirkungen auf UMS bzw. Anforderungen an UMS

Abbildung 11 gibt einen Überblick über die Auswirkungen von Industrie 4.0 Merkmalen und Technologien auf die verschiedenen Phasen eines Umweltmanagementsystems bzw. auf Anforderungen an ein Umweltmanagementsystem.

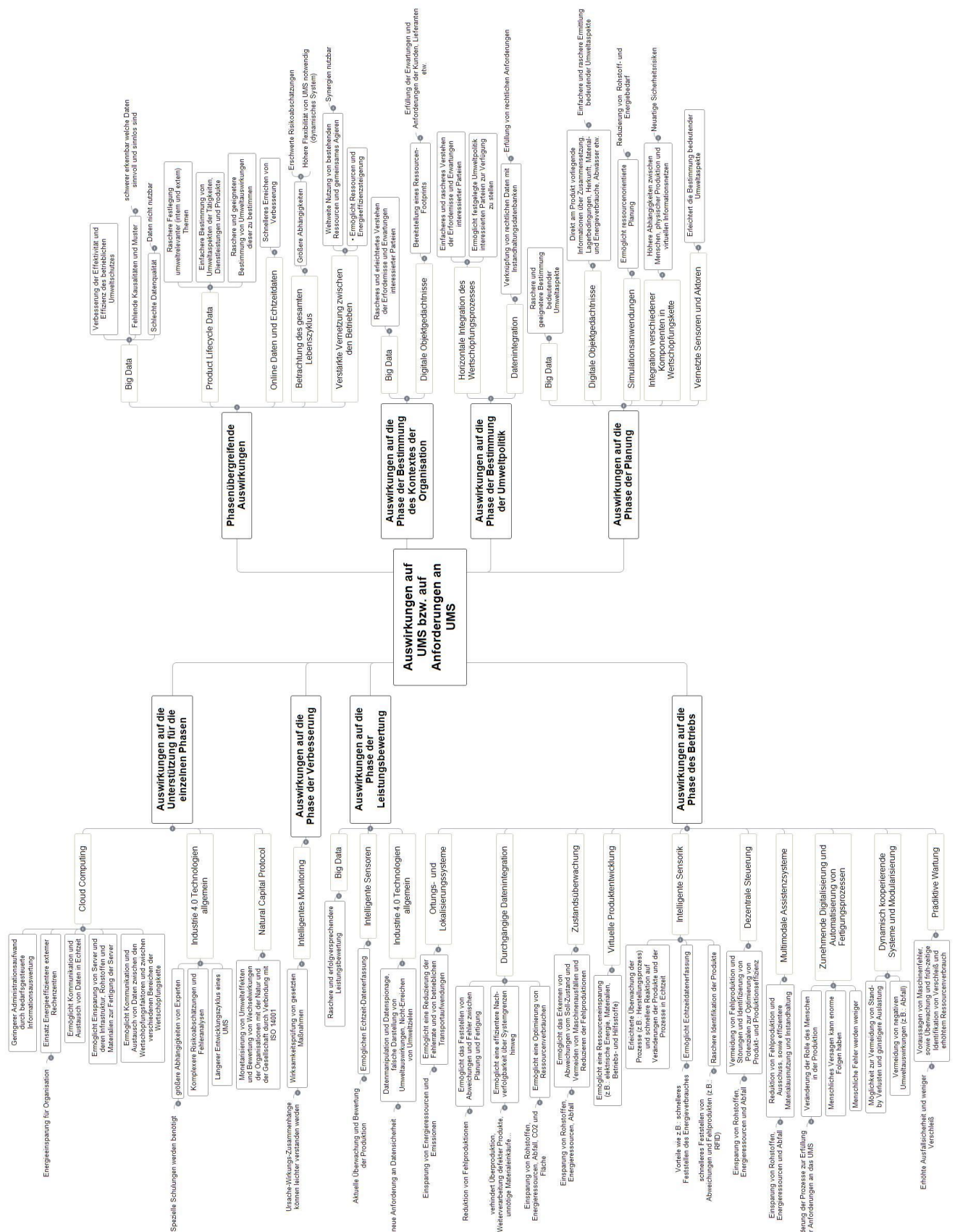


Abbildung 11: Auswirkungen auf UMS bzw. auf Anforderungen an UMS (eigene Darstellung)

Abbildung 12, Abbildung 13, Abbildung 14, Abbildung 15, Abbildung 16, Abbildung 17, Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die Auswirkungen auf die einzelnen Phasen eines Umweltmanagementsystems.

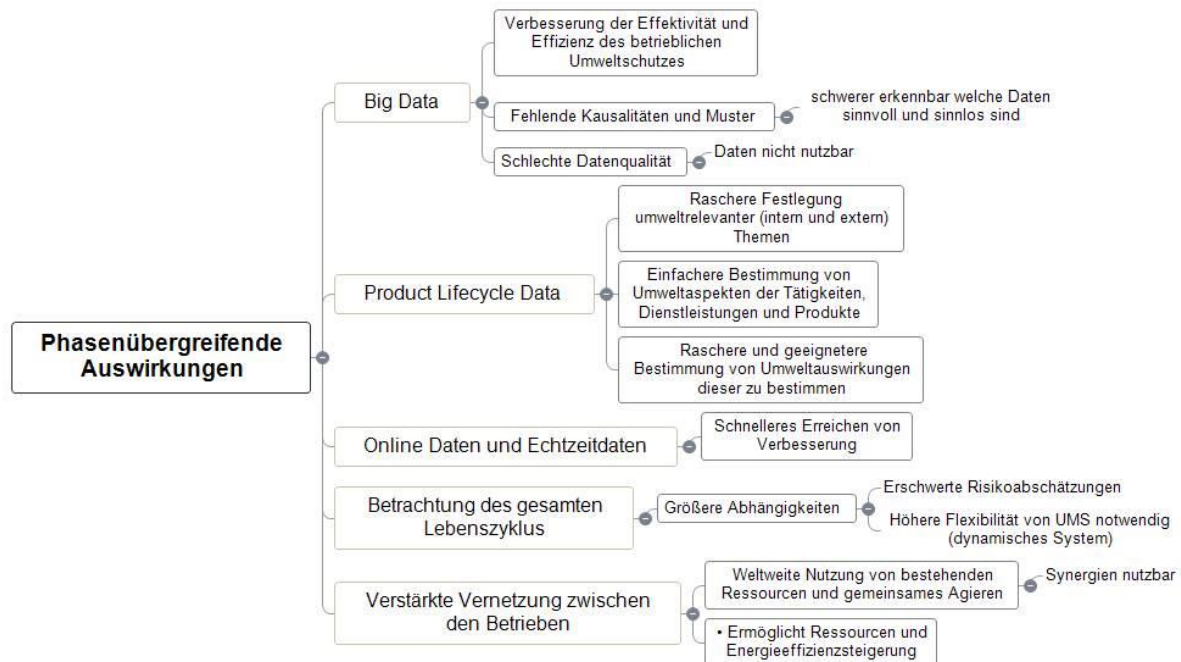


Abbildung 12: Phasenübergreifende Auswirkungen (eigene Darstellung)

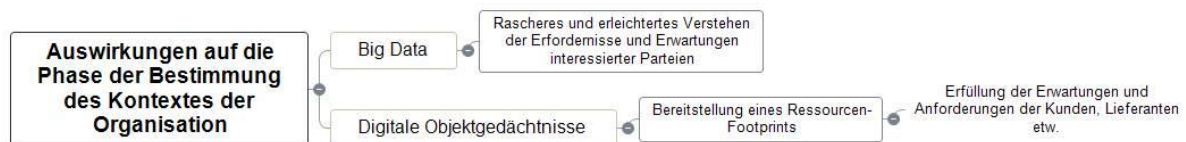


Abbildung 13: Auswirkungen auf die Phase der Bestimmung des Kontextes der Organisation (eigene Darstellung)

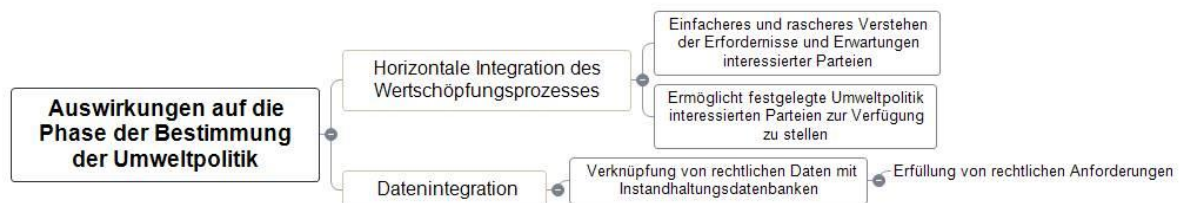


Abbildung 14: Auswirkungen auf die Phase der Bestimmung der Umweltpolitik (eigene Darstellung)

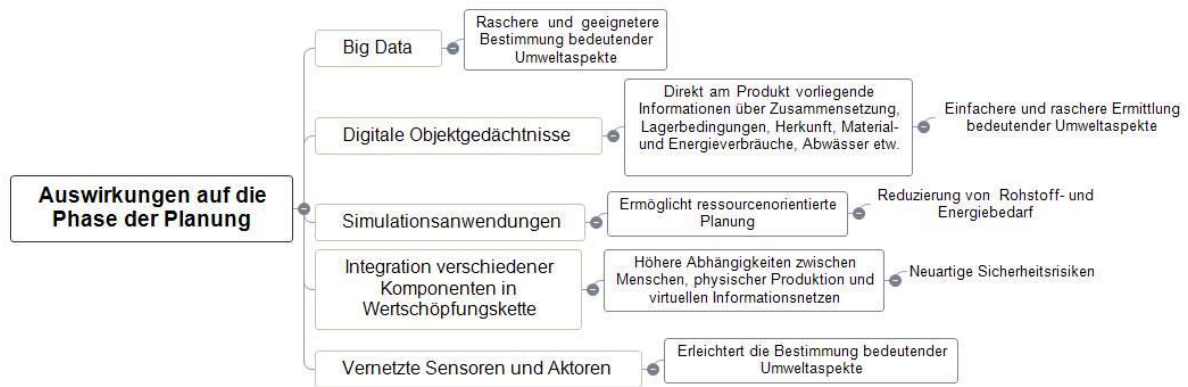


Abbildung 15: Auswirkungen auf die Phase der Planung (eigene Darstellung)

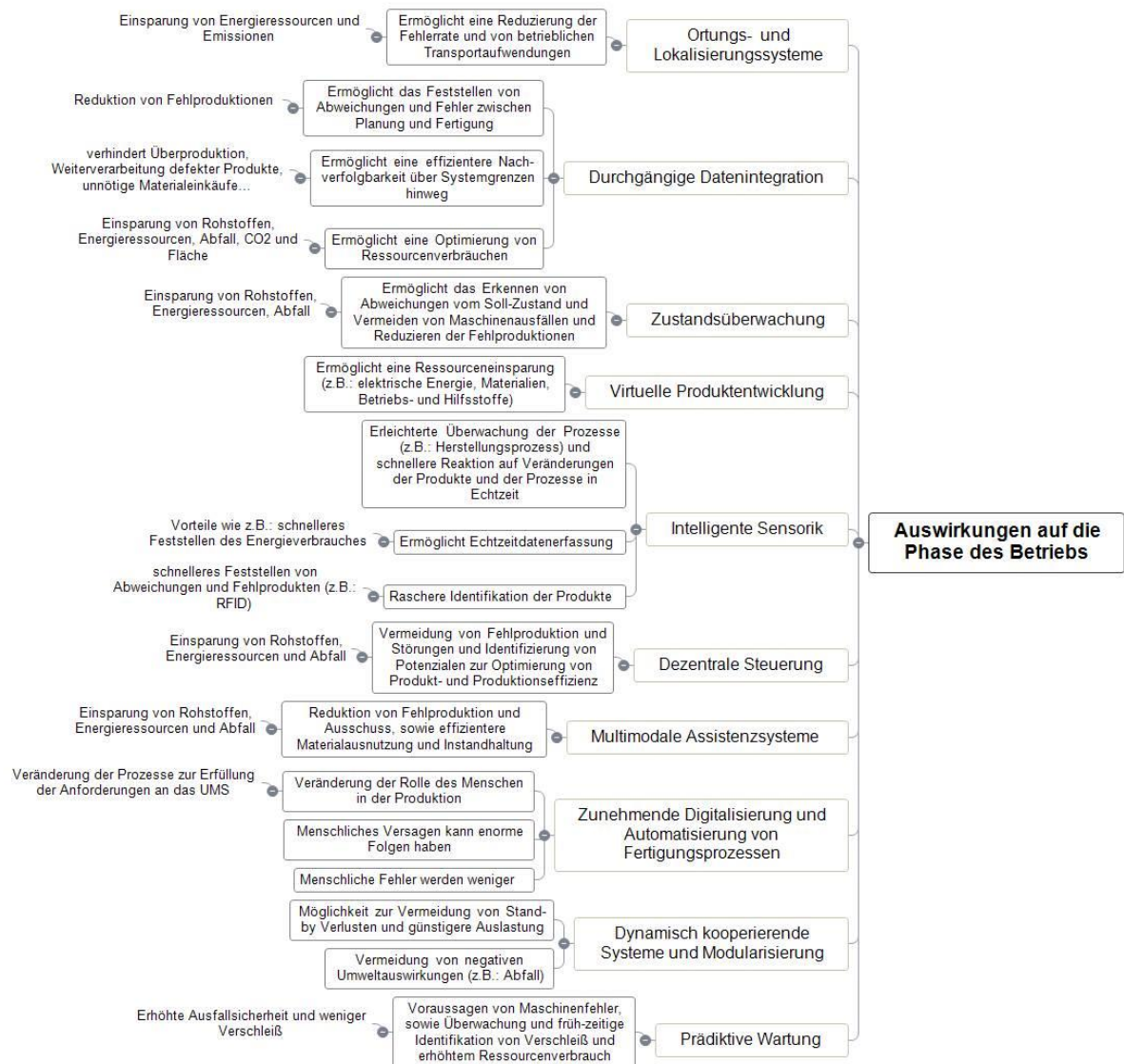


Abbildung 16: Auswirkungen auf die Phase des Betriebes (eigene Darstellung)



Abbildung 17: Auswirkung auf die Phase der Leistungsbewertung (eigene Darstellung)

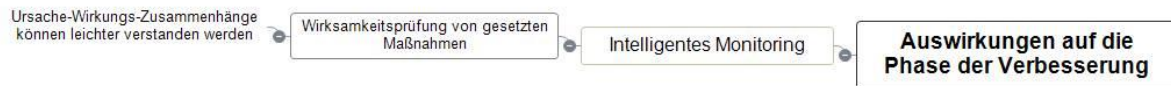


Abbildung 18: Auswirkung auf die Phase der Verbesserung (eigene Darstellung)

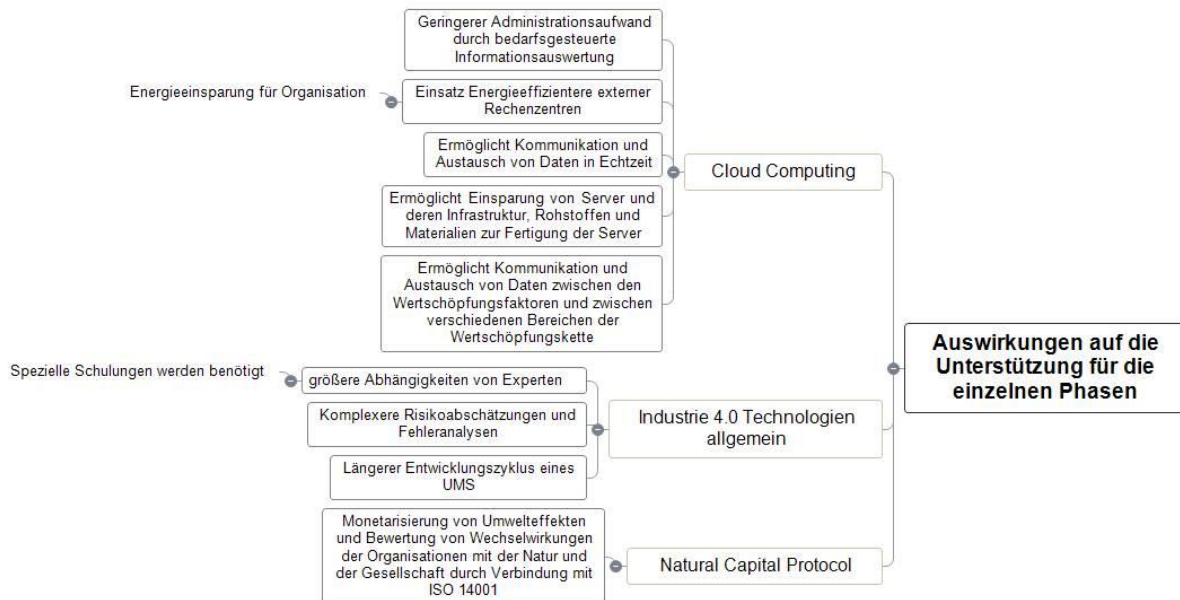


Abbildung 19: Auswirkungen auf die Unterstützung für die einzelnen Phasen (eigene Darstellung)

Dank moderner Technologien und Methoden können Umweltmanagementsysteme effizienter und effektiver gestaltet werden. Laut Literatur und Experten ergeben sich vor allem in Bereichen der Energieeffizienz und Ressourceneffizienz enorme Chancen. Weiters können vernetzte Sensoren und Aktoren eine Wirksamkeitsprüfung von gesetzten Maßnahmen in einem Umweltmanagementsystem ermöglichen, wodurch Umweltmanagementsysteme effizienter gestaltet werden könnten. Bezogen auf die Effektivität (die richtigen Dinge tun) unterstützen moderne Technologien bzw. Merkmale von Industrie 4.0 wie Big Data, Product Lifecycle Data, horizontale Integration und stärkere Vernetzung Umweltmanagementsysteme vor allem darin, dass Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien besser verstanden werden können.

Umweltaspekte der Tätigkeiten, Dienstleistungen und Produkte von Organisationen und Unternehmen können besser definiert und Umweltauswirkungen dieser bestimmt werden.

Laut dem *Verein Deutsche Ingenieure* kommt es auf allen Ebenen der Wertschöpfungskette zu einer Verringerung des Verbrauchs von Energie und Materialien.¹⁰⁹

- **Prozessebene:** Durch eine günstigere Steuerung und Auslastung von Maschinen kann Energieverbräuchen und Materialverlusten entgegen gewirkt werden.
- **Produktebene:** Durch einen vorausschauenden Austausch von Komponenten, sowie einer besseren Wartung können Lebensdauer von Produkten verlängert werden. Weiters erleichtert eine Kennzeichnung von Bestandteilen das spätere Recycling.
- **Neue Systemlösungen und Systeminnovationen:** Dies geschieht durch Digitalisierung von Produkten und Nutzeranwendungen (z.B.: Zusammenwachsen von Produkten und Dienstleistungen)

Literatur und Experten haben als Hauptschwächen der ISO 14001 hohe Kosten der Zertifizierung, hohe Bürokratie und Dokumentation, sowie einen externen Grund der Zertifizierung anstatt eines Eigenstrebens nach Verbesserung genannt. Gerade für den Punkt der hohen Bürokratie und Dokumentation bieten moderne Technologien eine maßgebliche Unterstützung. Cloud Computing ermöglicht beispielweise einen geringeren Administrationsaufwand, durchgängige Datenintegration und Lokalisierungssysteme bieten eine effizientere Nachverfolgbarkeit über Systemgrenzen hinweg. Zwar bleiben die Kosten der Zertifizierung bestehen, es können aber in der Produktion einige Kosten durch moderne Technologien eingespart werden. Ein Beispiel hierfür ist virtuelle Produktentwicklung, wodurch kein physischer Prototyp mehr benötigt wird. Wird diese bereits in einer frühen Phase eingesetzt, kann es zu weiteren Kosteneinsparungen kommen, da Organisationen Kosten in der Planungsphase noch beeinflussen können. Weiters waren die Experten der Meinung, dass Umweltthemen und Nachhaltigkeit immer wichtiger und präsenter in der Gesellschaft werden würden. Organisationen erkennen das und dies ist oft ein Grund für eine Zertifizierung. Damit dieser „externe Druck“ nicht zu einer Schwäche wird, sind Kommitment der obersten Leitung, aber auch eine Miteinbindung und Schulung der Mitarbeiter unumgänglich.

Alle Experten waren sich einig, dass die ISO 14001 zielführend und anwendbar ist. Als Verbesserungsvorschläge wurden strengeres Auditieren, eine Einführung einer

¹⁰⁹ (VDI ZRE, 2017)

Baseline, stärkere strategische Zielsetzung und die Verbindung der ISO 14000 Reihe mit dem Natural Capital Protocol genannt.

4 Entwicklung eines Umweltmanagementkonzeptes für die Pilotfabrik der TU Wien

In diesem Kapitel wird ein Umweltmanagementkonzept für die Pilotfabrik der Technischen Universität Wien entwickelt. Als Einleitung wird im ersten Schritt auf den 3D-Drucker, dieser wird in der Pilotfabrik als Beispielprodukt verwendet, im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit eingegangen. Ausgehend von den Zielen und dem Nutzungskonzept der Pilotfabrik wird im nächsten Schritt der Kontext der Organisation erarbeitet. Es sei allerdings erwähnt, dass die TU Wien kein Umweltmanagementsystem besitzt und die Pilotfabrik nicht auf einem bestehenden Betrieb aufbaut. Als nächstes werden Umweltpolitik und Verantwortung beschrieben. Auch hier sei zu erwähnen, dass die TU Wien keine Umweltpolitik besitzt. Im Anschluss werden Umweltaspekte bestimmt. Für die Erhebung des IST-Zustandes wird eine Input/Output-Analyse empfohlen. Danach wurden die Umweltaspekte beschrieben und Umweltziele abgeleitet. Der Fokus dieses Kapitels ist auf ein mögliches Umweltperformancemessungssystem gelegt. Es wird eine Umweltleistungsbewertung nach dem PDCA-Zyklus eingeführt und mit Hilfe von ISO 14001 und ISO 14031 Managementleistungskennzahlen, operative Leistungskennzahlen und Umweltzustandsindikatoren definiert.

4.1 3D- Drucker und Nachhaltigkeit

Der 3D-Drucker wird zur generativen Fertigung von physischen Objekten genutzt. Durch einen schichtweisen Aufbau entstehen auf Basis von dreidimensionalen, digitalen Modellen Gegenstände und es werden dabei keine zusätzlichen Werkzeugmaschinen benötigt. Laut Petschow et al können durch den Einsatz des 3D-Druckers einerseits positive Umwelteffekte generiert werden, andererseits können aber auch Risiken für Ökologie und Nachhaltigkeit entstehen.¹¹⁰

Weiters erwähnt Petschow et al, dass ein großer ökologischer Vorteil des 3D-Druckers darin besteht, dass nur das tatsächlich benötigte Rohmaterial verwendet wird und dadurch kein bis kaum Abfall generiert wird. Außerdem werden keine zusätzlichen Werkzeugmaschinen benötigt und der Transport zwischen verschiedenen Produktionsschritten entfällt. Dem gegenüber steht allerdings der Nachteil von potentiellem Nachbearbeitungsbedarf der generativ gefertigten Bauteile. Weiters sei zu erwähnen, dass der Einsatz von 3D-Drucker vermehrt im Privat- und Hobbybereich stattfindet. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit der Produktion von „Crappy Objects“, Objekte ohne weitere Sinnhaftigkeit, sowie von Laien produzierten fehlerhaften Bauteilen. Weiters besteht durch den relativ einfachen Herstellungsprozess die

¹¹⁰ (Petschow u. a., 2014)

Gefahr der Mehrproduktion. Laut Petschow et al ist die Realisierung von sehr komplexen Leichtbaustrukturen, ermöglicht durch dreidimensionale Produktionsprozesse, ein weiterer Vorteil des Einsatzes von 3D-Drucker. Diese wirken sich wiederum positiv auf den Lebenszyklus entsprechender Bauteile aus. Im Gegensatz dazu sei zu erwähnen, dass der Energieverbrauch pro Einheit im unmittelbaren Produktionsprozess tendenziell höher ist, als bei herkömmlichen Verfahren. Allerdings sind die Potenziale der Produktgestaltung (Leichtbau, Modularität etc.) hierbei nicht berücksichtigt worden. Lasertechnologien werden als energetisch besonders ineffizient betrachtet. Der Aufwand für Transport und Logistik kann in dezentralen Wertschöpfungssystemen, in welchen der 3D-Drucker zum Einsatz kommt, deutlich verringert werden. Eine Produktion vor Ort wird ermöglicht. Allerdings fehlen laut Petschow et al bislang noch Prozesse zum dezentralen Recycling, welche für den nicht-professionellen Anwendungsbereich von großer Bedeutung wären. Durch die Anwendung des 3D-Drucks werden neue Reparaturpraktiken ermöglicht, Ersatzteile können wiederhergestellt werden. Dadurch wird die Reparaturfreundlichkeit der Produkte deutlich erhöht. Außerdem erwähnen Petschow et al, dass die Verwendung von gesundheitsproblematischen Stoffen teilweise wegfällt. Tabelle 7 gibt eine Übersicht über ökologische Vorteile und Nachteile des Einsatzes von 3D-Druckern.¹¹¹

Vorteile des 3D-Druckers	Nachteile des 3D-Druckers
Reduktion von Abfall im Herstellungsprozess und Möglichkeit der Produktion ohne Abfall	Abfälle durch Nacharbeiten der Bauteile
Potenzielle Reduktion des Energiebedarfs in der Nutzungsphase entsprechender Bauteile durch Leichtbau	Energieverbrauch pro Einheit in unmittelbaren Produktionsprozessen ist teilweise höher als bei herkömmlichen Verfahren
Keine Verwendung von gesundheits-schädlichen Stoffen (z.B.: Schneideflüssigkeiten)	Unerforschte Recyclbarkeit der verwendeten Materialien
Aufarbeitung und Wiederherstellung von Ersatzteilen und Produkten	Mehrproduktion durch relativ einfachen Herstellungsprozess
Verringerter Transportbedarf dank potenzieller Verkürzung von globalen Herstellungsketten bzw. Produktion vor Ort	Verwendung im Privatgebrauch erhöht Wahrscheinlichkeit von fehlerhaft hergestellten Bauteilen oder „Crapobjects“

Tabelle 7: Ökologische Vorteile und Nachteile 3D-Drucker¹¹¹

In der Pilotfabrik der TU Wien befindet sich ein FDM 3D-Drucker, welcher in Abbildung 20 dargestellt ist. Bei der Fused Deposition Modeling (FDM) Technologie wird drahtförmiges Kunststoff- oder Wachsmaterial knapp über Verflüssigungspunkt erhitzt. Im Anschluss wird dieses mit Hilfe eines Extruders und einer beweglichen, hei-

¹¹¹ (Petschow u. a., 2014)

ßen Düse schichtweise auf bereits erstarrtes Material aufgetragen. Als Werkstoffe werden PLA (Polylactide) verwendet.¹¹²

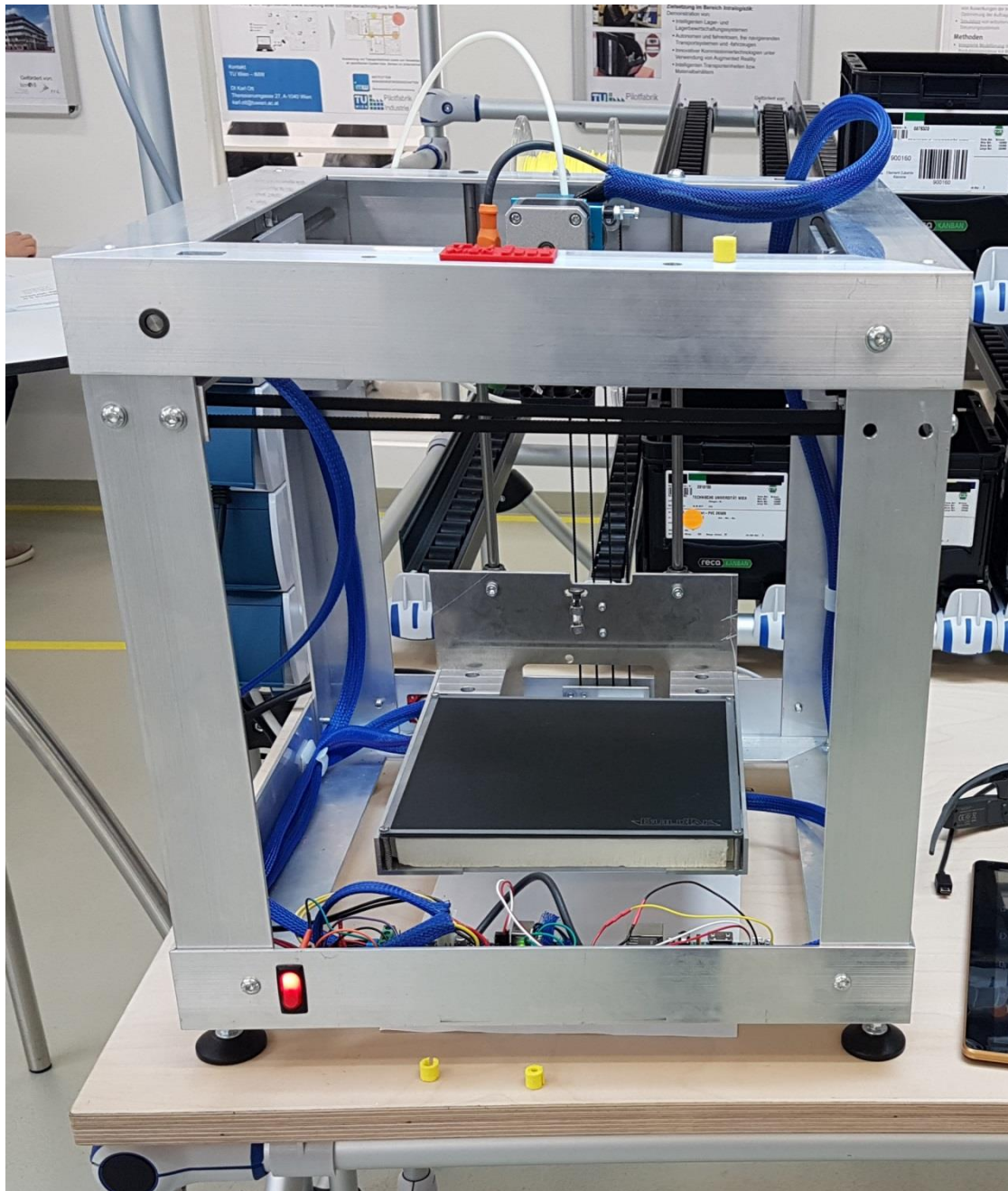


Abbildung 20: 3D-Drucker TU Wien (eigenes Foto)

4.2 Ziele und Nutzungskonzept der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0

Seit Oktober 2017, regulärer Produktionsstart, wird in der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0 demonstriert, wie Mensch und Maschine zusammenarbeiten. Die Demonstrationsfabrik für Smart Production und Cyber-Physische Produktionssysteme befasst

¹¹² (Fastermann, 2014)

sich mit neuen Konzepten und Lösungen im Bereich der diskreten Fertigungsindustrie und Ziel ist eine variantenreiche Serienproduktion (Low Volume-High Mix). Die Pilotfabrik umfasst folgende Bereiche:¹¹³

- Spanabhebende Bearbeitungsverfahren in robotergestützten flexiblen Fertigungszellen
- Robotergestützte Laserbearbeitungsverfahren zum Fügen/Trennen und für Additive/Hybride Fertigung
- Innerbetriebliche Logistik mit Fokus auf Lean Methoden und autonomen Handhabungssystemen
- Lean Montage und Werker-Assistenzsysteme für Montageprozesse

Um Smart Production und CPPS umsetzen zu können, sind IT-Lösungen für eine durchgängige Unterstützung der Prozesse, sowie für die informationstechnische Integration der verschiedenen Systeme zu implementieren und weiter zu entwickeln. Die Pilotfabrik spricht folgende Themenfelder an:¹¹³

- Internet of Things Technologien und Lösungen für flexible Automatisierung
- Lösungen für die vertikale Integration entlang der Automatisierungspyramide („from shop floor to top floor“)
- Lösungen für die horizontale Integration entlang der Wertschöpfungskette (Fertigung, innerbetriebliche Logistik, Montage) über die verschiedenen Produktionsstufen
- Life Cycle Integration von der Produktentwicklung über die Produktionsvorbereitung bis hin zur Produktion mit durchgängiger Abbildung der realen Systeme durch einen so genannten digitalen Zwilling

Untersucht werden Industrie 4.0 Ansätze anhand des Beispielprodukts eines Kunststoff 3D-Drucker, welcher in mehreren Varianten verfügbar sein wird. Hierfür werden sowohl mechanische Komponenten gefertigt, als auch Teile und Komponenten zugekauft. Im Rahmen von Kooperationen mit Industriepartnern können in der Pilotfabrik auch andere Bauteile und Komponenten gefertigt und montiert werden. Die TU Wien hat sich als Ziel gesetzt, Variabilität und Adaptierbarkeit in der Produktion exemplarisch darzustellen.¹¹³

In der Pilotfabrik der TU Wien gibt es einerseits eine Nicht-wirtschaftliche Nutzung, welche die Infrastruktur für Eigenforschung, für Forschungs- und Technologieentwicklungs- (FTE) Projekte und EU Forschungsprojekte, sowie Aus- und Weiterbildung von Studenten nutzt. Ein Beispiel eines der TU Wien internen Forschungsprojekte war das Doktoratskolleg "Cyber-Physical Production Systems" (CPPS), welches von Jänner 2015 bis Ende 2017 lief. Andererseits existiert eine wirtschaftliche Nutzung,

¹¹³ (<http://pilotfabrik.tuwien.ac.at/>, o. J.)

welche die Infrastruktur Unternehmen bereitstellt, Aus- und Weiterbildungen für Unternehmen und Fachkräfte, sowie Auftragsforschung und Auftragsfertigung für Unternehmen ermöglicht. Die Schwerpunkte der Forschung in der Pilotfabrik sind CP(P)S, Human Centered CPPS, Losgröße 1, Production Big Data & Analytics, Production-IT-Security. Zu Nutzungsbeginn der Pilotfabrik war die Aufteilung zwischen den Nutzungsarten 50:50, mit dem Ziel die wirtschaftliche Nutzung im Laufe der Zeit zu erhöhen. Weiters werden in der Pilotfabrik im Schnitt drei Führungen pro Woche mit insgesamt 90 Personen durchgeführt. Es ergeben sich folgende Nutzungsarten der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0:¹¹⁴

- **Forschung:** Nutzung als Infrastruktur für Forschungsprojekte mit Unternehmen und anderen Institutionen. Hier wird sowohl Auftragsforschung und Grundlagenforschung betrieben.
- **Wissenstransfer:** Es finden Führungen für Schulen, Universitäten, Unternehmen und für die Öffentlichkeit statt
- **Auftragsfertigung**
- **Ausbildungsplattform im Lehrbetrieb:** Diplomarbeiten, Bachelorarbeiten, Lehrveranstaltungen, etc.
- **Fabrik:** Produktion 3D-Drucker

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass sich folgende drei Säulen für die Pilotfabrik der TU Wien ergeben:

- Forschungen
- Führungen
- Produktion

4.3 Kontext der Organisation

Als erster Schritt ist der Kontext der TU Wien Pilotfabrik festzulegen. Hier sind folgende Themen zu berücksichtigen:

- Umweltzustände in Bezug auf Klima, Luftqualität, Wasserqualität, Bodennutzung, bestehende Kontamination, Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen und Biodiversität (hierfür wurden in *Kapitel 4.7.1.3 Umweltzustandsindikatoren* eingeführt)
- Externe kulturelle, politische, soziale, gesetzliche, behördliche, finanzielle, wirtschaftliche, technologische, wettbewerbliche und natürliche Umstände
- Interne Merkmale und Bedingungen der Organisation

¹¹⁴ (TU Wien, o. J.)

Es empfiehlt sich eine Analyse IST-Zustandes der Pilotfabrik zu machen, welche in dem *Kapitel 4.5.1 Erhebung des IST-Zustandes* durchgeführt wurde.

Als nächstes sind Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien zu bestimmen. Mögliche interessierte Parteien der TU Wien Pilotfabrik könnten Schulen, Universitäten, Unternehmen, die Öffentlichkeit, potentielle Investoren, Medien, Lieferanten und Forschungsinstitutionen sein. Mittels Umfragen, Fragebögen, Interviews, Workshops etc. sind die Sichtweisen dieser interessierten Parteien festzustellen und es ist herauszufinden, welche Erwartungen diese haben und welche davon zu bindenden Verpflichtungen werden könnten. Weiters empfiehlt sich hier, einige Industrie 4.0 Technologien und Merkmale einzusetzen. So ermöglichen Big Data und eine horizontale Integration ein rascheres und erleichtertes Verständnis der Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien. In Bezug auf die Verwendung von Big Data sei nochmals erwähnt, dass nicht ausreichende Datenqualität und fehlende Kausalitäten zu Problemen führen können. Weiters kann durch den Einsatz digitaler Objektdächtnisse ein Ressourcen-Footprint der TU Wien Pilotfabrik erstellt werden. Außerdem wird ein Erstellen eines ökologischen Fußabdruckes empfohlen. Die TU Wien kann dadurch in der Lehre, Forschung und bei Führungen als Best Practice Beispiel auftreten. Als nächster Schritt muss der Anwendungsbereich des UMS definiert werden. Im Fall der TU Wien Pilotfabrik ist dies die Pilotfabrik selbst, allerdings nicht die ganze TU Wien.

4.4 Umweltpolitik und Verantwortung

Die TU Wien besitzt keine Umweltpolitik, aber es existiert ein Qualitätsmanagementsystem und die Grundsätze werden in einem Qualitätsmanagement-Handbuch definiert. Folgende Grundsätze wurden definiert:¹¹⁵

- *Grundsatz 1: „Qualitativ hochwertige Leistungen werden durch hervorragend ausgebildete und engagierte Mitarbeiter_innen sowie Studierende erbracht.“*
- *Grundsatz 2: „Qualitativ hochwertige Leistungen basieren auf transparenten und effektiven Prozessen.“*
- *Grundsatz 3: „Qualitativ hochwertige Leistungen werden durch effektiven und effizienten Einsatz von Ressourcen gefördert.“*

Die TU Wien hat sich als Ziel gesetzt, in allen vier Handlungsfeldern (Gesellschaft, Forschung bzw. Entwicklung und Erschließung der Künste, Lehre, sowie Pflege und Entwicklung der Ressourcen) eine hohe Qualität zu gewährleisten und verfolgt folgende strategische und operative Qualitätsziele:¹¹⁵

¹¹⁵ (Technische Universität, 2015)

- *Strategische Ziele und operative Qualitätsziele der TU Wien im Handlungsfeld Gesellschaft:*
 - Heranbildung des wissenschaftlich/künstlerischen Nachwuchses
 - Förderung der Gleichstellung von Frauen und Männern
- *Strategische Ziele und operative Qualitätsziele im Handlungsfeld Forschung/Entwicklung und Erschließung der Künste:*
 - Positionierung der TU Wien als Forschungsuniversität
- *Strategische Ziele und operative Qualitätsziele im Handlungsfeld Lehre:*
 - Profilierung des Studienangebots
 - Verbesserung der Studienbedingungen
 - Steigerung der Internationalität der Ausbildung
 - Effiziente und transparente Gestaltung studienbezogener Verwaltungsprozesse
- *Strategische Ziele und operative Qualitätsziele im Handlungsfeld Pflege und Entwicklung der Ressourcen:*
 - Sicherung der Qualität der Leistungen der TU Wien
 - Stärkung der Position der TU Wien als attraktive Arbeitgeberin
 - Finanzierungsstrategie
 - Weiterentwicklung der IT-Infrastruktur

Die Qualitätsentwicklung und –sicherung der TU Wien werden in einem Qualitätskreislauf (PDCA-Zyklus) abgebildet. Dieser beschreibt einen iterativen Prozess und hat eine kontinuierliche Verbesserung als Ziel. Ähnlich wie bei dem Qualitätsmanagementsystem wird die Leistungsbewertung des Umweltmanagementsystems mit Hilfe eines PDCA Kreislaufer stattfinden.

Hauptverantwortlich für die Qualitätssicherung an der TU Wien ist die Universitätsleitung, welche die Richtung der Qualitätsentwicklung vorgibt. An der zentralen Qualitätssicherung wirken Rektorat, TUW-Kollegialorgane, -Gremien und –Kommissionen und das Büro des Rektorats mit. Dezentrale Akteure sind Dekanat, Studiendekan und Fakultätsrat.¹¹⁶

Für die TU Wien Pilotfabrik sollte ein Umweltteam zusammengesetzt werden. Laut einem Artikel von M. Balzarova und P. Castka sollten Teammitglieder folgende Eigenschaften mit sich bringen:¹¹⁷

- Wissen im Energiemanagement Bereich
- Wissen im Bereich Umweltschutz und (Umwelt) Recht
- Kommunikationsfähigkeiten
- Managementfähigkeiten

¹¹⁶ (Technische Universität, 2015)

¹¹⁷ (Balzarova & Castka, 2008)

- Computer-Skills
- Administrative Fähigkeiten
- Wissen über die Organisation und die Abläufe innerhalb der Organisation
- Begeisterung für das Thema

Die Umweltpolitik muss sowohl intern, als auch extern (interessierten Parteien) zur Verfügung stehen. Horizontale Integration kann dabei helfen, Umweltziele schneller extern zur Verfügung zu stellen.

4.5 Bestimmung und Bewertung von Umweltaspekten

Die TU Wien Pilotfabrik muss alle Umweltaspekte ihrer Tätigkeiten, Dienstleistungen und Produkte, auf welche sie Einfluss nehmen kann, bestimmen. Es müssen alle Prozesse, Handlungen und Arbeitsabläufe der Pilotfabrik, aber auch der Mitarbeiter in der Pilotfabrik, die eine Auswirkung auf die Umwelt haben können bedacht werden. Ziel soll eine Reduktion der Umweltbelastungen sein. Als erster Schritt ist eine Erhebung des IST-Zustandes notwendig, gefolgt von einer Bestimmung bedeutender Umweltaspekte. Die ISO 14001 liefert keine Hinweise zu einer Feststellung der Aspekte. In dieser Arbeit wird eine Input/Output-Analyse vorgeschlagen, es kann aber auch beispielweise eine Materialfluss-Analyse durchgeführt werden.¹¹⁸

4.5.1 Erhebung des IST-Zustandes

In einem ersten Schritt empfiehlt sich eine Erhebung des IST-Zustandes der TU Wien Pilotfabrik. Hierbei soll ein Überblick über die Prozesse (Administration und Produktion) und den Zustand der Pilotfabrik gegeben werden. Weiters sind eingesetzte Ressourcen (Energie, Wasser, Materialien, etc.), sowie Emissionen, Abfälle und Abwässer zu erfassen. Es sei hier zu erwähnen, dass es zwar eine Gastronomie im Gebäude der Pilotfabrik gibt, allerdings keine von der Pilotfabrik selbst betriebene. In dieser Arbeit wurde die Möglichkeit einer eigenen Gastronomie und deren Umweltauswirkungen berücksichtigt. Als Unterstützung für die Erhebung des IST-Zustandes empfiehlt sich eine Input/Output-Analyse. Tabelle 8 zeigt mögliche Inputs der Pilotfabrik der TU Wien.

Input	Maßeinheit
<i>Materialien</i>	
• Natürliche Materialien	kg
• Bearbeitete, recycelte, wiederverwendete oder Rohmaterialien	kg
<i>Energie</i>	
• Elektrische Energie	kWh
• Fernwärme (Heizung und Warmwas-	- (Null-Energie-Gebäude)

¹¹⁸ (Orthofer, 2013)

Input	Maßeinheit
ser)	
<i>Wasser</i>	
• Stadtwasser	m ³
• Brunnenwasser	m ³
<i>Dienstleistungen die den operativen Bereich der Pilotfabrik unterstützen</i>	
• Reinigungsmittel, Gebäudereiniger	kg
• Lebensmittel und Gastronomie (existiert noch nicht)	kg
• Reparatur- und Instandhaltungsmaterial	kg
• Büroartikel	kg
• Weiterbildung, Schulungen	Anzahl
• Führungen	Anzahl
<i>Technische Anlagen und Ausstattung</i>	
• Flächennutzung	m ²
• Installationen (Gebäude, Anlagen, Maschinen)	Anzahl
• Betrieb (Gebäude, Anlagen, Maschinen)	h und kg an eingesetzten gefährlichen Materialien, Stoffen etc. für Betrieb
• Wartung (Gebäude, Anlagen, Maschinen)	h und kg an eingesetzten gefährlichen Materialien, Stoffen etc. für Wartung

Tabelle 8: Inputs Pilotfabrik

Tabelle 9 gibt mögliche Outputs der TU Wien Pilotfabrik wieder.

Output	Maßeinheit
<i>Produkte</i>	
• Hauptprodukte	Anzahl und kg
• Nebenprodukte	Anzahl und kg
• Recycelte und wiederverwendete Materialien	Anzahl und kg
<i>Von Pilotfabrik erbrachte Dienstleistungen</i>	
• Lehrveranstaltungen	Anzahl
• Sonstige Veranstaltungen	Anzahl
• Bachelorarbeiten	Anzahl
• Masterarbeiten	Anzahl
• Dissertationen	Anzahl
• Weitere Publikationen	Anzahl
• Führungen	Anzahl
• Auftragsfertigung	Anzahl
• Auftragsforschung	Anzahl
• Grundlagenforschung	Anzahl
• Weiterbildung	Anzahl

Output	Maßeinheit
<i>Altstoffe</i>	
• Glasbruch	kg
• Metalle	kg
• Plastik, Schaumstoffe und Verbundstoffe	kg
• Karton/ Papier	kg
<i>Gefährliche Abfälle</i>	
• Elektroschrott	kg
• Chemikalienreste	kg
• Kleberreste	kg
• Kontaminierte Stoffe	kg bzw. m ³
<i>Emissionen in die Luft</i>	
• CO ₂	t
• Staub	kg bzw. ppm
• Sonstige	kg bzw. ppm
• Lärm	dB
<i>Emissionen ins Wasser</i>	
• Abwasser, Reinigungsmittel	m ³ und kg

Tabelle 9: Outputs Pilotfabrik

Abbildung 21 zeigt den Input/Output Prozess der TU Wien Pilotfabrik.



Abbildung 21: Input/Output Prozess der TU Wien Pilotfabrik (eigene Darstellung)

4.5.2 Bestimmung bedeutender Umweltaspekte

Als nächster Schritt werden Umweltaspekte der TU Wien Pilotfabrik bestimmt. Als Unterstützung wurde die ISO 14001 und eine Checkliste der EMAS-Verordnung verwendet.¹¹⁹ Weiters können einige Industrie 4.0 Merkmale und Technologien dabei helfen, eine raschere und geeignetere Bestimmung von bedeutenden Umweltaspekten zu erreichen. Hier sind Big Data, Product Lifecycle Data, digitale Objektgedächtnisse, sowie vernetzte Sensoren und Aktoren zu nennen. Für die Pilotfabrik der TU Wien ergeben sich folgende Aspekte, welche in Tabelle 10 dargestellt werden.

Aspekt	Beschreibung
Emissionen	Emissionen in die Atmosphäre (z.B. CO ₂), Staub, Lärm,
Wasser	Einleitung/Ableitung in Gewässer (z.B.: Reinigungsmittel), Nutzung von Wasser
Abfall	Erzeugung, Recycling, Wiederverwendung, Transport und Entsorgung von Altstoffen und gefährlichen Abfällen
Ressourcen und Rohstoffe	Nutzung von natürlichen, bearbeiteten, recycelten, wiederverwendeten Materialien oder Rohmaterialien und anderen Ressourcen (Lebensmittel, Instandhaltungsmaterial, Büromaterial etc.)
Energie	Nutzung von Energie
Verkehr	Anlieferung von Lieferanten und Anreise Besucher
Ermittlung möglicher Störfälle	Risiko von Umweltunfällen und Umweltauswirkungen
Mobilität	Anreisen von Mitarbeitern, Studenten etc.
Boden	Nutzung von Fläche, Einleitung schädlicher Stoffe,....

Tabelle 10: Umweltaspekte TU Wien Pilotfabrik

4.6 Bestimmung von Umweltzielen

Die Pilotfabrik der TU Wien verfolgt folgende Umweltziele:

- Ressourceneinsparungen: Materialien, Reinigungsmittel, Büroartikel, Fläche etc.
- Reduzierung des Energieverbrauches: elektrische Energie
- Reduzierung des Wasserverbrauches: vor allem von Stadtwasser
- Reduzierung der Abfälle: Altstoffe und gefährliche Stoffe
- Reduzierung der Emissionen in die Luft: CO₂, Staub, Lärm, sonstige Emissionen
- Reduzierung der Emissionen ins Wasser

¹¹⁹ (Europäische Kommission, 2015b)

- Reduzierung von Verkehr: Anreise der Besucher durch öffentliche Verkehrsmittel bzw. organisierte Shuttlebusse anstatt PKWs
- Ständige Weiterentwicklung und Verbesserung der Führungen, Weiterbildungen und Forschungen in der Pilotfabrik
- Einhalten von rechtlichen Vorgaben

Um das Erreichen von messbaren Umweltzielen zu bewerten wurden im nächsten Kapitel Kennzahlen für die Pilotfabrik der TU Wien eingeführt. Weiters wird empfohlen eine jährliche Überprüfung der Umweltziele durchzuführen und ein Vergleich mit den Kennzahlen des Vorjahres durchzuführen. Ziel sollte hierbei eine jährliche Verbesserung sein.

4.7 Umweltleistungsbewertung

Wie bereits in dem *Kapitel 2.3.3 Umweltleistungsbewertung* erwähnt, sind die Prinzipien der Umweltleistungsbewertung Relevanz, Vollständigkeit, Folgerichtigkeit und Genauigkeit, sowie Transparenz. Die Durchführung findet mit Hilfe des Managementmodells „Planen-Umsetzen-Prüfen-Handeln (PDCA) statt.¹²⁰ Moderne Technologien und Industrie 4.0 Merkmale können die Leistungsbewertung positiv unterstützen. Hier sind Big Data, vernetzte Sensoren und Aktoren (ermöglicht Echtzeitdatenerfassung und erleichtern die Überwachung der Prozesse), durchgängige Datenintegration, Zustandsüberwachung und prädiktive Wartung zu nennen.

4.7.1 Planen

In einem ersten Schritt wird die Umweltleistungsbewertung der TU Wien Pilotfabrik geplant. Hierfür hat eine Auswahl von Kennzahlen, aufbauend auf den aus Kapitel 4.5.2 *Bestimmung bedeutender Umweltaspekte* gewonnenen Aspekten, stattgefunden^{120,121} Es sei hier zu erwähnen, dass für die Pilotfabrik der TU Wien vor allem operative Leistungskennzahlen eine Rolle spielen.

4.7.1.1 Auswahl von operativen Leistungskennzahlen

Operative Leistungskennzahlen beziehen sich auf die Aspekte, welche mit dem Betrieb der Pilotfabrik zusammenhängen und wurden in Input Kennzahlen und Output Kennzahlen unterteilt.^{120,121}

Tabelle 11 zeigt die Input Kennzahlen der TU Wien Pilotfabrik.

Kategorie	Kennzahlen	Maßeinheiten
Materialien	• Natürliche Materialien	• kg • kg

¹²⁰ (DIN EN ISO 14031, 2013)

¹²¹ (Försch & Meinholz, 2011)

Kategorie	Kennzahlen	Maßeinheiten
	Bearbeitete, recycelte, wiederverwendete Materialien oder Rohmaterialien	
Energie	Elektrische Energie	kWh
Wasser	- Stadtwasser - Brunnenwasser	- m³ - m³
Dienstleistungen (bzw. Unterstützung für diese) die den operativen Bereich der Pilotfabrik unterstützen	- Reinigungsmittel, Gebäudereiniger - Gastronomie (existiert noch nicht) - Reparatur- und Instandhaltungsmaterial - Büroartikel - Weiterbildung, Schulungen - Führungen	- kg - kg - kg - kg - Anzahl - Anzahl - Anzahl
Technische Anlagen und Ausstattung	- Flächennutzung - Installationen (Gebäude, Anlagen, Maschinen) - Betrieb (Gebäude, Anlagen, Maschinen) - Wartung (Gebäude, Anlagen, Maschinen)	- m² - Anzahl und kg an wiederverwendeten Teilen - h und kg an eingesetzten gefährlichen Materialien, Stoffen etc. für Betrieb - kg an eingesetzten gefährlichen Materialien, Stoffen etc. für Wartung

Tabelle 11: Input Kennzahlen der TU Wien Pilotfabrik

Tabelle 12 zeigt die Output Kennzahlen der TU Wien Pilotfabrik.

Kategorie	Kennzahlen	Maßeinheiten
Produkte	- Hauptprodukte - Nebenprodukte - Recycelte und wiederverwendete Materialien	Alles in Anzahl und Anzahl und kg
Von Pilotfabrik erbrachte Dienstleistungen	- Lehrveranstaltungen und sonstige Veranstaltungen - Bachelorarbeiten, Masterarbeiten, Dissertationen - Weitere Publikationen - Führungen - Auftragsfertigung	Alles in Anzahl

Kategorie	Kennzahlen	Maßeinheiten
	• Auftragsforschung • Grundlagenforschung • Weiterbildungen	
Abfälle	• Glasbruch • Metalle • Plastik, Schaumstoffe und Verbundstoffe • Karton/ Papier • Elektroschrott • Chemikalienreste • Kleberreste • Kontaminierte Stoffe	• Alles in kg (fest) bzw. m³ (flüssig)
Emissionen	• CO₂ • Staub • Sonstige • Abwasser, Reinigungsmittel • Lärm	• t • kg bzw. ppm • kg bzw. ppm • m³ und kg • dB

Tabelle 12: Output Kennzahlen der TU Wien Pilotfabrik

4.7.1.2 Auswahl von Managementleistungskennzahlen

Managementleistungskennzahlen beziehen sich auf die Bemühungen der TU Wien Pilotfabrik, die für ein erfolgreiches Umweltmanagement erforderliche Infrastruktur zu schaffen. MPIs alleine sind allerdings nicht ausreichend um einen genauen Überblick über die Umweltleistung der Pilotfabrik zu geben und stellen Steuerungs- und Informationskennzahlen dar. Sie wurden in Systemkennzahlen und Funktionsbereichskennzahlen unterteilt.^{122, 123}

Tabelle 13 gibt einen Überblick über die Systemkennzahlen der TU Wien Pilotfabrik.

Kategorie	Kennzahlen	Maßeinheiten
Umsetzen von Umweltpolitiken und -programmen	• Ressourcen zur Umsetzung • Arbeitsbedingungen • Umweltzielsetzungen • Initiativen zur Vermeidung von Umweltverschmutzung	• Anteil • Anteil der Arbeitsplätze mit festgelegten Umweltanforderungen • Anteil der erfüllten Zielsetzungen • Anzahl
Einhaltung von Vorschriften und Erwartungen	• Betriebsprüfungen • Einhaltung von Umweltvorschriften bzw. Verstöße • Einhaltung der Erwartungen	• Alles in Anzahl

¹²² (DIN EN ISO 14031, 2013)

¹²³ (Försch & Meinholz, 2011)

Kategorie	Kennzahlen	Maßeinheiten
	interessierter Parteien • Umweltaudits • Umweltzwischenfälle • Korrekturmaßnahmen	
Finanzielle Leistungen	• Kosten in Zusammenhang mit Umweltaspekten eines Produktes oder Prozesses • Ressourceneinsparungen • Bereitgestellte Forschungs- und Entwicklungsgelder	• Alles in €
Beziehung zu Mitarbeitern, Studenten und Besuchern	• Befragung über das Wissen von Mitarbeitern, Studenten und Besuchern in Bezug auf Umweltthemen der Pilotfabrik	• Ergebnisse

Tabelle 13: Systemkennzahlen der TU Wien Pilotfabrik

Aus Tabelle 14 sind die Funktionsbereichskennzahlen der TU Wien Pilotfabrik ersichtlich.

Kategorie	Kennzahlen	Maßeinheiten
Beschaffung und Investition	• Umweltleistung von Lieferanten und Partnern • Investitionen in Umweltvorhaben	• Anzahl der Lieferanten mit Umweltpolitik, UMS etc. • €
Sicherheit und Gesundheitsschutz in der Pilotfabrik	• Umweltunfälle • Erkrankungen • Innenraum-Luftqualität	• Anzahl • Anzahl der Krankheitstage • Konzentration schädlicher Stoffe in ppm oder mg/Liter
Beziehung zur Öffentlichkeit	• Gespräche mit Interessengruppen	• Anzahl

Tabelle 14: Funktionsbereichskennzahlen der TU Wien Pilotfabrik

4.7.1.3 Auswahl von Umweltzustandsindikatoren

Umweltzustandsindikatoren beziehen sich auf die Umweltqualität in der Umgebung der TU Wien Pilotfabrik. Hierbei werden vor allem die Umweltmedien Luft, Wasser und Boden betrachtet.^{124,125}

Tabelle 15 gibt die Indikatoren für Umweltmedien wieder.

¹²⁴ (Försch & Meinholz, 2011)

¹²⁵ (DIN EN ISO 14031, 2013)

Kategorie	Kennzahlen	Maßeinheiten
Luft	- Konzentration eines bestimmten Schadstoffs in der Umgebung (Schwefel, Stickstoffe, Ozon, feine Partikel...) - Verringerung von Treibhausgasen - Umgebungstemperatur am Standort - Geruch	- mg/Liter oder ppm - mg/Liter oder ppm °C - Olf
Wasser	Konzentration eines bestimmten Schadstoffs im Grundwasser oder Oberflächenwasser (Nährstoffe, Schwermetalle, organische Verbindungen...)	mg/Liter
Boden	Konzentration eines bestimmten Schadstoffs im Boden (Schwermetalle, Pestizide, Nährstoffe...)	km²

Tabelle 15: Umweltzustandsindikatoren der TU Wien Pilotfabrik

Die folgenden Abbildungen schaffen einen Überblick über die Kennzahlen der TU Wien Pilotfabrik, aufgeteilt auf die 3 Säulen der Pilotfabrik (Forschung, Führungen und Produktion).

Abbildung 22 zeigt die Kennzahlen des Bereiches Forschung.

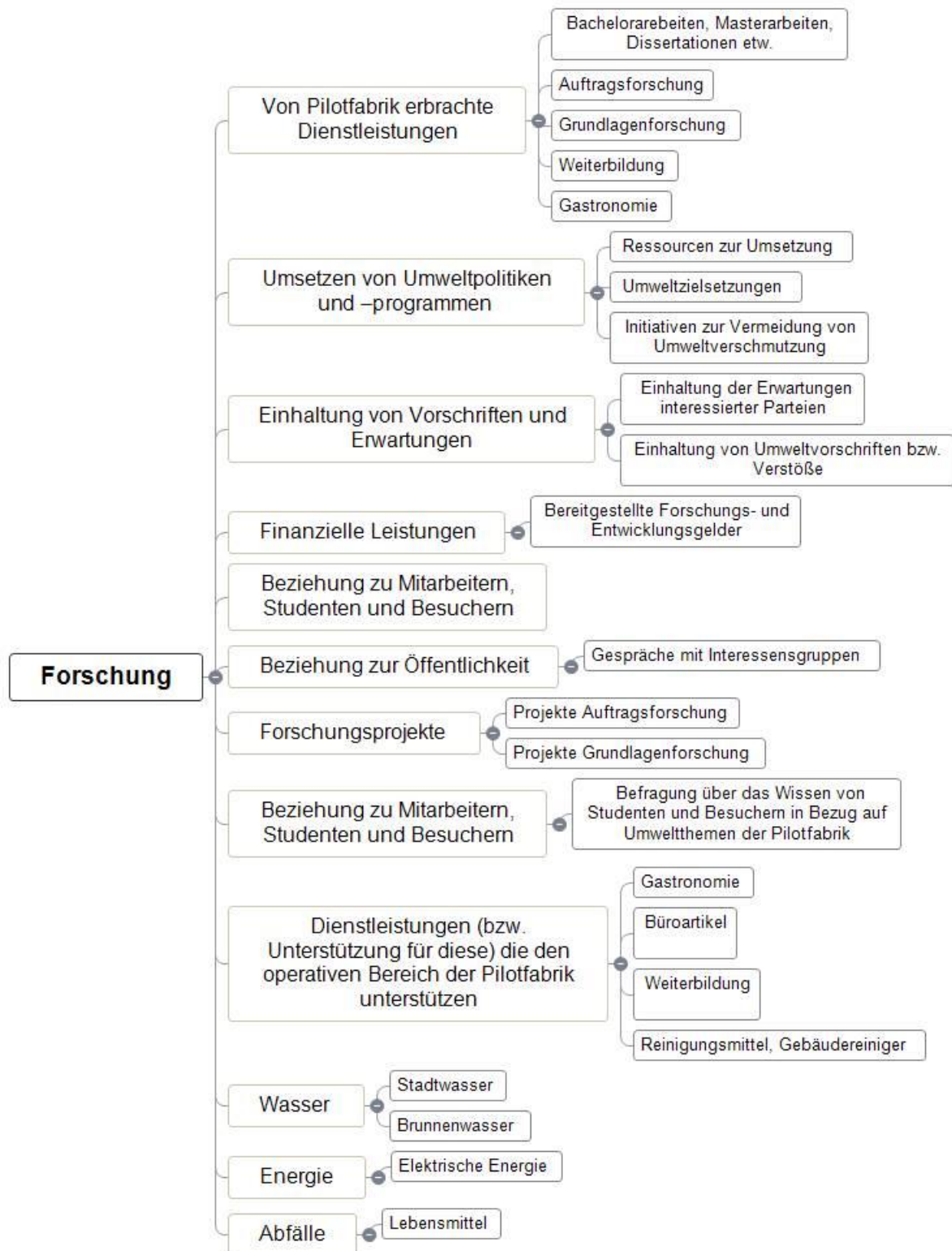


Abbildung 22: Kennzahlen Bereich Forschung (eigene Darstellung)

Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen die Kennzahlen des Bereiches Produktion.

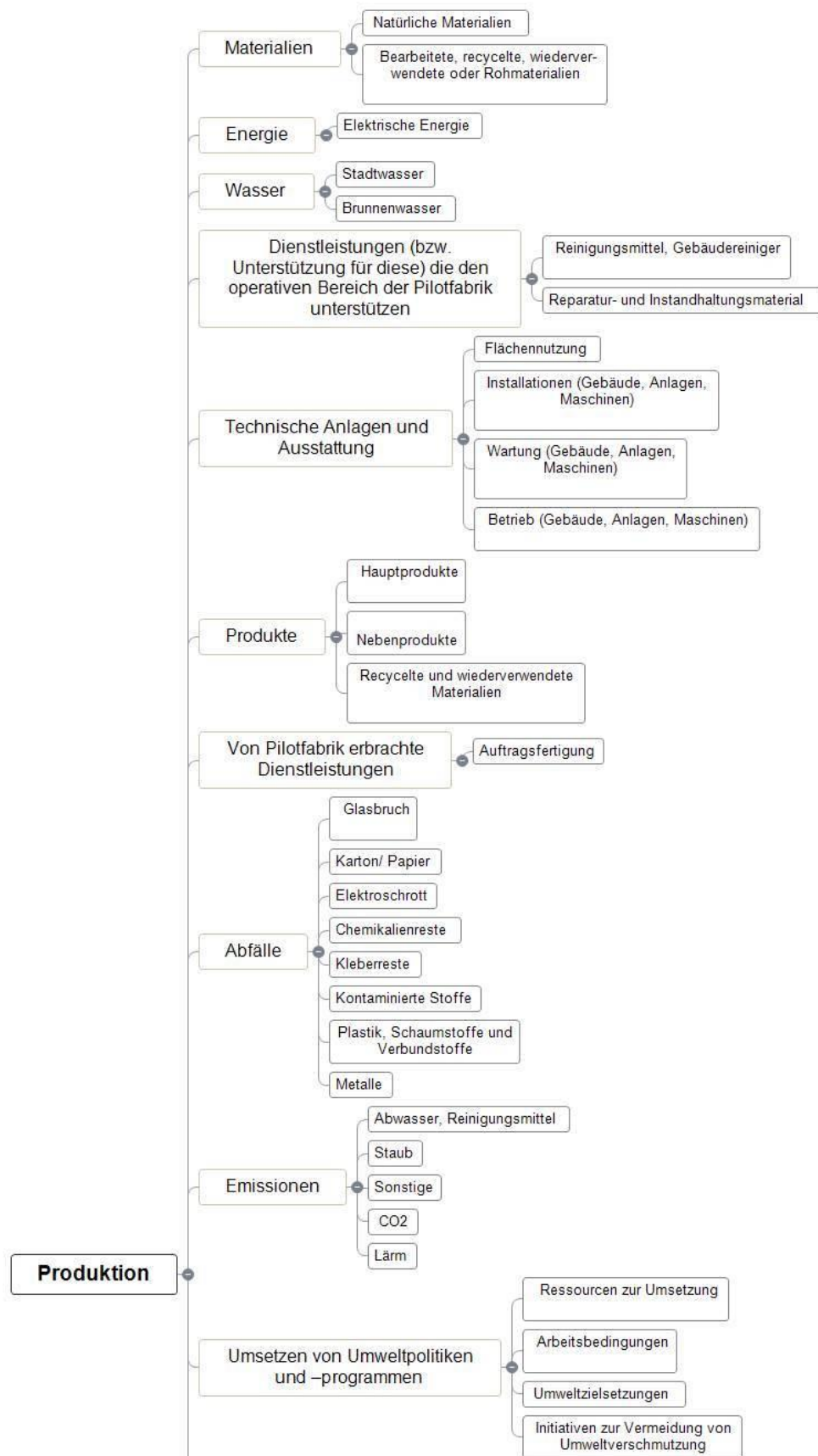


Abbildung 23: Kennzahlen Bereich Produktion Teil 1 (eigene Darstellung)

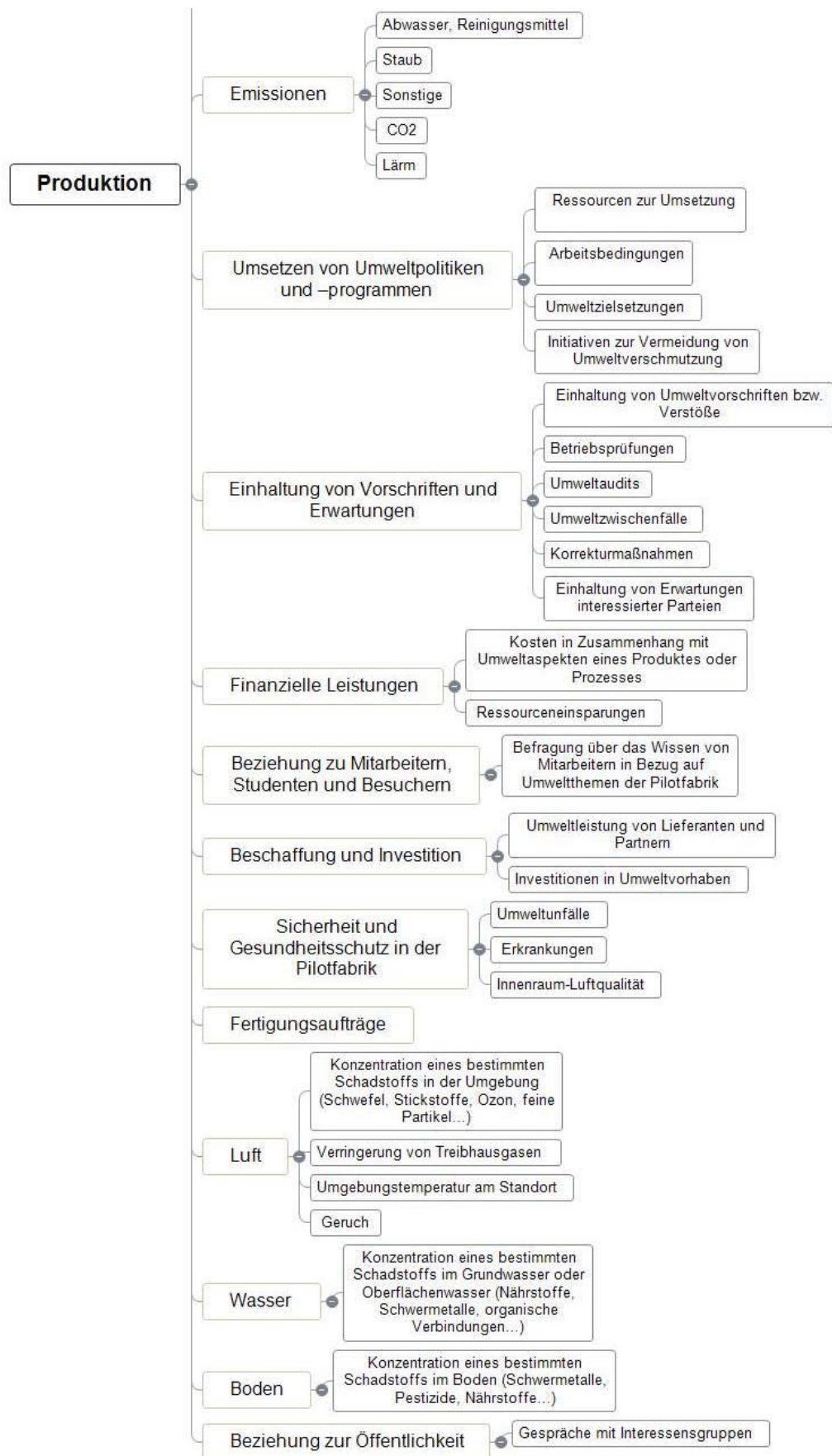


Abbildung 24: Kennzahlen Bereich Produktion Teil 2 (eigene Darstellung)

Abbildung 25 zeigt die Kennzahlen des Bereiches Führungen.

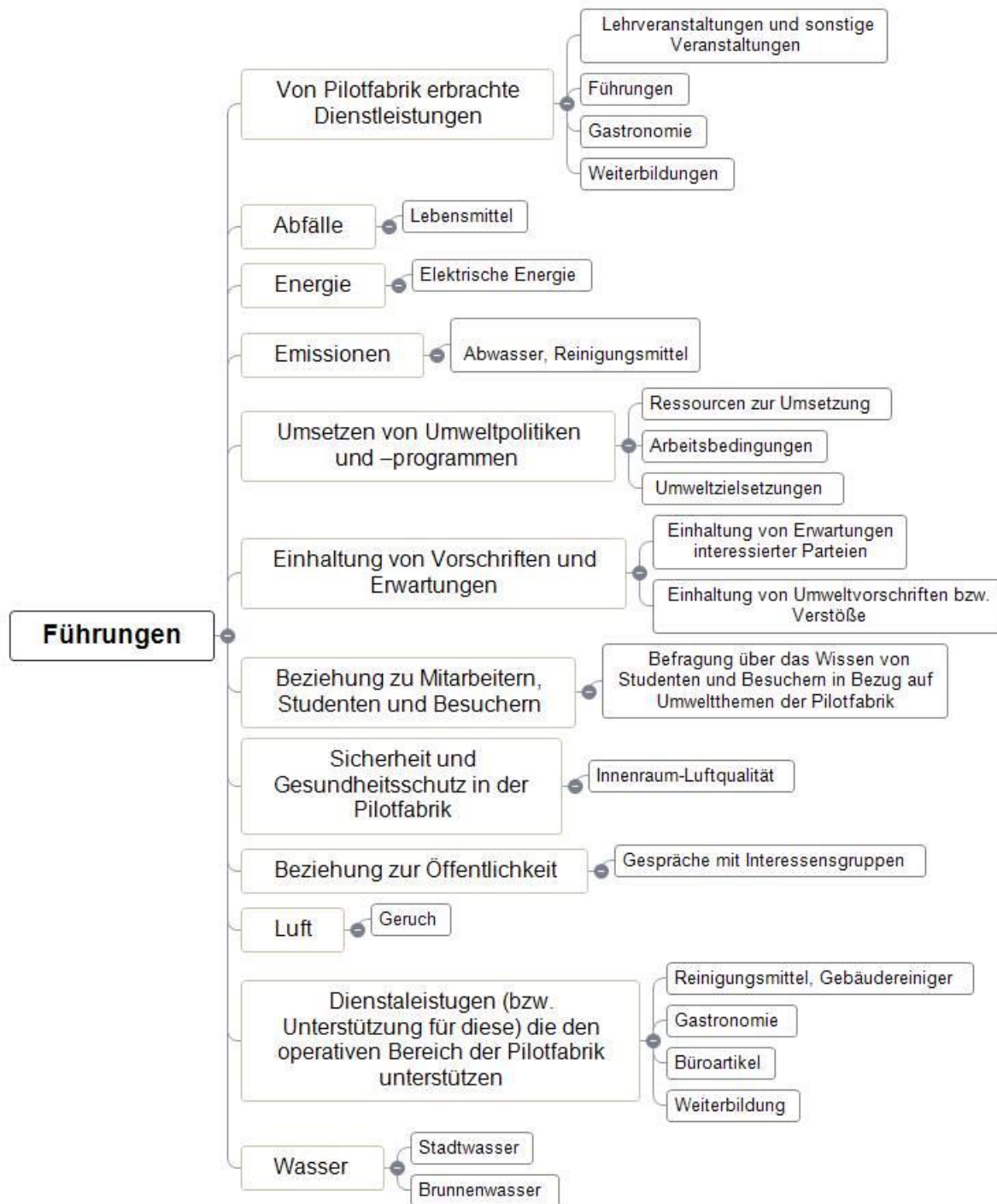


Abbildung 25: Kennzahlen Bereich Führungen (eigene Darstellung)

4.7.2 Umsetzen/ Do

Als nächster Schritt werden Daten, welche für die zuvor bestimmten Kennzahlen der Pilotfabrik erforderlich sind, erfasst, analysiert und in Informationen zur Beschreibung der Umwelleistung der Pilotfabrik aufbereitet. Danach werden diese Informationen

beurteilt und mit der Umweltleistungszielsetzung verglichen. Als letztes findet eine Berichterstattung und Kommunikation der Informationen statt.¹²⁶

Bei der Datenerfassung ist vor allem darauf zu achten, dass die erfassten Daten von jener Art und Qualität sind, wie es für die Umweltleistungsbewertung der Pilotfabrik notwendig ist. Daten der Pilotfabrik können aus folgenden Quellen stammen:

- Befragungen und Beobachtungen
- Aufzeichnungen
- Lieferanten
- Interessierte Kreise

Um das Umweltmanagementsystem der TU Wien Pilotfabrik möglichst effektiv und effizient zu gestalten, werden die Ergebnisse aus *Kapitel 3.3 Analyse der Auswirkungen* berücksichtigt. Es wird empfohlen vor allem folgende Industrie 4.0 Technologien einzusetzen:

- Vernetzte und intelligente Sensoren
- Digitale Objektgedächtnisse
- Zustandsüberwachung
- Prädiktive Wartung

Tabelle 16 zeigt Datenquelle und Datenerfassung von Input Kennzahlen. Es sei hierbei zu erwähnen, dass für Kleinteile der TU Wien Pilotfabrik bereits eine Füllstandsmessung zum Einsatz kommt und größere Teile über RFID und/oder Barcode verfügen.

Input Kennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
Natürliche Materialien	Aufzeichnungen (Messung)	• Barcode oder RFID	Automatische elektronische Bestellung durch Maschinen oder Lagerfühler (intelligente Sensoren, z.B.: Füllstandsmessung von PLA-Tank)→elektronisches Aviso durch Lieferanten→automatischer Abgleich Bestellung und Lieferung
Bearbeitete, recycelte, wiederverwendete Materialien oder Rohmaterialien	Aufzeichnungen (Messung)	• Barcode oder RFID	Automatische elektronische Bestellung durch Maschinen oder Lagerfühler (Sensoren, z.B.: Füllstandsmes-

¹²⁶ (DIN EN ISO 14031, 2013)

Input Kennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
			sung von PLA-Tank)→elektronisches Aviso durch Lieferanten→automatischer Abgleich Bestellung und Lieferung →Automatisches Berechnen von Verhältniszahl zwischen recycelten und neuen Materialien
Elektrische Energie	Aufzeichnungen (Messung)	• Sensoren an den Maschinen, Anlagen etc. messen Energieverbrauch • Messen der Anschlussleistung (für Spitzenstromerfassung) • Stromfühler in „Steckdosen“	Vernetzte Sensoren ermöglichen Echtzeitdatenerfassung
Stadtwasser	Aufzeichnungen (Messung)	• Wassersensor an den Hauptleitungen oder Flügelrad-Durchflusssensor	Möglichkeit zur Echtzeitdatenerfassung
Brunnenwasser	Aufzeichnungen (Messung)	• Wassersensor an den Hauptleitungen oder Flügelrad-Durchflusssensor	Möglichkeit zur Echtzeitdatenerfassung → automatische Verhältniszahl zwischen Brunnenwasser und Stadtwasser berechnen
Gastronomie (existiert noch nicht)	Aufzeichnungen (Messungen)	• Barcode	Möglichkeit zur Echtzeitdatenerfassung
Reparatur- und Instandhaltungsmaterial	Aufzeichnungen (Messung)	• Barcode oder RFID	Automatische, elektronische Bestellung durch Maschinen, →elektronisches Aviso durch Lieferanten→automatischer Abgleich Bestellung und Lieferung → Digitale Objektge-

Input Kennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
			dächtnisse (Maschine weiß wann sie gewartet werden muss und bestellt Material und Dienstleistungen)
Büroartikel	Aufzeichnungen (Messungen)	Barcode	Möglichkeit zur Echtzeitdatenerfassung
Weiterbildung, Schulungen	Aufzeichnungen (Unterlagen zu Aus- und Weiterbildung)	Erstellen einer elektronischen „Skill Matrix“	Es werden Schulungspläne ausgearbeitet
Führungen	Aufzeichnungen (Unterlagen zu Veranstaltungen)	Erfassung durch Online Anmeldung	
Flächennutzung	Aufzeichnungen (Messung)	CAD System (Baupläne) misst Quadratmeter	Zusätzlich kann Wertschöpfung pro Quadratmeter berechnet werden
Installationen (Gebäude, Anlagen, Maschinen)	Aufzeichnungen (Messung und Überwachung)	Barcode oder RFID	Teile die zur Installation verwendet werden, werden gemessen und automatische Auswertung auf wiederverwendete Teile etc.
Betrieb (Gebäude, Anlagen, Maschinen)	Aufzeichnungen (Messung)	Erfassung der Stunden durch Sensoren und Menge durch Barcode bzw. RFID	→ Messe Laufzeiten, Rüstzeiten und Stillstandzeiten → Messe Menge an eingesetzten Materialien → automatische Auswertung auf wiederverwendeter Materialien etc.
Wartung (Gebäude, Anlagen, Maschinen)	Aufzeichnungen (Messungen)	Sensoren messen Menge mittels Barcode bzw. RFID	→Prädiktive Wartung unterstützt bei der Überwachung →Digitale Objektgedächtnisse dokumentieren durchgeführte Wartungsoperationen →Zustandsüberwachung reduziert Maschinenausfälle weil Abweichungen schneller erkannt werden

Input Kennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
			können

Tabelle 16: Datenquelle und Datenerfassung von Input Kennzahlen

Tabelle 17 zeigt die Datenquellen und Datenerfassung der Output Kennzahlen.

Output Kennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
Hauptprodukte	Aufzeichnungen (Messung)	• Verpackungsmaterial mittels Barcode bzw. RFID • Für (gefährliche) Stoffe und Materialien in dem Produkt Analyse der Stückliste	Vernetzte Dateninformationen: habe bereits beim Input erfasst wie groß der Anteil an recycelten Materialien und neuen Materialien ist und erfasse jetzt wie groß der Anteil an recycelten Materialien in diesem Produkt ist
Nebenprodukte	Aufzeichnungen (Messung)	• Verpackungsmaterial mittels Barcode bzw. RFID • Für (gefährliche) Stoffe und Materialien in dem Produkt Analyse der Stückliste	Vernetzte Dateninformationen: habe bereits beim Input erfasst wie groß der Anteil an recycelten Materialien und neuen Materialien ist und erfasse jetzt wie groß der Anteil an recycelten Materialien in diesem Produkt ist
Recycelte und wiederverwendete Materialien	Aufzeichnungen (Messung)	• Vernetzte Dateninformation: Bereits erfasst	Vernetzte Dateninformation: Bereits erfasst
Lehrveranstaltungen und sonstige Veranstaltungen, Führungen	Aufzeichnungen (Unterlagen zu Veranstaltungen)	• Erfassung durch Online Anmeldung	Elektronischer Fragebogen über das vermittelte Wissen am Ende der Veranstaltung
Bachelorarbeiten, Masterarbeiten etc.	Aufzeichnungen (Unterlagen zu Aus- und Weiterbildung)	• Erfassung durch Online Anmeldung	
Auftragsfertigung	Aufzeichnungen (Messung)	• Baupläne werden elektronisch übermittelt • Auftragsdatum, Fertigungsbeginn, Fertigungsende und Auslieferdatum	Möglichkeit zur Maschinenstundenerfassung und Personalstundenerfassung

Output Kennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
		werden automatisch erfasst	
Auftragsforschung und Grundlagenforschung	Aufzeichnungen (Messung)	- Forschungsantrag wird elektronisch übermittelt - Auftragsdatum, Forschungsbeginn und Forschungsende werden automatisch erfasst	Möglichkeit zur Maschinenstundenerfassung und Personalstundenerfassung
Weiterbildungen	Aufzeichnungen (Unterlagen zur Aus- und Weiterbildung)	Erfassung durch Online Anmeldung	
Abfälle: - Glasbruch - Metalle - Plastik, Schaumstoff, Verbundstoffe - Karton, Papier - Elektroschrott - Chemikalienreste - Kleberreste - Kontaminierte Stoffe	Aufzeichnungen (Messungen)	Gewicht (fest) bzw. Volumen (flüssig) messen	Abfall in Sammelbehältnissen sammeln und elektronische Überwachung des Füllgrades mittel intelligenten Sensoren (Gewicht oder Volumen messen)
CO ₂	Aufzeichnungen (Messungen)	CO₂ Messungen mittels Messgerät	
Staub	Aufzeichnungen (Messungen)	Staub Messungen mittels Messgeräten	
Sonstige Emissionen	Aufzeichnungen (Messungen)	Messungen mittels Messgeräten	
Abwasser, Reinigungsmittel	Aufzeichnungen (Messungen)	Volumen erfassen bzw. kg	

Output Kennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
	gen)		
Lärm	Aufzeichnungen (Messungen)	Lärm Messungen mittels Messgeräten	

Tabelle 17: Datenquelle und Datenerfassung von Output Kennzahlen

Tabelle 18 zeigt die Datenquellen und Datenerfassung der Systemkennzahlen.

Systemkennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
Ressourcen zur Umsetzung der Umweltziele	Aufzeichnungen (Messungen)	Erfassung hat schon stattgefunden	Zuvor erfasste Ressourcen addieren
Arbeitsbedingungen	Aufzeichnungen (Messungen), Befragung	z.B. durch MTM (Methoden Zeit Messung)	→ Ergonomische Bewertung und Zeit → Anteil an Arbeitsplätzen mit festgelegten Umweltanforderungen kann gemessen werden
Umweltzielsetzungen	Aufzeichnungen (Messungen)	Laufender Vergleich der SOLL und IST Werte	
Initiativen zur Vermeidung von Umweltverschmutzung	Aufzeichnungen (Messung)	Messen der Initiativen	Risikoanalyse der umweltgefährdenden Einzelprozesse und Messung der Maßnahmen gegen diese
Betriebsprüfungen	Aufzeichnungen (Messung)	Häufigkeit der Überprüfung messen	
Einhaltung von Umweltvorschriften bzw. Nichteinhaltung	Aufzeichnungen (Messungen)	Messung von Nichteinhaltung	Rechtliche Datenbank meldet automatisch Verstöße
Einhaltung der Erwartungen interessierter Parteien und Verstöße	Aufzeichnungen (Messungen)	Anzahl der Verstöße messen	
Umweltaudits	Aufzeichnungen (Messungen)	Anzahl der Audits messen	
Umweltzwischenfälle	Aufzeichnungen (Messungen)	Anzahl der Umweltzwischenfälle	

Systemkennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
		messen	
Korrekturmaßnahmen	Aufzeichnungen (Messungen)	Anzahl der Korrekturmaßnahmen messen	
Kosten im Zusammenhang mit Umweltaspekten eines Produktes oder Prozesses	Aufzeichnungen (Controlling)	Wertevergleich der bereits erfassten Daten	Alle zuvor erfassten Daten werden vom Controlling hinsichtlich Umweltrelevanz erfasst → Gesamtkosten/ Kosten im Zusammenhang mit Umweltaspekten
Ressourceneinsparungen	Aufzeichnungen (Messungen)	Wertevergleich der bereits erfassten Daten	
Bereitgestellte Forschungs- und Entwicklungsgelder	Aufzeichnungen (Messungen)	Wertevergleich der bereits erfassten Daten	
Befragung über das Wissen von Mitarbeitern, Studenten und Besuchern in Bezug auf Umweltthemen der Pilotfabrik	Befragungen	Fragebögen oder Online Befragung	

Tabelle 18: Datenquelle und Datenerfassung von Systemkennzahlen

Tabelle 19 zeigt die Datenquelle und Datenerfassung von Funktionsbereichskennzahlen.

Funktionsbereichskennzahlen	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
Umweltleistung von Lieferanten und Partnern	Aufzeichnungen (Messung)	Automatische Klassifizierung der Lieferanten	Auswahl der Lieferanten erfolgt nach Umweltkriterien
Investitionen in Umweltvorhaben	Aufzeichnungen (Messungen)	Wertevergleich der bereits erfassten Daten	Umweltinvestitionen/ Gesamtinvestitionen berechnen
Umweltunfälle	Aufzeichnungen	Anzahl der Umweltunfälle messen	
Erkrankungen	Aufzeichnungen	Anzahl der Erkrankungen	

		messen	
Innenraum-Luftqualität	Aufzeichnungen, Befragungen	Messung mittels Messgeräten	
Gespräche mit Interessensgruppen	Befragungen	Befragung von interessierten Parteien	

Tabelle 19: Datenquelle und Datenerfassung von Funktionsbereichskennzahlen

Tabelle 20 zeigt die Datenquelle und Datenerfassung von Umweltzustandsindikatoren.

Umweltzustandsindikatoren	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
Konzentration eines bestimmten Schadstoffs in der Umgebung (Schwefel, Stickstoffe, Ozon, feine Partikel...)	Aufzeichnungen (Messung)	Entnahme von Luftprobe und Begutachtung durch externe Stelle (z.B.: Umweltbundesamt)	Einmal im Jahr
Verringerung von Treibhausgasen	Aufzeichnungen (Messung)	Entnahme von Luftprobe und Begutachtung durch externe Stelle (z.B.: Umweltbundesamt)	Einmal im Jahr
Umgebungstemperatur am Standort	Aufzeichnungen (Messung)	Widerstandsthermometer oder Infrarot-Temperatur Sensoren	Möglichkeit zur Echtzeitdatenerfassung
Geruch	Aufzeichnungen (Messung)	Elektronische Nase in der Pilotfabrik und an der Außenwand	Möglichkeit zur Echtzeitdatenerfassung
Konzentration eines bestimmten Schadstoffs im Grundwasser oder Oberflächenwasser (Nährstoffe, Schwermetalle, organische Verbindun-	Aufzeichnungen (Messung)	Entnahme von Wasserprobe und Begutachtung durch externe Stelle (z.B.: Um-	Einmal im Jahr

Umweltzustandsindikatoren	Datenquelle	Datenerfassung	Anmerkung
gen...)		weltbundesamt)	
Konzentration eines bestimmten Schadstoffs im Boden (Schwermetalle, Pestizide, Nährstoffe...)	Aufzeichnungen (Messung)	Entnahme von Bodenprobe und Begutachtung durch externe Stelle (z.B.: Umweltbundesamt)	Einmal im Jahr

Tabelle 20: Datenquelle und Datenerfassung von Umweltzustandsindikatoren

Datenverarbeitung kann direkt am Sensorelement (an der Wirkstelle), in einem zusätzlichen externen Auswertemodul, am lokalen Server oder außerhalb der Pilotfabrik in der Cloud stattfinden. Die Bereitstellung der Daten kann entweder direkt am Sensor, am zentralen Server oder wieder standortübergreifend in der Cloud erfolgen.¹²⁷ Nach dem Daten erfasst und analysiert wurden, findet eine Berichterstattung bzw. Kommunikation über die Umweltsleistung sowohl intern an Mitarbeiter, als auch extern (interessierte Kreise, Studenten, Lieferanten etc.) statt. Für die Pilotfabrik der TU Wien empfiehlt sich, die externe Weitergabe von Informationen einmal pro Jahr durchzuführen.

4.7.3 Überprüfung/ Check und Handeln/ Act

In diesem Schritt findet eine Überprüfung und Verbesserung der Umweltsleistungsbewertung für die TU Wien Pilotfabrik statt. Hierbei empfiehlt sich dies in regelmäßigen Abständen, z.B. zweimal im Jahr, durchzuführen. Die TU Wien Pilotfabrik sollte folgende Verbesserungspotentiale bzw. Verbesserungen bei der Überprüfung betrachten:¹²⁸

- Verhältnis zwischen erreichtem Nutzen und den Kosten
- Fortschritt in Hinblick auf Umweltzielsetzungen
- Fortschritt in Hinblick auf verbesserte Umweltsleistung
- Verwendung von Kennzahlen für Umweltsleistungsbewertung
- Datenquellen und Datenqualität
- Veränderungen von rechtlichen und anderen Vorschriften
- Veränderungen durch neue Technologien
- Informationen von interessierten Kreisen

¹²⁷ (VDMA, 2018)

¹²⁸ (DIN EN ISO 14031, 2013)

4.8 Zusammenfassung

Aufbauend auf den Resultaten des *Kapitels 3 Auswirkungen der Industrie 4.0 auf die Anforderungen eines Umweltmanagementsystems* wurde die Entwicklung eines Umweltmanagementsystems für die Pilotfabrik der TU Wien durchgeführt. Mit diesem Konzept konnte eine Verbindung von Forschung und Praxis erreicht werden.

Ausgehend von den Zielen und dem Nutzungskonzept der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0, sowie dem bereits existierenden Qualitätsmanagementsystem der TU Wien, konnten Umweltziele der Pilotfabrik bestimmt werden. Hierbei sei allerdings zu erwähnen, dass die TU Wien im Moment weder ein Umweltmanagementsystem, noch eine Umweltpolitik besitzt und jenes bzw. jene der Pilotfabrik daher nicht auf ein bestehendes System aufgebaut werden kann. Es wurden Empfehlungen für ein mögliches Umweltteam und für die Bestimmung der Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien gegeben. Für ein rascheres und erleichtertes Verständnis der Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien wird der Einsatz von Big Data und horizontaler Integration empfohlen. Weiters hat die TU Wien die Chance, dank der Erstellung eines ökologischen Fußabdruckes durch den Einsatz digitaler Objektdächtnisse, als Best Practice Beispiel voran zu gehen.

Zur Bestimmung von Umweltaspekten wird im ersten Schritt eine Erhebung des IST-Zustandes empfohlen. In diesem Konzept wird auf eine Input/Output-Analyse hingewiesen. Für die Pilotfabrik haben sich folgende Inputs und Outputs ergeben:

Inputs:

- Materialien
- Energie
- Wasser
- Dienstleistungen die den operativen Bereich der Pilotfabrik unterstützen
- Technische Anlagen und Ausstattung

Outputs:

- Produkte
- Von Pilotfabrik erbrachte Dienstleistungen
- Altstoffe
- Gefährliche Abfälle
- Emissionen in die Luft
- Emissionen ins Wasser

In diesem Konzept wird eine Umweltleistungsbewertung mit Hilfe des Managementmodells „Planen-Umsetzen-Prüfen-Handeln (PDCA) empfohlen, welches zu einer

kontinuierlichen Verbesserung des Umweltmanagementsystems beitragen soll. Es wurden operative Leistungskennzahlen, welche sich in Input und Output Kennzahlen unterteilen, Managementleistungskennzahlen, welche sich in Systemkennzahlen und Funktionsbereichskennzahlen unterteilen und Umweltzustandsindikatoren ausgewählt. Auch hier können durch den Einsatz von modernen Technologien und Industrie 4.0 Merkmalen Vorteile erzielt werden und das Umweltmanagementsystem kann möglichst effektiv und effizient gestaltet werden. Big Data, vernetzte Sensoren und Aktoren, durchgängige Datenintegration, Zustandsüberwachung und prädiktive Wartung können die Umweltleistungsbewertung der Pilotfabrik positiv unterstützen. Weiters sei zu erwähnen, dass vor allem operative Leistungskennzahlen für die Pilotfabrik der TU Wien eine wichtige Rolle spielen werden.

Alle für die Kennzahlen erforderlichen Daten der Pilotfabrik werden erfasst, analysiert und in Informationen zur Beschreibung der Umweltleistung der Pilotfabrik aufbereitet. Auch für den Schritt der Datenerhebung und Datenanalyse wird eine Verwendung von moderner Technologie empfohlen. Dank vernetzter Sensoren und Aktoren kann eine Echtzeitdatenerfassung stattfinden. Es konnte für alle Kennzahlen Datenquelle und Datenerfassung eruiert werden. Die Bereitstellung der Daten an Externe (interessierte Parteien) sollte einmal pro Jahr und die Überprüfung der Umweltleistungsbewertung zweimal im Jahr stattfinden. Weiters empfiehlt dieses Konzept eine jährliche Überprüfung der Umweltziele und einen Vergleich mit den Kennzahlen des Vorjahres durchzuführen.

Zusammenfassend wird der Einsatz folgender moderner Technologien für die Erstellung eines Umweltmanagementsystems der TU Wien Pilotfabrik Industrie 4.0 empfohlen:

- Big Data
- Horizontale Integration
- Digitale Objektgedächtnisse
- Vernetzte Sensoren und Aktoren
- Durchgängige Datenintegration
- Zustandsüberwachung
- Prädiktive Wartung
- Verstärkte Vernetzung zwischen Pilotfabrik und Lieferanten
- Durchgängige Datenintegration
- Verwendung einer Cloud

5 Diskussion und Ausblick

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In dieser Arbeit konnten die Forschungsfragen beantwortet werden:

- *Ob und in welcher Form können Industrie 4.0 und Umweltmanagement verbunden werden und welche Auswirkungen hat dies in Bezug auf Nachhaltigkeit?*

Sowohl Literatur, als auch Experten waren sich einig, dass sich Industrie 4.0 und Umweltmanagement sehr gut verbinden lassen könnten und dadurch viele positive Auswirkungen auf die (ökologische) Nachhaltigkeit entstehen würden. Vor allem im Bereich der Energie- und Ressourceneinsparung könnten laut Literatur und Experten große Fortschritte erreicht werden. Moderne Technologien können Umweltmanagementsysteme in allen Phasen unterstützen, von der Erstellung des Kontextes der Organisation, über die Phase der Planung und des Betriebs bis hin zur Phase der Verbesserung.

- *Welche Anforderungen an ein modernes Umweltmanagement in Zeiten zunehmender Digitalisierung, Industrie 4.0, gibt es? Welchen Anforderungen sehen sich Industrieunternehmen gegenüber?*

In Zeiten zunehmender Digitalisierung entstehen für Umweltmanagementsysteme vor allem Anforderungen an die Flexibilität, Datensicherheit, Risikoabschätzung, Mitarbeiterschulung und an das Feststellen der Erfordernisse und Erwartungen interessanter Parteien. Auf Grund von zunehmend komplexer werdenden Systemen könnten Risikoabschätzungen immer schwieriger werden und es sollte sich die Flexibilität von Umweltmanagementsystemen steigern. Mitarbeiterschulungen, vor allem für den Umgang mit den neuen Technologien, aber auch auf Grund von sich verändernden Arbeitsbedingungen und –Umfeldern sollten zunehmend forciert werden. Das Verstehen von Erfordernissen und Erwartungen interessierter Parteien könnte immer wichtiger werden, denn in einer digital vernetzten Welt können Kunden, Lieferanten etc. schnell und günstig Alternativen finden. Weiters könnten die Themen Datensicherheit und Nutzung von Daten, insbesondere in Bezug auf Big Data, eine immer größere Rolle spielen. Für Organisationen werden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit neue Sicherheitsanforderungen und die Schwierigkeit des Findens von Mustern und Kausalitäten von Daten ergeben.

- *Wie können moderne Technologien und Methoden (z.B.: Cyber-Physische Systeme, Big Data,...) das Umweltmanagement effektiver und effizienter machen?*

Gerade in Bezug auf Energieeffizienz und Ressourceneffizienz könnten sich laut Experten und Literatur maßgebliche Chancen zu einer Performancesteigerung ergeben. Allerdings sei zu erwähnen, dass in dieser Arbeit die Energie- und Ressourceneffizienz ausschließlich innerhalb der Organisation und nicht gesamtheitlich betrachtet wurde. So bring beispielsweise ein Cloud System zwar intern signifikante Energieeinsparungen, allerdings wurde nicht überprüft wie dies gesamtenergetisch zu bewerten ist. Moderne Technologien können Organisationen sowohl auf der Prozessebene, z.B. durch eine günstigere Steuerung und Auslastung von Maschinen, als auch auf der Produktebene, z.B. durch einen vorausschauenden Austausch von Komponenten, sowie einer besseren Wartung unterstützen.

Weiters konnte mit der Erstellung eines Umweltmanagementkonzeptes für die Pilotfabrik Industrie 4.0 der TU Wien eine Verbindung zwischen Praxis und Theorie erreicht werden. Es konnten zuvor identifizierte moderne Technologien und Industrie 4.0 Merkmale in diesem Konzept, Umweltmanagement 4.0, angewendet werden. Dadurch kann es in der Pilotfabrik der TU Wien zu folgenden Auswirkungen kommen:

- Verbesserung der Effektivität und der Effizienz des betrieblichen Umweltschutzes
- Raschere Bestimmung bedeutender Umweltaspekte
- Raschere und erfolgversprechendere Leistungsbewertung
- Erleichtertes Verstehen der Erfordernisse und Erwartungen interessierter Parteien
- Bereitstellung des ökologischen Fußabdrucks
- Ressourcen- und Effizienzsteigerung
- Echtzeitdatenerfassung
- Raschere Identifikation der Produkte
- Raschere Feststellung von Abweichungen vom SOLL-Zustand und Fehlprodukten
- Voraussagen bzw. Vermeidung von Maschinenausfällen

Es sei allerdings erwähnt, dass es auch zu Problemen kommen kann. Beispielsweise ist gerade bei Big Data aufgrund von fehlenden Kausalitäten und Mustern schwerer erkennbar, welche Daten sinnvoll und welche sinnlos sind. Weiters ist stets darauf zu achten, dass die Qualität der Daten den gewünschten Anforderungen entspricht, da diese sonst nicht anwendbar sind.

5.2 Grenzen der Arbeit

Es sei zu erwähnen, dass sich diese Arbeit stets auf eine Ressourcen- und Energieeinsparung innerhalb der Organisation bezieht und diese Einsparungen nicht aus globaler Sicht betrachtet wurden. Es wurden Energieeinsparungen (z.B. durch Cloud Systeme) stets intern betrachtet und es wurde nicht überprüft wie dies gesamtenergetisch zu bewerten ist.

Eine weitere Grenze dieser Arbeit wurde in der Literaturrecherche erreicht. Es existiert ausreichend Literatur zu Umweltmanagementsystem und immer mehr zu Industrie 4.0, allerdings konnten nach einer ausführlichen Literaturrecherche 22 Literaturen zu dem Thema *Umweltmanagementsysteme in Zeiten von Industrie 4.0* gefunden werden, welche analysiert und eingearbeitet wurden. Nur vier der 22 Literaturen wurden vor 2010 veröffentlicht, wodurch die Aktualität des Themas verdeutlicht wird.

Weiters handelt es sich bei dem Praxisteil dieser Arbeit um die Erstellung eines Konzeptes. In dieser Arbeit wurden anhand einer ausführlichen Literaturrecherche und Experteninterviews Empfehlungen für ein Umweltmanagementsystem für die Pilotfabrik der TU Wien gegeben, eine Umsetzung hat allerdings nicht stattgefunden. Es sollte darauf geachtet werden, dass dieses Konzept für ein Umweltmanagementsystem einer Pilotfabrik einer Universität erstellt wurde und dies bei der Erstellung eines Konzeptes für außeruniversitäre Einrichtungen berücksichtigt werden sollte.

5.3 Ausblick

Diese Diplomarbeit soll Organisationen dabei unterstützen Umweltmanagementsysteme in Zusammenhang mit Industrie 4.0 Methoden und modernen Technologien zu betrachten und positive Auswirkungen dieser Verbindung nutzen zu können. Dadurch sollen Organisationen nicht nur einen positiven Beitrag zu einem nachhaltigen Umweltschutz und Handeln leisten, sondern auch wirtschaftliche Vorteile erzielen können.

Die ausgesprochenen Empfehlungen für das Umweltmanagementkonzept der TU Wien Pilotfabrik sollen bei der Einführung eines Umweltmanagementsystems berücksichtigt werden. Weiters soll diese Arbeit die TU Wien dabei unterstützen, als Best Practice Beispiel für eine Pilotfabrik aufzutreten und somit tonangebend zu sein. Es sei zu erwähnen, dass weiterführende Analysen und Forschungen durchgeführt werden sollten, um festzustellen ob Echtzeitdatenmessungen und genaueste Informationen von allen Produkten, Materialien, Energieflüssen, etc. notwendig sind.

Weiters verlangt die Limitation der Literatur über *Umweltmanagementsysteme in Zeiten von Industrie 4.0* nach weiterführenden Forschungen und Studien in diesem Bereich.

6 Literaturverzeichnis

- acatech- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. (2012). *Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern- Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0- Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0* (S. 72).
- Balzarova, M., & Castka, P. (2008). Underlying mechanisms in the maintenance of ISO 14001 environmental management system. *Journal of Cleaner Production*, 16, 1949–1957.
- Bauernhansl, T., Ten Hompel, M., & Vogel-Heuser, B. (Hrsg.). (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Baumast, A., & Pape, J. (2003). *Betriebliches Umweltmanagement* (2., aktualisierte und bearb. Aufl.). Stuttgart: Ulmer.
- Boiral, O. (2007). Corporate Greening Through ISO 14001: A Rational Myth? *Organization Science*, 18(1), 127–146.
- Boiral, O., Guillaumie, L., Heras-Saizarbitoria, I., & Tene, C. V. T. (2017). Adoption and Outcomes of ISO 14001: A Systematic Review. *International Journal of Management Reviews*, 20(2), 411–432.
- Brauweiler, J. (2010). Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001 und EMAS. In *Integratives Umweltmanagement* (S. 279–299). Gabler.
- Brödner, P. (2017). Industrie 4.0 und Big Data – wirklich ein neuer Technologieschub?
- Bundeskanzleramt, Ö. (2017). Beiträge der Bundesministerien zur Umsetzung der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung durch Österreich; Darstellung 2016, 69.

- Corbett, C. J. (1999). *ISO 14000: An Agnostic's Report from the Frontline*. John E. Anderson Graduate School of Management at UCLA, Center for International Business Education and Research (CIBER).
- Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz GmbH (DFKI). (2015). *Industrie 4.0: Das Internet der Dinge kommt in die Fabriken*, 42.
- Dornhöfer, M. (2016). Green Knowledge Management zur Unterstützung ökologischer Nachhaltigkeit, 280.
- Dubielzig, F., & Schaltegger, S. (2005). Corporate social responsibility. *Handlexikon Public Affairs*. Münster: Lit Verlag, 240–243.
- Dyckhoff, H. (2000). *Umweltmanagement- Zehn Lektionen in umweltorientierter Unternehmensführung*. Berlin: Springer.
- Europäische Kommission. (2009). EMAS III.
- Europäische Kommission. (2015a). EMAS -Leitfaden für Umweltmanagementbeauftragte.
- Europäische Kommission. (2015b). EMAS-IST-Analyse (Direkte und Indirekte Umweltaspekte).
- Fastermann, P. (2014). Rapid Prototyping oder 3D-Druck? In *3D-Drucken* (S. 23–24). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Förtsch, G., & Meinholz, H. (2011). *Handbuch Betriebliches Umweltmanagement*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Garetti, M., & Taisch, M. (2012). Sustainable manufacturing: trends and research challenges. *Production Planning & Control*, 23(2–3), 83–104.
- Geissbauer, D. R., Kuge, S., Schrauf, S., & Koch, V. (2014). Industrie 4.0: Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Abgerufen 23. April 2018, von <https://www.strategyand.pwc.com/reports/industrie-4-0>

- Geschäftsstelle des Umweltgutachterausschusses. In 10 Schritten zu EMAS-Ein Leit-faden für Umweltmanagementbeauftragte.(2015). (o. J.). Abgerufen von http://www.emas.de/fileadmin/user_upload/06_service/PDF-Dateien/EMAS-Leitfaden-Umweltmanagementbeauftragte.pdf
- Gomez, A., & Rodriguez, M. A. (2011). The effect of ISO 14001 certification on toxic emissions: an analysis of industrial facilities in the north of Spain. *Journal of Cleaner Production*, 19(9), 1091–1095.
- Hering, E., & Schulz, W. (2018). Umweltmanagement. In *Umweltschutztechnik und Umweltmanagement* (S. 47–54). Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Hertel, M. (2015). Risiken der Industrie 4.0 – Eine Strukturierung von Bedrohungs-szenarien der Smart Factory. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 52(5), 724–738.
- Hillary, R. (2004). Environmental management systems and the smaller enterprise - ScienceDirect. *Journal of Cleaner Production*, (Volume 12, Issue 6).
- Hiltgartner, K. (2017). *Rechtsfragen d. Umweltschutzes-Klimarecht*. Wien.
- Ivanova, A., Gray, J., & Sinha, K. (2014). Towards a unifying theory of management standard implementation: The case of ISO 9001/ISO 14001. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(10), 1269–1306.
- Jabbour, C. J. C., & Filho, M. G. (2018). When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*.
- Kagermann, H. (2017). Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4* (S. 237–248). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Kantar TNS. (2017). Werteindex 2018. Abgerufen von <https://www.tns-infratest.com/presse/presseinformation.asp?prID=3609>

- Krückhans, B., & Meier, H. (2013). *Industrie 4.0 – Handlungsfelder der Digitalen Fabrik zur Optimierung der Ressourceneffizienz in der Produktion*, 10.
- McKinsey. (2015). *Industry 4.0: How to navigate digitization of the manufacturing sector*. Abgerufen 30. April 2018, von <https://www.mckinsey.de/mckinsey-studie-zu-industrie-40-deutsche-unternehmen-trotz-wachsender-konkurrenz-zuversichtlich>
- Mechel, C. (2017). *Ökoeffizienzanalyse zum Vergleich heterogener Unternehmen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Meffert, H., & Kirchgeorg, M. (1992). *Marktorientiertes Umweltmanagement: Grundlagen und Fallstudien*. Stuttgart: Poeschel.
- Orthofer, A. (2013). *Hochschulschriften / Aufbau und Einführung eines Umweltmanagementsystems nach ISO 14001 bei einem stahlverarbeitenden Unternehmen in Österreich*. Karl-Franzens-Universität Graz, Graz. Abgerufen von <http://unipub.uni-graz.at/obvugrhs/content/titleinfo/234475?lang=en>
- Petschow, U., Ferdinand, J.-P., Dickel, S., Flämig, H., & Steinfeldt, M. (Hrsg.). (2014). *Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit: Trajektorien und Potenziale innovativer Wertschöpfungsmuster zwischen Maker-Bewegung und Industrie 4.0* (neue Ausg). Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung Berlin.
- Plattform Industrie 4.0 Germany. (2018). Was ist Industrie 4.0? Abgerufen 22. März 2018, von <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>
- PricewaterhouseCoopers. (2015). *Industrie 4.0 Österreichs Industrie im Wandel*. Abgerufen 10. April 2018, von <https://www.pwc.at/de/publikationen.html>
- Radke, V. (2013). *Nachhaltige Entwicklung: Konzept und Indikatoren aus wirtschaftstheoretischer Sicht*. Springer-Verlag.

- Schaltegger, S., Herzig, C., Kleiber, O., Klinke, T., Müller, J. D., & Deutschland (Hrsg.). (2007). *Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen: von der Idee zur Praxis: Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Sustainability*. Lüneburg: CSM.
- Schleipen, Miriam. Glossar Industrie 4.0 des Fachausschuss VDI/VDE-GMA 7.21 „Industrie 4.0“- Fraunhofer IOSB. 2015. (o. J.). Abgerufen von https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/48960/Begriffsdefinitionen_VDI_GMA_FA7-21_v4.pdf?command=downloadContent&filename=Begriffsdefinitionen_VDI_GMA_FA7-21_v4.pdf
- Snijders, C., Matzat, U., & Reips, U.-D. (2012). „Big Data“ : Big Gaps of Knowledge in the Field of Internet Science. *International Journal of Internet Science*, 7, 1–5.
- Song, M.-L., Fisher, R., Wang, J.-L., & Cui, L.-B. (2016). Environmental performance evaluation with big data: theories and methods. *Annals of Operations Research*, 1–14.
- Staehle, W. H. (1969). *Kennzahlen und Kennzahlensysteme als Mittel der Organisation und Führung von Unternehmen*. Wiesbaden: Gabler.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536–541.
- Strachan, P. A., Sinclair, I. M., & Lal, D. (2003). Managing ISO 14001 implementation in the United Kingdom Continental Shelf (UKCS). *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 10(1), 50–63.
- Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9–12), 3563–3576.

- Technische Universität. (2015). Technische Universität Wien : Qualitätsmanagement. Abgerufen 7. Juli 2018, von https://www.tuwien.ac.at/wir_ueber_uns/que/qualitaetsmanagement/
- The World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future* (1. publ.). Oxford: Oxford Univ. Press.
- TU Wien. (o. J.). Pilotfabrik der TU Wien. Abgerufen 21. Juli 2018, von <http://pilotfabrik.tuwien.ac.at/>
- TÜV, R. (2016). Unterschiede zwischen ISO 14001 und EMAS. Abgerufen 20. März 2018, von <https://www.tuv.com/germany/de/iso-14001.html>
- Vajda, E. (2016). *Wasser- und Solarkraftprojekte im Rahmen des Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung gemäß Kyoto-Protokoll* (Diplomarbeit). Wien.
- VDI ZRE. (2017). Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes, 274.
- VDI/VDE-GMA. (2015). Begriffsdefinitionen rund um Industrie 4.0. Abgerufen 23. April 2018, von <https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/48960/?highlight=begriffsdefinition>
- VDMA. (2017). Industrie 4.0 konkret - Lösungen für die industrielle Praxis. Abgerufen 10. April 2018, von https://vdma-verlag.com/home/artikel_104.html
- VDMA. (2018). Sensorik für Industrie 4.0 – Wege zu kostengünstigen Sensorsystemen. Abgerufen 17. Juli 2018, von <https://industrie40.vdma.org:443/viewer/-/v2article/render/23965901>
- Wieselhuber und Partner, & Fraunhofer IPA. (2015). Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0 - Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau. Abgerufen 23. April 2018, von <https://www.wieselhuber.de/publikationen/publikation/-/34/Geschaeftsmodell->

Innovation_durch_Industrie_4_0_-
_Chancen_und_Risiken_fuer_den_Maschinen-_und_Anlagenbau/

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Allgemeine Vorgehensweise (eigene Darstellung)	5
Abbildung 2: Zeitachse Nachhaltigkeit und UMS (eigene Darstellung).....	8
Abbildung 3: Dimensionen einer umweltorientierten, nachhaltigen Unternehmensführung ¹⁸	11
Abbildung 4: Aufbau Umweltmanagement in einer Organisation ²²	14
Abbildung 5: EMAS Kreislauf ³⁴	19
Abbildung 6: Klassifizierung von Umweltkennzahlen.....	23
Abbildung 7: Übersicht Umweltleistungsbewertung ⁴²	23
Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung Industrie (eigene Darstellung)	28
Abbildung 9: Leitfaden Experteninterview	36
Abbildung 10: Anforderungen der ISO 14001 (eigene Darstellung in Anlehnung an).....	39
Abbildung 11: Auswirkungen auf UMS bzw. auf Anforderungen an UMS (eigene Darstellung)	68
Abbildung 12: Phasenübergreifende Auswirkungen (eigene Darstellung).....	69
Abbildung 13: Auswirkungen auf die Phase der Bestimmung des Kontextes der Organisation (eigene Darstellung)	69
Abbildung 14: Auswirkungen auf die Phase der Bestimmung der Umweltpolitik (eigene Darstellung)	69
Abbildung 15: Auswirkungen auf die Phase der Planung (eigene Darstellung)	70
Abbildung 16: Auswirkungen auf die Phase des Betriebes (eigene Darstellung)	70
Abbildung 17: Auswirkung auf die Phase der Leistungsbewertung (eigene Darstellung)	71
Abbildung 18: Auswirkung auf die Phase der Verbesserung (eigene Darstellung)....	71
Abbildung 19: Auswirkungen auf die Unterstützung für die einzelnen Phasen (eigene Darstellung)	71
Abbildung 20: 3D-Drucker TU Wien (eigenes Foto)	76
Abbildung 21: Input/Output Prozess der TU Wien Pilotfabrik (eigene Darstellung) ...	83
Abbildung 22: Kennzahlen Bereich Forschung (eigene Darstellung).....	90
Abbildung 23: Kennzahlen Bereich Produktion Teil 1 (eigene Darstellung).....	91
Abbildung 24: Kennzahlen Bereich Produktion Teil 2 (eigene Darstellung).....	92
Abbildung 25: Kennzahlen Bereich Führungen (eigene Darstellung)	93

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beiträge des Umweltmanagements für eine Nachhaltige Entwicklung ¹¹	9
Tabelle 2: Vorteile der Standardisierung und Zertifizierung von UMS	16
Tabelle 3: Unterschiede EMAS und ISO14001.....	21
Tabelle 4: Literaturrecherche.....	32
Tabelle 5: Übersicht Experteninterviews	38
Tabelle 6: Industrie 4.0 Technologien und Merkmale und ihre Auswirkungen auf UMS bzw. Anforderungen an UMS.....	67
Tabelle 7: Ökologische Vorteile und Nachteile 3D-Drucker	75
Tabelle 8: Inputs Pilotfabrik	82
Tabelle 9: Outputs Pilotfabrik.....	83
Tabelle 10: Umweltaspekte TU Wien Pilotfabrik.....	84
Tabelle 11: Input Kennzahlen der TU Wien Pilotfabrik	86
Tabelle 12: Output Kennzahlen der TU Wien Pilotfabrik	87
Tabelle 13: Systemkennzahlen der TU Wien Pilotfabrik	88
Tabelle 14: Funktionsbereichskennzahlen der TU Wien Pilotfabrik.....	88
Tabelle 15: Umweltzustandsindikatoren der TU Wien Pilotfabrik	89
Tabelle 16: Datenquelle und Datenerfassung von Input Kennzahlen	97
Tabelle 17: Datenquelle und Datenerfassung von Output Kennzahlen	99
Tabelle 18: Datenquelle und Datenerfassung von Systemkennzahlen.....	100
Tabelle 19: Datenquelle und Datenerfassung von Funktionsbereichskennzahlen ..	101
Tabelle 20: Datenquelle und Datenerfassung von Umweltzustandsindikatoren	102

9 Abkürzungsverzeichnis

UMS	Umweltmanagementsystem
EMAS	Eco- Management- und Audit-System
PDCA	Plan-Do-Check-Act
ISO	International Organization for Standardization
EG	Europäische Gemeinschaft
WTO	World Trade Organization
SDG	Sustainable Development Goals
UN	United Nations
WCED	World Commission on Environment and Development
z.B.	Zum Beispiel
bzw.	beziehungsweise
etc.	et cetera
CPS	Cyber-Physical Systems
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
CPPS	Cyber-Physical Production Systems
IT	Informationstechnologie
RFID	radio-frequency identification
CAD	Computer-aided Design
CSR	Corporate Social Responsibility
ERP	Enterprise-Resource-Planning
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
MES	Manufacturing Execution System
€	Euro
h	Stunde
kg	Kilogramm
u.Ä.	Und Ähnlichem
MPI	Management Performance Indicator