



Diplomarbeit

Imagining Nature - ein Konzept zur Zusammenführung einer zukünftigen Industrieversion 5.0 und der Natur anhand sogenannter „Guiding Principles“

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs unter
der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hermann Hofbauer

E 166

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften der
Technischen Universität Wien

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Putz Juliàn, BSc

Matr. Nr.: 00928652

Adresse: Arndtstraße 22/24, 1120 Wien

Wien, am 26. Februar 2018

.....
Putz Juliàn



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 des weiteren 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.

Des weiteren 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, am 26. Februar 2018

.....

Putz Giuliani

Kurzfassung

Hintergrund: Ökologische und industrielle Systeme haben sich im Laufe der Zeit unter unterschiedlichen Organisations- beziehungsweise Grundprinzipien entwickelt. Systeme in der Natur sind gegenüber ihres technischen Gegenstücks in der Lage auf lange Sicht überlebensfähig zu bleiben. Die negativen Auswirkungen anthropogener Aktivitäten auf die Umwelt und das Klima sind immer deutlicher zu erkennen. Wollen technische Systeme auf Dauer überlebensfähig bleiben, müssen sie sich mit den Erfolgsrezepten und Grundprinzipien natürlicher Systeme auseinandersetzen. Das *Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften* versucht dies in ihrer Vision einer zukünftigen Industrie, der „Industrie 5.0“ mit dem Beinamen „Imagineering Nature“, welcher auf die Verschmelzung von natürlichen, ökologischen Grundprinzipien mit den Errungenschaften der Technik aufmerksam machen möchte, zu realisieren. Es sollen dadurch Brücken zwischen natürlichen, ökologischen und industriellen, technischen Systemen gespannt werden.

Forschungsziel: Mit der vorliegenden Forschungsarbeit wurden die sogenannten „Guiding Principles“, welche den Rahmen der neuen „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ festlegen sollen, definiert. Sie stellen die Regeln dar, nach denen in der neuen Industrieversion gearbeitet werden soll.

Methode: Es wurde eine fundierte Literaturrecherche zur Ermittlung der „Guiding Principles“ durchgeführt. Die Recherche beinhaltete zum einen die Entwicklungsprozesse bisheriger Industrieversionen („Industrie 1.0 - 4.0“), zum anderen Grundprinzipien beziehungsweise Grundregeln biologischer Systeme.

Ergebnisse: Insgesamt wurden für die neue Industrieversion des Institutes zehn „Guiding Principles“ gefunden. Die meisten dieser Leitprinzipien basieren auf Vorgängen und Beobachtungen aus natürlichen Ökosystemen, manche konnten jedoch auch aus den Entwicklungen der letzten Industrien extrahiert werden. Das Implementieren einer *Sozialen Komponente* im industriellen Prozess beziehungsweise das Legen des Fokus auf *(Interdisziplinäre) Kommunikation* sind zwei der erarbeiteten „Guiding Principles“, die auf Erkenntnissen aus industriellen Systemen beruhen. Die Kernprozesse und -prinzipien aus biologischen Systemen werden über folgende „Guiding Principles“ zusammengefasst: eine hohe *(Bio-) Diversität, Komplexität und Kompartimentierung* von Systemen, die Fähigkeit zur *Selbstregulation und -organisation, Symbiose und Synergie, Geschlossene Kreisläufe und Mehrfachnutzung von Ressourcen, Effektive Funktionen statt effizienter Produkte, Multifunktionalität und Anpassungsfähigkeit* sowie *Erneuerbare Energie*. Die Wurzeln angeführter „Guiding Principles“ reichen jedoch stets in beide Systeme sowohl ins technische als auch ins ökologische. Des Weiteren implizieren sie sich gegenseitig und besitzen eine starke Abhängigkeit untereinander.

Schlussfolgerung: Die Anwendung der „Guiding Principles“ für die zukünftige Industrieversion, „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“, wäre wünschenswert. Des Weiteren ist es erstrebenswert, sich über die, in dieser Forschungsarbeit gefundenen, „Guiding Principles“ noch mehr Wissen anzueignen. Interdisziplinäre Forschungsprojekte könnten, neben Expertenmeinungen aus verschiedenen Disziplinen, wie Ökonomie oder Soziologie, weitere Erkenntnisse auf diesem Gebiet liefern.

Abstract

Background: Ecological and industrial systems have evolved over time under different organizational or basic principles. Ecological systems are able to survive over their technical counterpart in the long-term. The negative impact of anthropogenic activities on the environment and the climate is becoming increasingly apparent. If technical systems want to remain viable in the long run, they must deal with the recipes for success and basic principles of natural systems. The *Institute of Chemical, Environmental and Biological Engineering* is attempting to do so in its vision of a future industry, „Industry 5.0“, nicknamed „Imagineering Nature“, which seeks to draw attention to the blending of natural, environmental principles with the achievements of technology realize. It's intended to build bridges between natural, ecological and industrial, technical systems.

Research Goal: The present research has defined the so-called „Guiding Principles“, which are to define the framework of the new „Industry 5.0 - Imagineering Nature“. They represent the rules for working in the new industrial version.

Methods: An in-depth literature search was carried out to determine the „Guiding Principles“. The research included on the one hand the development processes of previous industrial versions („Industry 1.0 - 4.0“), on the other hand basic principles or basic rules of biological systems.

Results: In total, ten „Guiding Principles“ were found for the new industrial version of the institute. Most of these guiding principles are based on processes and observations from natural ecosystems, but some have also been extracted from recent industrial developments. Implementing a *social component* in the industrial process or laying the focus on (*interdisciplinary*) *communication* are two of the „Guiding Principles“, which are based on insights from industrial systems. The core processes and principles of biological systems are summarized by the following „Guiding Principles“: a high (*bio-*) *diversity, complexity and compartmentalization* of systems, the ability to *Self-regulation and organization, symbiosis and synergy, closed circuits and resource reuse, effective functions instead of efficient products, multi-functionality and adaptability and renewable energy*. However, the roots of the „Guiding Principles“ always extend into both technical and environmental systems. Furthermore, they imply each other and have a strong dependence on each other.

Conclusion: The application of the „Guiding Principles“ for the future industrial version, „Industry 5.0 - Imagineering Nature“, would be desirable. Furthermore, it is desirable to gain even more knowledge about the „Guiding Principles“ found in this research. Interdisciplinary research projects could, in addition to expert opinions from various disciplines, such as economics or sociology, provide further insights in this field.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Problemstellung	3
3	Zielsetzung der Forschungsarbeit	5
4	Methode	6
4.1	Literaturarbeit	6
4.2	Vorgehensweise	6
4.3	Offenlegung des Vorwissens des Forschers	8
5	Forschungsstand I - Industrie	10
5.1	Definitionen/Begrifflichkeiten - Industrie	10
5.2	Industrie 1.0 - Die „erste industrielle Revolution“	12
5.3	Industrie 2.0 - Die „zweite industrielle Revolution“	18
5.3.1	Die „deutsche Revolution“	20
5.3.2	Die „angloamerikanische Revolution“	25
5.4	Industrie 3.0 - Die „Computer-“ oder „digitale Revolution“	28
5.4.1	Der <i>Kalten Krieg</i> als Motor der „Industrie 3.0“	35
5.5	Industrie 4.0 - Die „vierte industrielle Revolution“	38
5.6	Alternative Einteilung bisheriger Industrien hinsichtlich ihrer Hauptenergieträger	49
5.7	Die Zukunft - „Industrie 5.0“ und ihre Beschreibungen	52
5.7.1	Alternative Definitionen:	52
5.7.2	Eigene Definitionen:	58
6	Forschungsstand II - Natur	61
6.1	Definition/Begrifflichkeiten - Natur	61
6.2	Wissenschaftsdisziplin <i>Industrial Ecology</i>	63
6.3	Das Konzept „Cradle To Cradle“	73
6.3.1	Abfall bedeutet Nahrung:	77
6.3.2	Nutzung von erneuerbaren Energien:	78
6.3.3	Förderung von Diversität:	78
6.3.4	Biologischer Kreislauf - Biosphäre:	79
6.3.5	Technischer Kreislauf - Technosphäre:	80
6.4	<i>Bionik</i> - „Lernen von der Natur für die Technik“	82

6.5	Vorhandene natürliche Prinzipien und Regeln	91
6.5.1	Die zehn Grundprinzipien natürlicher Systeme nach W. Nachtigall	91
6.5.2	Die acht Grundregeln der Biokybernetik nach F. Vester	98
6.5.3	Ökologische und ökonomische Prinzipien nach I. Ring	107
7	Ergebnisse - „Guiding Principles“	112
7.1	(Bio-) Diversität	113
7.2	(Interdisziplinäre) Kommunikation	114
7.3	Komplexität und Kompartimentierung	115
7.4	Selbstregulation und -organisation	117
7.5	Symbiose und Synergie	119
7.6	Geschlossene Kreisläufe und Mehrfachnutzung von Ressourcen	122
7.7	Effektive Funktionen statt effizienter Produkte	124
7.8	Multifunktionalität und Anpassungsfähigkeit	126
7.9	(Erneuerbare) Energien	128
7.10	Soziale Komponente	129
8	Diskussion	131
8.1	Limitationen	135
8.2	Ausblick	136
	Literaturverzeichnis	XVII
	Abbildungsverzeichnis	XVIII
	Tabellenverzeichnis	XIX

1 Einleitung

Seit dem Ausbruch der „ersten industriellen Revolution“ gegen Ende des 18. Jahrhunderts befindet sich die menschliche Gesellschaft in einer neuen Wirtschaftsform und entkoppelte sich dadurch immer weiter von natürlichen, limitierenden Faktoren. Die Nahrungsmittelproduktion für die wachsende Bevölkerung wurde mit Hilfe von Kunstdünger sichergestellt, da die Ernteerträge damit gesteigert werden konnten. Im Bereich der Energie ist ein ähnliches Bild zu erkennen, Dampfmaschinen konnten in den Anfangszeiten der Industrialisierung mit Hilfe fossiler Energieträger den steigenden Energiebedarf der wachsenden Bevölkerung sicherstellen. Fortschritt koppelte sich an den Zugang zu billiger Energie und Wachstumskurven in verschiedensten Bereichen begannen exponentiell zu wachsen. Der Umstieg dieser Kurven vom linearen auf exponentielles Wachstum lässt sich auf die „erste industrielle Revolution“ und deren Auswirkungen beziehungsweise Umstrukturierungen der Gesellschaft zurückführen. [24, 101, 136]

Prinzipiell besitzt jeder Organismus das Potential zu exponentiellem Wachstum, wird jedoch von natürlich vorkommenden Mechanismen oder durch Wechselwirkungen mit anderen Arten von Organismen limitiert. In natürlichen Systemen kann prinzipiell von einer zeitlich versetzten Limitation oder Reaktion der Umwelt gegenüber einer internen oder externen Störung ausgegangen werden. Solche Störungen können natürlichen Ursprungs sein, wie beispielsweise Naturkatastrophen im Fall von Vulkanausbrüchen, oder anthropogenen Ursprungs sein und vom menschlichen Handeln auf diesem Planeten herrühren. Die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten sind allerdings, auf Grund der zeitlich verzögerten Reaktion natürlicher Ökosysteme darauf, erst spät zu erkennen. Angesichts der Umweltbelastungen und dem Rückgang von Rohstoffreserven sollte in Zukunft ein alternatives Wirtschaftssystem beziehungsweise eine Organisationsform gefunden werden, mit welcher unser menschliches System in der Lage ist auf langfristige Sicht im globalen Ökosystem überdauern zu können. [55, 93, 111, 112]

Grund für die scheinbar schwierige Zusammenarbeit von menschlichen, industriellen oder technischen Systemen mit natürlichen Ökosystemen ist die Tatsache, dass beide Systeme auf unterschiedlichen Grundprinzipien beziehungsweise Organisationsprinzipien aufgebaut sind. Auf langfristige Sicht kommt die menschliche, kulturelle wie auch wirtschaftliche Entwicklung nicht umher, sich mit den Vorgängen und Prinzipien natürlicher Systeme auseinander zu setzen. Ökologische Systeme existieren bereits sehr viel länger auf diesem Planeten und waren in der Lage zu überdauern. Damit unsere anthropogenen Systeme eine ähnliche Überlebensfähigkeit an den Tag legen, müssen sie an die Konzepte, die leitenden Vorgänge sowie Prinzipien der natürlichen Ökosysteme angepasst werden.

Das *Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften* will eine Vorreiterfunktion in diesem Gebiet innehaben. Auf Grund dessen wurde eine Vision einer neuen, zukünftigen Industrie entworfen. Mit Hilfe der sogenannten „Industrie 5.0“ mit dem Beinamen

„Imagineering Nature“, welcher im übertragenen Sinn für das Lernen der Technik von der Natur steht, sollen die Herausforderungen der Zukunft gemeistert werden. Die Basis beziehungsweise der Rahmen der neuen Industrieversion soll durch natürlich vorkommende, biologische Prinzipien beziehungsweise Grundregeln von Ökosystemen geschaffen werden. Zusätzlich sollen Erfahrungen und Entwicklungen aus bereits vergangenen industriellen Systemen, welche auch als unterschiedliche „Industrieversionen“ von „1.0“ bis „4.0“ bezeichnet werden, berücksichtigt werden. Die daraus resultierenden, leitenden Prinzipien, die sogenannten „Guiding Principles“, sollen helfen die Vision greifbar zu machen und dadurch in weiterer Folge zu realisieren.

Die vorliegende Forschungsarbeit beschäftigt sich nun damit, jene benötigten „Guiding Principles“ für die neue „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ auf Basis einer ausführlichen Literaturrecherche aufzustellen. Jene Recherche thematisiert zum einen die Entwicklungsprozesse bereits vorausgegangener Industrieversionen („Industrie 1.0 - 4.0“), zum anderen vorhandene Grundprinzipien beziehungsweise Grundregeln biologischer Systeme.

2 Problemstellung

Was können wir in diesem Augenblick gegen den Klimawandel, die Verschmutzung von Ökosystemen und weiter schwindenden Ressourcen tun? Inwiefern können Mensch und Natur auch in Zukunft noch nebeneinander existieren ohne sich gegenseitig zu konkurrieren? Wie muss ein zukünftiges industrielles System aussehen um auch für zukünftige Generationen bestehen zu bleiben? - mit diesen und ähnlichen Fragestellungen sieht man sich bei näherer Beschäftigung mit der Problematik einer sich weiter entfremdenden Industrie von den natürlichen Gegebenheiten konfrontiert. Das *Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technischer Biowissenschaften* nahm sich ebenfalls dieser Thematik an und erarbeitete eine Vision über eine neue, zukünftige Industrie. Nach den vorangegangenen Industrieverionen „Industrie 1.0 - 4.0“, wobei sich letztere gerade erst im Entwicklungs- beziehungsweise Aufbauprozess befindet, soll die zukünftige Version der industriellen Systeme stärker auf die Vorgänge in der Natur oder Biosphäre eingehen und gleichzeitig von ihnen profitieren.

Derzeit liegen die Begriffe Biologie/Ökologie und Technik/Industrie eher auf entgegengesetzten Positionen. Da der Mensch sich, auf Grund von technischen Innovationen und dem stetigen Fortschritt, immer weiter vom natürlichen System, der Biosphäre, entfernt hat, entstand im Laufe der Jahrhunderte eine Kluft beziehungsweise Entfremdung gegenüber der Natur. Es galt stets die Natur zu bezwingen und sie sich Untertan zu machen. Spätestens seit dem Aufkommen der Klimaproblematik sehen immer mehr Menschen die Problematik einer Entfremdung der Industrie von der Natur und erkennen die tragende Rolle, die biologische Systeme darstellen. Unsere derzeitigen technischen, industriellen Systeme und deren Auswirkungen auf die Umwelt sowie den Menschen werden immer öfters kritisch in Frage gestellt. Exponentielles Wachstum kann in einem abgeschlossenen System mit endlichen Rohstoffen, unserer Erde, nicht funktionieren, sodass zunehmend nach Alternativen gesucht wird. Eine davon ist die eingangs erwähnte Vision des Institutes einer neuen Industrie.

Die zukünftige „Industrie 5.0“ soll den Beinamen „Imagineering Nature“ auf Grund der Tatsache tragen, dass diese neue Industrieverision sich auf natürlich vorkommende Prinzipien und Prozesse aus der Biologie sowie Natur besinnt. Des Weiteren sollen jene dann für technische Prozesse und industrielle Systeme zugänglich gemacht werden, sodass eine stärkere Interaktion mit positiven Charakter für beide Seiten, sowohl für die industriellen Systeme als auch für biologische beziehungsweise natürliche Systeme, geschaffen werden kann. Die „Industrie 5.0 . Imagineering Nature“ soll Brücken zwischen den anfänglich erwähnten Systemen Biologie/Ökologie und Technik/Industrie spannen.

Für die Umsetzung dieser Vision des *Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Techni-*

cher Biowissenschaften werden jedoch vorerst Leitprinzipien, sogenannte „Guiding Principles“, benötigt. An ihnen soll sich die zukünftige Industrieversion orientieren.

Die vorliegende Forschungsarbeit versucht nun, auf Basis einer fundierten Literaturrecherche, solche „Guiding Principles“ für den Aufbau der neuen Industrieversion zu liefern.

3 Zielsetzung der Forschungsarbeit

Das Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit ist es, mit Hilfe einer ausführlichen Literaturrecherche Grundprinzipien beziehungsweise Grundregeln, sogenannte „Guiding Principles“, der zukünftigen „Industrie 5.0“ zu finden und zu definieren.

Auf den vorangegangenen Industrieverversionen („Industrie 1.0 - 4.0“) aufbauend, soll die zukünftige Version Verbindungen zur Natur, Ökologie und Biologie aufbauen. Ein zentrales Element soll das Erbauen von interdisziplinären Brücken zwischen den eher gegensätzlichen Bereichen Natur und Industrie darstellen. Prinzipien, Funktionen und Regeln aus der Natur sollen für den technischen, industriellen Nutzen zugänglich gemacht werden. Auf Grund dessen besitzt die zukünftige Industrieverversion, nach den Vorstellungen des *Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften*, den Beinamen „Imagineering Nature“. Auch soll der Fokus stärker auf die, das industrielle System umgebende, Umwelt in Form von natürlichen Ökosystemen gelegt werden. Eine ausführlichere Beschreibung der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ ist in Unterabschnitt 5.7.2 zu finden.

Die „Guiding Principles“, oder zu Deutsch Leitprinzipien, der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ sollen die Rahmenbedingungen für die Arbeitsweise jener zukünftigen Industrieverversion festlegen. Auf ihnen sollen Projekte im Namen der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ aufgebaut werden. Wendet man sie für technische oder industrielle Systeme an, so sollte damit auch ein positiver Effekt auf die benachbarten, umgebenden ökologischen Systeme erzielt werden. Des Weiteren sollen die „Guiding Principles“ Wegweiser für Unternehmen oder Organisationen in allen Lebenslagen, unabhängig von sich ändernden Tätigkeitsfeldern, Strategien für die Zukunft oder unterschiedlichen Zielsetzungen, sein. Eine Umbesetzung des Spitzenmanagement sollte der Verfolgung der „Guiding Principles“ ebenfalls nicht im Wegs stehen. Halten sich Partner beziehungsweise Vertreter der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ an die, in dieser Forschungsarbeit erarbeiteten, „Guiding Principles“ sollten sie in der Lage sein den Gedanken beziehungsweise das Konzept der neuen Industrieverversion zu verkörpern und umzusetzen.

4 Methode

Dieses Kapitel dient dem Erklären beziehungsweise Offenlegen der Vorgehensweise, die hinter der Entstehung der Forschungsarbeit steckt. Zu Beginn wird auf die Methodik zur Wissensermittlung genauer eingegangen, danach auf die verwendeten Hilfsmittel bei der Literaturrecherche. Zu guter Letzt wird in diesem Kapitel noch das Vorwissen des Forschers zur behandelten Thematik dieser Forschungsarbeit beleuchtet. Um die Qualität und Nachvollziehbarkeit der Forschung gewährleisten zu können, werden alle verwendeten Prozesse und Schritte offengelegt. Die nachfolgenden Seiten sollen Klarheit über den Entstehungsprozess schaffen.

4.1 Literaturarbeit

Der vorliegenden Forschungsarbeit mit dem Titel *Imagineering Nature - ein Konzept zur Zusammenführung einer zukünftigen Industrieversion 5.0 und der Natur anhand sogenannter „Guiding Principles“* geht eine ausführliche Literaturrecherche voraus. Es handelt sich bei der Methodik beziehungsweise Art dieser wissenschaftlichen Arbeit um eine Literaturarbeit. Im Vordergrund solcher Arbeiten steht das Zusammentragen von bereits vorhandener Literatur bezüglich der zu behandelnden Thematik - in dieser Forschungsarbeit hinsichtlich des Themas „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ und deren möglicher *Guiding Principles*.

Da zur Thematik „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ noch keine Literatur vorhanden ist, müssen die *Guiding Principles* mit Hilfe der Literatur über die Vorgängerversionen „Industrie 1.0 - 4.0“ herausgefunden werden. Neben dem Zusammentragen von Wissen über die vorangegangenen „industriellen Revolutionen“, muss auch ein Wissenspool über alternative wissenschaftliche Disziplinen oder Konzepte, welche sich bereits mit einer ähnlichen Thematik wie die zukünftige „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ beschäftigen, zusammengetragen werden.

Somit werden mit Hilfe der Literaturrecherche neue Zusammenhänge und Ausblicke für die neue Industrieversion geschaffen. Prinzipien beziehungsweise Grundregeln oder Muster aus der Literatur werden extrahiert, welche in späterer Folge die einzelnen „Guiding Principles“ der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ bilden (siehe Kapitel 7).

4.2 Vorgehensweise

Der kommende Absatz wird einen Überblick über die Vorgehensweise der Literaturrecherche beziehungsweise welche Thematiken und Disziplinen gesucht wurden geben.

Zu Beginn der Forschungsarbeit wurde der Fokus auf vergangene Entwicklungen im Bereich der Industrien und deren Versionen gelegt. Die Entwicklung von Beginn der „ersten industriellen Revolution“, der „Industrie 1.0“, bis zum Ausruf der aktuellen, neuen „Industrie 4.0“ wurde analysiert. Der Forscher versuchte die Mechanismen, welche zum Ausbruch von neuen „industriellen Revolutionen“ geführt hatten, zu identifizieren und zu verstehen. In Folge dessen konnte eine grobe zeitliche Übersicht der bereits existierenden Industrieversionen angefertigt werden (siehe Abbildung 5.1). Danach wurde im Rahmen der Literaturrecherche nach eventuellen, bereits existierenden Definitionen einer zukünftigen „fünften industriellen Revolution“ gesucht.

Der zweite Teil der Literatursuche beschäftigte sich mit alternativen Konzepten und Disziplinen, die ähnliche Ideen und Konzepte der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ hatten. Der Hauptfokus dieser literarischen Suche waren Prinzipien sowie Konzepte, auf denen natürliche Ökosysteme aufgebaut waren. Dies ist auch der Grund, warum die hier behandelte Industrieversion „Industrie 5.0“ den Beinamen „Imagineering Nature“ besitzt. Zusätzlich soll in Zukunft eine Brücke zwischen den beiden, heutzutage eher als gegensätzlich empfundenen, Begriffen Natur und Technik gespannt werden, um negative Auswirkungen auf, die industriellen Systeme umgebende Biosphäre zu minimieren. Wünschenswert wäre ein gegenseitiges Miteinander, bei dem beide Seiten voneinander profitieren können. Die Suche ergab wissenschaftliche Disziplinen, wie *Bionik* und *Industrial Ecology*, sowie das Konzept von *Cradle to Cradle*. Anschließend wurde die Existenz möglicher, bereits definierter, Grundprinzipien beziehungsweise Grundregeln in biologischen Systemen in der Literatur überprüft. W. Nachtigall, I. Ring sowie F. Vester beschrieben solche Prinzipien beziehungsweise Grundregeln biologischer Systeme unter unterschiedlichen Gesichtspunkten. All jene wurden als wichtig erachtet und in die vorliegende Forschungsarbeit integriert (siehe Abschnitt 6.5).

Schlussendlich wurden die Ergebnisse, die „Guiding Principles“ der zukünftigen „Industrie 5.0“ mit dem Beinamen „Imagineering Nature“, auf Basis der vorangegangenen, fundierten Literaturrecherche definiert. Über vorangegangene Meetings und Sitzungen der, an der neuen Industrieversion arbeitenden, Projektleiter des *Institutes für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften* wurden mögliche „Guiding Principles“ grob eingegrenzt. Die endgültige Eingrenzung erfolgte jedoch wieder über Prinzipien und Überlegungen von Experten, die bereits in der Literatur vorhanden waren. Jene Prinzipien von diversen Autoren wurden in den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit zu den „Guiding Principles“ der neuen „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ zusammengefasst. Einige „Guiding Principles“ beruhen auf Beobachtungen der Entwicklung bereits vorangegangener Industrieversionen. Auch der Umgang beziehungsweise die Herangehensweise der deutschen Bundesregierung an ihr Zukunftsprojekt, die aktuelle „Industrie 4.0“ spielte beispielsweise für das „Guiding Principle“ (*Interdisziplinäre*) *Kommunikation* eine wichtige Rolle.

Alle verwendeten Quellen sind im Literaturverzeichnis (siehe „Literatur“) gegen Ende der Arbeit angeführt. Es wurde versucht aktuelle Literaturquellen der jeweilig betrachteten Thematik zu finden. Dies konnte jedoch nicht immer bewerkstelligt werden, da sich beispielsweise die

Literatursuche für den Abschnitt der „ersten industriellen Revolution“ als schwierig herausstellte und aktuelle, sich mit der „Industrie 1.0“ beschäftigende, Literatur schwer zu finden war.

Im Laufe des Textes beispielsweise am Ende eines Absatzes wird auf die einzelnen verwendeten Quellen mit einer Nummer hingewiesen. Zum Finden der angegebenen Literatur wurden verschiedene Onlinedatenbanken, Suchmaschinen und Bibliotheken verwendet. In Tabelle 4.1 ist ein Überblick dieser gegeben.

Tabelle 4.1: Verwendete Literaturdatenbanken, Suchmaschinen und Bibliotheken

Quellename	Link
Chemie- und Maschinenbaubibliothek der TU Wien ^a	http://www.ub.tuwien.ac.at/chemab/
DuckDuckGo	https://duckduckgo.com/
Ecosia	https://www.ecosia.org/
Elsevier	https://www.elsevier.com/
Google Books	https://books.google.at/
Google Scholar	https://scholar.google.at/
Hanser e-Library	http://www.hanser-elibrary.com/
Hompagne des Bundesministeriums für Bildung und Forschung	https://www.bmbf.de/
(Springer-) Gabler Wirtschaftslexikon	http://wirtschaftslexikon.gabler.de/
Springer Professional	https://www.springerprofessional.de/
Universitätsbibliothek der TU Wien ^a	http://www.ub.tuwien.ac.at/
Universitätsbibliothek der TU Wien ^a - CatalogPlus	http://catalogplus.tuwien.ac.at/primo_library/libweb/action/search.do?vid=UTW

^a Technische Universität Wien

4.3 Offenlegung des Vorwissens des Forschers

Um die Objektivität dieser Forschungsarbeit zu gewährleisten, soll an diesem Punkt die Einstellung beziehungsweise die Haltung des Forschers zu dieser Thematik beleuchtet werden.

Die Bereiche Biologie, Ökologie und Umwelt stellen ein großes Interessengebiet des Forschers dar, mit welchen dieser sich auch in der Freizeit beschäftigt. Die Thematik mit der sich die Vision der zukünftigen „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ beschäftigt ruft deshalb großes Engagement hervor.

Es wurde, trotz möglicher Voreingenommenheiten hinsichtlich der Themen wie dem Schutz der Umwelt oder der Wirtschaftlichkeit von Prozessen beziehungsweise Unternehmen, versucht den Forschungsauftrag so objektiv wie möglich zu erfüllen. Dahingehend wurde bewusst auf die Interdisziplinarität der Forschungsarbeit Rücksicht genommen. Der Forscher beschäftigte sich mit verschiedenen Thematiken und versuchte sich so gut wie möglich in die einzelnen Sichtweisen unterschiedlicher Disziplinen wie Ökonomie oder Soziologie einzulesen. Auf Grund des begrenzten

Rahmens der Forschungsarbeit, fehlte jedoch die Zeit, um sich ein exaktes Bild mancher Prozesse oder Vorgehensweisen jener erwähnten Fachgebiete zu machen.

Zusätzlich wurde der Forscher im Rahmen seines Studiums der *Verfahrenstechnik* bevorzugt auf das Verständnis für technische Verfahren beziehungsweise Prozesse ausgebildet. Die Kenntnis über den Verlauf naturwissenschaftlicher Phänomene und die Mechanismen, welche jene hervorrufen, standen im Vordergrund der Ausbildung. Einige umwelttechnische Aspekte wurden gegenüber der ökonomischer Betrachtungsweise jedoch gelehrt.

An diesem Punkt sei nur darauf hingewiesen, dass der Forscher versucht hat beim Verfassen dieser Arbeit so objektiv wie möglich vorzugehen. Einige Interpretationen und Aussagen könnten aber auf die empfundene Wichtigkeit beziehungsweise erwähntes Interesse der behandelten Themengebiete wie der Biologie, Ökologie oder Umweltwissenschaft, herrühren.

5 Forschungsstand I - Industrie

In den nachfolgenden Abschnitten wird auf Basis einer ausführlichen Literaturrecherche sowohl auf Definitionen, geschichtliche Hintergründe, deren erkennbare Folgen und Auswirkungen, als auch auf die Problemstellung dieser Forschungsarbeit eingegangen. Zuerst werden die verschiedenen Industrieverversionen („Industrie 1.0 - 4.0“ und zusätzlich ein Ausblick auf Definitionen einer zukünftigen „Industrie 5.0“) analysiert. Von den Auslösern der einzelnen Versionen über die Entwicklungen und Innovationen, welche diese im speziellen prägten, bis hin zu den Auswirkungen auf die Gesellschaft, Wirtschaft und Industrie selbst wird alles behandelt werden. Des Weiteren folgt ein Ausblick über alternative Charakterisierungen beziehungsweise Einteilungen der unterschiedlichen „industriellen Revolutionen“.

Neben der geschichtlichen Betrachtung der verschiedenen Industrieverversionen wird in dieser Forschungsarbeit auch ein Einblick in biologische Konzepte gegeben. Durch sie erhält die Herangehensweise zur Beschreibung oder Definition einer zukünftigen Industrieverversion einen neuen, anderen Blickwinkel - weg von durch Menschen bestimmten Systemen hin zu natürlichen Systemen, Konzepten beziehungsweise Prinzipien. Dadurch sollen die aus der historischen Entwicklung der Industrie gewonnen Erfahrungen mit den „Erfahrungen“ der Natur in Einklang gebracht werden.

5.1 Definitionen/Begrifflichkeiten - Industrie

In den folgenden Absätzen wird ein Überblick über verwendete Begrifflichkeiten gegeben werden, damit beispielsweise die Gleichbedeutung der Formulierung „zweite industrielle Revolution“ und „Industrie 2.0“ klar verständlich ist. Im Laufe dieser Forschungsarbeit werden auf Grund der Leserlichkeit beide Formulierungen verwendet.

Revolutionen sind in der Geschichte stets als tiefgreifende Ereignisse manifestiert. Sie vollzogen sich meist im Zusammenhang mit neuen Technologien, Innovation oder neuartigen Weltanschauungen, welche gravierende Veränderungen in der Gesellschaft beziehungsweise im Wirtschaftssystem mit sich brachten. Jedoch benötigten sie Zeit, um ihr gesamtes Potential entfalten zu können, oder besser gesagt, bis sich ihre Folgen festigen konnten. [117]

Vorweg sei angemerkt, dass keine exakten Definitionen für die einzelnen Industrieverversionen zu finden sind. Es handelt sich in den folgenden Seiten um eine Erläuterung der Umbrüche und Unterschiede, welche sich im Zeitraum zwischen zwei Versionen abgespielt haben. Die Umbrüche dauerten manchmal über mehrere Generationen an. Ihre Zeiträume werden im Folgenden nach Abbildung 5.1 angenommen. Betrachtet man die sich entwickelnden Prozesse in den einzelnen

Branchen, wie Industrie, Verkehrswesen oder Landwirtschaft, kann man eine Parallelität in ihnen beobachten. Einen spezifischen Prozess herauszugreifen und alle anderen von jenem abhängig zu machen ist somit schwierig und nicht richtig, da sie alle miteinander gekoppelt sind. [143] Die berühmte Dampfmaschine, welche für viele das Sinnbild der „ersten industriellen Revolution“ und somit der *Industrie 1.0* verkörpert, kann nicht als *die eine* technische Innovation herangezogen werden, welche als Auslöser für die Umbrüche dieser Zeit steht. Diese Erkenntnis zieht sich in allen weiteren Industrieverversionen durch. [24, 61, 75, 101, 143]

Des Weiteren wird auf die geschichtlichen Prozesse, wie die Änderung der Staats- oder Wirtschaftsform (Merkantilismus zum Kapitalismus in der Neuzeit) eines Landes und deren Auswirkungen auf die Werte und Sichtweisen der Gesellschaft, welche im Laufe der Zeit schließlich in der „ersten industriellen Revolution“ mündete nur oberflächlich eingegangen, da eine detaillierte Aufschlüsselung den Rahmen dieser Forschungsarbeit sprengen würde. Die folgenden Seiten sollen einen groben Überblick über die Entwicklungen der Zeit in und nach Beginn der Industrialisierung geben. Zusätzlich wird aber auch die Sichtweise und mögliche Kritik der Gesellschaft in der Vergangenheit und Gegenwart gegenüber dem technischen Fortschritt und dessen Auswirkungen auf aller Leben beleuchtet.

Wie bereits im ersten Absatz erwähnt, beziehen sich die nachfolgenden Beschreibungen der einzelnen Industrieverversionen auf die Abbildung 5.1 (siehe [115]) und die darin vorkommenden zeitlichen Umbrüche. In der Literatur finden sich verschiedenste Anfangs- und Endpunkte der unterschiedlichen Industrieverversionen. Ist in weiterer Folge beispielsweise von der „*Industrie 2.0*“ die Rede so ist dieser Begriff im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit gleichbedeutend mit der „zweiten industriellen Revolution“. Ist somit in dieser Forschungsarbeit von einer „Industrie X.0“ die Rede ist dies mit der Formulierung „X-te industrielle Revolution“ äquivalent. Diese Gleichwertigkeit kann auch in der Literatur gefunden werden und ist daher auch für diese Forschungsarbeit angewandt worden [115].

Es gilt generell zwischen den Begriffen „industrielle Revolution“, welche in weiterer Folge in dieser Forschungsarbeit als sogenannte „*erste* industrielle Revolution“ bezeichnet wird, und „Industrialisierung“ zu unterscheiden. Allgemein handelt es sich bei dem Begriff „erste industrielle Revolution“ um einen sehr komplexen Prozess. Dieser hat zur Folge, dass sich die Wirtschaft zwischen 1750 - 1850, ausgehend von England, umbaute. Als Industrialisierung wird in der Literatur eine über mehrere Jahrzehnte stetige Steigerung des Bruttoinlandsproduktes (BIP) innerhalb einer Volkswirtschaft von mehr als 1,5 Prozent pro Jahr bezeichnet. Mit der Zeit griff die, durch die „erste industrielle Revolution“ ausgelöste Industrialisierung auf ganz Europa und alle Kontinente zu Beginn des 20. Jahrhunderts (in etwa um 1900) über. [101] Diese Betrachtung ist vor allem für die eigentliche „industrielle Revolution“ und ihre Anfänge wichtig. Alle weiteren Industrieverversionen bauen auf dieser „*ersten* industriellen Revolution“ auf. Diese wurden, wie auch die „Industrie 1.0“, von Fachleuten aus Wissenschaft, Industrie und Wirtschaft beschrieben. Die meisten Industrieverversionen, außer die aktuelle „Industrie 4.0“ und mögliche zukünftige „industrielle Revolutionen“, wurden im Nachhinein definiert.

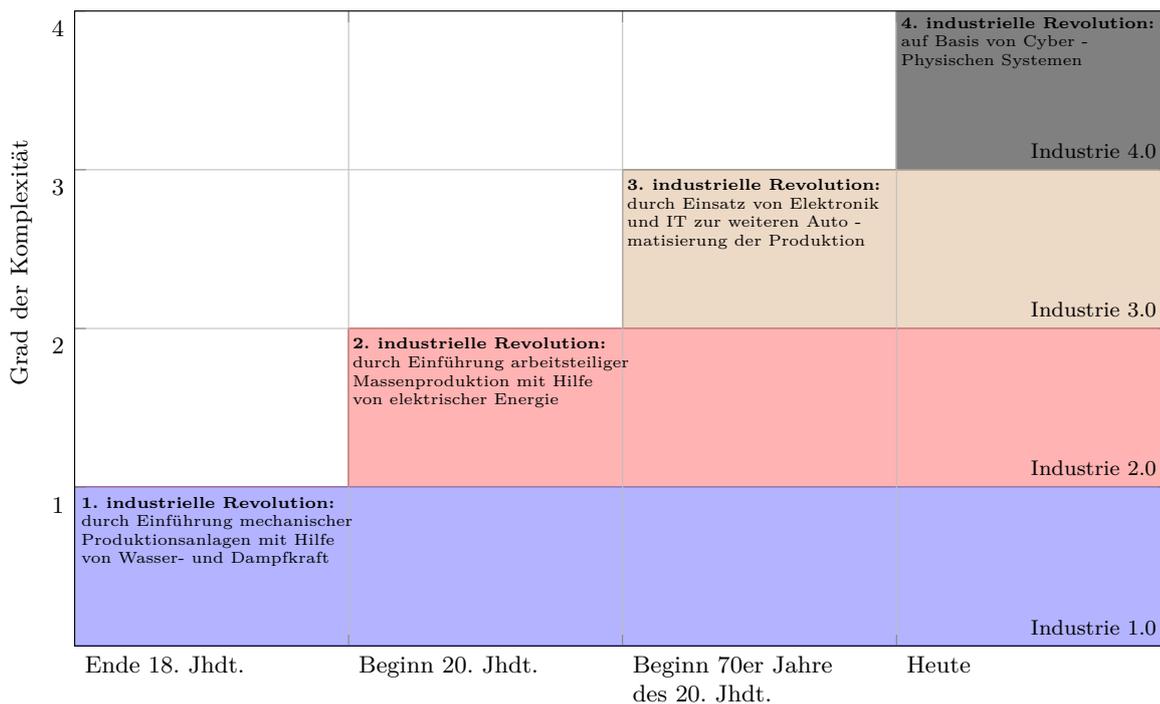


Abbildung 5.1: Die vier Stufen „industrieller Revolutionen“
(Darstellung in Anlehnung an [115])

5.2 Industrie 1.0 - Die „erste industrielle Revolution“

Generell ist die Beschreibung beziehungsweise Erklärung des Begriffes „erste industrielle Revolution“ oder „Industrie 1.0“, welche im Rahmen dieser Forschungsarbeit gleichbedeutend sind, eine sehr schwieriger, da die, sich mit dem Themengebiet beschäftigenden Industrialisierungsforscher hier verschiedenste Ansichten vertreten. Manch einer sieht in ihr sogar eine so einschneidende Entwicklung, die nur mit der Sesshaftwerdung der Menschen im Neolithikum und dem damit beginnenden Ackerbau beziehungsweise der Viehzucht vergleichbar ist. [24, 143] Jedoch kann man zwei grundlegende Aussagen über die „erste industrielle Revolution“ treffen, über die sich die Forscher einig sind. Einerseits war die Industrialisierung, vor allem zu ihrem Beginn, immer mehr ein regionales als ein nationales Phänomen. Andererseits ist man sich einig, dass ein Innovationsschub in technischer Hinsicht zu den Veränderungen in der Gesellschaftsordnung und Produktivität beziehungsweise Wirtschaftlichkeit der Industrie führte. [24, 101, 143]

Die „erste industrielle Revolution“ war, wie vorweg bereits erwähnt, kein abruptes Phänomen, sondern ein sich lange anbahnender Prozess. Betrachtet man die Veränderungen in der frühen Neuzeit hinsichtlich Gesellschaftsordnung und Philosophie sind deutliche Unterschiede zum Mittelalter zu erkennen. Eine klare zeitliche Trennung zwischen Mittelalter und Neuzeit gibt es nicht, da es sich generell immer um einen Übergang zwischen geschichtlichen Epochen handelt.

Man spricht in der Literatur aber generell ab dem Jahr 1500 von der frühen Neuzeit, die auf das Spätmittelalter folgt. [74] Bereits in der Antike wurden die Grundlagen für den Bürger beziehungsweise Menschentyp geschaffen, der später die „erste industrielle Revolution“ tragen konnte. Individualismus, rationales Denken, Autonomie und ein reflektierendes Selbstbewusstsein sind nur ein paar Eigenschaften jenes Menschentyps. Der ebenfalls aus der Antike stammende Rechtsstaat wurde im Mittelalter weiter ausgebaut. Zentrales Element dieser Entwicklung war die europäische Stadt, in welcher sich eine Vielfalt von Institutionen, wie Schulen und Universitäten, unabhängige Gerichte sowie Möglichkeiten einer politischen Selbstbestimmung, entwickelten. War im frühen Mittelalter die Gesellschaft in ihrem Weltbild noch stark religiös geprägt so änderte sich dieses im Laufe des Spätmittelalters beziehungsweise der frühen Neuzeit. In den Städten war es möglich, dass sich ein neues ökonomisches, politisches sowie soziales System entwickelte. Schließlich wurde das theozentrische Weltbild verdrängt und es veränderte sich Schritt für Schritt in ein moderneres, welches mehr Raum für eine folgende geistige Weiterentwicklung schuf. [24, 101]

Charakteristisch für die Bürger der frühen Neuzeit war die Tatsache, dass sie zur Maximierung ihres eigenen Einkommens nicht stur ihre Arbeit vollzogen, sondern technische beziehungsweise organisatorische Errungenschaften zu ihrem Vorteil nutzten. Sie könnten also mit einer gewissen Dynamik in ihrem Handeln beschrieben werden, welche maßgeblich zur Entwicklung der modernen Industriegesellschaft beitrug. [24, 101, 143]

Felix Butschek schreibt in seinem Buch *Europa und die industrielle Revolution* über den anfänglichen Weg der Wirtschaftsentwicklung in der Antike bis hin zum Auslösen der „ersten industriellen Revolution“ in der Neuzeit. Er beschreibt die Entwicklung der Wirtschaft in der Antike beziehungsweise im außereuropäischen Raum mit dem Element der Statik, welche in der anschließenden Epoche des Mittelalters der Dynamik wich. In der frühen Neuzeit wurde über die Anwendung von technischen Innovationen zur Senkung von Produktionskosten von Manufakturen und Betrieben die Basis geschaffen, welche eine „industrielle Revolution“ möglich machte. Somit wurde mittels des zentralen Elements des technischen Fortschritts in der Neuzeit die „erste industrielle Revolution“ in Gang gesetzt. [24]

Oft ist die Dampfmaschine oder Lokomotive als das Leitbild der „ersten industriellen Revolution“ angeführt. [143] Dass diese technischen Errungenschaften alleine die Industrialisierung ausgelöst haben ist jedoch ein Trugschluss, da beispielsweise die von Thomas Newcomen entwickelte Dampfmaschine bereits Anfang des 18. Jahrhunderts zur Entwässerung von Kohlegruben verwendet wurde. Weitaus wichtiger ist die Tatsache, dass zu dieser Zeit die Gesellschaft in ihren Wertvorstellungen und Interessen von Institutionen stark beeinflusst wurden. Hinter jenen stand ein großes Interesse von kapitalistischen Unternehmern, die sich durch den technischen Fortschritt eine Senkung der Produktionskosten und gleichzeitig eine Steigerung der Produktivität ihrer Manufakturen und späteren Fabriken erhofften. Durch diese Institutionen wurde im Bürgertum ein technisch/wissenschaftlicher als auch ökonomisch/wirtschaftlicher Diskurs gepflegt, welcher einen großen Fundus an Wissen zur Verfügung stellte. Es entstand eine sogenannte „*scientific community*“. [24] Den Menschen war es möglich bahnbrechende Innovationen zu entwickeln und

über den großen Wissenspool diese auch zu verbessern. *„Damit ist für die Industrielle Revolution, ja grundsätzlich für das kapitalistische System zentrale Kernprozess beschrieben: der ökonomisch determinierte Einsatz der Technik, welche von der „scientific community“ permanent weiterentwickelt, zur „Routine“ wird.“* [24, Buschek, 2002, S.148] Kurz gesagt vollzog sich in der Zeit zwischen 18. und 20. Jahrhundert eine Änderung der Wirtschaftsordnung vom vorindustriellen Merkantilismus zum industriellen Kapitalismus. [24, 61, 75, 143]

Beleuchtet man den Vorgang der „ersten industriellen Revolution“ am Beispiel der Dampfmaschine weiter, so lässt sich erkennen, dass die Gesellschaft die ersten wirtschaftlichen Maschinen ihrer Art erfunden hatten. Wirtschaftlich waren diese jedoch nur, weil sie eine, über längere Zeit verlässliche, stetige Leistungsabgabe gewährleisten konnten und das Verhältnis von Energieaufwand zur Leistungsaufnahme wirtschaftlich tragbar war. Das Nutzen von Kohle nicht nur zur Wärmeerzeugung sondern auch zum Antrieb von Maschinen hatte zur Folge, dass der Kohleabbau in Bergwerken beziehungsweise über Tage einen Aufschwung erlebte, viele neue Arbeitsplätze geschaffen wurden und sich die Dampfmaschine aus ihren anfänglichen Funktionen, wie beispielsweise die oben erwähnte sogenannte Wasserhaltung in Bergwerken, weiter ausbreiten konnte, da die auf den Standort bezogene Abhängigkeit der Kohle nicht mehr gegeben war. [24, 61, 75, 101, 143]

Mit Hilfe der Erfindung der Lokomotive, welche eine auf Schienen gesetzte Dampfmaschine verkörperte, konnte die benötigte Kohle leichter transportiert werden. Der Ausbau des, für von Pferden gezogene Loren, vorhandenen Schienennetzes war ein weiterer Schritt, die Industrialisierung voranzutreiben. Das Transport- und Verkehrswesen erlebte große Veränderungen durch den Einsatz der Lokomotive, da weitaus mehr Güter transportiert werden konnten als mit den früheren Pferdefuhrwerken. Die Transportkosten ließen sich senken und gleichzeitig war es den Unternehmen möglich einen flächenmäßig größeren Markt abzudecken. Zusätzlich hatten diese Wandlungsprozesse zur Folge, dass sich Industrien in der Nähe von Städten ansiedelten, da die für die Produktion nötigen Ressourcen über die Eisenbahn bereitgestellt und die Wirtschaftlichkeit der Dampfmaschinen als Antriebsorgan gewährleistet werden konnten. [24, 61, 75, 101, 143]

Die Tatsache, dass sich große Unternehmen beziehungsweise deren Fabriken in der Nähe von Städten niederließen, bedeutete vermehrt Arbeitsplätze im urbanem Umfeld. Die Menschen folgten der Möglichkeit in den Städten Geld zu verdienen. Somit konnte während der „ersten industriellen Revolution“ eine einschlägige Änderung in der Beschäftigungsverteilung beobachtet werden. Die Verteilung bezieht sich auf die drei in der Wirtschaft vorhandenen Sektoren - primärer, sekundärer und tertiärer Sektor. Mit dem primären Sektor werden in der Wirtschaftsgeschichte die Land- und Forstwirtschaft sowie Fischerei und Bergbau beschrieben. Jener Sektor wird auch oft mit dem Begriff der „Urproduktion“ gleichgesetzt. [143] Der zweite Sektor beinhaltet die verarbeitenden Gewerbe, Handwerk sowie die Industrie. Stellvertretend für den dritten Wirtschaftssektor steht das Berufsfeld der Dienstleistungen wie auch Berufe im Handel und Verkehr beziehungsweise der öffentlichen Verwaltung. [139, 143] Wird nun die wirtschaftliche Entwicklung hinsichtlich der genannten drei Sektoren aufgeschlüsselt, so lässt sich eine Umverteilung beobachten. Ist im vorindustriellen Zeitalter der Haupterwerbssektor noch die Landwirtschaft, markiert der Anstieg

des sekundären Sektors den Übergang zur industriell geprägten Wirtschaft. Die Tabelle 5.1 zeigt die Unterschiede dieser Umverteilungen für die Länder Niederlande, Großbritannien und die USA über den Zeitraum von 1700 bis 1998. Betrachtet man die USA näher, so ist ein deutlicher Rückgang des Anteils am primären Sektor seit 1820 zu erkennen. Die Differenz beziehungsweise der rückläufige Anteil der Landwirtschaft findet sich in den beiden anderen Sektoren wieder. [85]

Tabelle 5.1: Überblick der Beschäftigungsverteilung in den Niederlanden, Großbritannien und den USA zwischen 1700 bis 1998 auf die drei Wirtschaftssektoren

		Niederlande	Großbritannien	USA
		in Prozent [%] der Gesamtbeschäftigung		
1700	Landwirtschaft	40	56	n.a.
	Industrie	33	22	n.a.
	Dienstleistungen	27	22	n.a.
1820	Landwirtschaft	43 ^a	37	70
	Industrie	26 ^a	33	15
	Dienstleistungen	31 ^a	30	15
1890	Landwirtschaft	36 ^b	16	38
	Industrie	32 ^b	43	24
	Dienstleistungen	32 ^b	41	38
1998	Landwirtschaft	3	2	3
	Industrie	22	26	23
	Dienstleistungen	75	72	74

^a 1807 ^b 1889 Quelle: [85, S.95]

Zum besseren Verständnis der, in den späteren Kapiteln folgenden, Industrieversionen darf die wirtschaftliche Entwicklung in England nicht fehlen. Sie gilt als Ausgangspunkt des Industrialisierungsprozesses in ganz Europa - der sogenannte „*Workshop of the World*“, wie England auch genannt wurde. [24, 88] Vergleicht man das Bruttoinlandsprodukt Großbritanniens mit dem von China, Indien oder Afrika zeigt es einen viel stärkeren Anstieg über die Jahrhunderte. Es spiegelt den Wachstumstrend von ganz Westeuropa¹ in dieser Zeit wieder - der Trend ist in Abbildung 5.2 für verschiedene Länder in Form eines Säulendiagramms veranschaulicht. [24, 85] Betrachtet man die wirtschaftliche Entwicklung von England, so ist bereits ab dem 18. Jahrhundert ein stetiges und langfristiges Wachstum zu erkennen. [24, 85, 88, 120]

Als Pionier-Branche der „ersten industriellen Revolution“ gilt nicht, wie eventuell schnell angenommen die Schwerindustrie, sondern die Textilindustrie. England war einer der Hauptproduzenten von Baumwolle, welche aus den damaligen Kolonien, primär den westindischen Inseln, eingeschifft wurde. [101] Die Nachfrage nach textilen Gütern stieg über die Jahre auf dem europäischen Festland, was England zu einem der führenden Exporteure machte. Neue technische Innovationen wurden für die steigenden Produktionszahlen benötigt. Die „scientific community“ brachte

¹definiert über [85, S.264]

dank der guten Vernetzung untereinander neue Innovationen oder Verbesserungen bisheriger Technik quasi am „Fließband²“ hervor. Ein Beispiel dafür war die Spinnmaschine „Spinning Jenny“ mit deren Hilfe die steigende Nachfrage an Garnen gedeckt werden konnte. [143] Die ersten Spinnmaschinen wurden noch von ArbeiterInnen per Handrad bedient. Später, als die Nachfrage weiter stieg, wurden diese ersten Maschinen mit Hilfe von Wasserrädern an Fluss- und Kanalläufen angetrieben. Wasserkraft war damals eine sehr verbreitete primäre Energiequelle. Die Stunde der Dampfmaschine in England, und deren anschließende Ausbreitung auf der ganzen Welt, schlug, als die Antriebskraft des Wassers nicht mehr ausreichte. Es wurde begonnen im großen Maß Kohle abzubauen, um die sich immer mehr etablierenden Dampfmaschinen betreiben zu können. Mit Hilfe der Lokomotive und des verbesserten Transportwesens war der Rohstoff Kohle für größere Gebiete beziehungsweise Regionen zugänglich. Somit erfuhr nicht nur das Textilgewerbe einen Aufschwung sondern ebenfalls die Eisenindustrie. Von Dampfmaschinen angetriebene Gebläse verhalfen den Hochöfen mehr Eisen zu produzieren. Jenes wurde im großen Stil für den Eisenbahn-, Schienen- und Maschinenbau verwendet. [24, 29, 88, 101, 120, 143]

Warum genau die „erste industrielle Revolution“ in England begann und nicht in einem anderen Land Europas, ist mit den nachfolgenden Tatsachen beantwortet. Zum einen verhalf die Existenz eines großen nationalen Wirtschaftsgebietes, welches nicht durch Zollschranken zerschnitten war, England einen gewissen Vorteil als Kandidat. Zum anderen herrschte durch die abgeschiedene Insellage seit etwa Mitte des 17. Jahrhunderts innerer Frieden, gleichwohl England des öfteren in koloniale Konflikte verwickelt war. Des Weiteren konnte es sich Englands Landwirtschaft leisten Arbeitskräfte in andere Bereiche einzugliedern, da sie ungewöhnlich produktiv war. Die Ursache hierfür kann wieder auf die relativ abgeschiedene Insellage von England zurückgeführt werden, die nicht nur durch ihr mildes Klima und die dadurch seltener auftretenden extremen Wetterereignisse, wie Trockenheit und Dürre, positiv auf die Landwirtschaft wirkte, sondern auch eine breite Palette an möglichen und billigen Transportwegen, insbesondere die Küstenschifffahrt, bereit stellte. Ein weiterer Vorteil für das Vereinigte Königreich war die erleichterte Rohstoffverfügbarkeit durch den umfangreichen Kolonialhandel, der breite Absatzmärkte bereitstellte. Die „scientific community“ in England hatte großes Interesse Vorhandenes zu verbessern und neue Technologien beziehungsweise Innovationen auf den Markt zu bringen, bei so manchen dieser gesellschaftlichen Eliten manifestierte sich zusätzlich eine außergewöhnlich unternehmerische Bewusstseinshaltung. Die Tatsache eine hochentwickelte Tradition der Feinmechanik und Werkzeugmacherei im Lande zu haben spielte der britischen Elite beim Hervorbringen ihrer Neuerungen zusätzlich gut in die Karten. [24, 29, 88, 101, 120, 123, 143]

Zusammenfassend können verschiedene Prozesse/Umbrüche im Produktionswesen beziehungsweise Veränderungen im politisch/wirtschaftlichen Denken der Gesellschaft unter den Deckmantel „erste industrielle Revolution“ zusammengeführt werden. Auf jene folgenden wird in der Literatur hingewiesen [29]:

- empirisches Wissen sowie grundlegende systematische Anwendungen von moderner Technik

²dem eigentlichen Fließband beziehungsweise der Fließbandfertigung wurde erst ab der „zweiten industriellen Revolution“ durch Unternehmer wie Henry Ford zum Erfolg verholfen (siehe Abschnitt 5.3)

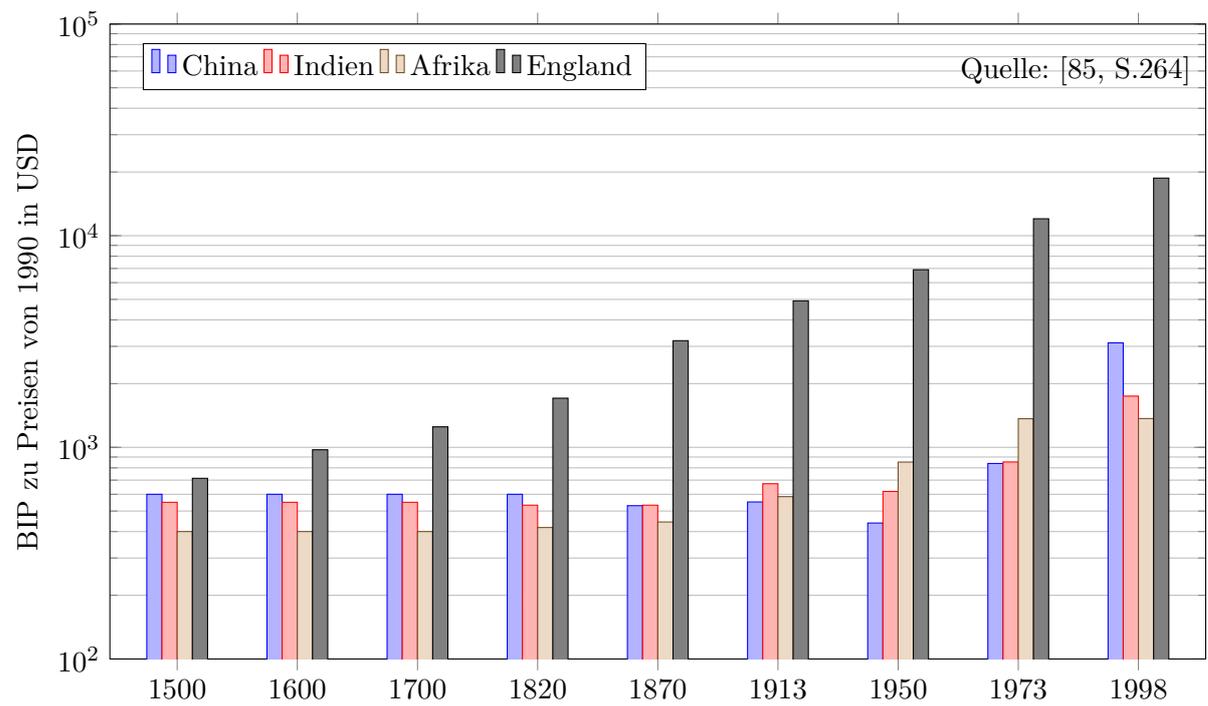


Abbildung 5.2: Entwicklung des Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukts zwischen 1500 und 1998 in den Ländern China, Indien, Afrika und England; Gut zu erkennen ist der starke wirtschaftliche Aufschwung Englands, der etwa seit 1870 auf Grund der „ersten industriellen Revolution“ noch schneller zu steigen begann. [85]

wurden im Produktionsprozess verwendet, um den Markt zu stärken

- wirtschaftliches Handeln wurde auf die Anforderungen des nationalen und internationalen, anstatt des provinziellen beziehungsweise familiären Marktes (hier sind Familienunternehmen gemeint) angepasst
- ein erkennbarer Trend der ländlichen Bevölkerung sich ins städtische Umfeld umzusiedeln
- die Produktionszahlen werden vergrößert und richten sich nach den wachsenden Unternehmen, anstatt den familiären Betrieben
- eine Umverteilung im Bereich des Beschäftigungsfeldes, wobei Arbeitskräfte vom primären in den sekundären Sektor, welcher starken Aufschwung in dieser Zeit erfuhr (siehe Tabelle 5.1), wechseln
- intensiver und umfassender Gebrauch von Kapitalmitteln als ein Ersatz für und Ergänzung zur menschlichen Anstrengung
- das Auftreten von neuen sozialen und beruflichen Klassen in den Städten, welche durch das Eigentumsrecht oder ihrer Beziehung zu den Mitteln der Produktion bestimmt sind

5.3 Industrie 2.0 - Die „zweite industrielle Revolution“

Verglichen mit der „ersten industriellen Revolution“, welche ihren Ursprung in England hatte, kann man bei der „zweiten industriellen Revolution“ beziehungsweise der „Industrie 2.0“ nicht wirklich ein einziges Land als Ausgangspunkt wählen. In der Literatur wird einerseits von einer deutschen und andererseits von angloamerikanischen Variante berichtet. [143] Die beiden Varianten unterscheiden sich in ihrer zeitlichen Definition und auch über ihre Umbrüche beziehungsweise Entwicklungen. [17, 143]

So spricht man in der deutschsprachigen Literatur bereits zwischen 1870/1880 von einer „zweiten industriellen Revolution“, beschrieben über den Wechsel der wirtschaftlichen Leitsektoren. Dieter Ziegler fasst diese unter den Begriff der „*neuen Industrien*“ zusammen. [143] Lag das Hauptaugenmerk im vorherigen Abschnitt (siehe Abschnitt 5.2) auf der Textil- und Eisenindustrie, so etablierten sich im Laufe der Jahre neue Tätigkeitsfelder beziehungsweise Führungssektoren - jene „*neuen Industrien*“. Zu ihnen zählten die Stahlindustrie, die chemische Industrie sowie die Elektrotechnik, welche neue Beschäftigungs- und Anwendungsfelder eröffneten. Auf Grund dieses Wandels konnte Deutschland beispielsweise zu England als „*Workshop of the World*“ aufschließen und seinerseits diese Bezeichnung in so manchem Wirtschaftssektor für sich selbst beanspruchen. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde in Deutschland, wie auch dem Rest der Welt, englisches Wissen und Technologien importiert. Diese Situation änderte sich mit dem Voranschreiten der Industrialisierung in Europa. Länder, welche noch nicht in den wirtschaftlichen Genuss beziehungsweise den, mit der „ersten industriellen Revolution“ verbundenen, Aufschwung gekommen waren, konnten sich in neuen wirtschaftlichen Sektoren behaupten und spezialisieren.

[17, 143]

Auf der anderen Seite des Globus entwickelte sich parallel in den USA die Industrie ebenfalls weiter. Eine wichtige Ausnahme stellt der erste Weltkrieg dar, da dieser die USA, territorial gesehen, nicht mit Zerstörung und Leid übersäte. Der Ausbruch oder die begriffliche Definition der „zweiten industriellen Revolution“ laut Literatur erfolgte in den USA, verglichen mit Deutschland, zeitlich verzögert und begann erst in den Zwanzigerjahren des 20. Jahrhunderts. In jener Zeit erfolgte die Entwicklung beziehungsweise Ausbreitung der Massenproduktion, welche sich in Europa erst nach Ende des ersten Weltkrieges richtig etablieren konnte, und des damit verbundenen Massenkonsums der Gesellschaft. Diese beiden Phänomene liegen in den USA bei weitem näher beieinander als in großen Teilen Europas, wo der Massenkonsum und die Massenmotorisierung erst nach Ende des zweiten Weltkrieges einsetzte. Auch dauerte die Umgestaltung der Wirtschaft in den USA, durch Innovationen wie der Eisenbahn und der Massenproduktion von Stahl, länger als in Europa, sodass Entwicklungen wie die schon beschriebene Massenproduktion beziehungsweise der Massenkonsum der Gesellschaft, hervorgerufen durch *Taylorismus* und *Fordismus*, die „zweite industrielle Revolution“ in der angloamerikanischen Literatur einläuteten. [101, 123, 143]

Der Autor Werner Abelshauer versteift sich nicht nur auf die „*neuen Industrien*“, sondern beschreibt im Rahmen der „zweiten industriellen Revolution“ die Ausbildung beziehungsweise Ausprägung des modernen „Konzerns“, welcher die dominierende Unternehmensform im 20. Jahrhundert werden sollte. Dieser Umbruch vollführte sich damals zwischen 1880 und 1890 und hatte eine weit größere Fernwirkung, wenn nicht eine globale Wirkung, im Vergleich zur anfänglichen „ersten industriellen Revolution“, welche sich zu ihrem Beginn nur auf kleine „Industrialisierungsnester“ beziehungsweise auf die vorhandene heimgewerbliche Protoindustrien³ auswirkte. Des Weiteren kam es im letzten Quartal des 19. Jahrhunderts in den fortgeschrittenen Volkswirtschaften zur vollständigen Mechanisierung der Produktion, das heißt zur Auslöschung der bereits erwähnten Protoindustrien in ihrer beschriebenen Form. [101, 143]

Eine Folge des Siegeszuges der großen internationalen Konzerne war der Aufstieg der anonymen Kapitalgesellschaft, bestehend aus Managern, Angestellte von Kontoren und Bürokraten, welche sich häufig über die Börse finanzierten. Der klassische Wettbewerbsmechanismus, der früher den Markt kontrollierte, wurde zu Gunsten multinationaler Konzerne, sogenannter „Multis“, zurückgedrängt. Sie nahmen, unterstützt von Markenzeichen, den Vertrieb ihrer eigenen Güter und Waren in eigene Regie. So entstand ein lokales und globales Vermarktungsnetzwerk durch die Zusammenarbeit mit vielen Partnern. Ein Beispiel für diese Multis sind *Standard Oil of New Jersey* (heutige *Exxon Mobil Corporation*) oder *British-American Tobacco Corporation* (kurz *BAT*), die in den 1980er Jahren in China auftauchten und diesen Konsumgütermarkt zu durchdringen angingen. [143] Multis kontrollierten den Absatz ihrer Produkte, ihre eigenen Rohstoffquellen sowie die Weiterverarbeitung dieser Ressourcen. Die Industrie in ihrem eigentlichem Sinne wurde

³oder auch „Hausindustrie“ genannt; Zahlreiche handelskapitalistische Verleger wurden veranlasst die Warenproduktion auf das Land zu verlagern, da sich dort im 18. Jahrhundert ein großes Arbeitskräftepotential durch die, auf einen Nebenerwerb angewiesene, landarme beziehungsweise landlose Bevölkerung entwickelte. Diese Menschen lebten vom Verkauf ihrer protoindustriell hergestellten Produkte und waren damals noch selbstständig. Später wurden aus vielen dieser Bevölkerungsgruppen die industriellen FabrikarbeiterInnen. [143, S.35]

zu *business*. Die Interaktion und Kooperation mit Banken und anderen Industrieunternehmen war charakteristisch für diese multinationalen Konzerne. [75, 101, 143]

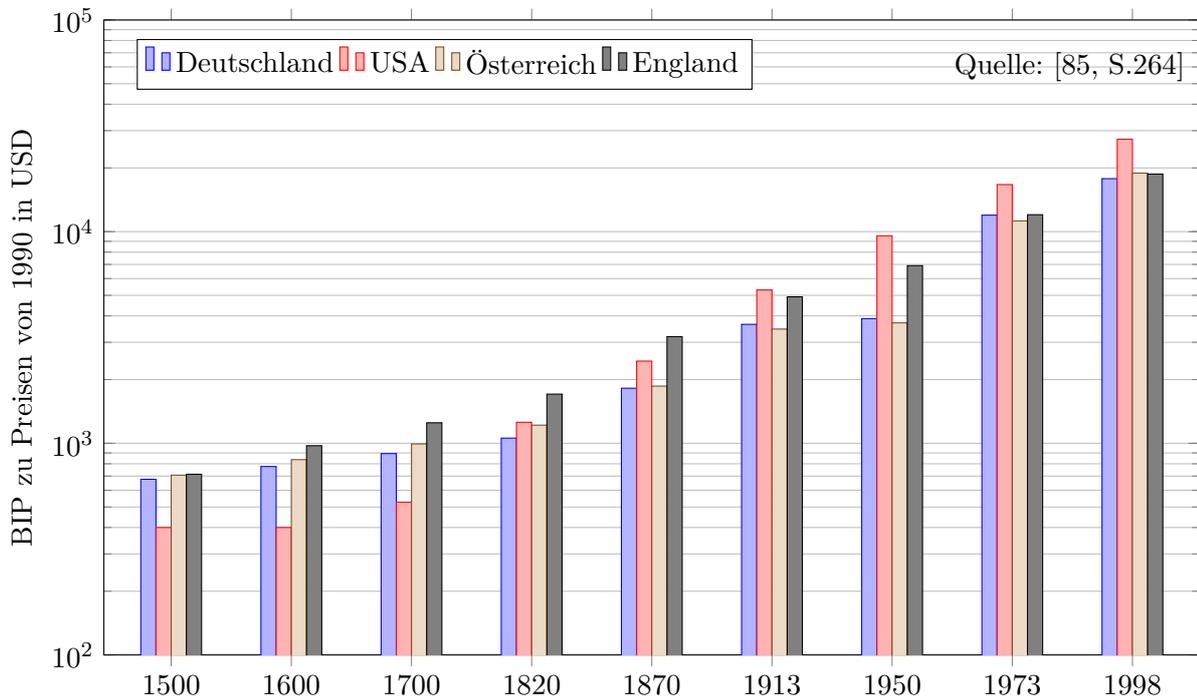


Abbildung 5.3: Entwicklung des Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukts zwischen 1500 und 1998 in den Ländern Deutschland, USA, Österreich und England; Gut zu erkennen ist der starke Aufschwung der beiden Nationen Deutschland und USA, wobei die USA ab 1913 die Vormachtstellung Englands übernimmt. [85]

5.3.1 Die „deutsche Revolution“

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts definierte Georg Friedmann als einer der ersten den Begriff der „zweiten industriellen Revolution“. Für ihn stellte die Nutzung von Explosionsmotoren, die Werkzeugmacherei sowie der Einsatz von Elektrizität den Beginn jener neuen Revolution dar. [52, 123] Wie bereits weiter oben (siehe Abschnitt 5.3) beschrieben wurde, kristallisierten sich im Laufe der Jahrzehnte neue Leitsektoren der Industrie heraus. Dieser wirtschaftliche Wechsel, weg von der Textil- beziehungsweise Eisenproduktion hin zur Stahlindustrie, chemischen Industrie und der Elektrotechnik, ist maßgeblich für die Beschreibung der „zweiten industriellen Revolution“ im deutschsprachigen Raum. [143] In Deutschland entwickelte sich auch ein starker Industriezweig hin zur Optik sowie optischen Messgeräten und -instrumenten. Die Verschiebung der Sektoren hatte auch eine Verlagerung der industriellen Dynamik von Großbritannien nach Deutschland und den USA zur Folge. Beide Parteien konnten erhebliche Vorsprünge in den neuen Technologien aufweisen. [51, 101, 123, 143]

Die wirtschaftliche beziehungsweise industrielle Entwicklung war in Deutschland während der „ersten industriellen Revolution“ vergleichbar mit England und anderen Ländern Europas. Das

Aufkommen von Innovationen, wie Dampfmaschine, Eisenbahn und Co, hatte auf die Montanindustrie weitreichende Folgen. Wie bereits in Abschnitt 5.2 beschrieben, wurde gegen Ende des 18. Jahrhunderts verstärkt Kohle abgebaut, um die Kesseln der Dampfmaschinen zu befeuern. Das größte Wachstum erfuhren die deutschen Steinkohlebergwerke zwischen 1848 und 1864, da zu dieser Zeit das Bergrecht liberalisiert wurde und viele neue Technologien eingeführt wurden. [143] Neben der Verwendung von Kohle in Dampfmaschinen wurde dieser Rohstoff auch von der Eisen- beziehungsweise Stahlindustrie zur Verhüttung entdeckt. Bedingte früher, neben der billigen Verfügbarkeit von Holz und der Nähe zu Eisenerzvorkommen, das Vorhandensein von Wasserläufen, vor allem für den Transport und als Antriebskraft für folgende Verarbeitungsschritte wie beispielsweise Schmieden, den Standort der Eisenhütten, so änderte sich diese Abhängigkeit mit Aufkommen der Dampfmaschine. Diese Entwicklung wurde mit dem Ausbau des Schienennetzes der Eisenbahnen noch verstärkt, da durch die Senkung der Transportkosten neue Standorte, wie Knotenpunkte der einzelnen Transportwege, strategisch interessanter für die Stahlindustrie wurden und Stahl für den weiteren Ausbau jener Transportwege benötigt wurde. Neue Verfahren der Stahlherstellung, wie das, 1874 von Henry Cot patentierte, *Puddelverfahren* und die industrielle Verhüttung von Kohle zu Koks kurbelten die Produktivität zusätzlich an. [51, 143]

Wie bereits weiter oben erwähnt importierte Deutschland, sowie auch der Großteil Europas, zu Beginn der „ersten industriellen Revolution“ allerhand Innovationen vom damaligen „*Workshop of the World*“, Großbritannien. Neben klassischen Neuerungen, wie Dampfmaschinen und Lokomotiven, exportierte Großbritannien auf Grund des wirtschaftlichen Vorsprungs auch Schienen. In Tabelle 5.2 ist ein Überblick über die vom deutschen Zollverein importierten Schienenanteile zwischen den Jahren 1843 bis 1863 gegeben. Es ist gut zu erkennen, dass es Deutschland gelang über die Jahre die Importe aus anderen Ländern zu senken, da die heimische Industrie, in diesem Fall die Stahlindustrie, zur britischen aufzuschließen begann. Diese Entwicklung im Bereich der Eisenbahnschienen wird als erstes Beispiel einer erfolgreichen Importsubstitution in der deutschen Ingenieurgeschichte angesehen. [143] Solche Importsubstitutionen konnten auch in anderen Branchen des deutschen Zollvereins beobachtet werden. Ein weiteres Beispiel liefert die Branche des Maschinenbaus, welche in der heutigen Zeit zu einer der Kernkompetenzen Deutschlands zählt. [51, 61, 75, 143]

Die Branche des Maschinenbaus siedelte sich vorzugsweise in der Nähe von Stahlwerken und Kokereien an, um die nötigen Anlagenteile und Komponenten vor Ort herstellen zu können. Wie auch bei den oben erwähnten Schienen hatte England zu Beginn des 19. Jahrhunderts in Sachen Maschinenbau die Nase vorne, da Großbritannien eine hochentwickelte Tradition der Feinmechanik und Werkzeugmacherei im Land hatte. Länder, auf die die Industrialisierung noch nicht ganzheitlich übergreifen hatte, versuchten die neuen Innovationen der Engländer zu übernehmen beziehungsweise nachzubauen. Bis ins Jahr 1842 existierte ein strikt überwachttes Maschinenausfuhrverbot von Seiten Englands. Zahlreiche Unternehmer, Techniker und Beamte besuchten in den Zeiten vor 1842 verstärkt englische Maschinenbaufabriken, um dort Industriespionage zu betreiben. Deutsche Ingenieure verfeinerten ihr Handwerk derart, dass zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein Viertel der Weltausfuhr an Maschinen aus Deutschland stammte. [51, 61, 75, 143]

Tabelle 5.2: Herkunft des Schienenbestandes preußischer Eisenbahnen, 1843-1863 (in %)

Jahr	Zollverein	Großbritannien	Belgien	Österreich
1843	10	88	2	-
1851	31	67	2	-
1852	43	56	1	-
1853	48	51	1	-
1854	58	41	1	-
1858	61	38	1	-
1863	85	13	1	1

Quelle: [51, S.330]

Die vorangegangene beschriebene Entwicklung vor Beginn der „zweiten industriellen Revolution“ ist für die Beschreibung beziehungsweise das Verständnis dieser Industrieverversion relevant. Waren in Deutschland bis zu jener Revolution noch die alten Führungssektoren der Schwerindustrie von Bedeutung, so änderte sich dies in den 90er Jahren des 19. Jahrhunderts. Durch neue und vielseitige Anwendungsmöglichkeiten kristallisierte sich ein Komplex von neuen Leitsektoren heraus. Die bereits des öfteren erwähnten „neuen Industrien“ zeichneten sich durch die enge Verbundenheit mit gezieltem wissenschaftlichem Arbeiten aus, das heißt die Entwicklung konnte gezielt vorangetrieben werden. Dass Deutschland Spitzenreiter in den neuen Branchen war, lässt sich auf die sehr guten technischen Hochschulen und Universitäten zurückführen, welche eine Vielzahl an wissenschaftlich-technisch ausgebildetem Personal wie Chemiker, Ingenieure und Facharbeiter hervorbrachte. [61, 75, 101, 143]

Der Aufstieg des ersten Leitsektors, der chemischen Industrie, war auf die englische Textilindustrie zurückzuführen, welche seit Beginn des 19. Jahrhunderts vermehrt Chemikalien wie Soda, Chlor und Schwefelsäure als Bleichmittel benötigte. In der Literatur wird die Entwicklung der chemischen Industrie beziehungsweise von Chemikalien stark mit der oben erwähnten Textilindustrie, der Land- und Forstwirtschaft, dem Hütten- und Salinenwesen sowie dem Bergbau in Verbindung gebracht. Die aufgezählten Branchen benötigten für ihre Entwicklung stets neue Innovationen, Herstellungsverfahren und Chemikalien. Eine verstärkte Nachfrage ging zu Beginn des 19. Jahrhunderts von der Metall-, Glas-, Leder-, Seifen- und Papierindustrie aus. Die Tatsache, dass nach Mitte des 19. Jahrhunderts natürliche Stoffe immer öfters durch neue synthetische verdrängt wurden, spricht für den Aufschwung der chemischen Industrie. So wurde beispielsweise die bleichende Wirkung, des von Karl Wilhelm Scheele 1774 entdeckten Elements Chlor, erstmals von Claude Louis Berthollet einige Jahre nach dessen Entdeckung erkannt und als Ersatzverfahren beziehungsweise -substanz zum damals gängigen Bleichverfahren, der *Rasenbleiche*⁴, im

⁴Das zu bleichende Gewebe wird auf einer Rasenfläche ausgelegt, ist dadurch der Sonneneinstrahlung ausgesetzt und wird von Zeit zu Zeit mit Wasser bespritzt. Durch die Lichteinwirkung bilden sich reaktive Sauerstoffspezies und Wasserstoffperoxid, welche durch ihr Oxydationsvermögen die Fasern bleichen. Hierbei handelt es sich um ein photochemisches Verfahren, dass auf Grund der langen Dauer des Bleichvorganges als großtechnisches Verfahren ersetzt wurde. [16, 138]

Textilgewerbe verwendet. Durch die Mechanisierung der Textilindustrie führte die nachfolgende Bleiche zu einem Produktionsengpass, welcher durch die neue Erkenntnis über das Element Chlor beseitigt werden konnte. [61, 75, 101, 143]

Neben den oben bereits beschriebenen Entwicklungshelfern der chemischen Industrie wird in der Literatur auch auf die wachsende Urbanisierung hingewiesen, die sich bereits zu Zeiten der „ersten industriellen Revolution“ als Veränderung herauszukristallisieren begann. Auf Grund der großen Abwanderungsrate der Menschen vom Land in Städte stiegen die Hygienestandards sowohl im privaten als auch im öffentlichen Bereich - die Nachfrage beispielsweise von Waschmitteln und Seife stieg an. Ebenfalls stieg die Nachfrage von Petroleum zur Beleuchtung der Straßen und Städte zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Alternativ wurde begonnen Kohle zum Zwecke der Gasgewinnung zu veredeln. Öffentliche Gasbeleuchtungen wurden zu dieser Zeit erstmals im Jahr 1814 in England eingesetzt. Die deutschen Unternehmen wurden durch die sich aus der sogenannten Kohlechemie, welche die chemische Grundlage darstellte, entwickelnden Chemie-zweige wie Farbstoffe und Pharmazeutika Weltmarktführer. Diese Entwicklung kristallisierte sich etwa um die Wende zum 20. Jahrhundert heraus und in der Literatur wird auch von einer „Epoche deutscher Hegemonie“ gesprochen. Die Isolierung des Farbstoffes *Anilin* oder das *Haber-Bosch-Verfahren* sind nur zwei bedeutende Errungenschaften der deutschen Chemieindustrie dieser Zeit. Hier ist wieder die enge Verknüpfung zwischen der Industrie und Universitäten beziehungsweise Hochschulen ersichtlich. Der Professor Fritz Haber revolutionierte mit seiner Forschung und der Zusammenarbeit anderer renommierter Kollegen seines Faches kurz vor Ausbruch des ersten Weltkrieges die Herstellung von Stickstoffdünger und Sprengstoffen. Durch den Krieg wurden jedoch auch die Schattenseiten der Chemie beziehungsweise deren Anwendung als Waffe zum Vorschein gebracht: das ebenfalls von Fritz Haber entwickelte Chlorgas wurde in den Grabenkämpfen des ersten Weltkrieges als chemischer Kampfstoff eingesetzt. Der damals rasche Fortschritt im Bereich der Forschung konnte mit finanziellen Mitteln von Industriepartnern erreicht werden, welche sich dadurch neue Herstellungsverfahren und großtechnischen Einsatz der gewonnen Erkenntnisse erhofften. Es entstanden durch die verstärkte Forschung auch neue Anwendungsfelder. Beispielsweise konnten die wissenschaftlichen Prinzipien der Farbstoffchemie auf die Entwicklung von Pharmazeutika, welche einen weiteren wichtigen Faktor für die deutsche chemische Erfolgsgeschichte darstellte, angewendet werden. Somit fächerte sich die industrielle Produktion in neue Produktgruppen auf. [17, 61, 75, 101, 143]

Neben dem Aufstieg der chemischen Industrie zu einem der Leitsektoren der „zweiten industriellen Revolution“ stellte die Elektroindustrie mit all ihren verschiedenen Anwendungsgebieten das zweite Standbein der „neuen Industrien“ Deutschlands dar. [101, 143] Die Anfänge der Elektrizität, welche im Rahmen dieser Diplomarbeit angeführt jedoch nicht ausführlich beschrieben werden, lassen sich viel weiter in der Geschichte zurückführen, als Luigi Galvani 1790 die sogenannte „tierische Elektrizität“ erkannte und sie zu beschreiben begann. Damals konnte L. Galvani zufällig das Zucken von Froschschenkeln beobachten als er unbewusst einen Stromkreis schloss. Dieser und ähnliche Versuche führten den italienischen Physiker Alessandro Volta schließlich im Jahr

1800 zur ersten elektrischen Stromquelle - der *Volta'schen Säule*. Große Wissenschaftler wie Clark Maxwell, bekannt durch seine den Elektromagnetismus beschreibenden Gleichungen, Michael Faraday, welcher im Jahr 1831 bereits die elektromagnetische Induktion nachgewiesen hatte und infolge dessen den ersten funktionsfähigen Dynamo entwickelt hatte, und Werner Siemens, Entdecker des dynamoelektrischen Prinzips, trieben die Entwicklung der Elektrotechnik wie wir sie heutzutage kennen und nutzen weiter voran. [75, 76, 101, 143]

Elektrizität erlangte zuerst in der Nachrichtentechnik großes Aufsehen, da elektrische Signale schneller als die bisherigen optischen Telegraphen die Signalübertragung bewerkstelligen konnten. Durch Militär und staatliche Unterstützung wurden naturwissenschaftliche beziehungsweise technische Versuche vermehrt durchgeführt. Auch die Eisenbahngesellschaften suchten Systeme einer schnellen Nachrichtenübermittlung und Kommunikation mit ihren Zügen auf den meist einspurigen Gleisanlagen. Die deutschen Ingenieure schafften es auch in dieser Branche die importierten britischen Produkte schnell durch höherwertige deutsche zu ersetzen. In den Achtzigerjahren des 19. Jahrhunderts wurden in Deutschland bereits die ersten Ortsnetze für Telefone installiert, jedoch dienten jene nur für Geschäftsgespräche von Konzernen. [75, 143]

Parallel zur Nachrichtentechnik konnten die ersten Versuche eine elektrische Beleuchtung für Städte zu entwickeln beobachtet werden. Ziel war es ein elektrisches System zu schaffen, welches mit den damals gängigen Gasbeleuchtungssystemen in wirtschaftliche Konkurrenz treten konnte. Die Errungenschaft Glühlampe alleine reichte dazu noch nicht aus, erst als der Amerikaner Thomas Alva Edison im Zuge seiner Firmengründungen ein solches System billig zur Verfügung stellen konnte begann dessen Siegeszug als er im Jahr 1882 ein Bankhaus in New York erstmals elektrisch beleuchtete. Problematisch für die großflächige Verbreitung seiner Errungenschaft war die verwendete Gleichstromtechnologie, welche sich nur über kurze Entfernungen wirtschaftlich nutzen ließ, da mit steigender Entfernung der Widerstand der Stromleitungen stetig anstieg. Auf Grund dessen verwendete Edisons Konkurrent, George Westinghouse, die Wechselstromtechnologie, welche schließlich den Durchbruch in der elektrischen Energieübertragung kennzeichnete. Neben diesen beiden Ikonen arbeiteten jedoch auch noch weitere Wissenschaftler, wie beispielsweise Nikola Tesla, an alternativen Übertragungskonzepten und elektrotechnischen Innovationen. [75, 101, 143]

Wendet man sich wieder Deutschland zu, wo sich die 1883 von Emil Rathenau gegründete Deutsche Edison-Gesellschaft im Jahr 1885 von der amerikanischen Version abspaltete und zur Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, kurz AEG, wurde, konnte man auch andere Unternehmen wie beispielsweise Siemens aufblühen sehen. [143] Da in den Neunzigerjahren des 19. Jahrhunderts der Großteil der elektrisch erzeugten Energie nur für die Beleuchtung von Städten verwendet wurde, hatten die damaligen Kraftwerksbetreiber eine stark schwankende Kapazitätsauslastung. Auf Grund dessen wurden neue Anwendungsmöglichkeiten für die produzierte elektrische Energie gesucht. Die Tatsache, dass ab den Neunzigerjahren erste kleine Drehstrommotoren serienreif in großen Stückzahlen und daher billig produziert werden konnten, ermöglichte eine weite Produktpalette an Möglichkeiten. Eine davon war die Straßenbahn, welche von den Großstädten als eine schnelle und praktische Möglichkeit der Fortbewegung entdeckt wurde. Die vielen Vorteile des Drehstrommotors, wie Geräuschlosigkeit, keine direkten Abgase zu produzieren und die

Tatsache, dass die für die Dampfmaschinen benötigten Transmissionen zur Kraftübertragung wegfielen, veranlassten die Industrie die neue Energiequelle Elektrizität für sich nutzbar zu machen. Im Jahr 1906 wurde in Deutschland bereits mehr Strom für Motoren verwendet, als für Beleuchtungseinrichtungen, jedoch war er für die Breite Masse der Bevölkerung noch nicht zugänglich beziehungsweise erschwinglich. [17, 75, 76, 101, 143]

Zusammenfassend erfüllten die beiden neuen Leitsektoren Chemische Industrie und Elektrotechnik unabhängig von einander die Kriterien für einen neuen Führungssektor. Das durch sie hervorgerufene überdurchschnittliche Wachstum sowie ihr stetig steigender Anteil in der Gesamtwirtschaft verhalfen Deutschland zu einem wirtschaftlichen Vorreiter zu werden. Das Wachstumstempo der „neuen Industrien“ überstieg zwischen 1880 und 1913 jenes der Textil- und Steinkohleindustrie, bekannt von der „ersten industriellen Revolution“ bei weitem (siehe erste Hälfte von Unterabschnitt 5.3.1). *„Auch die Nachfragewirkungen auf vorgelagerte Branchen (etwa auf die Metallindustrie und den Maschinenbau im Falle der Elektroindustrie und auf den Braunkohlebergbau im Falle der Chemieindustrie) sowie Vorleistungen für nachgelagerte Branchen (der elektrische Strom als Antriebsenergie für die kleingewerbliche Nutzung oder Kunstdüngerherstellung als Modernisierungsimpuls für die Landwirtschaft) waren mit denen des schwerindustriellen Führungskomplexes während des industriellen Take-off durchaus vergleichbar.“* [143, Ziegler, 2009, S.132] [75, 76, 101, 143]

5.3.2 Die „angloamerikanische Revolution“

Der deutschen Variante gegenüber steht die angloamerikanische. Diese Beschreibung der „zweiten industriellen Revolution“ begründet sich auf das Umstellen der damaligen Industrien zur Massenproduktion. In der Literatur wird etwa in den 1920er Jahren darüber berichtet. Neben dem Aufkommen von Fließbändern waren Begriffe wie *Taylorismus* und *Fordismus*, aus welchen die erwähnten motorisierten Transportstränge somit die Massenproduktion hervorgehen, Kennzeichen für die neue Industrieversion in den USA. [143]

Taylorismus

Der Begriff *Taylorismus* geht auf den Amerikaner Frederick Winslow Taylor zurück, welcher als Gründer der „wissenschaftlichen Betriebsführung“ beziehungsweise „Scientific Management“ gilt. [143] Dies beruht auf der Zerlegung der einzelnen Arbeiten in einem Betrieb und der Dequalifizierung dieser. Wurden früher Arbeitsabläufe über Erfahrung und Faustregeln definiert und anschließend im Produktionsprozess integriert, so änderte sich dieses Denken unter Taylor. Arbeitsabläufe wurden wissenschaftlich fundiert analysiert, zeitlich gestoppt und versucht zu optimieren. Grund für die Anwendung wissenschaftlicher Methoden auf den Arbeitsalltag war der Interessenskonflikt zwischen ArbeitgeberInnen und ArbeitnehmerInnen. F. Taylor erhoffte sich dadurch, neben dem ehrenhaften Ziel „Wohlstand für alle“, eine bessere Kommunikationsbasis zwischen den beiden Parteien. [63, 101, 130]

Eines seiner Prinzipien, auf die er seine Idee der „wissenschaftlichen Betriebsführung“ laut Literatur bezog, lautete, sich den gemeinsamen Interessen von Managern sowie Mitarbeitern gegenseitig bewusst zu werden, um zum größtmöglichen Nutzen beziehungsweise Wohlergehen der Firma und der Gesellschaft zu führen. Das zweite Prinzip forderte das Vertrauen in die neue Wissenschaft der Betriebsführung, welche unabhängig der Partei die erforderlichen Bedingungen für das gemeinsame Wohl festlegte. [63, 130] Er verlangte neben einem großen täglichen Arbeitspensum seiner ArbeiterInnen, hohe Löhne für hohe Arbeitsleistung, Lohneinbußen bei geringeren Leistungen sowie geregelte Arbeitsbedingungen, sprich eine gewisse Gleichmäßigkeit der Arbeit. Des Weiteren ist in der Literatur noch angeführt, dass das tägliche oben erwähnte Arbeitspensum derart hoch bemessen werden sollte, sodass nur eine erstklassige Arbeitskraft für jene Tätigkeit geeignet war. [63, 130, 143]

Taylors Instrumente beziehungsweise Methoden der „wissenschaftlichen Betriebsführung“ konnten jedoch nur unter folgenden Grundprinzipien ihre Funktionalität aufrecht erhalten: die Arbeit an sich kann in eine planende und ausführende Tätigkeit getrennt werden; die beste Art beziehungsweise Ausführung einer bestimmten Arbeit kann mittels wissenschaftlicher Methoden evaluiert werden; der Aufgabenbereich von ArbeiterInnen und Maschinen wird auf eine einzige Tätigkeit begrenzt, um diese zentral in den Arbeitsprozess eingliedern und steuern zu können - es kommt zur Spezialisierung und Zentralisierung von Funktionen; dadurch ist es leichter möglich Arbeitsabläufe zu koordinieren; die Berechenbar- und Beherrschbarkeit externer sowie interner Prozesse in einem Unternehmen stellt ein weiteres Grundprinzip von Taylor dar; des Weiteren reduziert er Menschen allein auf die Tatsache zu arbeiten, um Geld zu verdienen. F. W. Taylor prägte das damalige Bild der Industrien nachhaltig. Seine Theorien werden auch heute noch angewandt und wurden über die Jahre stets weiterentwickelt und stark diskutiert. [63, 130, 143] Seine Kritiker beanstandeten die monotone Atmosphäre, welche durch das Aufteilen gesamter Prozesse in sehr kleine Arbeitsschritte entstand. Die ArbeiterInnen würden dem kreativen Denken beziehungsweise erfinderischen Geist beraubt. Des Weiteren wurde kritisiert, dass die einzelnen Arbeiten zu erhöhter Unfallgefahr führen würden, da die Konzentration unter der Monotonie der Arbeitstätigkeit leide. Eine sehr häufig kritisierte Thematik war, dass durch die „wissenschaftliche Betriebsführung“ die Kenntnisse und sogenannten Faustregeln der einzelnen ArbeiterInnen, welche zuvor ihr alleiniger geistiger Besitz waren und ihren „Arbeitswert“ beziehungsweise Professionalität definierten, in den Datenbanken der Industriellen verschwanden. Einmal analysiert und wissenschaftlich ausgewertet verloren die ArbeiterInnen ihr größtes Gut. Nun laufen sie Gefahr leicht ersetzt werden zu können und müssen dem, ihnen von den ausführenden Organen der „Kopfarbeit“ besser bekannt als Management, vorgegebenen Arbeitstakt folgen und die geforderten Stückzahlen erbringen. Es kommt zur weiter zuvor genannten Dequalifizierung, der Entwertung vorhandener beruflicher Fähigkeiten im Zuge von Rationalisierungs- und Automatisierungsmaßnahmen in der Wirtschaft. [63, 130, 137]

Heutzutage wird der „Fall“ *Taylorismus* und dessen Auswirkungen auf die Gesellschaft erneut aufgerollt. Er gilt zwar als überholt beziehungsweise überwunden, doch taucht sein System im Zusammenhang mit Begriffen wie „Computertechnologie“ und „Informationstechnik“ erneut auf. Jene Berufsgruppen, die dachten ihre Tätigkeit könne nicht wie die der IndustriearbeiterInnen in

kleine Arbeitspakete zu einem gemeinsamen Fließband zusammengeschlossen werden, beginnen die Auswirkungen des „neuen *Taylorismus*“ zu spüren. Beispiele für jene Gruppen sind Ärzte, Abteilungsleiter in Büros und Konstrukteure. Der Mensch gibt im Laufe der geschichtlichen Entwicklung und dem Fortschreiten der Industrialisierung beziehungsweise der Weiterentwicklung der Industrieversionen stets mehr Verantwortung ab und überträgt Tätigkeiten sowie „Kopfarbeit“ immer häufiger computergesteuerten Systemen. [137]

Fordismus

Neben dem im vorigen Absatz erklärtem *Taylorismus* spielt der *Fordismus* für die Definition oder besser Beschreibung der angloamerikanischen „zweiten industriellen Revolution“ eine tragende Rolle. Geprägt hat den Begriff des *Fordismus* der italienische marxistische Philosoph Antonio Gramsci. [94] Namensgeber war der amerikanische Industrielle und Automobilhersteller Henry Ford. Der Begriff *Fordismus* beschreibt im Allgemeinen eine Epoche wachsender Tendenz der Gesellschaft kapitalistische Ideale und Werte anzunehmen. Ausgehend von den USA ab den Dreißigerjahren dauerte diese Epoche bis in die Siebzigerjahre des 20. Jahrhunderts an, wobei die Wirtschaftskrisen das Ende dieser Periode beschreiben. In Europa war die gleiche Tendenz zu erkennen, jedoch erst nach dem Ende des zweiten Weltkrieges. [72, 94, 123]

Generell baut das fordistische System stark auf der, durch den *Taylorismus* ermöglichten beziehungsweise organisierten, Massenproduktion von Konsumgütern auf, welche über festgelegte Standards definiert wurden. Dadurch war ein relativ starkes und konstantes Wirtschaftswachstum in dieser Wirtschaftsepoche möglich. Starke zentrale Gewerkschaften, ein gut ausgebauter Sozialstaat sowie eine keynesianische Wirtschaftspolitik regulierten beziehungsweise stellten die fordistische Produktionsweise sicher. Nimmt man nun die Automobilproduktion als Beispiel, in der sich auch der Namensgründer Henry Ford wiederfinden lässt, verhalf die eingeführte Massenproduktion eine Produktionssteigerung von 19.000 Autos innerhalb von nur 5 Jahren. Wurden im Jahr 1899 in den USA rund 4.000 Automobile gefertigt, stieg diese Zahl im Jahr 1904 auf 23.000. [123] Ein großer Vorteil von standardisierten Massenprodukten ist ihre relativ günstige Herstellung. Henry Ford machte diesen Vorteil für seine Arbeitskräfte nutzbar und ermöglichte ihnen über seine Lohnpolitik die produzierten Autos kaufen zu können. Das Automobil konnte mit Hilfe der Massenproduktion von einem Luxus- zu einem Konsumgut übergeführt werden. Auch andere Konsumgüter (Waschmaschine, Fernseher etc.) wurden mit Hilfe der oben erwähnten Regulationen für die breite Masse der Bevölkerung zugänglich beziehungsweise erschwinglich. Die klassische Fabrik nach Ford wird in der Literatur als ein gesellschaftliches Reproduktionsmodell angeführt, in dem es möglich war die Massenproduktion von Gütern mit dem Massenkonsum der Bevölkerung zu vereinigen beziehungsweise zu koppeln. [72, 94, 123]

Zusammenfassend kann die sogenannte „zweite industrielle Revolution“ oder die „Industrie 2.0“ mit den folgenden Prozessen beziehungsweise Ereignissen beschrieben werden:

- generelle Unterscheidung zwischen der deutschen und angloamerikanischen „zweiten industriellen Revolution“

- Verlagerung der wirtschaftlichen Leitsektoren von der Textil- und Eisenindustrie der „ersten industriellen Revolution“ hin zur Stahlindustrie, chemischen Industrie und Elektrotechnik vor allem in Deutschland
- Umstellung des Produktionsprozesses auf Massenproduktion und deren anschließender Kopplung mit dem gesellschaftlichen Massenkonsum in den USA
- weiteres Voranschreiten der Mechanisierung der Industrie
- die Ausprägung neuer Organisationsformen wie *Taylorismus* und *Fordismus*
- Ausbildung des modernen, internationalen „Konzerns“, Aufstieg der anonymen Kapitalgesellschaft und Zurückdrängung des klassischen Wettbewerbsmechanismus
- generelle Verstärkung früherer, bereits während der „ersten industriellen Revolution“ entstandener, Veränderungen, wie beispielsweise der Landflucht der Bevölkerung in Städte oder der intensive Einsatz von Kapitalmitteln

5.4 Industrie 3.0 - Die „Computer-“ oder „digitale Revolution“

Der Übergang zwischen den einzelnen Industrieverversionen geschieht nie abrupt sondern ist ein schleichendes Phänomen. So auch zwischen der zuvor beschriebenen „zweiten industriellen Revolution“ oder „*Industrie 2.0*“ und der darauf folgenden „*Industrie 3.0*“ beziehungsweise der sogenannten „Computer-“ oder „Digitalen Revolution“ oder „dritten industriellen Revolution“, welche laut Abbildung 5.1 ab den Siebzigerjahren des 20. Jahrhunderts ihre Anfänge hatte. Tauchten im vorherigen Kapitel erstmals neue elektrotechnische Errungenschaften, wie der erste Dynamo, Drehstrommotoren und die entstehende Nachrichtentechnik auf, so wird in diesem Abschnitt auf die Fortschritte und nachfolgenden Innovationen aus diesen neu entstandenen technischen Anwendungsbereichen und Tätigkeitsfeldern näher eingegangen.

Die „*Industrie 3.0*“ trägt ihren Beinamen der „*Computer-*“ beziehungsweise „*digitalen Revolution*“ nicht unbegründet. Wirtschaftssektoren, wie die Elektrotechnik und in weiterer Folge Regelungstechnik erfuhren während und nach Ende des zweiten Weltkrieges einen regelrechten Aufschwung. Es konnte billiger produziert und somit ökonomischer gewirtschaftet werden. Luxusgüter waren, vor allem in Amerika als Gründerland des *Fordismus* (siehe Abschnitt 5.3.2 - *Fordismus*), für die breite Masse der Bevölkerung leicht zugänglich. Dieses wirtschaftliche System der Massenproduktion war auf den daraus resultierenden Massenkonsum der Gesellschaft angewiesen. [3, 72, 75, 143]

Dieter Balkhausen schildert in seinem Buch *Die dritte industrielle Revolution: Wie die Mikroelektronik unser Leben verändert* die Geschichte und den Weg der vorangegangenen Erfindungen, welche schließlich in der Computertechnologie mündeten. Jene Technologie ist jedoch, wie die meisten modernen Innovationen, ein Produkt aus einer Vielzahl von Prozessen und Entwicklungen aus der Vergangenheit, die laufend weiterentwickelt beziehungsweise für die immer neuere Einsatzgebiete erschlossen wurden. Ferdinand Braun, deutscher Physiker und Elektrotechniker, legte

damals im Jahr 1874 den Grundstein für die rund 100 Jahre später folgende „dritte industrielle Revolution“. [3] Er zählte neben anderen genialen Persönlichkeiten, wie dem zuvor angeführten Thomas Alva Edison, Nikolaus Otto, welchem wir den Viertaktmotor verdanken, und Hermann Hollerith, der mit seinem nach ihm benannten Verfahren (*Hollerith-Verfahren*) mit Hilfe einer selbst konstruierten Maschine statistische Zählungen über Lochkarten möglich machte, zum erfinderischen Geist jener Epoche. Das erwähnte *Hollerith-Verfahren* diente, ebenso wie die später im Jahr 1897 von Braun entwickelte und nach ihm benannte *Braunsche Röhre*, oder auch Kathodenstrahlröhre, als Grundlage für die sich entwickelnde Computertechnik zu Beginn der „dritten industriellen Revolution“. [3, 123, 129]

Betrachtet man die Entdeckung von F. Braun, konnte diese ebenso auf die revolutionäre Computertechnologie angewandt werden - der natürliche Halbleitereffekt. Edwin Herbert Hall, seinerseits ein amerikanischer Physiker, entdeckte fünf Jahre nach F. Braun, 1879, durch seine Messanordnungen, dass sich negative Ladungen (Elektronen) eines von Strom durchflossenen festen Körpers durch ein äußeres Magnetfeld beeinflussen lassen, der sogenannte *Hall-Effekt* wurde nach ihm benannt. Aus diesen Experimenten wuchs das Verständnis über die Eigenschaften von Halbleitern wie Silizium oder Germanium, welche mittels eines Überschusses beziehungsweise Mangels an Elektronen für Strom leitend gemacht werden konnten. Im Jahr 1884 bemerkte T. A. Edison, dass sich elektronische Impulse gezielt in einem luftleeren Raum verbreiten lassen können. Wissenschaftler beschäftigten sich weiter mit dem Aufgreifen beziehungsweise dem weiteren Verarbeiten dieser gesendeten Impulse. Es gelang schließlich 1906 dem US-amerikanischen Erfinder Lee De Forest und dem österreichischen Physiker Robert von Lieben das Prinzip der Steuerung von Elektronen zu durchschauen. Eine sich daraus, über die Jahrzehnte entwickelnde Erfindung war die Elektronen-Röhre. Durch sie waren Schaltungen ohne Verzögerungseffekt möglich, welche Technikern erstmals erlaubten komplizierte Prozesse zu regeln, ohne auf eine Kombination einer Vielzahl von anderen Schaltungen angewiesen zu sein. [3, 129]

Den bereits erwähnten natürlichen Halbleitereffekt gewisser Metalle machte sich auch der Kristall-Detektor zu nutze. Jene für einige Jahrzehnte in Vergessenheit geratene Erfindung spürte frischen Wind unter den Flügeln, als sie gegen Ende der Dreißigerjahre des 20. Jahrhunderts im Zuge der Entwicklung leistungsfähiger Empfänger für den Ultrakurzwellenbereich neu entdeckt beziehungsweise aus der Rubrik „Verkannte Erfindungen“ hervorgeholt wurde. Die Schrecken des Krieges hatten technologisch betrachtet auch ihre „Sonnenseiten“, da der technische Fortschritt schneller als zuvor voran getrieben wurde. Es konnte forciert geforscht und auch produziert werden. Durch leistungsfähige Komponenten und Bauelemente war während des zweiten Weltkrieges die Entwicklung einsatzfähiger Radarsysteme möglich. In dieser Zeit konnte sich die Wissenschaft auch einen großen Überblick über das Potential von Metallen wie Germanium oder Silizium aneignen. Die Verwendung reiner Kristalle aus diesen beiden Elementen bildete die Grundlage, um den Halbleitereffekt schließlich praktisch nutzbar zu machen. Eine Gruppe von Wissenschaftlern, bestehend aus Physikern, Metallurgen und Chemikern rund um den Projektleiter William Bradford Shockley machte sich an die Arbeit. Ziel war es, die Fähigkeit jener Metalle, Stromkreise zu schließen oder zu unterbrechen, für die Technik nutzbar zu machen. Die Krönung jahrelanger Versuchsserien war schließlich 1948 die Entwicklung des Transistors. Neben William Bradford

Shockley gelang es John Bardeen, Walter H. Brattain einen weiteren Grundstein für die folgende Computerrevolution zu generieren. Es dauerte jedoch weitere sechs Jahre, bis die neue Innovation im Jahr 1952 kommerziell genutzt werden konnte. [3, 62, 123, 127, 129]

Wie auch im Beispiel Automobil wandten die Industriekonzerne die seit der „zweiten industriellen Revolution“ verfügbare Massenproduktion auf die ab 1952 griffbereite Innovation des Transistors an. Somit konnte dieser in guter Qualität, hohen Stückzahlen und vor allem zu günstigen Preisen produziert werden. Ein weiterer Vorteil des Transistors war seine geringe Größe, die es ihm ermöglichte, in weit mehr technischen Anwendungen Fuß zu fassen als beispielsweise die im Vergleich relativ plumpe Elektronenröhre. All die zuvor genannten Eigenschaften kombiniert mit der Massenproduktion ermöglichte es einer neuen Produktpalette von Radios bis hin zu Fernsehgeräten sich im Leben der breiten Bevölkerung niederzulassen. Radios und Fernsehgeräte gab es bereits vor Erfindung des Transistors, für den Massenkonsum waren sie jedoch noch nicht vollends geeignet. Dieter Balkhausen schreibt in seinem Buch *Die dritte industrielle Revolution: Wie die Mikroelektronik unser Leben verändert* von einer „Formel“, welche der modernen Industriegesellschaft ihre Existenz ermöglicht [3, Balkhausen, 1978, S.50]:

Produktivitätsfortschritt

= *Steigende Einkommen!*

= *Steigender Lebensstandard!*

= *Sozialer Fortschritt!*

Am Beispiel des Transistors lässt sich gut erkennen, dass der technische Fortschritt, neben der Initiative von einzelnen Personen, dem zugeschriebenen Fleiß eines Volkes oder den unterschiedlichen Organisationsformen einer Gesellschaft, ein starker Einflussfaktor zur Steigerung der Lebensqualität ist. [3, 17, 123, 129]

Nach der Erfindung des Transistors kam der technische Fortschritt jedoch keinen Falls zum Erliegen, ganz im Gegenteil: dessen Innovation brachte einen neuen Schwung von Technikern, Unternehmern und Wissenschaftlern auf die Bildfläche. Jene beschäftigten sich mit den stetig steigenden Ansprüchen an die, durch Transistoren möglich gewordenen Techniken und Produkten. Das Verlangen und die Ansprüche der Handels- und Industriekonzerne beziehungsweise der schnell wachsenden Bürokratie des Staates brachten den kleinen Transistor relativ zügig an seine Grenzen. Daher wurden große Geldsummen in Forschung und Entwicklung investiert, um die Kapazitäten der Technologie noch weiter auszubauen. Ein geschichtlich wichtiger Geldgeber war die amerikanische Luftwaffe, die sich, als Teil der US-amerikanischen Streitkräfte, nach dem Ende des zweiten Weltkrieges im sogenannten *Kalten Krieg* mit der Sowjetunion befand. Sie forderten von den Wissenschaftlern kleinere Schaltanlagen für die damaligen elektronischen Systeme, leistungsfähigere, preiswertere und weniger störanfällige Verteidigungssysteme und Steuerungsaggregate für Raketen mit hoher Leistung. Zusätzlich vergaben sie hochdotierte Forschungsaufträge im Rahmen ihrer Förderungsprogramme. [3] Das Jahr 1970 gilt als Geburtsjahr des Mikroprozessors, welcher nach weiteren Entwicklungen die ersten Mikrocomputer-Schaltung

zur Folge hatte. Die wirtschaftlichen Sektoren der Rüstungs- und Computerindustrie sowie das relativ neue Tätigkeitsfeld der Raumfahrt verhalfen den USA zur Vorreiterrolle der neuen dritten technischen sowie wirtschaftlichen Revolution. In den nachfolgenden Absätzen (siehe Unterabschnitt 5.4.1) wird auf die Beweggründe und Ursachen jener militärischen Geldgeber beziehungsweise die Thematik und Rolle des technischen Fortschritts während der Zeit des *Kalten Kriegs* noch näher eingegangen. [3, 62, 123, 127]

Seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erlangte die Computertechnologie immer mehr an Bedeutung. Betrachtet man die Geschichte der menschlichen Zivilisation kann man die Trennung folgender Bereiche beobachten - Reden, Schreiben, Nachrichtentechnik sowie die Datenverarbeitung. Sie konnten jedoch mit Hilfe des Computers vereint werden. Somit war es dieser innovativen Technologie möglich in sehr kurzer Zeit, sprich in nur wenigen Jahren, die unterschiedlichsten Lebensbereiche zu erfassen. Nachhaltige und umfassende Änderungen in Bereichen wie Wirtschaft, Politik, Alltag und Gesellschaft waren die Folge. In der Literatur wird auch auf die Beeinflussung von Mentalitäten und Weltbilder der Bevölkerung hingewiesen. [3, 142]

Der wissenschaftliche Geist der Gesellschaft brachte unabhängig von der geographischen Lage in den Dreißiger- und Vierzigerjahren des 20. Jahrhunderts in Deutschland, Großbritannien und den USA die Anfänge der heute gängigen Computer hervor. Einige Beispiele für diese heute fast urzeitlich anmutenden Maschinen sind unter anderem der „Z1“, der erste funktionsfähige Computer der Welt von Ernst Zuse im Jahr 1937 erfunden, „Colossus“, eine britische Version eines Computers mit Elektronenröhren als Schaltelementen, und der wohl bekannteste frühe Computer: „ENIAC“ (*Electronic Numerical Integrator and Computer*), ein im Jahr 1945 einsatzbereiter amerikanischer Supercomputer. Die treibende Kraft hinter vielen dieser Maschinen war auch hier der Krieg, da zur Decodierung der feindlichen Nachrichtencodes Verfahren und Methoden benötigt wurden. Dabei trat auch der brillante britische Mathematiker Alan Turing auf den Plan. Er entwickelte unter anderem die nach ihm benannte *Turing-Bombe*, eine technische Innovation zum Dechiffrieren von deutschen, mittels deren damaliger Verschlüsselungsmaschine *Enigma* generierten, Nachrichtencodes. Zu Beginn waren diese speziellen und damals leistungsfähigen Gerätschaften nur für Spezialisten zugänglich. In den Sechzigerjahren begann schließlich das neue System der elektronischen Datenverarbeitung, kurz EDV, die bis dahin verwendete Lochkartentechnologie abzulösen. Durch die im oberen Absatz erwähnten elektrotechnischen Neuerungen, wie Transistor und Mikroprozessor, war die Computerrevolution nicht mehr aufzuhalten. Die modernen Geräte erfuhren große Beliebtheit und die Eingliederung in Beruf und Wirtschaftsleben schritt voran. Kleinere und billigere Geräte standen über die Jahre einer immer breiteren Masse der Gesellschaft zur Verfügung. Eine noch höhere Steigerungsrate gelang der Technologie nach dem Jahr 1990, als den Menschen die potentiellen visuellen Anwendungsfelder Kunst, Musik und Kommunikation, vor allem durch das Internet hervorgerufen, dargelegt wurden. Eine großflächige Ausbreitung des Computers in unsere Haushalte, am Arbeitsplatz und der Industrie, wie wir sie heute kennen, war die Folge. Die Entwicklung beziehungsweise der Vorgang wie sich die Computertechnologie ihren Weg ins Leben der Bevölkerung geebnet hat verläuft parallel zu allen anderen großen Erfindungen zuvor, welche zu Beginn immer nur ein paar Auserwählten

zur Verfügung standen und erst viel später durch neue Produktionstechniken der breiten Masse zugänglich gemacht wurden. In der Literatur wird auf diese, die „dritte industrielle Revolution“ auslösenden „Kräfte“ eingegangen und beim Namen genannt: „[...] *Immer kleiner - immer billiger - immer intelligenter! Und glücklicherweise immer energie- und rohstoffsparender! [...]*“ [3, Balkhausen, 1978, S.44] [3, 62, 65, 123, 127, 142]

Ein weiteres Schlagwort der „Industrie 3.0“ lautet *Automatisierung* oder *Automation*. Begann bereits unter H. Ford im Jahr 1913 eine Art der Automation als die reguläre Produktionsstrecke seiner Automobile durch einen vom Fließband definierten Produktionsprozess umgeändert wurde, so setzte der technische Fortschritt diesen Trend weiter fort. Wird die Automation der „zweiten industriellen Revolution“ auch *einfache Automation* genannt, so beschreibt der, für die „dritte industrielle Revolution“ anwendbare, Begriff der *elektronische Automation* die auf die Industrie stark wirkenden Triebkräfte erwähnter elektrotechnischer Neuerungen (Transistoren, Mikroprozessoren, etc). [123] Zur genaueren Unterscheidung dieser beiden Versionen von Automation sei erwähnt, dass die *einfache Automation* die fortschreitende Mechanisierung der Technik beschreibt. Beispiele hierfür sind die Linderung des Arbeitsleides⁵ aus der „ersten industriellen Revolution“, die Eliminierung von „Totzeiten“ im Fertigungsprozess sowie die Tatsache, dass der Mensch nur mehr als Kontrolleur beziehungsweise Führer in einen Produktionsprozess eingeht. Folgen aus diesen Entwicklungen beziehungsweise Umstrukturierungen sind die bereits beschriebenen Effekte, wie die Steigerung der Produktivität mit gleichzeitiger Senkung der gesamtwirtschaftlichen Kosten, für manche Menschen mehr Freizeit sowie eine Erhöhung des Lebensstandards. [123] Im Gegensatz zur *einfache Automation* geht die *elektronische Automation* auf die neu entwickelten Technologien und Verfahren der Elektrotechnik ein. Die Rede ist von elektronischen Datenverarbeitungsmaschinen sowie ersten Computern, die mit ihrer Geschwindigkeit und Rechenkapazitäten ganzen Bataillonen von Lohnbuchhaltern Konkurrenz machten. Mit den neuen Kontroll-, Datenverarbeitungs- und Steuerungsmitteln war es den Menschen möglich die Effizienz des folglich immer mehr integrierten und spezialisierten Gesamtprozesses zur Herstellung von Gütern zu beschleunigen. Kritik wurde jedoch hinsichtlich der Tatsache geäußert, dass die menschlichen Gehirnfunktionen nun durch selbstständig arbeitende Mechanismen möglich gemacht werden. So wurde die „Ersetzung der Gehirnfunktionen“ des Menschen durch elektronisch kontrollierte und gesteuerte Systeme mit unvergleichbarem Geschwindigkeitspotential als neues Element beziehungsweise als eine neue Wirklichkeit angesehen. [17, 102, 123]

Karl Heinz Stefan beschreibt in seinem Buch *Technik der Automation: Eine zweite industrielle Revolution*, dass es sich bei der *Automation* im Allgemeinen, ohne Unterscheidung zwischen oben erwähnten „Versionen“, um ein Kreislauf beeinflussendes Element, welches alle vorhandenen

⁵K. H. Stefan beschreibt mit diesem Begriff die Tatsache, dass in der Zeit um die „erste industrielle Revolution“ die Arbeitskräfte der Fabriken körperlich strapazierende Tätigkeiten, welche in gleichmäßigen Intervallen auszuführen waren, und teilweise sehr monotone, stupide Beschäftigungen auszuüben hatten. [123] Es sei angemerkt, dass K. H. Stefan eine andere Gliederung der „industriellen Revolutionen“ verwendet und die Automation und Entwicklung der Mikroprozessoren als „zweite industrielle Revolution“ sieht. Es handelt sich bei der beschriebenen Industrieversion jedoch um das Arbeitsleid aus der „zweiten industrielle Revolution“ (bezogen auf die Definitionen aus Abbildung 5.1) und der fordistischen beziehungsweise taylorisierten Fabrik (siehe Abschnitt 5.3.2 - *Taylorismus* und Abschnitt 5.3.2 - *Fordismus*). Siehe auch Abschnitt 5.6 für eine alternative Gliederung der Industrieversionen.

Strukturen der Wirtschaft erfasst, handelt. Der genannte Kreislauf ins in Abbildung 5.4 grafisch dargestellt und setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen: Die Automation erfasst zuerst die Produktionsstruktur, später die Wirtschafts- und schließlich die Sozialstruktur, die dann ihrerseits wiederum Auswirkungen auf die Produktionsstrukturen ausübt und den Kreislauf somit schließt. Kurz gesagt bedeutet Automation *Kreislauf der Beeinflussungen*. [17, 102, 123]

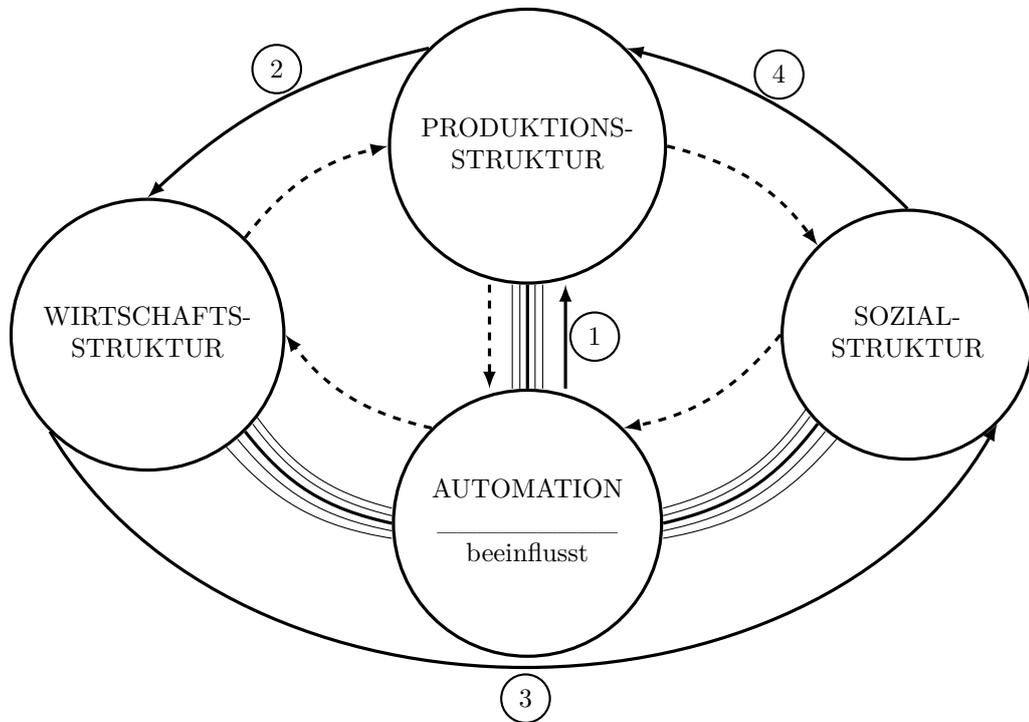


Abbildung 5.4: Automation - Kreislauf der Beeinflussungen (Darstellung in Anlehnung an [123])

Blickt man in der Geschichte zurück, erkennt man einen stetigen Konflikt seit Beginn der „ersten industriellen Revolution“ zwischen den arbeitenden Menschen und Maschinen. Die ArbeiterInnen sehen ihren Arbeitsplatz auf Grund der stetigen Mechanisierung in der Industrie und später während der „dritten industriellen Revolution“ durch elektronische Automation und Roboter bedroht. Ein frühes Beispiel war die Entwicklung der „Spinning Jenny“, welche zu Beginn noch von Hand und später im Laufe fortschreitender Mechanisierung mit Hilfe von Wasserrädern und elektrischer Energie angetrieben wurde. [143] Modernere Beispiele sind die Kombination einer Elektronenröhre, verwendet als früher elektrischer Schalter, mit einem Speicherelement beispielsweise ein Magnetband. Integriert man diese beiden Innovationen auf einer Werkzeugmaschine, erlangt diese das Potential ein ganzes Programm als Arbeitspensum ausführen zu können. Das Magnetband als Speichermedium enthält einen zuvor festgelegten Arbeitsablauf, welcher über die Elektronenröhre den einzelnen Maschinenteilen Stromstöße zuführt. Elektromotoren wandeln jene Stromstöße in mechanische Bewegung um, durch die der Vorschub beziehungsweise die Umlaufgeschwindigkeiten der Werkzeuge und die Bewegung der Stahlträger gesteuert werden kann. Die Kombination aus Elektronenröhre und Magnetbandspeicher erschuf die ersten Vertreter

einer neuen Generation von Fertigungsmaschinen und ist somit einer der ersten Vorläufer moderner CNC-Maschinen (Computerized Numerical Control). Im Jahr 1972 kam die erste serienmäßig mit einem Mikrocomputer ausgestattete NC-Maschine (Numerical Control), mit numerischer Steuerung ausgestattet, auf den Markt und eröffnete somit der Computertechnologie immense Anwendungs- beziehungsweise Entfaltungsmöglichkeiten. Im Jahr 1976 wurde die neu entwickelte CNC-Technologie durch Mikroprozessoren revolutioniert. Seit dem hat sich diese Technologie weiterentwickelt und bietet einen sehr breiten automatisierten Anwendungshorizont in diversen Industriebranchen. [17, 73]

All die zuvor erwähnten Tätigkeiten sind bisher von menschlichen Arbeitskräften ausgeführt worden, die im Laufe der fortschreitenden Automation ihre Existenzgrundlage zu verlieren drohen. [17] Auch wenn es um messtechnische- oder Kontrollarbeiten geht ist der Mensch nicht mehr unbedingt gefordert. Durch die automatisierte Technik und den Einsatz der Computertechnologie können Toleranzen vorgegeben werden, wodurch die Werkzeugmaschine im Stande ist, quasi selbstständig zwischen guten Teilen und Ausschuss zu unterscheiden. [3, 17, 123]

Hingegen der Tatsache, dass die Automation Arbeitsplätze vernichtet, kann ein Anstieg an neuen Jobs beobachtet werden. Der Grund, warum der Fortschritt vor allem als „jobfressend“ in der Gesellschaft aufgefasst wird liegt daran, dass es allen gesellschaftlichen Gruppen generell schwerfällt ihre wachsenden Bedürfnisse beziehungsweise Lebensstandards dem geringeren wirtschaftlichem Wachstum anzupassen. Jedoch eröffnen sich, mit fortlaufender technischer Entwicklung, der industrialisierten Menschheit stets neue Tätigkeitsfelder, Job- oder Berufsaussichten. Beispielsweise benötigt es erfahrene Techniker, um die in der Großindustrie eingesetzten Automaten und elektrischen Systeme zu verstehen und auch mögliche Fehler zu beheben. Es benötigt Spezialisten, die fähig sind, all die komplizierten Mechanismen beispielsweise zur Programmierung eines Elektronenautomaten⁶ zu verstehen und mögliche Fehlerquellen zu eliminieren. Ein anderes Beispiel ist der Beruf des Fernsehtechnikers, welcher erst mit der kommerziellen Verbreitung von Fernseher und Radio in der Gesellschaft entstehen konnte. Mit den Jobs der Computerbranche verhält es sich ebenso. Die Automation als *Kreislauf der Beeinflussungen* greift weiter um sich. [3, 17, 123]

Mit steigender Automation steigt jedoch auch die Angst der Menschen, dass die Technik ihre fiktive Hand ausstreckt und gesicherte Arbeitsplätze verschlingt. Man glaubte, dass gewisse umfangreichere Aufgaben einer Produktionskette trotz voranschreitender Automation eine Vielzahl an Arbeitskräften bedarf und somit diese Tätigkeiten weiterhin von Menschenhand getätigt werden mussten. Am Beispiel einer Fließbandfertigung handelt es sich um scheinbar gesicherte, jedoch bescheidene Arbeitsplätze von fleißigen aber meist nicht sonderlich hoch ausgebildeten Menschen. Diese Tatsache stellt uns jedoch vor eine größere Problematik, auf die im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht genauer eingegangen werden kann. Kurz sei jedoch erwähnt, dass mit Hilfe von starken Gewerkschaften und der richtigen Wirtschaftspolitik die „Schrecken der Automation“ in Grenzen gehalten werden können. [3, 17, 102, 123]

⁶Begriff nach K.H. Stefan - es handelt sich hierbei um Computer (siehe [123])

5.4.1 Der *Kalten Krieg* als Motor der „Industrie 3.0“

Vorweg sei gleich angemerkt, dass das gesamte Themengebiet rund um den *Kalten Krieg*, wie die politische Lage oder diverse Krisen (Kuba-Krise etc.) in dessen Verlauf, zu umfangreich für diese Diplomarbeit ist. Es wird im weiteren nur auf die technische Thematik beziehungsweise die Mechanismen während der Zeit des *Kalten Krieges*, welche den technischen Fortschritt verstärkt vorangetrieben haben, eingegangen.

Der Begriff *Kalter Krieg* erschien erstmals 1946 und ging 1947 als politisches Schlagwort rund um die Welt. Von den schwierigen und hart diskutierten Sitzungen der UN-Atomenergieverhandlungen 1946 inspiriert, prägte ihn unter anderem der amerikanische Journalist Herbert Swope, seinerseits UNO-Abgeordneter der US-Delegation. Ab 1950 wurde der Begriff auf beiden Seiten des „Eisernen Vorhangs“ gängig verwendet, seine exakte Definition ist aber auch wie die der „ersten industriellen Revolution“ eine schwierige. Über den genauen Start- beziehungsweise Endpunkt gibt es Unstimmigkeiten in der Literatur, nicht aber über die Kernthematik schlecht hin - „*die Bombe*“. Die Erkenntnis der Kernspaltung des Uranatoms durch Otto Hahn im Jahr 1938 und der Abwurf der Atombomben gegen Ende des zweiten Weltkriegs im Jahr 1945 auf die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki gilt als Geburtsstunde des Atomzeitalters. [3, 62, 83, 123, 127]

Damals standen sich zwei Lager gegenüber, auf der einen Seite die Vereinigten Staaten von Amerika als Repräsentant für den Westen und auf der anderen Seite die Sowjetunion, ihrerseits Vertreter für den Osten. Der auch als Ost-West-Konflikt in der Literatur erwähnte *Kalte Krieg* stellte die beiden großen vorherrschenden politisch-wirtschaftlichen Systeme Kapitalismus und Kommunismus gegenüber. Jeder wollte den anderen einschüchtern beziehungsweise ihm überlegen sein. Durch Verträge und Abkommen zwischen den USA und der damaligen Sowjetunion wurde versucht die Gefahren eines möglichen Atomkrieges zu bannen und gleichzeitig den friedvollen Nutzen und die Möglichkeiten der neuen Technik gemeinsam auszuloten, denn die gesamte Welt fürchtete sich vor einem möglichen dritten Weltkrieg. Das Vorhandensein der Atombombe in diesem Konflikt, der über 45 Jahre andauerte, war Fluch und Segen zugleich. Einerseits war sie die globale Bedrohung schlecht hin, andererseits bot sie aber auch Sicherheit vor dem Nuklearkrieg. [62, 83, 127]

Über die gesamte Dauer des *Kalten Krieges* kann man ihn als eine Art Hightech-Konflikt bezeichnen. Technischer Rückstand in der Waffentechnik war ein absolutes Tabu sowohl für Ost als auch West. Es wurden Unsummen in die Forschung investiert, um stets einen Vorsprung, vor allem in der Waffentechnik, zu erlangen. Ein Beispiel hierfür war die neuartige Raketentechnik, die gegen Ende des zweiten Weltkrieges erstmal die Weltbühne betrat und auf große Aufmerksamkeit stieß. Den Amerikanern sowie der russischen Regierung fielen nach dem Sieg über das NS-Regime deren Forschungen und Waffensysteme in die Hände, quasi als Kriegsbeute. Diese neue Technologie wurde sofort als zukunftssträchtig eingestuft und weiterentwickelt. Der Fortschritt der Technik im Allgemeinen war so schnell, dass so manche Innovation nach nur ein paar Jahren als Anachronismus⁷ eingestuft wurde. Ein Beispiel dafür ist ein im Jahr 1948 in Auftrag

⁷falsche zeitliche Einordnung einer Errungenschaft beziehungsweise durch die Zeit überholte Einrichtung

gegebenes Luftabwehrsystem von Moskau. Nach seiner Fertigstellung 1957 wurde es als nicht mehr zweckmäßig eingestuft und somit als Anachronismus, da die Bedrohung eines feindlichen Bomber-Angriffes der einer einzelnen Atomrakete wich und das System nicht in der Lage war diese abzuwehren. [3, 17, 62, 83, 123, 127]

Viele heute zivil genutzte Errungenschaften waren zu deren Erfindungszeitpunkt für die Waffentechnik im Einsatz. Mit Hilfe der in den Dreißigerjahren des 20. Jahrhunderts entwickelten Computern konnten, wie bereits weiter oben erwähnt, beispielsweise die benötigte Menge an konventionellem Sprengstoff ermittelt werden, der nötig war, um die ersten Atombomben zu zünden, oder Steuerungssysteme für die Raketentechnologie programmiert werden. Auch das Internet war zu Beginn eine reine Militärtechnologie. Es entstand als Schutz vor Datenverlust während eines nuklearen Weltkrieges und umspannte vorerst nur die wichtigsten Stützpunkte der Amerikaner, um den Datenaustausch untereinander aufrecht erhalten zu können. In den Achtzigerjahren, genauer im Jahr 1983, gliederte man schließlich neben der militärischen Nutzung auch einen zivilen Anwendungszweig ins System ein. Heutzutage kann man noch immer die Wurzeln des Internets zurückverfolgen, da sehr viele für die Verwaltung der Adressen zuständigen Großrechner noch vorwiegend auf amerikanischem Boden stehen. Ab dem Jahr 1983 trat das Internet seinen Siegeszug um die ganze Welt an. Später wird es für die zukünftige „Industrie 4.0“ ein unverzichtbarer Eckpfeiler sein (siehe Abschnitt 5.5). [3, 17, 62, 83, 123, 127]

Weiteren Zündstoff im Ost-West-Konflikt brachte der sogenannte *Sputnik-Schock*, ausgelöst von der Tatsache, dass die Sowjets in der Lage waren den ersten künstlichen Satellit in die Umlaufbahn der Erde zu befördern. Das Ereignis fand 1957 statt und „schockte“ die amerikanische Regierung zutiefst, da niemand den Vorsprung der Sowjetunion wahrhaben wollte. Dies hatte zur Folge, dass der sogenannte *National Defense Education Act* der Amerikaner bereits 1958 auf den Plan gerufen wurde. Diese westliche Bildungsinitiative zielte unter anderem auf die verstärkte Rekrutierung von Wissenschaftlern ab, da der Wettstreit zwischen ihnen und der Sowjetunion nun auch den Weltraum erreicht hatte. Der aus Geschichtsbüchern bekannte „Wettlauf ins All“ beziehungsweise das „Space Race“ begann. Der Kosmonaut Juri Gagarin war schließlich der erste Mensch, der in einer Raumkapsel im April 1961 die Erde für 108 Minuten umrunden durfte. Hatten die Sowjets zwar dieses erste Ziel erfolgreich als Gewinner gemeistert, so mussten sie sich schließlich im Jahr 1969 am 20. Juli im Wettlauf zum Mond zugunsten des Westens geschlagen geben. Den drei Astronauten Neil Armstrong, Edwin E. Aldrin und Michael Collins der Raumkapsel *Apollo 11* gelang es erfolgreich auf der Mondoberfläche aufzusetzen, diese zu betreten und wieder zur Erde zurückzukehren. Aus dieser Ära stammen auch die ersten Satelliten als Überwachungsbeziehungsweise Kommunikationssystem, welche nukleare Detonationen aufzeichnen sollten. Seit dem Jahr 2000 ist auch die sehr genaue Positionsbestimmung über dieses als *GPS* (Global Positioning System) bekannte Programm der USA für Privatpersonen möglich. [62, 127, 142]

Unter US-Präsident Ronald Reagan und dem sowjetischen Generalsekretär Michail Sergejewitsch Gorbatschow kam es schließlich 1987 zum INF-Vertrag (Intermediate Range Nuclear Forces) zwischen beiden Großmächten, welcher die Vernichtung aller nuklearer Mittel- und Kurzstreckenraketen beider Lager und deren Produktionsverbot schriftlich festhielt. Als formales Ende des *Kalten Krieges* gilt die Unterzeichnung der „Charta von Paris“ im Jahr 1990 und dem Zerfall

der Sowjetunion im Dezember 1991. Zuvor kam es noch im Jahr 1989 zur Wiedervereinigung Deutschlands, als Symbol hierfür steht der Fall der Berliner Mauer in der Nacht vom 09. auf 10. November. Ebenfalls im Jahr 1990 wurde der „Zwei-plus-Vier-Vertrag“ oder „Vertrag über die abschließende Regelung in Bezug auf Deutschland“ von der damaligen BRD (Bundes Republik Deutschland) und DDR (Deutsche Demokratische Republik) sowie von den Siegermächten des zweiten Weltkrieges den USA, der Sowjetunion, Frankreich und Großbritannien in Moskau unterzeichnet. „Der zweite Weltkrieg war endgültig zu Ende.“ [127, Stöver, 2007, S.458] [62, 127, 142]

Fasst man die Ereignisse sowie Entwicklungen, welche im Laufe der „dritten industriellen Revolution“ vonstatten gegangen sind, zusammen, können sie an folgenden Punkten festgemacht werden:

- die Entwicklung des Transistors sowie in weiterer Folge des Mikroprozessors stellen die Kerninnovationen der „Industrie 3.0“ dar und legen den Grundstein für die moderne Computertechnologie
- der Siegeszug des, aus der „zweiten industriellen Revolution“ bekannten, Leitsektors der Elektrotechnik schreitet weiter fort und ermöglicht immer neue Anwendungsgebiete wie Nachrichten- und Kommunikationstechnik
- die Mechanisierung und Automatisierung floriert mit Hilfe der Computertechnologie weiter und erreichen neben der Industrie immer vielfältigere Anwendungsgebiete
- durch Innovationen wie Computer kommt es zu einer Umverteilung im Bereich des Beschäftigungsfeldes, wobei der tertiäre Sektor, die Dienstleistungen, immer mehr an Bedeutung gewinnen
- die Entwicklung des Internets stellt den Beginn des Informationszeitalters dar
- über den Ausbau des Internets als weltweites Netzwerk erlangen Sektoren wie Kommunikation und Informationstechnologie einen immer höheren Stellenwert und tragen somit zur voranschreitenden Globalisierung bei
- Atomkraft stellt zu Beginn der „dritten industriellen Revolution“ eine neue Energiequelle dar

Zur Zeit stehen wir am Anfang einer neuen Industrieversion - die „vierte industrielle Revolution“ ist im Begriff definiert und durchgesetzt zu werden. Wie bereits in den vorangegangenen Industrien 1.0 bis 3.0 ist die Trennungslinie zwischen zwei Versionen nie exakt, sondern stets ein Übergangsbereich. Somit stehen wir am Ende der „dritten industriellen Revolution“ und am Anfang einer neuen, die als erste Industrieversion im Vorhinein von der deutschen Bundesregierung im Rahmen der Hightech-Strategie 2020 definiert und ausgerufen wurde - die „vierte industrielle Revolution“ beziehungsweise die „Industrie 4.0“. [2, 5, 6, 10, 11, 13, 82, 108, 117]

5.5 Industrie 4.0 - Die „vierte industrielle Revolution“

Die „erste industrielle Revolution“ beziehungsweise „Industrie 1.0“ begann als der Mensch die ersten Maschinen erfand, welche ihm durch den Ersatz von Muskelkraft Arbeit abnahmen. Mit steigender Anzahl und Variation jener entwickelten Maschinen beziehungsweise der Zuhilfenahme daraus resultierender Automation baute der Mensch seine Industrienationen auf - die „zweite industrielle Revolution“ oder „Industrie 2.0“. Wieder wurde, wie auch bei der ersten Industrieversion, Muskelkraft durch mechanische, elektrische oder thermische Energie ersetzt, jedoch in weit größerem Ausmaß. Die „dritte industrielle Revolution“ beziehungsweise „Industrie 3.0“ manifestierte sich, im Gegensatz zu ihren Vorgängern, durch die Erweiterung der menschlichen Gehirnleistung etwa im selben Maßstab, wie die ersten beiden Revolutionen die Muskelkraft vervielfacht haben. Somit können sie Menschen mit ihrer organischen Intelligenz beflügeln, ihre Lernfähigkeit und Phantasie steigern, da sich eine Vielzahl an neuen Anwendungsbereichen erschlossen hat. Die Frage drängt sich auf, wie sich die zukünftigen Industrieversionen manifestieren werden. Inwiefern spielen die in den Vorgängerversionen als Schlüsseltechnologien agierenden Innovationen und Tätigkeitsfelder eine wesentliche Rolle? Eine Beschreibung beziehungsweise ein Ausblick der kommenden „vierten industriellen Revolution“, von der wir im Begriff sind erfasst zu werden, ist das Kernthema der nachfolgenden Absätze. [2, 3, 5, 82, 102, 117, 137, 141]

Wie auch ihre Vorgängerversionen baut die „Industrie 4.0“ oder „vierte industrielle Revolution“ stark auf der „Industrie 3.0“ beziehungsweise der „dritten industriellen Revolution“ auf. Die ersten Anzeichen einer zukünftigen Industrieversion zeigten sich bereits um die Jahrhundertwende. Kleinere und leistungsfähigere Sensoren, welche zudem billig hergestellt werden können, stets vorhandenes mobiles Internet sowie künstliche Intelligenz und lernfähige Maschinen sind wichtige Schlagwörter beziehungsweise Kennzeichen der aufstrebenden Industrieversion. Seit dem Jahr 2011 wurde der Begriff „Industrie 4.0“ vor allem auf der Hannover-Messe in Deutschland geprägt und intensiv diskutiert. Ein Kernthema ist die Auswirkung der neu beschriebenen Industrie auf die Organisation der globalen Wertschöpfungskette, durch das Zusammenspielen von digitalen Techniken und den aus der Industrie kommenden Produktionsprozessen. [1, 2, 5, 6, 10, 11, 13, 108, 115, 117, 141]

Mit der neuen Revolution wird es möglich sein „intelligente Fabriken“ beziehungsweise sogenannte „smart factories“ zu kreieren, die in der Lage sein werden, miteinander und untereinander zu kommunizieren beziehungsweise zu kooperieren. Wie eine solche Kooperation zwischen den „smart factories“ und anderen Systemkomponenten der „Industrie 4.0“ in Zukunft aussehen könnte, wird in Abbildung 5.6 graphisch veranschaulicht. Der Begriff „smart factory“ beschränkt sich jedoch nicht nur auf die industrielle Produktion, das Ausmaß ist viel größer. Das Umstellen der bisherigen Energieversorgung auf erneuerbare Energiequellen, „Internet der Dinge“, Gensequenzierung, „Cyber-Physical Systems“, Nanotechnologie, „Nomadic Computing“ und Quantencomputer sind im Kontext der „vierten industriellen Revolution“ nur ein paar Beispiele. Die Interaktion zwischen den einzelnen wirtschaftlichen und technologischen Bereichen, welche bereits während der vorangegangenen Industrieversionen stetig erhöht wurde, steigert sich durch die „vierte industrielle Revolution“ erneut (siehe Abbildung 5.5). Ein wichtiger Unterschied zur

Vergangenheit ist jedoch die Beschleunigung mit der der technische Fortschritt voranschreitet. Die Ausbreitung des Internets beispielsweise hat weniger als ein Jahrzehnt benötigt, um die ganze Welt umspannen zu können. [1, 2, 5, 6, 10, 11, 13, 108, 115, 117, 141]

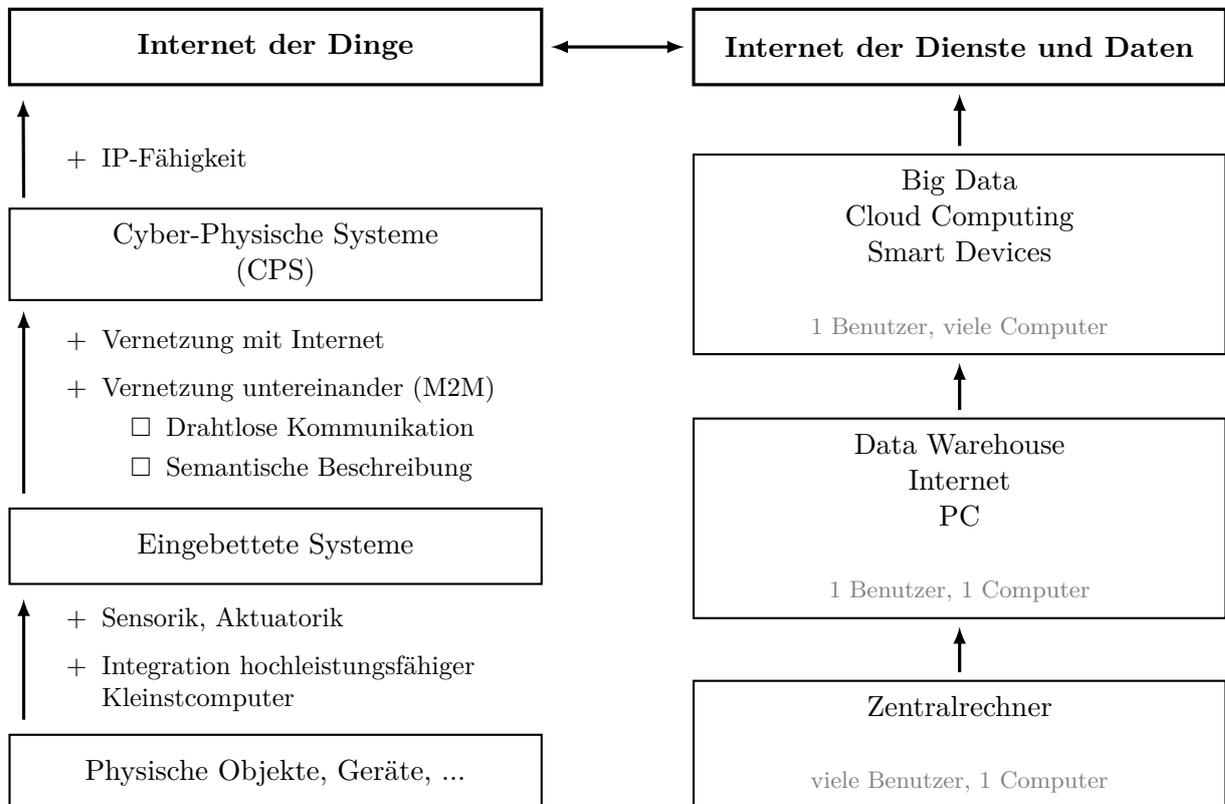


Abbildung 5.5: Technologieentwicklung im Zuge der „Industrie 4.0“; Zu erkennen ist die Annäherung unterschiedlicher Technologien aneinander (Darstellung in Anlehnung an [5])

„Industrie 4.0“ ist ein Marketingbegriff, der auch in der Wissenschaftskommunikation verwendet wird, und steht für ein „Zukunftsprojekt“ (so die Hightech-Strategie-Website) der deutschen Bundesregierung. Die sog. vierte industrielle Revolution, auf welche die Nummer verweist, zeichnet sich durch Individualisierung (selbst in der Serienfertigung) bzw. Hybridisierung der Produkte (Kopplung von Produktion und Dienstleistung) und die Integration von Kunden und Geschäftspartnern in Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse aus. Wesentliche Bestandteile sind eingebettete Systeme sowie (teil-)autonome Maschinen, die sich ohne menschliche Steuerung in und durch Umgebungen bewegen und selbstständig Entscheidungen treffen, und Entwicklungen wie 3D-Drucker. Die Vernetzung der Technologien und mit Chips versehenen Gegenstände resultiert in hochkomplexen Strukturen und cyber-physischen Systemen (CPS) bzw. im Internet der Dinge.“ [11, Gabler Wirtschaftslexikon, Online; 04.08.2017] „Industrie 4.0“ gilt als Aushängeschild der deutschen Bundesregierung und wurde schließlich zum Namensgeber eines Zukunftsprojektes der sogenannten Hightech-Strategie 2020. Mit diesem Projekt soll die Wirtschaftlichkeit sowie die Flexibilität der Produktion gesteigert und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen

Industrien gestärkt werden. [2, 5, 11, 13, 81, 82, 108, 115, 117, 133]

Die sogenannte *Plattform Industrie 4.0* ist stark bemüht die zukünftige internationale Spitzenposition der deutschen Industrien beziehungsweise Produktionsstätten zu sichern und zusätzlich auszubauen. „[...] Sie will den anstehenden digitalen Strukturwandel vorantreiben und die dafür notwendigen einheitlichen und verlässlichen Rahmenbedingungen schaffen. Je mehr sich die Wirtschaft vernetzt, desto mehr Kooperation, Beteiligung und Koordination aller relevanten Akteure wird notwendig. Der Anspruch der Plattform ist es daher, im Dialog mit Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Gewerkschaften und Verbänden ein einheitliches Gesamtverständnis von der Industrie 4.0 zu entwickeln, Handlungsempfehlungen für einen erfolgreichen Übergang zur Industrie 4.0 zu erarbeiten und anhand von Anwendungsbeispielen aufzuzeigen, wie die Digitalisierung der industriellen Produktion in Unternehmen erfolgreich umgesetzt wird.“ [15, Url: <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>, Online; 06.10.2017] [2, 5, 11, 13, 15, 81, 82, 108, 115, 117, 133]

Das Konzept der „Industrie 4.0“ kann auf alle möglichen Anwendungsgebiete übertragen werden. Da der Begriff „Industrie 4.0“ meist in Zusammenhang mit erwähnten Cyber-Physischen Systemen steht, gelten für beide in etwa die selben Beispiele von Einsatzgebieten. Im nachfolgenden Absatz wird auf einige Anwendungsgebiete eingegangen, welche auch für den Begriff der „Industrie 4.0“ zutreffen. [2, 5, 11, 13, 15, 81, 82, 108, 115, 117, 133]

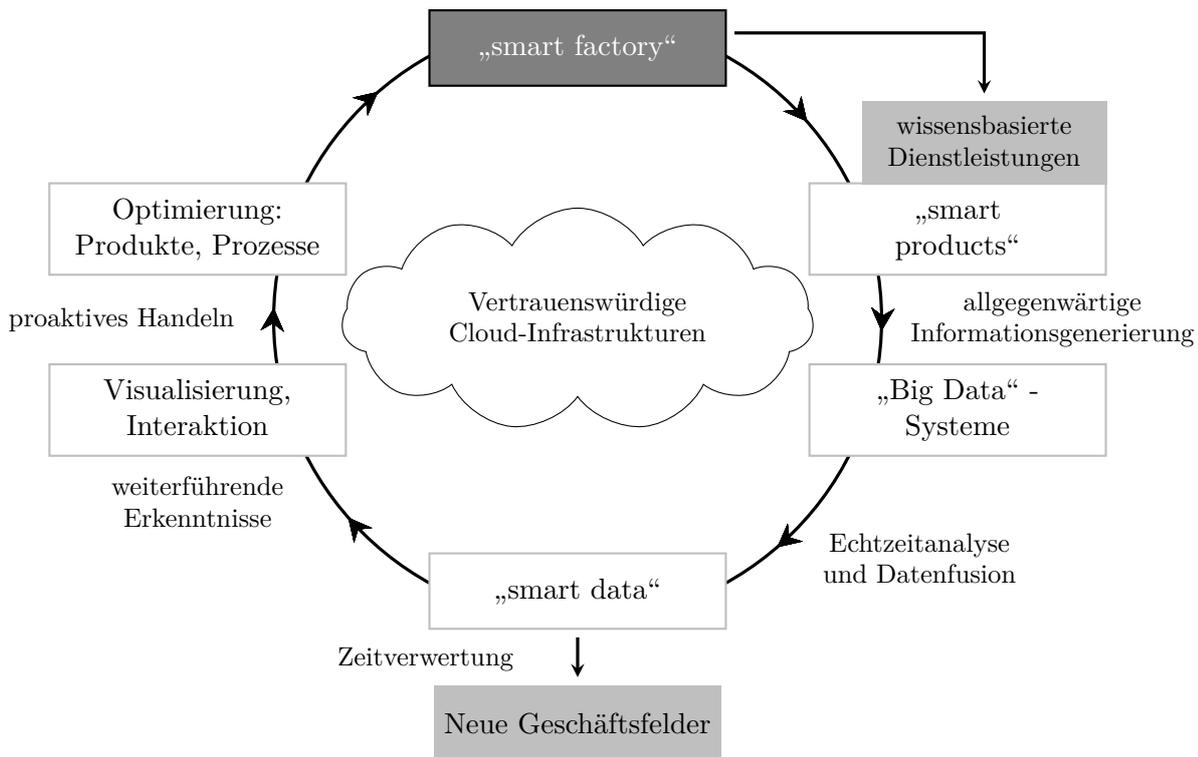


Abbildung 5.6: Kette des Datenflusses in der Industrie 4.0
(Darstellung in Anlehnung an [3])

Ein weiteres, schon angeführtes Schlagwort sind Cyber-Physische Systeme, welche eine Schnitt-

stelle für beziehungsweise eine Brücke zwischen mechanischen, software- und informationstechnischen Systemen oder Komponenten sind. Eine alternative Beschreibung für dieses Phänomen ist das sogenannte „Internet der Dinge“, welches oben genannten (teil-)autonomen Maschinen oder Robotern die Fähigkeit verleiht, sich selbstständig ohne direkte menschliche Steuerung oder Zutun in ihrer Umgebung zu orientieren und fortzubewegen. Es ist ihnen auch möglich eigenständige Entscheidungen zu treffen, da durch die „Industrie 4.0“ alles, nämlich die industrielle Produktion, ihre Produkte und Dienstleistungen, miteinander kommunizieren kann. Über das Internet oder andere Netzwerke wird es den, mit Software und Chips beaufschlagten, Produkten möglich sein sich gegenseitig und auch die zuständigen Unternehmen zu informieren. Einfachste Anwendungen sind beispielsweise das „selbstständige“ Öffnen von Schleusen, Türen oder Fenstern. Diese neue Technologie oder besser gesagt die Verknüpfungen, welche daraus resultieren, können in einer Vielzahl von Bereichen angewendet werden - Mobilität, Produktion, Logistik sowie Energie und Umwelt oder Verteidigung, um nur ein paar aufzuzählen. Systeme zur Steuerung von diversen Fortbewegungsmitteln, wie Auto, Zug oder Flugzeug, Mechanismen zur Prozesssteuerung oder Automation in der Industrie inklusive Robotern, intelligente Energienetze (Smart Grid) zur Verknüpfung von Klein- und Großversorgern oder erneuerbaren Energiequellen, wie Wind- oder Photovoltaikanlagen, Sicherheitseinrichtungen bei Umweltkatastrophen von Erdbeben bis zu Überschwemmungen zur Minimierung des Schadens auf Mensch und Umwelt, sowie militärische Anwendungen von beispielsweise Drohnen zur Aufklärung in Krisengebieten oder als Teil des Verteidigungssystems zur Luftraumüberwachung sind nur einige zukunftssträchtige Anwendungsbeispiele. Jene aufgezählten Systeme agieren teilweise autonom und mit ständiger Verknüpfung zum Internet, um etwaige manuelle Inputs oder Updates erhalten zu können. [1, 2, 5, 6, 10, 11, 13, 53, 81, 82, 108, 115, 117, 141]

Die neue zukünftige Industrieversion ist in ihrer Komplexität nicht alleine mit der Beschreibung des Begriffs von Cyber-Physischen Systemen erledigt. Studien und Bücher beschäftigen sich mit der Analyse aller im Rahmen der „Industrie 4.0“ auftretenden neuen Trends und Begriffen. Folgende Kernthemen konnte eine Datenbankanalyse, durchgeführt von S. Tschöpe, K. Aronska und P. Nythuis, liefern [133, Tschöpe et al., 2015, S.145-149]:

- Smart Grid
- Cyber Physical Systems
- Cloud Computing
- Real Time Data
- Machine to Machine
- Big Data
- Internet of Things

Einige dieser Begriffe finden sich auch in anderen Studien wieder und sind zur Beschreibung der „Industrie 4.0“ essentiell. Sie beschreiben unter anderem neue Technologiezweige beziehungsweise Anwendungsgebiete gegenwärtiger Technologien, die zukünftig immer mehr an Bedeutung erlangen werden. [2, 5, 6, 81, 82, 115, 117, 133, 141]

Ein anderer Artikel, „*Industrie 4.0*“ (siehe [82]), befasst sich mit den Auslösern der bevorstehenden „vierten industriellen Revolution“. Jene ist die erste, welche im Vorhinein definiert wurde und wird beispielsweise im Artikel von Lasi et al. (2014) (siehe [82]) als eine geplante Revolution beschrieben. Bei allen anderen bisher vorangegangenen Industrieversionen definierten die sich mit dem Thema befassenden Wissenschaftler ihren Erscheinungszeitpunkt erst nach deren Auftreten. Die zuvor erwähnten Auslöser beziehungsweise Ursachen für die Entwicklung in Richtung „Industrie 4.0“ rühren einerseits vom Bedarfsog, wie er im Artikel „*Industrie 4.0*“ (siehe [82]) genannt wird, und andererseits vom technologischen Druck, der auf die Industrie herrscht, her. Der erwähnte Bedarfsog wird von sich ändernden Rahmenbedingungen in ökonomischer, gesellschaftlicher sowie politischer Hinsicht hervorgerufen. Einige Schlagworte sind hier Dezentralisierung, Ressourceneffizienz, Individualisierung nach Nachfrage, kurze Entwicklungszeiten sowie Flexibilität. Steigt die Innovationsfähigkeit von Unternehmen, so steigt auch deren Überlebensfähigkeit am Markt, da Entwicklungen in kürzeren Zeiträumen geschaffen werden können. [5, 82]

Auch müssen sich Unternehmen an den in den letzten Jahrzehnten stark steigenden Trend der Individualisierung orientieren. Solch individuell gefertigte Produkte für die genauen Wünsche des Kunden nennt man auch Produkte der „Losgröße 1“ und werden immer häufiger gefragt, was eine höhere Flexibilität der Produktion induziert. Um diesen neuen Anforderungen gerecht zu werden, setzen Firmen immer öfters auf dezentralisierte Produktions- und Organisationsformen. Geläufige organisatorische Hierarchien werden zugunsten höherer Flexibilität abgebaut. Des weiteren rückt das Thema Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz immer stärker in den Mittelpunkt. Da so mancher Rohstoff knapp wird und die daraus resultierenden Kosten steigen, ist auch die Industrie gezwungen diesbezüglich Änderungen beziehungsweise Anpassungen an den gesellschaftlichen Wandel durchzuführen. Lasi et al. (2014) (siehe [82]) spricht von einer Effizienzsteigerung in ökonomischer und ökologischer Hinsicht. [5, 82]

Neben dem bereits erwähnten Bedarfsog existiert laut Lasi et al. (2014) (siehe [82]) noch ein nicht zu unterschätzender Technologiedruck. Im privaten Sektor sind Technologien wie Smartphones und Co bereits gängig vertreten und etabliert, der industrielle Sektor hingegen hinkt etwas hinterher. 3D-Druck, Smartphones, Laptops, Apps, Web 2.0 sind nur ein paar von vielen Technologien. Die Mechanisierung und Automatisierung schreitet weiter voran und mit ihr der Einsatz von Hilfstechnologien, welche die arbeitenden Menschen unterstützen oder sie gar ersetzen. Beispielsweise sind „autonome Fertigungszellen“ in der Lage vielfältigste Arbeitsschritte, angefangen von operativen über dispositiven bis hin zu analytischen, zu vereinen. Zusätzlich können diese Zellen eine bestimmte Produktfertigung selbst optimieren beziehungsweise führen und das über mehrere Stufen hinweg. [5, 82]

Ein weiterer Ansatz beziehungsweise eine weitere Ursache des Technologiedruckes ist die zu-

nehmende Miniaturisierung diverser technischer Hilfsmittel wie etwa Computer. Die bereits im Verlauf der „dritten industriellen Revolution“ zu verzeichnende Verkleinerung der für die modernen Computer notwendigen Komponenten, von Transistoren bis hin zu Mikroprozessoren, setzt sich weiter fort und ermöglicht immer kleinere, platzsparendere Lösungen für moderne Geräte. Zusätzlich zur geringeren Größe steigt jedoch die Leistungsfähigkeit, welche neue Anwendungsfelder hinsichtlich Logistik oder Produktion eröffnet. Dieser Trend wird durch das *Moor'sche Gesetz* beschrieben, welches besagt, dass sich die Rechenleistung von Computern in etwa alle 18 bis 24 Monate verdoppelt. [5, 82]

Des Weiteren kommt es im Laufe der Zeit zum Anstieg des Vernetzungsgrades und der Digitalisierung. Ausgehend von der RFID-Technologie (Radio-Frequenz-Identifikations-Chip), auf deren gängigste Anwendung in den folgenden Absätzen noch näher eingegangen wird, wurden immer neue eingebettete Systeme entwickelt und zusätzlich mit Sensoren und Aktoren ausgestattet. Bereits 98% der verwendeten Prozessoren werden nicht in Computern sondern in intelligenten Objekten beziehungsweise Systemen verbaut und verwendet. Ein moderner Mittelklassewagen beispielsweise verfügt über etwa 150 dieser eingebetteten Systeme. Dies hat zur Folge, dass eine große Menge von Daten, einerseits von Sensoren und andererseits von Aktoren, zur Verfügung stehen und für neue Analysen oder Steuerungen aufgegriffen werden können. [5, 82]

Durch die Vernetzung der einzelnen Geräte und Komponenten eines Prozesses entsteht daraus ein digitaler Prozess, welcher in weiterer Folge zu einer vollständig digitalen Umgebung heranwachsen kann. Diese Entwicklungen sind ihrerseits wieder Triebkräfte für Innovationsschübe anderer neuartiger Technologien wie zum Beispiel Simulationen, digitalen Absicherungen oder Virtueller Realitäten. [5, 82]

Klaus Schwab spricht in seinem Buch *Die vierte industrielle Revolution* sogar von Megatrends, welche er in physische, digitale und biologische unterteilt. Eine sich durchziehende Gemeinsamkeit aller Megatrends ist die Informationstechnologie beziehungsweise Digitalisierung. Gensequenzierung oder hoch entwickelte Robotik wäre ohne die stark gesteigerte Rechenleistung von Computern in diesem Ausmaß das wir heute kennen nicht zu bewerkstelligen. Die Verstrickung der einzelnen Technologien sowie der drei genannten Megatrends untereinander birgt großes Potential für jede Technologie im Einzelnen betrachtet. [117]

K. Schwab unterteilt seine physischen Megatrends in folgende weitere Gebiete: neue Materialien, 3D-Druck, selbstfahrende Kraftfahrzeuge sowie fortgeschrittene Robotik. Neue Materialien spielen in der heutigen Zeit als auch zukünftig eine wichtige, tragende Rolle für Innovationen. Eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten werden mit neuen Materialien erschlossen, welche von ein paar Jahren kaum denkbar waren. Beispielsweise existieren Metalle und Keramiken, welche die Fähigkeit besitzen Druck in Energie umzuwandeln, oder intelligente Metalle mit der Fähigkeit nach mechanischer Verformung ihre ursprünglichen Ausgangsform wiederherzustellen. Graphen oder wiederverwertbare duroplastische Kunststoffe bergen mit ihren Eigenschaften das Potential die Herausforderungen der Zukunft, wie eine funktionierende Kreislaufwirtschaft, zu meistern. Bei kostengünstiger Produktion sind den Anwendungsmöglichkeiten von neuen Materialien keine Grenzen gesetzt. Der limitierende Faktor sind zur Zeit die Herstellungskosten. Auch der 3D-

Druck birgt großes Potential für die Zukunft. Als ein flexibles Fertigungsverfahren, das je nach Kundenwunsch andere Produkte erschafft, zählt es als eine der Schlüsseltechnologien, um den wachsenden Anforderungen am wirtschaftlichen Markt gerecht zu werden. Dadurch ist es möglich, Individualisierung als Leistung im Unternehmen zu implementieren, da mit Hilfe des 3D-Drucks jegliche Kundenanfrage bearbeitet beziehungsweise angenommen werden kann. Wissenschaftler arbeiten bereits an einem 4D Verfahren, welches auf die Umweltbedingungen reagierende Produkte ermöglichen soll. Eine Einsatzmöglichkeit der genannten Technologie könnten medizinische Implantate, deren Eigenschaft es ist, sich ideal an den menschlichen Körper anzupassen, sein oder intelligente Kleidung und Schuhe, welche auf Feuchtigkeit und Hitze reagieren. [5, 56, 117] Auch im erwähnten Entwicklungsfeld der selbstfahrenden Fahrzeuge, von Autos, Lkws über Flugzeuge bis hin zu Schiffen, ist ein rasanter Fortschritt zu verzeichnen. Durch die stetige Weiterentwicklung der Sensorik und des Potentials von künstlicher Intelligenz erhoffen sich Techniker eines Tages Drohnen als autonom agierende Maschinen einsetzen zu können. Mit ihrer Hilfe kann es beispielsweise möglich sein, Stromleitungen selbstständig auf Fehler oder Verschleiß zu überprüfen, Transportlieferungen in gefährliche Gebiete durchzuführen oder bei landwirtschaftlichen Tätigkeiten eine präzise und effiziente Nutzung von Wasser oder Dünger mit Hilfe von Datenanalysen zu gewährleisten. Betrachtet man das letzte Gebiet, welches K. Schwab als einen physischen Megatrend beschreibt, - fortgeschrittene Robotik - so kann man einen ähnlichen Trend wie bei der Entwicklung von Drohnen erkennen. Wurden Roboter zuvor vorwiegend in der Industrie für definierte Aufgaben eingesetzt, so können sie laut zukünftigen Prognosen ebenfalls in der Landwirtschaft oder im Bereich der Krankenpflege eingesetzt werden. [5, 56, 117]

Immer öfters verwendet man aus der Biologie inspirierte, nachempfundene komplexe Strukturen, um die Anpassungsfähigkeit beziehungsweise Flexibilität von Robotern zu steigern und somit die Mensch-Maschinen Interaktion vereinfachen zu können. Wie auch bei den zuvor erwähnten Drohnen ermöglichen neue, fortschrittliche Sensortechnologien eine wachsende Anwendungspalette von zu übernehmenden Aufgaben durch Roboter. Über Cloud Computing sind sie in der Lage Informationen aus der Ferne abzurufen und mit anderen Systemen zu interagieren. [5, 56, 117]

Der nächste genannte Megatrend, der digitale, spannt eine Brücke zwischen der physischen und digitalen Welt. „Internet of Things“ wäre ein Beispiel dafür. Wieder spielt die Sensorik eine wesentliche Rolle, um eben diese Brücke sicherzustellen. Sie liefert Informationen über den Standort mit Hilfe sogenannter RFID-Chips und somit über den aktuellen Zeitplan, etwaigen Verzögerungen oder Problemen beispielsweise bei der Zustellung eines Paketes. Durch das Anwenden dieser Technologien ändert sich auch die Art und Weise, wie wir unsere Liefer- und Produktionsketten koordinieren als auch steuern. Der intelligente Rohling ist im Stande der Werkzeug- beziehungsweise Bearbeitungsmaschine seine gewünschten Verarbeitungsschritte mitzuteilen. Dies stellt nur eine von vielen Anwendungsmöglichkeiten dar. [5, 56, 117]

Des Weiteren sind in einer intelligenten Umgebung auch die Maschinen einer Fabrik untereinander vernetzt und können sich dadurch Informationen über freie Kapazitäten mitteilen, was den Produktionsprozess effektiver gestaltet. Das Potential zur Überwachung von Anlagen

oder Tätigkeiten steigt und hat zur Folge, dass sich Wirtschaftszweige von der industriellen Produktion bis hin zum Gesundheitssystem umorganisieren werden. Ein Beispiel für die neuartige Kommunikation zwischen Institutionen und einzelnen Personen ist die „Blockchain“. Es handelt sich hierbei um ein Sicherheitsprotokoll bestehend aus und ausgeführt von einem ganzen Netzwerk an Computern, welche Transaktionen zuerst überprüfen, aufzeichnen und schließlich genehmigen. Ziel dieser Technologie ist eine gewisse Vertrauensbasis zwischen sich untereinander nicht kennenden Menschen zu gewährleisten. Die geläufigste und wahrscheinlich bekannteste Anwendung der „Blockchain“ stellt die digitale Währung *Bitcoin* dar. [5, 56, 117]

Den digitalen Megatrend kann man zusätzlich bei der Ausprägung und Verbreitung von technologiegestützten Plattformen, auch „On-Demand Economy“ oder „Sharing Economy“ genannt, beobachten. Diese dienen dem Zwecke Daten, Wirtschaftsgüter sowie Menschen zusammenzubringen und dadurch eine völlig neue Konsumstruktur von Gütern und Dienstleistungen zu schaffen. Praktische Anwendungen solcher Plattformen sind im Geschäftsmodell von *Uber* zu finden, es stellt heute das größte Taxiunternehmen der Welt dar und das ganz ohne eigene Fahrzeuge. Technologiestützten Plattformen haben den großen Vorteil Angebot und Nachfrage sehr plakativ, einfach und preisgünstig zu vereinen. Diese Eigenschaft bringt Menschen dazu über ihre Möglichkeiten nachzudenken und diese eventuell mit anderen zu teilen - einen Sitzplatz im Auto als Mitfahrgelegenheit, eine Übernachtungsmöglichkeit im leerstehendem, ausgedientem Kinderzimmer oder eine alternative Dienstleistung in der Form einer Fahrradreparatur - den Anwendungsmöglichkeiten sind keine Grenzen gesetzt. [5, 56, 117]

Zuletzt definiert K. Schwab die biologischen Megatrends, allem voran die neu erworbenen Möglichkeiten der Gensequenzierung, welche über die Zeit immer erschwinglicher und praktischer werden. Die Entschlüsselung unseres oder jedes beliebigen Genoms stellt als Anwendung jedoch nur den Anfang dar. Wissenschaftler werden in der Lage sein je nach gewünschter Eigenschaft beziehungsweise des zu produzierenden Gutes die DNA von Organismen so zu verändern, wie es für die jeweilige Anwendung optimal ist. Im Zuge dessen werden gravierende Veränderungen in der Landwirtschaft, Medizin oder Industrie zu spüren sein. Mikroorganismen, welche zur Erzeugung von Biokraftstoffen verwendet werden, können durch genetische Veränderung noch produktiver werden. Auch die gängigsten Krankheiten wie Herzerkrankungen, Krebs oder Diabetes könnten im Rahmen der personalisierten Medizin gezielter behandelt werden. Genetisch manipulierte Tiere als Spender für Menschen bei Organtransplantationen oder in diesem Kontext verwendete 3D gedruckte lebende Zellstrukturen, sogenanntes „Bioprinting“, besitzen das Potential zum zukünftigen Alltag werden zu können. All diese Anwendungen und Technologien bergen selbstverständlich immens viel Diskussionspotential, wenn man sich Themen wie Designer-Babys und deren Auswirkungen auf zukünftige Generationen oder die Preisgabe von persönlichen Daten über den eigenen Gesundheitsstatus genauer betrachtet. Die Diskussionen über Vor- und Nachteile der genannten Technologien und deren Anwendungen sind bereits in vollem Gange und betreffen alle, da es Ethiker, Biologen sowie Wirtschaftstreibende benötigt, um alle Aspekte abdecken zu können. [56, 117]

In Tabelle 5.3 ist ein grober Überblick über mögliche Anwendungsgebiete der Technologien der

„vierten industriellen Revolution“ gegeben und spiegelt die Erwartungshaltung gegenüber der jeweiligen Technologie beziehungsweise Innovation und deren Realisierbarkeit bis zum Jahr 2025 von 816 befragten Personen wieder. Die Bandbreite, wie bereits oben erwähnt, geht von der 3D gedruckten Leber über implantierbare Handys bis hin zum Zugang zu Internet für bis zu 90% der Weltbevölkerung. [56, 117]

Tabelle 5.3: Wendepunkte, die sich bis zum Jahr 2025 ereignen sollen [117]

	of ... % of respondents
10% of people wearing clothes connected to the internet	91,2
90% of people having unlimited and free (advertising-supported) storage	91,0
1 trillion sensors connected to the internet	89,2
The first robotic pharmacist in the US	86,5
10% of reading glasses connected to the internet	85,5
80% of people with a digital presence on the internet	84,4
The first 3D-printed car in production	84,1
The first government to replace its census with big-data sources	82,9
The first implantable mobile phone available commercially	81,7
5% of consumer products printed in 3D	81,1
90% of the population using smartphones	80,7
90% of the population with regular access to the internet	78,8
Driverless cars equalling 10% of all cars on US roads	78,2
The first transplant of a 3D-printed liver	76,4
30% of corporate audits performed by AI ^a	75,4
Tax collected for the first time by a government via a blockchain	73,1
Over 50% of internet traffic to homes for appliances and devices	69,9
Globally more trips/journeys via car sharing than private cars	67,2
The first city with more than 50,000 people and no traffic lights	63,7
10% of global gross domestic product stored on blockchain technology	57,9
The first AI ^a machine on a corporate board of directors	45,2

^a Artificial Intelligence Quelle: [56, S.7]

Wie auch während der vorangegangenen drei Industrieversionen („Industrie 1.0 - 3.0“) seit Beginn der „ersten industriellen Revolution“ ist auch die Unterscheidung zwischen Industrialisierung und neuer Industrieversion eine schwierige. Da der Begriff der „Industrie 4.0“ ein von der deutschen Bundesregierung im Vorhinein definierter ist und auch als Marketingbegriff Gebrauch findet, entzieht er sich etwas einer wissenschaftlichen Präzisierung. Dies gilt jedoch auch für die vorangegangenen „industriellen Revolutionen“, angefangen von der ersten bis zu dritten, welche bereits zuvor beschrieben wurden und deren exakte Definition als solche in der Literatur nicht zu finden war. Jede Industrieversion an sich aber barg stets positive als auch negative Aspekte hinsichtlich der gesellschaftlichen, sozialen, technologischen oder umwelttechnischen Entwicklungen. Durch die „vierte industrielle Revolution“ können beispielsweise die gesteigerte

Ressourceneffizienz von Konzernen, eine verbesserte Ergonomie⁸, die gesteigerte Wandlungsbeziehungswise Anpassungsfähigkeit sowie ein aufgebessertes Sicherheitsniveau in manchen Bereichen, wie beispielsweise das Aufklären von Krisengebieten durch Drohnen anstatt Menschen, beobachtet werden. Jede Technologie hat aber auch ihre Schattenseiten, sodass die sehr komplexen, im Zuge der „Industrie 4.0“ verwendeten Strukturen sehr fehleranfällig sind. Beispielsweise bergen autonome Systeme die Gefahr sich falsch beziehungsweise unkorrekt zu entscheiden, da sie an Regeln gebunden sind, die eventuell unpassend oder veraltet sind. Auch können Situationen oder Vorgänge falsch interpretiert werden und dadurch zur Gefahrenquelle heranwachsen. Durch fehlgeleitete Maschinen oder Roboter kann es zu Verletzungen von Menschen und Unfällen kommen, was die sogenannte soziale Robotik durch moralisch automatisierte Entscheidungshilfen (Maschinenethik) zu unterbinden versucht. [2, 10, 11, 117]

Auch werden wir gläserner je vernetzter wir sind. „Smart Living“, „Smart Grids“ oder medizinische Roboter bieten die erwähnten Vorteile von Ressourceneffizienz und Co, basieren jedoch auf dem kontinuierlichem Austausch von Daten, welche Gefahr laufen, Hackern ins Netz zu gehen. Ein aktuelles Beispiel liefert die NSA-Affäre, welche das Denken über die Sicherheit von intelligenten Netzwerken in der Politik, Gesellschaft und in Unternehmen weiter sensibilisiert hat. Mit dieser Tatsache beschäftigt sich die sogenannte Informationsethik, welche versucht eben diese Hackangriffe, Systemmanipulationen, fälschliche Datennutzung oder die Lieferung von fehlerhaften Informationen zu verhindern. Wie bereits ein paar Absätze zuvor erwähnt spielt Ethik im Punkt Sicherheit von neuen Technologien eine wichtige Rolle. Die genannte Maschinenethik und Informationsethik wird hinsichtlich „Industrie 4.0“ noch von der Arbeitsethik ergänzt, welche sich mit den möglichen Auswirkungen des Ersetzens von menschlichen Arbeits- und Fachkräften durch (teil-)autonome Maschinen beschäftigt. [2, 10, 11, 117]

Bezüglich Ökologie steigert sich die Ressourceneffizienz gängiger Verfahren beispielsweise durch das frühzeitige Erkennen von fehlerhaften Produkten oder Teilen, welches die Anzahl von Ausschüssen reduziert. Die Energieeffizienz kann unter anderem mit Start-Stopp Funktionen verwendeter Maschinen oder durch auf Daten gestützte Logistik, welche optimierte Transportrouten beziehungsweise Auslastungen erkennen und umgehen kann, gesteigert werden. Auch wird es in Zukunft leichter sein den Ressourcenverbrauch für unterschiedliche Produkte und Güter nachvollziehen zu können. Dadurch kann wiederum jener Verbrauch minimiert werden oder, durch Betrachtung des Lebenszyklus der einzelnen Produkte, eine bestmögliche Implementierung in eine Kreislaufwirtschaft erfolgen. [2, 5, 6, 117]

Hinsichtlich der Wirtschaft beziehungsweise Ökonomie bietet die neue Industrieversion Vorteile in der Produktion von individuellen Produkten, da mit Hilfe von beispielsweise RFID-Chips und anderen Sensoren Informationen über die jeweiligen Fertigungsschritte gespeichert und vermittelt werden können. Somit und durch den Einsatz von 3D-Druckern kommt man der individualisierten Massenproduktion einen Schritt näher. Des Weiteren steigt dadurch die Widerstands- und Regenerationsfähigkeit der Wirtschaft gegenüber Krisen oder Ausfällen in der Infrastruktur. Die Geschwindigkeit solche Wirtschaftskrisen abzufedern steigt, da mit Hilfe von Big Data bessere Zu-

⁸Ergonomie wird in diesem Kontext als die Anpassungsfähigkeit des Menschen an seine Arbeit und umgekehrt verstanden. Begründet wird diese durch das Erforschen menschlicher Fähigkeiten und auch Eigenarten. [4]

kunftsprognosen erstellt werden können. Zusätzlich dazu verfügen die Technologien der „Industrie 4.0“ das Potential für neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen, welche sich auf Basis von Plattformen oder Netzwerken entwickeln können. Ein weiterer Vorteil oder Nachteil, je nachdem welche Ansichten man vertritt, ist der Einsatz von intelligenten Systemen zur Assistenz von menschlichen Arbeitern. Diese Anwendung hat zur Folge, dass die Arbeitsbedingungen erleichtert werden, aber auch, dass die Lebensarbeitszeit verlängert werden könnte. Andererseits wird in der Literatur von einer besseren Work-Life-Balance berichtet, welche es den Menschen erlaubt Berufs- und Familienleben besser in Einklang zu bringen. Auch sollen alle Mitarbeiter über werksinterne soziale Netzwerke und Medien in der Lage sein ihre individuelle Verfügbarkeit bestimmen zu können, die den Menschen wiederum in den Mittelpunkt der Arbeitswelt befördern soll. Gleichzeitig wird das Arbeitsumfeld interdisziplinärer, da einstige „MaschinenbedienerInnen“ neben ihrer eigentlichen Funktion Kontroll- und Beratungsaufgaben übernehmen, um die Balance zwischen Flexibilität und Effizienz der Produktionsstraße gewährleisten zu können. Zusätzlich werden schon erklärte intelligente Assistenzsysteme, wie „Virtual Reality“ Brillen, oder Cyber-Physische Systeme im Einsatz sein, welche die Mitarbeiter durch Optimierungs- und Wartungsaufgaben entlasten. [2, 5, 6, 117]

Wie genau die Zukunft der Produktion, Industrie oder der Gesellschaft im Detail aussehen wird, kann noch nicht vorhergesagt werden. Neue Technologien bieten mit ihren Anwendungsmöglichkeiten beziehungsweise ihrem Potential Veränderungen und Entwicklungen auszulösen jedoch eine grobe Abschätzung der Zukunft. Die vorangegangenen Absätze sind Prognosen von Wissenschaftlern jeglicher Art und stützen sich auf die Erfahrungen, welche während der vorangegangenen Industrieverversionen gesammelt werden konnten. Auf diese Erfahrungen muss auch die neue „Industrie 5. - Imagineering Nature“ aufgebaut werden, für welche versucht wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit diverse Grundregeln zu finden.

Zusammenfassend kann die im vorangegangenen Absatz beschriebene „Industrie 4.0“ beziehungsweise „vierte industrielle Revolution“ mit folgender Aufzählung beschrieben werden:

- mit Hilfe von intelligenten und digital vernetzten Systemen soll die Industrie mit moderner Informations- sowie Kommunikationstechnologie verkettet werden
- über das Internet der Dinge soll es Menschen, Geräten, Maschinen und Sensoren möglich gemacht werden sich zu vernetzen sowie miteinander zu kommunizieren
- Technologien wie Cyber-Physische Systeme sollen in der Lage sein eigenständig Entscheidungen zu treffen und Problemstellungen beziehungsweise Aufgaben größtenteils autonom zu bewältigen
- digitalisierte Prozesse sowie Anlagenschemata sollen ein virtuelles Abbild der Realität ermöglichen, sodass Fehler bereits im Vorfeld wahrgenommen und behoben werden können
- technische Assistenzsysteme, wie beispielsweise „Virtual Reality“ Brillen, sollen über die Darstellung von angesammelter, visualisierter Information den Menschen unterstützen

- Transparenz von Daten und Prozessen, Sicherheit und auch Effizienz soll mit Hilfe von Werkzeugen der „Industrie 4.0“ (Smart Grid, Cyber-Physische Systeme, Cloud Computing, Big Data, etc.) verbessert werden

5.6 Alternative Einteilung bisheriger Industrien hinsichtlich ihrer Hauptenergieträger

Wie bereits eingangs erwähnt (siehe Abschnitt 5.2) vertreten Industrialisierungsforscher unterschiedlichste Ansichten bezogen auf die „industriellen Revolutionen“ beziehungsweise Industrieversionen. So manch einer zählt die „zweite Industrielle Revolution“ wie sie im Abschnitt 5.3 beschrieben wurde nicht als solche, sondern zählt die Entwicklungen dieser Periode zu den Auswüchsen der „industriellen Revolution“ seit Ende des 18. Jahrhunderts. Gründe dieser, von der verwendeten Gliederung der vorliegenden Forschungsarbeit abweichenden, alternativen Einteilung der unterschiedlichen Industrieversionen beziehungsweise „industriellen Revolutionen“ werden in den kommenden Absätzen näher diskutiert und erklärt. Eine schematische Darstellung der alternativen Einteilung der „industriellen Revolutionen“ ist in Abbildung 5.7 zu finden.

Einige Autoren, wie Leo Brandt oder Karl Heinz Stefan (siehe [17] und [123]), beziehen sich in ihrer Beschreibung der „industriellen Revolutionen“ auf die neu auftretenden Energieformen, wie beispielsweise die wirtschaftliche Verwendung der Kohle zu Beginn der „ersten industriellen Revolution“. Für sie beide war die „zweite industrielle Revolution“, wie sie in Abschnitt 5.3 beschrieben wird, „nur“ eine fortgesetzte Entwicklung aus der ursprünglichen „ersten industriellen Revolution“. Neue Führungssektoren, wie die chemische Industrie und Elektrotechnik in Deutschland oder der Beginn von Massenfertigung in den fordistischen, taylorisierten Fabriken in den USA, werden als evolutionäre Entwicklung angesehen, die keinen revolutionären Charakter aufweist. Was jedoch als ein solch revolutionäres Ereignis empfunden wird, ist die Tatsache, dass sich, gleich wie bei der „ersten industriellen Revolution“ Ende des 18. Jahrhunderts, zwei gewaltige, sich gegenseitig durchdringende und beeinflussende technische Erneuerungen den Weg in unser Leben bahnen. Waren es damals die Dampfmaschine kombiniert mit der wirtschaftlichen Nutzung des Energieträgers Kohle, so ist es etwa um das Jahr 1945 die fortschreitende Automatisierung in Begleitung eines neu auftauchenden Energieträgers: der Atomenergie. [17, 83, 123]

War die Verwendung der Kernenergie bereits seit der Inbetriebnahme des ersten amerikanischen Kernreaktors im Jahr 1942 in Verwendung, durfte die Welt erst im August 1945 ihr energetisches Potential durch die kriegerische Anwendung der Atombomben auf Japan erfahren. Sogleich wurde großes Potential in der neuen Technologie gesehen. Das schnelle Voranschreiten des technischen Fortschritts hob die Erwartungen, sodass damalige Zukunftsprognosen meist die Verdrängung der konventionellen Verbrennungsmotoren mit einschließen. Beispielsweise wurde vorausgesagt, dass zukünftige Schiffe und Flugzeuge nur noch mit Atomenergie betrieben werden würden. Das Ausmaß beziehungsweise die Menge oder das Volumen der mitzuführenden Vorräte eines konventionellen Verbrennungskraftstoffes fällt bei Verwendung einer, durch Kernenergie betriebenen,

Maschine großteils weg, da das häufig verwendete Uran 235 eine immense Energiedichte aufweist. Ein halbes Kilogramm dieses Elementes würde ausreichen, um ein Verkehrsflugzeug damaligen Ausmaßes achtmal um den Globus zu schicken. Die Wärmeeinheiten von Uran 235 sind pro Kilogramm Eigengewicht 3 Millionen mal und etwa 1 Million mal größer als bei Kohle und Benzin. [17] Dieser Faktor kann durch die Verwendung des weit mehr reaktiven Isotops Uran 238 noch erhöht werden. Neben der hohen Energiedichte hat die Verwendung radioaktiver Substanzen noch weitere Vorteile, die technisch ausgenutzt werden konnten. Röntgenapparate, Vorrichtungen zur Bestimmung der Güte einer Schweißnaht oder der Eigenschaften beziehungsweise Strukturen des Kristallgefüges in einem Werkstoff, Messungen über die Verweilzeiten diverser Stoffe mittels radioaktiver Marker, Anwendungen in der Medizintechnik zur Diagnose oder auch Therapie sind nur einige der möglichen Anwendungsfelder, welche die neue Technologie mit sich bringt. Auch Anwendungsmöglichkeiten in der Raumfahrt seien angemerkt. Hier kann für Raumsonden mit langer Aufenthaltsdauer im All eine langfristige Energieversorgung sichergestellt werden. [17, 83, 123]

Die Schattenseiten jedoch, welche von der kriegerischen und auch der friedlichen Anwendung von Atomenergie ausgehen können, dürfen nicht vergessen beziehungsweise verunglimpft werden. Leider ist es dem Forscher im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht möglich auf alle Teilbereiche, wie beispielsweise die Problematik bei der Lagerung radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennstoffe oder diverse Unfälle in der Geschichte der Menschheit, sei es nun der Supergau im Jahr 1986 von Tschernobyl oder die aktuellere Katastrophe von 2011 in Fukushima, einzugehen.

Die hohen Erwartungen, welche um 1950 in die Atomenergie gesetzt wurden, konnten jedoch nicht alle erfüllt werden. „*So bleibt derzeit vom ganzen „Atomzeitalter“ für die Menschheit und ihre Energieversorgung praktisch nicht viel mehr als der Zwang, unter der Atombombe zu leben.*“ [102, Pietsch, 1961, S.139] Falls es eines Tages jedoch möglich ist die Kernenergie technisch sicher und gefahrlos nutzbar zu machen, unter der Voraussetzung der Wirtschaftlichkeit, hat diese Technologie das Potential das Energieproblem der Menschheit zu lösen. Die derzeit ungelösten Schwierigkeiten müssen für die Zukunft noch bewältigt werden. Zwar existieren heute Uboote mit Atomtrieb, jedoch sind im Frachtbereich noch immer fossile Energieträger, vor allem Erdöl in all seinen Formen und Destillaten, in Verwendung. [17, 102, 110, 123]

Wie bereits im Abschnitt 5.3 erwähnt wurde, ist das Automobil, seinerseits Symbol für den Fordismus und der Massenproduktion, einer der treibenden Hauptfaktoren für die Förderung fossiler Rohstoffe in den USA. Seit etwa 1929 wurde viel Kapital in den Auf- und Ausbau der Infrastruktur, wie wir sie heute kennen, investiert. Mit dem *Interstate Highway Act* vom Jahr 1956 baute die USA jenes Netzwerk aus Autobahnen und Straßen noch weiter aus. Somit, beschreibt Max Pietsch in seinem Buch *Die industrielle Revolution: Von Watts Dampfmaschine zu Automation und Atomkernspaltung* (siehe [102]) vom Jahr 1961, hat das Atomzeitalter, mit seinen an es gestellten Anforderungen laut Literatur, so noch nicht begonnen. Er prognostiziert eine weitere Produktionszunahme in der Erdölförderung, wie sie Jeremy Rifkin 2011 in seinem Buch *Die dritte industrielle Revolution: Die Zukunft der Wirtschaft nach dem Atomzeitalter* (siehe [110]) bestätigt. Die beiden erwähnten Autoren Karl Heinz Stefan und Leo Brandt, ihrer-

seits Vertreter des Beginns der „zweiten industriellen Revolution“ erst mit dem Atomzeitalter anstatt der oben beschriebenen Industrieversion 2.0 mit *Fordismus* und *Taylorismus* (siehe Abschnitt 5.3), konnten in ihren Büchern nur eine Zukunftsprognose geben, da sie vom Startpunkt ihrer eigens definierten „zweiten industriellen Revolution“ zeitlich noch nicht weit genug entfernt waren. Die nachträgliche Betrachtung von Jeremy Rifkin scheint einfach, da sie lediglich eine Beschreibung der letzten Jahrzehnte nach Beginn des Atomzeitalters ist. Er selbst gibt in seinem erwähnten Buch aber, wie K. H. Stefan und L. Brandt bereits zuvor, ebenfalls Ausblicke für die Zukunft, wobei er gleichfalls keine exakten Vorhersagen treffen kann. [17, 102, 110, 123]

Jeremy Rifkin, seinerseits Ökonom und Soziologe aus den USA, und andere Autoren zeigen uns zugleich eine weitere alternative Beschreibung der Industrieversionen beziehungsweise der „industriellen Revolutionen“ auf (siehe Abbildung 5.7). Diese Beschreibungen stammen alle von einem späteren Zeitpunkt, genauer aus den Jahren 2008 und 2011. In sie fließen moderne, unsere Zeit betreffende Thematiken, wie die Energiewende oder der Klimawandel ein und spielen eine wichtige, zukunftssträchtige Rolle. Des Weiteren ist das Merkmal zur Unterscheidung der verschiedenen Revolutionen erneut der verwendete Energieträger. Den Startpunkt prägt, wie auch bei allen anderen in dieser Forschungsarbeit erwähnten Beschreibungen der unterschiedlichen Industrieversionen beziehungsweise „industriellen Revolutionen“, die eigentliche „erste industrielle Revolution“ mit dem Energieträger Kohle. Die „zweite industrielle Revolution“ setzt wie bei unserer gängigen Definition nach Abbildung 5.1 zur Zeit der Massenproduktion ein. Wichtigster Energieträger dieser Zeit, und auch noch heute, war das Erdöl. Es schaffte die technologischen und ökologischen Bedingungen für Verkehr, Produktion und Konsum. Die Atomenergie fließt bei dieser Gliederungsform nicht mit ein, da der, zuvor angeführte erhoffte Aufschwung nicht zu gravierenden Änderungen, verglichen mit denen der vorangegangenen Kohle oder des Erdöls, geführt hat. Nun steht die Menschheit vor einem weiteren Umbruch im Bereich des Energiesektors. Wie auch vorm Eintreten der „ersten industriellen Revolution“ stehen uns heutzutage bereits marktreife Technologien, wie beispielsweise die Solartechnik oder Windkraftanlagen, zur Verfügung. Es wird quasi auf den Ausbruch der „dritten industriellen Revolution“ gewartet, wie es damals durch die wirtschaftliche Anwendung der Dampfmaschine geschehen ist. [71, 110]

Jene folgenden Punkte definiert Jeremy Rifkin in seinem, bereits oben erwähnten Buch, als die fünf Säulen der „dritten industriellen Revolution“ [110, Rifkin, 2011, S.49]:

- *der Umstieg auf erneuerbare Energien;*
- *die Umwandlung des Baubestandes aller Kontinente in Mikrokraftwerke, die die erneuerbaren Energien vor Ort erzeugen;*
- *der Einsatz von Wasserstoff- und anderen Energiespeichern in allen Gebäuden sowie Knotenpunkten dieser Infrastruktur zur Speicherung von unregelmäßiger Energie;*
- *die Nutzung der Internettechnologie, um das Stromnetz auf jedem Kontinent in ein Energy-Sharing-Netz (Intergrid) zu verwandeln, über das lokale Überschüsse der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden können;*

- die Umstellung der Transportflotten auf Steckdosen- und Brennstoffzellenfahrzeuge, die Strom über ein intelligentes und interaktives kontinentales Stromnetz kaufen und verkaufen können.

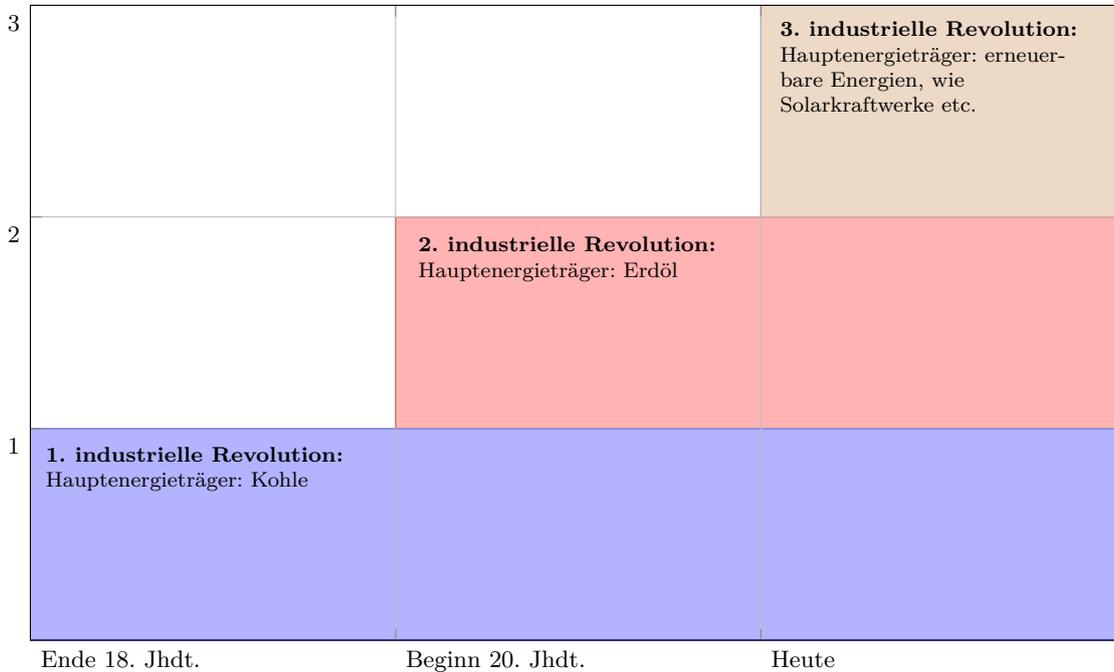


Abbildung 5.7: Alternative Einteilung der „industriellen Revolutionen“ nach Jeremy Rifkin (siehe [110]) oder Martin Jänicke und Klaus Jacob (siehe [71])

5.7 Die Zukunft - „Industrie 5.0“ und ihre Beschreibungen

Zu Beginn einer jeden wissenschaftlichen Arbeit steht eine fundierte Recherche aktueller Literaturen, von Büchern bis hin zu wissenschaftliche Artikeln. Da es sich bei der „Industrie 5.0“, laut Literaturrecherche des Forschers, noch um keine wissenschaftliche Definition handelt, werden in den folgenden Absätzen mögliche Beschreibungen angegeben. Die erwähnten Beschreibungen beziehungsweise „Definitionen“ wurden unter dem Suchbegriff „Industrie 5.0“ aus diversen Suchmaschinen (siehe Tabelle 4.1) extrahiert. Es handelt sich im Allgemeinen um Beiträge in *Blogs*, *Internetforen* und *Internetplattformen*.

5.7.1 Alternative Definitionen:

Nachfolgend wird ein Überblick über alternative Definitionen einer zukünftigen „Industrie 5.0“ beziehungsweise einer „fünften industriellen Revolution“ gegeben.

„Industrie 5.0“ nach Esben H. Østergaard

Esben H. Østergaard⁹ beschreibt in seinem Blog-Eintrag *Industry 5.0 - Return of the human touch* (siehe [124, 125]) die zukünftige Industrieversion mit der erneuten Steigerung des menschlichen Einflusses, oder wie er es beschreibt der menschlichen Note. In Zeiten der „ersten industriellen Revolution“ bestanden die frühen Fabriken zum Großteil aus menschlichen Arbeitskräften. Im Laufe der Industrieversionen wurde diese jedoch stetig durch Automation und Maschinen ersetzt (siehe Abschnitt 5.3, Abschnitt 5.4 und Abschnitt 5.5). Der Grund für das Comeback von menschlicher Kreativität im Produktionsprozess ist die bereits erwähnte Tatsache, dass Güter der „Losgröße 1“ (siehe [82]) bevorzugt produziert werden. Den steigenden individuellen Kundenwünschen sind die, auf standardisierte Produkte und Produktion spezialisierten Industrieroboter nicht gewachsen und benötigen somit menschliche „Hilfe“. In Bezug auf die „Industrie 5.0“ spricht E. H. Østergaard von sogenannten *kollaborierenden Systemen*, welche in der Lage sind „Hand-in-Hand“ mit der menschlichen Arbeitskraft zu interagieren. So übernehmen diese Systeme beispielsweise gefährliche oder schwere Tätigkeiten, werden von Angestellten als Multifunktionswerkzeug wie Schraubenzieher oder Verpackungshilfe eingesetzt und unterstützen so die Mitarbeiter eines Betriebs. Die im Gegenzug vom mitarbeitenden Personal eingebrachte Kreativität hebt den Produktionsprozess auf eine neue dynamische Stufe. Kollaborierende Roboter, auch „Cobots“ genannt, besitzen spezielle Charakteristika, welche bei „Hand-in-Hand“ Interaktionen mit Menschen wichtig sind und so zum Tragen kommen: leichte Programmierbarkeit, flexible Einsatzfähigkeit und vor allem Sicherheit. Wenn all diese Anforderungen beziehungsweise Vorgaben erfüllt werden können, kann eine gute Zusammenarbeit von statten gehen und zusätzliche Synergien hervorbringen. [14, 50, 59, 78, 90, 124, 125]

Die neue „Industrie 5.0“ sollte die Schnelligkeit und Genauigkeit der bisherigen industriellen Automation mit der kognitiven, kritischen Denkweise von Menschen kombinieren. Mit Hilfe der Innovationen und Technologien aus der industriellen Vorgängerversion „Industrie 4.0“ soll es Angestellten ermöglicht werden höhere Aufgabenbereiche zu erlangen, da Daten und Informationen von intelligenten Systemen (Smart Factory, Internet of Things, Big Data, etc.) aufgezeichnet werden. Dadurch eröffnen sich ganz neue Tätigkeitsfelder, wie die Unterweisung eben dieser Systeme, „Echt-Zeit“-Entscheidungen und Optimierungstätigkeiten hinsichtlich der Qualität und des Produktionsprozesses allgemein. Zum Erreichen dieser beschriebenen „Industrie 5.0“ fordern beispielsweise *InfinityQS* in deren Blog *Inside the Next Factory of the Future: Industry 5.0* (siehe [14]) neben Unvoreingenommenheit den Willen auf die sich verändernde Rolle der FabrikarbeiterInnen einzulassen und jene auch annehmen zu können. [14, 50, 59, 78, 90, 119, 124, 125]

Ein Beispiel für eben dieses Eingehen auf die Rolle der FabrikarbeiterInnen beschreibt Charlotte Shea in ihrem Blog *Industry 5.0: The Convergence of Robots and Artisans*. Sie geht zum Teil auf die zurückgehende Berufsgruppe der Schweißer ein, die durch präzise Schweißroboter häufig ersetzt werden. Wie auch Esben H. Østergaard, stellt sie mögliche Interaktionen zwischen Mensch und Maschinen vor. Um den Schweißprozess der Roboter optimieren zu können werden geübte Schweißer in ein Lernprogramm für Maschinen aufgenommen, welches als „Robotiq’s Kinetiq

⁹er ist Mitgründer von *Universal Robots* - siehe <https://www.universal-robots.com/> für weitere Informationen

Teaching“ beschrieben wird. Somit ist es erfahrenen Schweißern möglich in der Arbeitswelt von morgen überlebensfähiger zu bleiben. [119]

Das Unternehmen *PNMsoft Ltd.* fasst in einem ihrer Blog-Einträge, *Industry 5.0 - far from science fiction (pt. 2)* (siehe [77]) einen möglichen Ausblick über die Veränderungen und Möglichkeiten oben beschriebener „Industrie 5.0“ zusammen. Die Idee der neuen Industrieversion kann es Unternehmen ermöglichen die aus ihr resultierenden Eigenschaften wie Anpassungsfähigkeit, Wandlungsbereitschaft sowie ein Angebot eines ansprechenden Arbeitsumfeldes zu erlangen, indem die menschlichen Arbeitskräfte und das Personal als Kernelement bei Entscheidungsprozessen berücksichtigt und mit eingeschlossen werden, obwohl sich wesentliche Geschäftsprozesse durch Digitalisierung und Automation ändern. Einer Umfrage von *Accenture* zufolge sollen bereits im Jahr 2020 85 Prozent der befragten Personen Mensch-Maschinen Umgebungen in ihrer Produktion als gängiges Konzept sehen (siehe [12]), obwohl zur Zeit nur 22 Prozent in dieser Richtung Investitionen tätigen. [12, 77]

Auch werden neue Technologien mit Hilfe von K.I. (Künstliche Intelligenz) oder durch Innovationen im Bereich von K.I., sogenannte Roboter-gesteuerte Prozessautomatisierung (RPA, Robotic Process Automation) oder Prozessmanagement Software (BPM, Business Process Management) zur Verfügung stehen beziehungsweise weiter ausgebaut werden. Mit Hilfe von RPA besitzen Unternehmen die Fähigkeit die Art und Weise wie MitarbeiterInnen mit den Anwendungsbereichen ihres Unternehmens umgehen zu spiegeln. Jene Software ist in der Lage verschiedene Geschäftsprozesse zu erlernen, Daten zu sammeln und zu interpretieren, mit anderen existierenden Systemen zu interagieren und Transaktionsprozesse durchzuführen. Die menschliche Komponente, von der im Rahmen der „Industrie 5.0“ gesprochen wird, kommt im Zusammenhang mit der Prozessmanagement Software zu tragen. BPM's machen es möglich in RPA's einzugreifen in dem sie bei anstehender Änderung einen Arbeitsablauf starten, welcher MitarbeiterInnen alle benötigten Informationen bereitstellt beziehungsweise ihnen die Optionen mit dem besten Ergebnissen für das Unternehmen auflistet. Somit übernimmt zwar die von Menschen entwickelte Software Aufgaben, welche zum Aufrechterhalten des Unternehmens benötigt werden, wie beispielsweise Buchführung, Kreditrisikomanagement oder IT-Support, jedoch nicht die Kernaufgaben beziehungsweise das Kerngeschäft des Unternehmens, welche des Weiteren bevorzugt von Angestellten erledigt werden. [77]

„Industrie 5.0“ nach M. Rada

Neben der oben angeführten Ansicht und Definition der neuen „Industrie 5.0“ existiert laut Literaturrecherche des Forschers noch eine dritte. Michael Rada, President und Projektvater des IBCSD¹⁰ (International Business Center of Sustainable Development) hat begonnen auf seinem *LinkedIn*-Profil die „Industrie 5.0“ zu definieren. Abgesehen von den prognostizierten Mensch-Maschinen Interaktionen und Kooperationen nennt M. Rada noch die systematische Vermeidung beziehungsweise Verschwendung von Abfall als wichtigen Veränderungsprozess, welcher die neue Industrieversion mit sich bringt. Als ein in diesem Zusammenhang verwendetes wichtiges

¹⁰siehe <http://www.ibcsd.biz/>

Schlagwort nennt er „Industrial Upcycling“. „*INDUSTRY 5.0 priority is to utilize efficiently workforce of machines and people, in synergy environment. It goes back from virtual environment to real one.*“ [106, Rada, 2016, <https://www.linkedin.com/pulse/industrial-upcycling-definition-michael-rada/>] Der Unterschied zwischen „Industrie 4.0“ und „Industrie 5.0“ ist, laut M. Rada, dass die erstere über Massenproduktion und Menge bewertet wird, die nachfolgende Version jedoch über die Begriffe Lebensstandard, Kreativität und individuelle, an den Benutzer angepasste, Produkte mit hoher Qualität. [103, 104, 105, 106, 107]

In M. Rada's *LinkedIn*-Beitrag *INDUSTRY 5.0 definition* werden die Grundpfeiler beziehungsweise Konzepte der neuen Industrie vorgestellt. Die neue Industrieversion basiert auf einfachen, aber effizienten Werkzeugen - zum einen die sogenannte „6R Methodologie“, zum anderen die „L.E.D. Prinzipien“ (Logistics Efficiency Design). Aufbauend auf der bereits existierenden „3R Methode“, welche vor allem in der Abfallwirtschaft als Richtlinie verwendet wird, beschreibt die neue „6R Methode“ weitere drei vorangehende Schritte beispielsweise zur erfolgreichen Vermeidung beziehungsweise Verhinderung von Abfall- und Abfallstoffen. Diese Methode kann jedoch auch auf andere Lebens- oder Wirtschaftskreisläufe angewendet werden. Die nachfolgende Aufzählung erklärt, was mit den sogenannten „6R's“ gemeint ist [106]:

1. *Recognize*
2. *Reconsider*
3. *Realize*
4. *Reduce*
5. *Reuse*
6. *Recycle*

Die erwähnten „L.E.D. Prinzipien“ entstanden aus Projekten, welche versuchten die Effizienz der globalen Versorgungskette zu steigern. Sie setzen sich aus den folgenden Punkten zusammen und sind so wie die „6R Methodik“, auf welche bereits in einem vorausgegangenen Absatz eingegangen wurde, auch außerhalb der „Industrie 5.0“ anwendbar [106]:

- *Transparency*
- *Profit Sharing*
- *Efficiency*

Zusätzlich zur bereits beschriebenen „6R Methode“ und den „L.E.D. Prinzipien“ stellt M. Rada seine Industrieversion auf vier Säulen, welche nachfolgend angeführt sind [105]:

1. *Human*
2. *Production*
3. *Process*
4. *Harmony*

Er weißt auf das Zusammenwirken der vier Säulen hin, da nur mit einer einzelnen Säule das Geschäftsmodell ohne Abfall und Vergeudung, welches den Grundstein der „Industrie 5.0“ darstellt, nicht verwirklicht werden kann. [107]

Oft wird der bereits oben erwähnte Begriff „Industrial Upcycling“ sowie „Industrie 5.0“ mit der Idee von Kreislaufwirtschaft verglichen beziehungsweise in Verbindung gesetzt. Dieser Vergleich ist jedoch laut dem Gründer der neuen Industrieversion nicht möglich, da zur Implementierung von Kreislaufwirtschaften erhebliche finanzielle Mittel, von welchen zum Vergleich die „Industrie 5.0“ nicht abhängig ist, von Nöten sind und auf Grund dessen Projekte bezüglich Kreislaufwirtschaft erhebliche Startschwierigkeiten aufweisen. Er vergleicht den Begriff „Industrie 5.0“ vor allem mit einem „nachhaltigen Werkzeug“, welches einen kontinuierlichen Entwicklungsprozess darstellt, vergleichbar mit der natürlichen Evolution. Die aus der Natur resultierenden Prinzipien der Abfallvermeidung und Vergeudung werden schließlich innerhalb der Struktur von Geschäftsprozessen eingebettet. „Industrial Upcycling“ definiert eine neue Industrie („Industrie 5.0“), welche keine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt besitzt, keine Jobs für Menschen kostet und ihnen nicht den Lebenssinn raubt. Ganz im Gegenteil soll diese neue Industrie den Menschen ihren Lebenssinn liefern beziehungsweise näher bringen, sodass „das Beste“ im Menschen zum Vorschein gebracht werden kann und sie einen Beitrag zur Entwicklung des Systems leisten können. Jeder Mensch und jede industrielle Produktion besitzt unterschiedliche, individuelle Fähigkeiten, die mit Hilfe des „Industrial Upcyclings“ und dessen Grundpfeilern für alle zugänglich gemacht werden können. Durch dies wird eine Lieferkette an „physischer“ Arbeit aufgebaut, welche alle Beteiligten mit einander verbindet und sie unterstützt. Als wichtigen Teil der „Industrie 5.0“ führt M. Rada auch die Kooperation, Bildung, Kreativität und Etablierung der Mensch-Maschinen Interaktionen an. Ein von Harmonie bestimmtes Umfeld soll Personen aller Altersgruppen helfen sich als nützliches Mitglied der Gesellschaft und des Unternehmens zu fühlen, sodass ihnen die Umgebung der smarten Technologien eine Möglichkeit bietet Aufgaben zu erkennen und ihr Leben „besser“ zu leben. Er kritisiert, dass neue Technologien eventuell das Leben der Menschen bestimmen. *„The Industry 5.0 has another aim, not only the production of QUALITY ITEMS, with HIGH VALUE including the SOCIAL VALUE, but it should help to BUILD SMART HUMANS, not to make them BRAINLESS ZOMBIES“* [107, Rada, 2017, <https://www.linkedin.com/pulse/industry-50-use-ai-humanize-business-environment-once-michael-rada/>] [104, 106, 107]

Wendet man die Prinzipien des „Industrial Upcyclings“ an, so treten Effekte auf drei unterschiedlichen Level auf [106]:

- *First Economical*

- *Second Ecological*
- *Third Social*

Bezieht man die Idee der „Industrie 5.0“ auf sein Unternehmen, so lassen sich laut M. Rada Auswirkungen auf den drei unterschiedlichen, oben aufgelisteten Ebenen beziehungsweise Gebieten beobachten. Die erste Ebene ist die wirtschaftliche. Entscheidet man sich fürs „Industrial Upcycling“ und dadurch für ein Zero-Waste Management projiziert man diese Idee der „Abfall- und Verschwendungs-Vermeidung“ auf die eingesetzten Materialien, die Produktion und die daraus resultierenden Logistikkosten. Dadurch kann man mit Hilfe der Zero-Waste Umgebung alle mit Abfall verbundenen Kosten vermeiden. Die zweite Ebene repräsentiert die Umwelt und Auswirkungen auf sie, die durch das „Industrial Upcycling“ entstehen. Über das sogenannte „On-The-Ground-Mining“ werden natürliche Ressourcen geschont und bereits vorhandene Rohstoffe, die sich im System befinden weiter genutzt. Als dritte Ebene existiert neben den zwei anderen noch die soziale. Es wird bevorzugt auf die Verbindung beziehungsweise Verknüpfung auf den Menschen eingegangen, auf die sich die „Industrie 4.0“ nicht konzentriert. Mit Hilfe der Mensch-Maschinen Interaktionen können einzigartige Fähigkeiten und Möglichkeiten zum Vorschein gebracht werden, um diese in einem hoch effizienten Arbeitsumfeld zur Produktion von hochwertigen Produkten verwenden zu können. Der Fokus der „Industrie 5.0“ wird nicht nur auf die ArbeiterInnen der „richtigen Altersgruppe“ gelegt, sondern es wird versucht Angestellten jeden Alters, von jung bis alt, die Möglichkeiten zu eröffnen sich einzubringen. [106]

M. Rada schreibt in seiner *INDUSTRY 5.0 definition* (siehe [106]) über Herausforderungen, die noch gelöst werden müssen, um eine Entwicklung hin zur neuen Industrie gewährleisten zu können. Folgende Aufzählung geht auf diese Herausforderungen ein [106]:

- *Legal issues caused by disproportion between technology development, social evolution and the changes reflected within the society and business environment*
- *Aging society with low and high level „Seniority“ „Juniority“ rating*
- *Overproduction*
- *Lack of transparency implemented in many processes and industries*
- *Application of „wrong tools“ pretending good, doing evil*
- *Dependency on IT and electricity*
- *General reluctance to change by stakeholders*

Des Weiteren wird in oben erwähnter *INDUSTRY 5.0 definition* auch darauf eingegangen, was unter Abfallvermeidung verstanden wird. Da die meisten Industrien auf Profit und Mengen beziehungsweise Massen ausgerichtet sind, entstehen in deren Produktions- und Lieferketten große Mengen an Abfall und Verschwendung. Nimmt man als Beispiel die Produktion eines

Automobils und betrachtet den Prozess als Ganzes, so dauert die Generierung in Hinsicht auf die Zeit in der Wertschöpfungskette nur zwischen 47 - 54 Sekunden. Jedoch ist zu beachten, dass der Zeitraum sich enorm ausweitet, nimmt man die Zeit ohne Wertschöpfung mit in die Bilanz. Dann benötigen manche Komponenten bis zu 90 Tage, die sie auf Transportwegen oder im Lager verbringen. Des Weiteren definiert beziehungsweise identifiziert er vier Typen von Abfällen, die in Bezug auf das „Industrial Upcycling“ von Bedeutung sind. Jene vier sind im Folgenden angeführt [106]:

- *Physical Waste - Trash*
- *Social Waste - People willing to work, but having no opportunity to apply the will*
- *Urban Waste - brownfields, not necessary needed greenfields, empty spaces, inadequate infrastructure*
- *Process Waste - empty trucks on the routes, overstock, overproduction*

Die Einflüsse auf unser System, welche durch eine funktionierende „Industrie 5.0“ beziehungsweise „Industrial Upcycling“ zu Stande kommen können, sind nachfolgend aufgelistet [106]:

1. *Services and business models*
2. *Profitability of business*
3. *Reliability and continuous increase of efficient productivity*
4. *IT security*
5. *Machine and Human safety*
6. *Product lifecycles increase*
7. *Industry value chain environmental impact decrease*
8. *Worker's education, skills and involvement increase*
9. *Socio-economic factors improvement*

5.7.2 Eigene Definitionen:

Für das *Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften* gehört zur zukünftigen Industrieversion „Industrie 5.0“ noch der Ausdruck „Imagineering Nature“ hinzu,

wobei *Imagineering*¹¹ ein von der Forschungs- und Entwicklungsabteilung (*Walt Disney Imagineering*) der *The Walt Disney Company* geprägter Begriff ist und hier sogar für eine eigene Berufsgruppe im Unternehmen, den sogenannten *Imagineers*, steht. Deren Aufgabenbereich ist es begehbare, künstliche Welten zu erstellen. *Imagineers* werden auch unter anderem als „Zauberer“ bezeichnet, da sie eine scheinbar fiktive Welt in eine reale übertragen können. Meist besteht das Kernteam der *Imagineers* aus Architekten, Designern, Spezialisten im Multimediabereich, Dramaturgen sowie Ingenieuren, die alle eines gemeinsam haben: sie kombinieren eine bestimmte fiktive Vorstellung (en: Imagination) mit der technischen Komponente des Maschinenbaues beziehungsweise Anlagenbaus (en: Engineering) und erschaffen so die Themenparks und Resorts der *The Walt Disney Company*. [25, 66]

Im Kontext der neuen Industrieversion „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ soll der Begriff *Imagineering* jedoch einen Zusammenhang mit der Natur herstellen. Das *Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften* hat es sich zum Ziel gesetzt mit ihrem Projekt „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ eine Verzahnung beziehungsweise Verschmelzung von Prinzipien und Abläufen in der Natur¹² mit den Errungenschaften des Ingenieurwesens für die industrielle Produktion zu schaffen. Der Entfremdung industrieller Systeme von der Natur soll durch die Anwendung der sogenannten „Guiding Principles“, welche die Rahmenbedingungen der neuen Industrieversion darstellen, entgegengewirkt werden. Es soll zur Spannung von Brücken zwischen der Biosphäre und technisch, industriellen Systemen kommen, sodass beide Systeme von einander profitieren können und sich ein harmonisches Miteinander entwickeln kann. Man erhofft sich durch die bewusste „Zusammenarbeit“ beziehungsweise der spezifischen Beobachtungen von Phänomenen aus der belebten, sowie unbelebten Natur die Herausforderungen der Zukunft meistern zu können. Ein, dem deutschen Physiker Hans-Peter Dürr zugeschriebener, Satz beschreibt den Gedanken beziehungsweise das Motto, welches hinter der Idee des Institutes steckt, ganz gut: *„Wir müssen die Natur nicht als unseren Feind betrachten, den es zu beherrschen und überwinden gilt, sondern wieder lernen, mit der Natur zu kooperieren. Sie hat eine viereinhalb Milliarden lange Erfahrung. Unsere ist wesentlich kürzer.“* [7]

¹¹Dieses, aus den englischen Wörtern *image* oder *imagination* und *engineering*, zusammengesetzte Wort ist sprachwissenschaftlich ein sogenannter *Neologismus*, welcher, laut dem Onlinewörterbuch *Duden*, eine, „[...] in den allgemeinen Gebrauch übergegangene sprachliche Neuprägung [...] (Neuwort oder Neubedeutung)“ [36, Duden online: Neologismus, Online; 04.10.2017] beschreibt.

¹²Die genaue Definition, wie der Begriff „Natur“ in dieser Forschungsarbeit verstanden wird, ist in Abschnitt 6.1 zu finden.

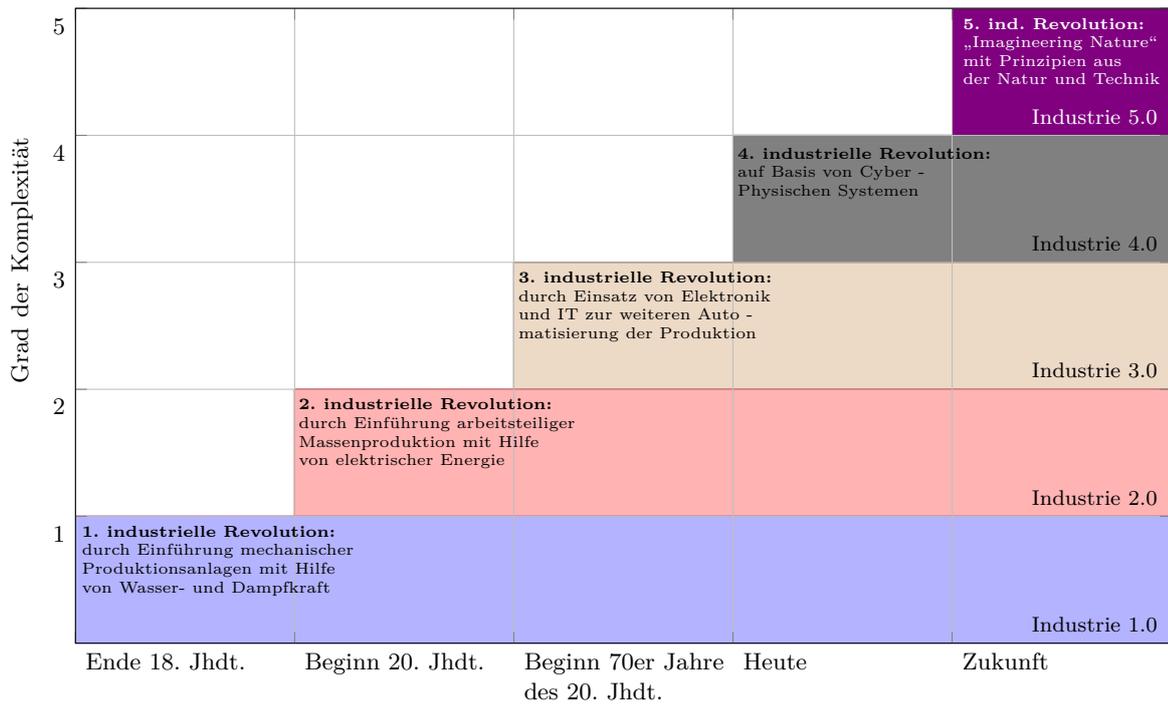


Abbildung 5.8: „Industrie 5.0“ als Nachfolgeversion der vorangegangenen „industriellen Revolutionen“, aufbauend auf der Darstellung von Schlick et al. (siehe Abbildung 5.1, [115])

6 Forschungsstand II - Natur

Ein wichtiges Kernelement der neuen, in dieser Forschungsarbeit beschriebenen, „fünften industriellen Revolution“ ist der Bezug zur Natur beziehungsweise die Anwendung der in ihr vorkommenden Prinzipien. Die nachfolgenden Seiten fassen bereits existierende, im Rahmen einer Literaturrecherche herausgefundene Ideen und Konzepte zusammen. Jene Ideen beziehungsweise Konzepte versuchen bereits die beiden Gegensätze Natur und Technik unter einen Hut zu bekommen. Als Beispiel sei die Vorgehensweise von *Cradle to Cradle* nach Michael Braungart, seinerseits Gründer und wissenschaftlicher Geschäftsführer von EPEA¹³ (Environmental Protection Encouragement Agency), und William McDonough, erwähnt, von der in einem späteren Abschnitt (siehe Abschnitt 6.3) die Rede sein wird. Aber auch Wissenschaftsdisziplinen wie *Bionik* (siehe Abschnitt 6.4) und *Industrial Ecology* (siehe Abschnitt 6.2), welche bereits Grundregeln beziehungsweise -prinzipien natürlicher Ökosysteme entwickelt haben, sind nachfolgend angeführt. Sie bilden die Grundlage der Ergebnisse (siehe Kapitel 7) der vorliegenden Forschungsarbeit. [57]

6.1 Definition/Begrifflichkeiten - Natur

In diesem Absatz wird versucht die Verbindung zwischen den nachfolgend beschriebenen Disziplinen und Thematiken herzustellen. Dies soll zum Verständnis beitragen, warum folgende Abschnitte die Themen behandeln, die sie behandeln.

Der rote Faden, der sich durch alle folgenden Abschnitte, angefangen von der wissenschaftlichen Disziplin *Industrial Ecology* über die Idee von *Cradle to Cradle* bis hin zum Fachgebiet der *Bionik*, durchziehen wird, ist bei genauerer Betrachtung relativ eindeutig. Alle diese Themenbereiche, Ideen, Konzepte und Disziplinen vereint der Gedanke, eine Brücke zwischen der technischen Welt und der, die technische Welt umgebende, biologischen Welt zu bauen. Das Ziel ist ident, nur die beiden, heutzutage noch größtenteils gegenüberliegenden Bereiche der Biologie/Ökologie und Technik/Industrie werden je nach Betrachtungsweise beziehungsweise Herangehensweise anders bezeichnet, gemeint ist jedoch immer das gleiche. So nennt man die Technik in der Idee von *Cradle to Cradle*, begründet von M. Braungart und W. McDonough, Technosphäre (siehe Abbildung 6.6), wobei sie in der Umgangssprache der Disziplin *Industrial Ecology* als industrielles System beschildert wird. Die allgemeine Beschreibung im Fachjargon der Wissenschaftsdisziplin *Bionik* liegt mit “Welt der Technik“ (siehe Abbildung 6.13) dem Begriff Technik jedoch sehr nahe. Auf die gleiche Art und Weise verhält es sich mit dem zweiten, der Technik gegenüberstehenden,

¹³siehe <http://epea.com/de>

Begriff der Biologie, wobei dieser gleichbedeutend mit der Biosphäre der *Cradle to Cradle* Idee, der „Welt der Natur“ in der *Bionik* sowie den Bezeichnungen „Natur“ oder „Ökologie“ im Allgemeinen ist.

Kurz gesagt: ist von der Industrie oder industriellen Systemen die Rede, impliziert dies gleichzeitig die Welt der Technik. Dies gilt ebenfalls für biologische Systeme, ökologische Systeme oder der Ökologie, welche mit dem Begriff der Natur gleichbedeutend sind. Generell sind erwähnte Begriffe untereinander austauschbar und stehen, falls es nicht explizit angeführt ist, für das gleiche.

Nachdem die anfängliche begriffliche Unstimmigkeit nun geklärt wurde, kann der Fokus auf die Motivation jener Ideen und Disziplinen gelegt werden. Mit Ausnahme der *Bionik*, welche von Anfang an die wissenschaftlich, technische Nutzung von biologischen Beobachtungen verfolgt, begründet sich die Entstehung der Idee des *Cradle to Cradle* Konzepts und die Entwicklung der *Industrial Ecology* als eigene Disziplin mit der Tatsache, dass die rasch steigende menschliche und industrielle Aktivität, wie bereits im Abschnitt 6.2 und Abschnitt 6.3 erwähnt, negative Folgen auf die biologische Umwelt und deren Ökosystemen hervorruft. Von der Eutrophierung natürlicher Gewässer durch hohe Konzentrationen eingeleiteter Nähr- und Düngestoffe beispielsweise aus der Landwirtschaft angefangen, zog sich die Bandbreite der Auswirkungen und beobachteten Folgen bis hin zum sogenannten Waldsterben, hervorgerufen durch die stickstoffhaltigen Abgase aus industriellen Prozessen. Für manche Wissenschaftler und Vertreter war klar, dass das bisherige industrielle System, wie es sich seit Beginn der „ersten industriellen Revolution“ seit Ende des 18. Jahrhunderts entwickelt beziehungsweise durchgesetzt hat, in seiner aktuellen Form nicht mehr vertretbar war, wollte man auf langfristige Sicht planen und überdauern. Es mussten Alternativen zum aktuellen Wirtschafts- und Produktionssystem, welche in weit größerem Ausmaß miteinander verknüpft sind als in dieser Forschungsarbeit hingewiesen wurde, gefunden werden. Diese suchte man im einzigen vorbildlichen System, dass bereits seit Beginn menschlicher Aktivitäten und weit darüber hinaus existiert hat: der Natur. Wie auch die *Bionik* bereits viel früher, versuchten nun auch andere Wissenschaftsdisziplinen Erkenntnisse aus biologischen Prozessen und Systemen zu gewinnen, um diese dann in weiterer Folge für die Technik zugänglich zu machen. Die bisherige Betrachtungsweise zweier abgegrenzter Systeme, Biologie und Technik, muss überwunden und ein gemeinsames miteinander geschaffen werden. [43, 55, 69, 79]

Es folgen nun einige Begriffe, die im Kontext der vorliegenden Forschungsarbeit wichtig sind. Generell wird in dieser Arbeit folgendes unter dem Begriff „Ökosystem“ verstanden: „[...] *komplexes Wirkungsgefüge verschiedener Lebewesen und deren anorganischer Umwelt. Die trophischen Ebenen (Nahrungsebenen) garantieren den Energietransfer durch Auf- und Abbau von Stoffen und damit den ökologischen Kreislauf (Fließgleichgewicht). [...]*“ [47, Gabler Wirtschaftslexikon: Ökosystem, Online; 05.01.2018]

Des Weiteren ist es nun wichtig zu erklären, wie der Begriff „Natur“ im Rahmen dieser Forschungsarbeit zu verstehen ist. Die vorangegangene Verwendung dieses Begriffes stützt sich auf die nachfolgende Beschreibung: die Natur ist „[...] *alles, was an organischen und anorganischen Erscheinungen ohne Zutun des Menschen existiert oder sich entwickelt; [...] [die] Gesamtheit der Pflanzen, Tiere, Gewässer und Gesteine als Teil der Erdoberfläche oder eines bestimmten*

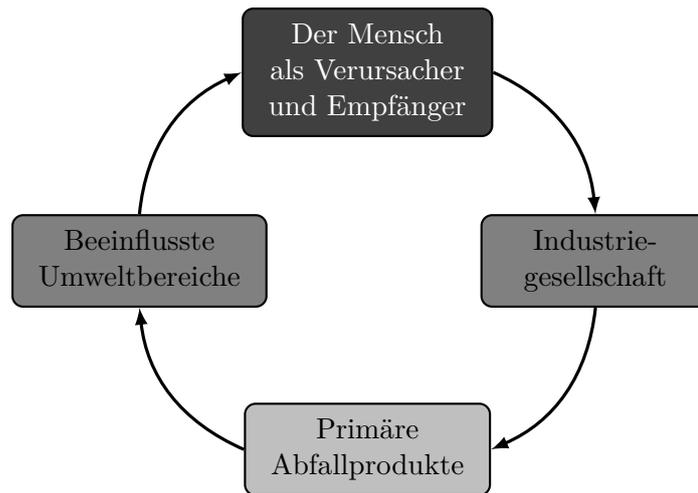


Abbildung 6.1: Im globalen Kreisprozess ist der Mensch zugleich Verursacher und Empfänger von ihm ausgehenden Umweltveränderungen (Grafik in Anlehnung an [136])

Gebietes das nicht oder nur wenig von Menschen besiedelt oder umgestaltet ist [...]“ [35, Duden online: Natur, Online; 04.10.2017].

6.2 Wissenschaftsdisziplin *Industrial Ecology*

„Industrie“ und „Natur“ beziehungsweise „Ökologie“ - zwei für uns Menschen so unterschiedliche Begriffe. Viele betrachten die Industrie sowie das städtische Lebensumfeld als eigenes, abgetrenntes industrielles System. Der Gegenpol zu diesem System ist die Biosphäre¹⁴ mit all ihren unterschiedlichen Ökosystemen. Diese beiden scheinbaren Gegensätze versucht die Disziplin *Industrial Ecology (IE)*¹⁵ zusammenzuführen und zu einem „Miteinander“ zu transformieren. Im Unterschied zum industriellen Metabolismus, welcher rein auf die im industriellen System vorkommenden Stoff- und Materialflüsse vom Beginn der Rohstoffgewinnung, über Recyclingprozesse bis hin zur Entsorgung beziehungsweise Überführung in den globalen biogeochemischen Kreislauf eingeht, geht die *Industrial Ecology* einen Schritt weiter und beschreibt das industrielle System in gewisser Art und Weise als ein spezielles Ökosystem. Diese Beschreibung beziehungsweise Definition jenes industriellen Systems umfasst auch dessen Wechselwirkungen mit der, das System umgebenden Umwelt beziehungsweise Biosphäre, regulierende Faktoren und die Funktionsweise des industriellen Systems selbst. [43] Die Charakteristika für ein jedes Ökosystem sind, neben einer speziellen, für jedes System unterschiedlichen, Verteilung der Materialien beziehungsweise Stoffe, eine ebenso spezielle Verteilung der Energie, sowie der eigenen, unterschiedlichen Infor-

¹⁴ „[...] die Gesamtheit aller Lebewesen und ihrer Wechselbeziehungen. Die Biosphäre ist ein dissipatives, synergetisches System (Synergetik), in dem Ordnungen als Fließgleichgewichte zu verstehen sind. Der alles aufrechterhaltende Faktor in der Biosphäre ist der Fluss der Materie in Verwertungszyklen (z.B. Atmung und Photosynthese). [...]“ [44, Gabler Wirtschaftslexikon: Biosphäre, Online; 10.10.2017]

¹⁵ „Leitbild für die Gestaltung der industriellen Zivilisation, gemäß dem sich der Umgang mit Energie, Stoffen und natürlichen Ressourcen am Vorbild biologischer Ökosysteme orientieren soll. Voraussetzungen sind: integrierter Umweltschutz, ökologische Kompatibilität, präventiver Umweltschutz, Systemmanagement.“ [45, Gabler Wirtschaftslexikon: industrielles Ökosystem, Online; 12.10.2017]

mationsflüsse des Systems. Die eingangs erwähnte Behauptung oder Betrachtung, dass es sich beim industriellen System um ein, von der „außenliegenden“ Biosphäre, abgeschlossenes System handelt kann mit der Tatsache belegt werden, dass das erwähnte industrielle System all seine benötigten Ressourcen und „Leistungen“ aus der Biosphäre bezieht. Somit kann man diese beiden Systeme nicht als voneinander abgetrennt betrachten. [43] *Industrial Ecology* setzt sich zum Ziel nicht nur die endgültige Entsorgung von Gütern zu optimieren, sondern auch die vorgeschalteten Produktionsschritte, wie den Rohstofffluss beziehungsweise -einsatz für einzelne Komponenten, das fertige Produkt selbst und anfallende Abfallstoffe, zu verbessern. [41, 43, 55, 69]

Der Gedanke beziehungsweise die Idee der *Industrial Ecology* entwickelte sich etwa in den Siebzigerjahren des 20. Jahrhunderts aus der zu dieser Zeit immer aktueller werdenden Umweltschutzthematik. [43] Man könnte die *Industrial Ecology* als einen Versuch ansehen, den bisherigen Umgang mit den, aus der menschlichen Aktivität entstandenen, Abfällen, Emissionen und Schadstoffen zu revolutionieren. Als zu Beginn der Industrialisierung die Schornsteine als Maßnahme gegen lokale Umweltschäden und Beeinträchtigungen von Menschen immer höher wurden, damit sich die ausgestoßenen Stoffe und Partikel großflächiger verteilen konnten, wollte man sich lange nicht ausmalen, dass die Konzentration der Schadstoffe an die Grenzen des Aufnahmevermögens von globalen Ökosystemen wie der Atmosphäre oder den Ozeanen stoßen könnten. In den Sechziger- und Siebzigerjahren des 20. Jahrhunderts wurde man sich dieser Tatsache jedoch stärker bewusst, da vielerorts und häufiger als in der Vergangenheit Umweltprobleme auftraten, deren Ausmaß größer war. Eutrophierung¹⁶ von Binnengewässern und deren umkippen war eine Folge der starken Düngung und des Einsatzes von Pestiziden. In Nahrungsmittel ließ sich oft eine Belastung durch Industriechemikalien nachweisen. Müllhalden, ölverseuchte Strände und auch das Waldsterben betrafen immer mehr Regionen beziehungsweise hatten mehr Einfluss auf die Bevölkerung. Wie auch bereits zur Zeit der Industrialisierung wurde eine „End-of-the-Pipe“ Strategie zur Bekämpfung jener Problematiken angewandt. War es damals die Erhöhung der Schornsteine und Schloten, so wurden etwa ab 1970 verstärkt Filter- oder Kläranlagen hinter den Produktionsprozessen angebracht, was den Vorteil hatte, dass sich Schadstoffe nicht mehr großflächig verteilen konnten, sich jedoch in hohen Konzentrationen in den Filterkuchen oder Klärschlamm der Anlagen ansammelten. Dieser Tatsache bewusst, verfolgte man ab den Achtzigerjahren des 20. Jahrhunderts das Ziel Schadstoffe zu vermeiden als sie zu filtern und konzentrieren. Durch diese Entwicklung beziehungsweise Einstellung wechselte man vom additiven zum produkt- und prozessintegrierten Umweltschutz. [79] Als in den 1980er und 1990er Jahren Thematiken wie das Ozonloch oder der Klimawandel auftraten, erkannte man die zeitlich verzögerten Auswirkungen von, durch Mensch und Industrie freigesetzten, Stoffe und Chemikalien. Beispielsweise verbannte man die Anwendung von FCKW's (Fluorchlorkohlenwasserstoffe), um der Zerstörung von Ozon in der Stratosphäre zeitverzögert entgegenzuwirken, da diese Substanzen eine atmosphärisch, reaktive Verweilzeit von bis zu 300 Jahren aufweisen können. Diese Entscheidung wurde durch das Montrealer Abkommen beschlossen und konnte relativ zügig realisiert werden. Vergleicht man dieses Beispiel mit der Nutzung von fossilen

¹⁶ „[die] unerwünschte Zunahme eines Gewässers an Nährstoffen und damit verbundenes nutzloses und schädliches Pflanzenwachstum“ [31, Duden online: Eutrophierung, Online; 13.10.2017]

Brennstoffen und deren Folgen auf die Ökosysteme beziehungsweise den Klimawandel, waren die FCKW's relativ leicht zu ersetzen, da nur ein spezielles Einsatzgebiet dieser Stoffe mit neuen Chemikalien zu substituieren war. Auf die Nutzung von fossilen Brennstoffen baut hingegen die gesamte „erste industrielle Revolution“ und die nachfolgende Industrialisierung auf, welche ein bedeutender Antrieb für das wirtschaftliche Wachstum war und noch immer ist. [41, 43, 55, 69, 93]

Das schrittweise Umdenken der Gesellschaft und Industrie auf Grund von Thematiken wie dem Klimawandel, dem Ozonloch oder durch Berichte diverser Institutionen, wie dem 1972 veröffentlichten Publikation des *Club of Rome* über die Zwangslage der Menschheit in exponentiell wachsenden Systemen gefangen zu sein und der Endlichkeit natürlicher Ressourcen, hatte zur Folge, dass verstärkt über Begriffe wie Nachhaltigkeit¹⁷ philosophiert und diskutiert wurde. 1992 wurden im Rahmen der UN-Konferenz zu Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro, auch bekannt als Weltgipfel, zusätzlich zur Klimakonvention und der Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt die bekannte *Agenda 21* festgelegt. In ihr sind Ziele für das bevorstehende 21. Jahrhundert niedergeschrieben, um die Herausforderungen des Klimawandels und anderer zukünftiger Problemstellungen gemeinsam meistern zu können. [41, 55, 93, 131]

Es ist jedoch schwierig Strategien zu finden, um alle Ebenen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie und Soziales) erfassen zu können. Arnim von Gleich stellt in seinem Buch *Industrial Ecology: Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen* Lösungsvorschläge auf der ökologischen Ebene vor. Neben der Effizienz Strategie, wobei versucht wird den Wohlstand einer Gesellschaft mit gleichzeitiger Verringerung des Umweltverbrauchs auf dem selben Niveau zu halten beziehungsweise diesen zu erhöhen, existiert laut A. von Gleich noch die Konsistenz und Suffizienz Strategie. Bei ersterer versucht man die Umweltschäden, durch Anwendung von Technologien mit geringem Risikopotential und gleichzeitiger Anpassung der Stoffströme an die Umwelt, zu minimieren, wobei man bei der Suffizienz Strategie den Umweltverbrauch mit Hilfe von heruntergesetztem Konsumverhalten der Gesellschaft zu reduzieren versucht. [55] Eine alternative Lösungsstrategie bietet die *Industrial Ecology*, welche, wie bereits eingangs vorgestellt, das industrielle System mit natürlichen Ökosystemen vergleicht und diese als Vorbild für die Industrie heranzieht. Bereits im Jahr 1992 versuchte eine Gruppe amerikanischer Wissenschaftler diese Idee weiter auszubauen. [43, 69] Jene Forscher ziehen im speziellen zyklische Ökosysteme, sogenannte „Typ III“ Ökosysteme (siehe Abbildung 6.2), als Vergleich zum industriellen System heran. Auf diesen Ökosystemtyp und auch auf die beiden alternativen Typen („Typ I“ und „Typ II“, siehe Abbildung 6.4) wird in den folgenden Absätzen noch näher eingegangen.

Die Vorteile der „Typ III“ Ökosystemen sind, dass ein- und ausgehende Stoffflüsse innerhalb

¹⁷ „[...] (Ökologie) [ist ein] Prinzip, nach dem nicht mehr verbraucht werden darf, als jeweils nachwachsen, sich regenerieren, künftig wieder bereitgestellt werden kann“ [34, Duden online: Nachhaltigkeit, Online; 14.10.2017] „[...] Wirtschaft: Das in der Forstwirtschaft seit Jahrhunderten angewandte Prinzip der Nachhaltigkeit ist unter dem Aspekt der Ökonomik als Art des Wirtschaftens zu bezeichnen, bei welcher derzeitige Bedürfnisse befriedigt werden, ohne zukünftigen Generationen die Lebensgrundlagen zu entziehen (Sustainable Development). Kennzeichnung durch langfristig orientiertes Denken und Handeln, um ein Fließgleichgewicht der natürlichen Ressourcen zu erreichen. [...]; Ethik: [...] Als konsensfähig gilt die Interpretation von Nachhaltigkeit im Sinne der triple bottom line, welche die Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales umfasst. Gleichzeitig liegt dem Nachhaltigkeitsbegriff eine erweiterte Berücksichtigung der Zeitdimension zugrunde [...]“ [128, Gabler Wirtschaftslexikon: Nachhaltigkeit, Online; 14.10.2017]

der Bilanzgrenzen verbleiben und das gesamte Ökosystem dadurch nur eine externe äußere Energiequelle in Form von Sonnenenergie besitzt. Wie ein funktionierendes, an ein natürliches Ökosystem des „Typs III“ angelehntes, industrielles System nach den Vorstellung der *Industrial Ecology* auszusehen hat, ist in Abbildung 6.3, in Anlehnung der Darstellung an Jelinski et al., demonstriert. [69] Gut erkennbar ist die Vernetzung der unterschiedlichen Parteien im industriellen System hinsichtlich der Stoff- und Materialflüsse innerhalb der Bilanzgrenze. Diese Art der Betrachtungsweise ist relativ typisch für die *Industrial Ecology*, da sich einerseits der mit dieser Thematik beschäftigende Personenkreis bevorzugt aus den Disziplinen der Natur- und Ingenieurwissenschaft zusammensetzt und in jenen Bereichen Massen-, Stoff- und Energiebilanzen als gängiges Werkzeug in Gebrauch sind, und andererseits natürliche Ökosysteme stark auf den Wechselwirkungen oder Beziehungen entlang der trophischen Stufen, der sogenannten Nahrungskette, aufgebaut sind. Die zuvor erwähnten ökologischen, nachhaltigen Strategien Effizienz und Konsistenz bauen stark auf der Bilanzierung von Material- und Energieströme auf. Mit Hilfe dieser Methodik ist es auch möglich eventuelle Tragfähigkeiten, Grenzen der Belastbarkeit sowie Resilienzverhalten von zukünftigen industriellen Systemen oder natürlichen Ökosystemen zu bestimmen. [41, 43, 55, 69, 93]

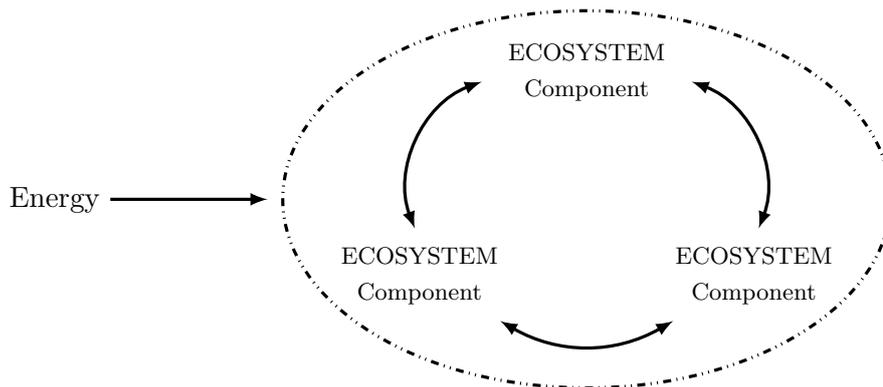


Abbildung 6.2: Zyklischer Materialfluss in „Typ III“ Ökosystemen (Darstellung in Anlehnung an [69])

Neben den bereits erwähnten „Typ III“ Ökosystemen beschreiben Jelinski et al. auch noch die beiden anderen Formen „Typ I“ und „Typ II“. Charakteristisch für das „Typ I“ Ökosystem (siehe Abbildung 6.4a) ist die Linearität der ablaufenden Prozesse in jenem System. Dieser Typ von Ökosystem ist an die urzeitliche Entwicklung der Erde angelehnt. Während dieser Epoche existierte ein regelrechter Überfluss an verwendbaren Ressourcen, welcher jedoch nur einem sehr kleinen Anteil von Organismen zur Verfügung stand, sodass jene keine großen Auswirkungen auf die verfügbaren Ressourcen hatten. Der Materialfluss innerhalb unterschiedlichster trophischer Stufen war gegenüber allen anderen globalen Flüssen entkoppelt, und somit linear. Hingegen sind in „Typ II“ Ökosystemen (siehe Abbildung 6.4b) Ressourcen nicht in vollem Ausmaß, wie es im „Typ I“ der Fall ist, vorhanden und somit limitierende Faktoren. Um in einer limitierenden Umgebung überleben zu können sind die Organismen von einer komplexen Struktur an Wechselwirkungen

untereinander abhängig. Auf jene, auch als biologische Gemeinschaft bekannte, Struktur wird im nächsten Absatz noch verstärkt eingegangen. Charakteristisch für ein „Typ II“ Ökosystem ist der, verglichen mit den Zu- und Abflüssen aus den Bilanzgrenzen des Ökosystems, große interne Material- beziehungsweise Energiefluss zwischen den einzelnen Komponenten und Organismen des Systems. Die „Typ II“ Umgebung stellt gegenüber der „Typ I“ eine Effizienzsteigerung dar, kann langfristig jedoch noch nicht als nachhaltig angesehen werden, da es nur eine einseitige Flussrichtung von Material und Energie gibt. Somit würden sich solche Systeme über kurz oder lang, je nach der internen Umwandlungsrate des Ökosystems, „herunterwirtschaften“ und ihre externe Lebensgrundlage aufbrauchen. Damit genau dies nicht passiert musste die Natur neue Strategien an den Tag legen. Durch sehr lange, evolutionäre Optimierung liegt nun in biologischen Ökosystemen eine nahezu vollkommene Kreislaufwirtschaft vor, da Ökosysteme untereinander wieder voneinander profitieren können. Dies verdanken sie der Tatsache, dass es in der Natur keine Unterscheidung zwischen Ressourcen und Abfällen gibt. Für die meisten Organismen stellt ihr eigener Abfall beziehungsweise ihre eigenen Ausscheidungen keine Rohstoff- oder Nahrungsquelle dar, für andere Organismen im Ökosystem aber sehr wohl, da jene in der Lage sind diese Abfälle beziehungsweise neuen Ressourcen zu verwerten und für sich nutzbar zu machen. Der Grund für die „nur“ nahezu komplette Kreislaufwirtschaft ist die Tatsache, dass das globale System Erde von einer externen Energiequelle, der Sonneneinstrahlung, versorgt wird beziehungsweise abhängig ist. Die Energiezufuhr von Außen durch die Sonne stellt laut Jelinski et al. die einzige Ausnahme zur Kreislaufwirtschaft biologischer Ökosysteme dar und ist in Abbildung 6.2 als „Typ III“ Ökosystem graphisch veranschaulicht. [69]

Den Grundstein eines jeden biologischen Ökosystems legen Organismen, welche Mineralien, Sonnenlicht und Wasser für ihr Wachstum verwenden beziehungsweise im Zuge ihres Metabolismus umwandeln. Diese erste trophische Stufe wird von Organismen einer höheren Stufe aufgenommen, verarbeitet oder konsumiert und bietet so zum Teil eine Nahrungsgrundlage beziehungsweise Partner für Symbiosen der höheren Stufen. Abfälle, Ausscheidungen und Abbauprodukte von Organismen unterschiedlichen Trophieniveaus werden wiederum von anderen weiterverarbeitet. Zum einen Teil entstehen in diesen Umwandlungsprozessen wieder die Ausgangsstoffe und Mineralien, welche von den primären Organismen benötigt werden, zum anderen Teil entsteht durch jene Umwandlungen ein komplexes Netzwerk an Prozessen, welches für all seine in ihm produzierten Stoffe geeignete Abnehmer beziehungsweise Konsumenten beinhaltet. Wendet man die gerade beschriebene Systematik auf das industrielle System an, so müssen alle in ihm ablaufenden einzelnen Teilschritte und -prozesse als von einander abhängige, einem großen Ganzen angehörige, Teile angesehen werden. Sie alle können untereinander und von einander profitieren. Die Analogie ist nicht perfekt beziehungsweise ist das biologische System nicht zu 100% deckungsgleich zum industriellen, jedoch besitzt diese Perspektive viel Potential, da biologische Ökosysteme von der Evolution über mehrere Millionen Jahre optimiert worden sind und nicht ohne Grund die Zeit überdauern. Biologische Ökosysteme sind in der Lage, durch die oben beschriebenen, komplexen Strukturen und Beziehungen, wertvolle Ressourcen beziehungsweise Rohstoffe optimal sowohl im einzelnen Organismus als auch mehrfach im Laufe der Nutzungsketten zu

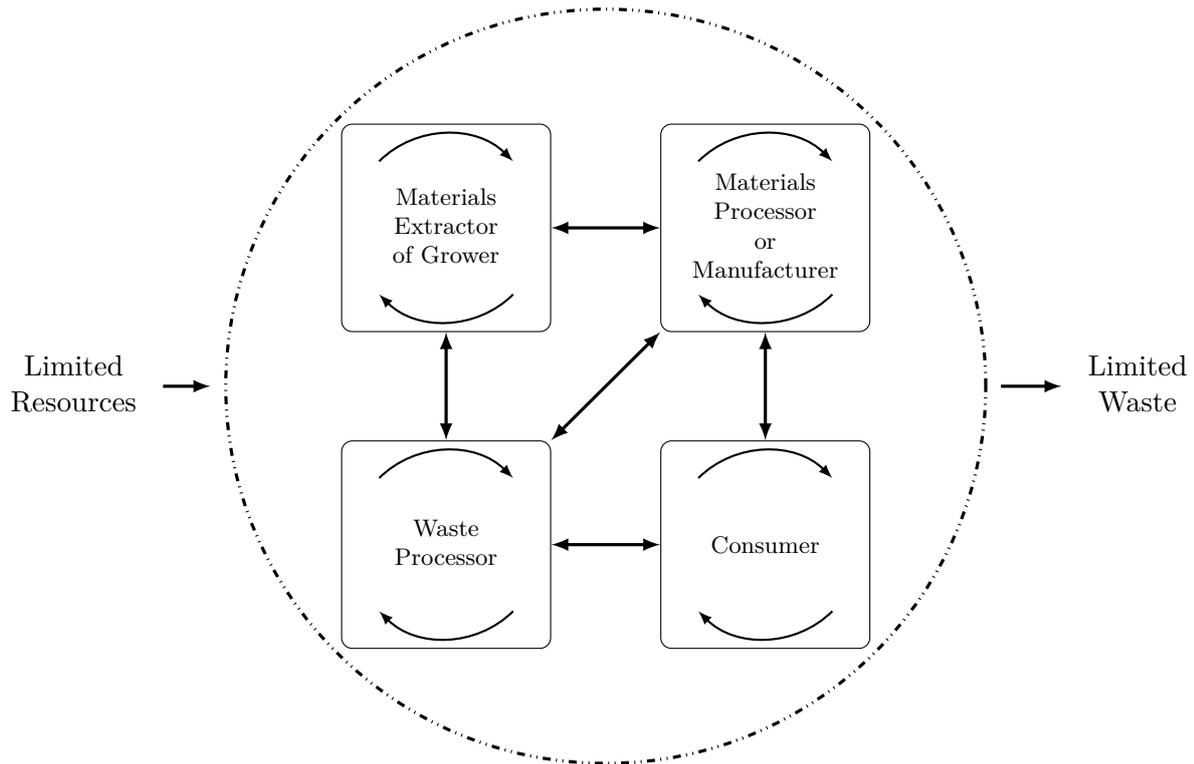
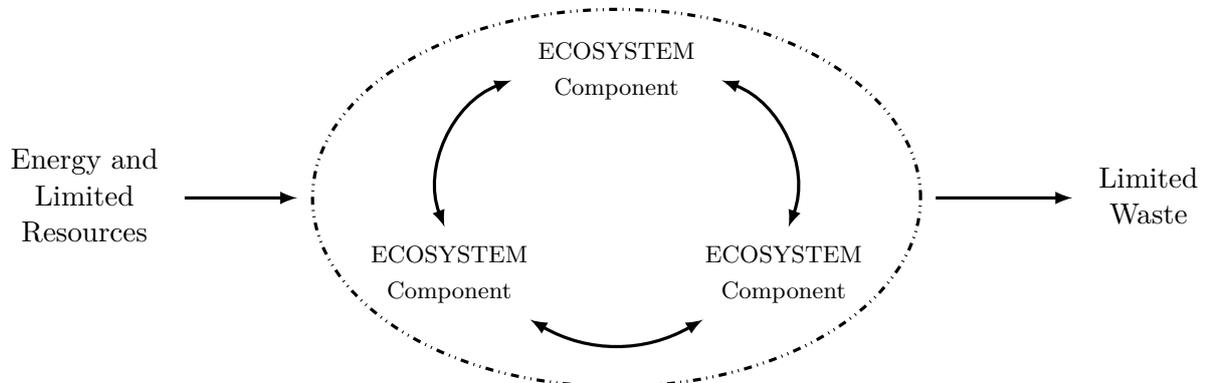


Abbildung 6.3: Modell eines „Typ III“ Industriesystems auf Basis eines natürlichen „Typ III“ Ökosystems (Darstellung in Anlehnung an [69])



(a) Linearer Materialfluss in „Typ I“ Ökosystem (Darstellung in Anlehnung an [69])



(b) Quasi-zyklischer Materialfluss in „Typ II“ Ökosystem (Darstellung in Anlehnung an [69])

Abbildung 6.4: „Typ I“ und „Typ II“ Ökosysteme (Darstellung in Anlehnung an [69])

verwerten. Des Weiteren basiert die komplexe Struktur beziehungsweise die Wechselwirkungen der biologischen Ökosysteme auf Nährstoffen und Ressourcen, welche vor Ort zur Verfügung stehen und von Organismen aufgeschlossen werden können. Als zusätzliche Rohstoffquelle dienen nachwachsende Ressourcen, die vom jeweiligen Ökosystem selbst hergestellt werden. Diese beiden Tatsachen ermöglichen es natürlichen Ökosystemen limitierenden Faktoren, wie eine geringe Verfügbarkeit eines bestimmten Elementes, großteils entgegenzuwirken oder zum Teil in der Waage zu halten. Eine weitere Vorbildfunktion für zukünftige industrielle Systeme kann die Fähigkeit von Ökosystemen sein, mehrere Parameter gleichzeitig optimieren zu können. [43, 55, 69]

Einige Werkzeuge der *Industrial Ecology* kennt man auch von anderen Fachgebieten, beispielsweise des Ressourcenmanagement. Eine Herangehensweise zur Analyse von industriellen Systemen mit dessen Stoff- und Materialströmen kann eine materialspezifische Betrachtungsweise sein. Sie basiert auf einer einfachen Massenbilanz aller ein- und ausgehenden Ströme eines speziellen Materials, um beispielsweise wertvolle oder umweltgefährdende Materialien an einer speziellen Stelle im industriellen Prozess einsparen zu können. Eine andere Analyseverfahren kann eine Bilanzierung um ein speziell herausgegriffenes Produkt sein. In diesem Kontext werden dessen Zu- und Abflüsse hinsichtlich unterschiedlichster Materialien untersucht, sodass es auch hier, wie auch im ersten Fall, in weiterer Folge zu Einsparungen oder Substitutionen von gefährlichen chemischen Stoffen kommen kann. Des Weiteren werden häufig auch Wechselwirkungen und Wege von Chemikalien oder Materialien verfolgt, um ein besseres Verständnis für die komplexen Vorgänge hinsichtlich der Interaktion zwischen industriellem und biologischen Ökosystemen zu erhalten. Neben den beiden erwähnten Verfahren existiert für das Fachgebiet der *Industrial Ecology* noch eine große Palette, wie beispielsweise eine sogenannte Lebenszyklusanalyse (LCA - Life Cycle Assessment). [43, 55, 69]

Um sich *Industrial Ecology* sozusagen bei der Arbeit besser vorstellen zu können, wird sich der nachfolgende Absatz mit Beispielen aus eben dieser Disziplin und deren Forschungsfeld beschäftigen. Als Paradebeispiel soll der Einsatz von Biomasse dienen, sie kann heutzutage technisch im großen Stil und in verschiedensten Verfahren eingesetzt werden. Die *Industrial Ecology* betrachtet in ihrer Arbeitsweise immer auch mögliche Wechselwirkungen beziehungsweise Interaktionen mit der, die Industrie umgebenden, Biosphäre. Ziel ist es, Prozesse zu schaffen, deren Abfallprodukte von biologischen Systemen aufgearbeitet und zu deren Nutzen verwendet werden können. Das industrielle System soll in die ihm übergeordnete Systematik der Natur mit ihren Funktionsweisen und Organisationsstufen besser integriert werden. Im Fall der Nutzung von Biomasse beispielsweise bei der Zellstoffherstellung nach herkömmlichen technischen Verfahren werden große Mengen an Energie benötigt. Durch den Einsatz eines sogenannten Biopulping mit Enzymen, gewonnen aus Pilzen, kommt es zu einer Energieersparnis, da Enzyme, im Vergleich zu vielen chemischen Katalysatoren, reaktions- und substratspezifischer arbeiten können und sich somit auch weniger Nebenprodukte im Prozess bilden. [86] Es kommt zu einer sogenannten Substitution eines speziellen Prozessschrittes. Dieses aus der Disziplin Biotechnologie stammende Beispiel wird jedoch im Zuständigkeitsbereich der *Industrial Ecology* eingegliedert, da eine solche Substitution eines Prozessschrittes immer auch eine wirtschaftliche Komponente des betroffenen

Unternehmen beinhaltet. Solche Projekte entstehen oft durch die Kooperation von Firmen oder Industriepartnern, die bewusst auf Wissenschaftler des Fachgebiets *Industrial Ecology* zugehen. Zusätzlich bereitet das Fachgebiet der Biotechnologie „nur“ die Technologie beziehungsweise das Verfahren, wobei die *Industrial Ecology* mögliche nachhaltige Einsatzgebiete für jenes Verfahren sowie dessen Verträglichkeit innerhalb des biologischen Systems untersucht. [55, 86]

Ein weiteres Beispiel und gleichzeitig auch ein der Eckpfeiler der *Industrial Ecology* stellt der Ansatz der industriellen Symbiose, kurz IS von Industrial Symbiosis, dar. Dieser wird als die gemeinsame Interaktion und Zusammenarbeit von verschiedenen Industrien, welche normalerweise auf traditionellem Wege getrennt Wirtschaft betreiben, an einem gemeinsamen Projekt verstanden. Über das Austauschen von Energie, Wasser, Stoffen sowie Nebenprodukten soll ein gemeinsamer Wettbewerbsvorteil erzeugt werden, von welchem alle Beteiligten profitieren können. Eine Schlüsselfunktion für den Erfolg einer sogenannten industriellen Symbiose spielt die geographische Nähe zwischen den unterschiedlichen Industrien, da auf Grund dessen eine gute Kooperation besser stattfindet und Möglichkeiten von Synergie effektiver ausgenutzt werden können. [27, 84] Durch den beschriebene Austausch von Stoffen soll gleichzeitig auch die umgebende Umwelt und Biosphäre profitieren, da diese dadurch entlastet werden kann. Die Schwierigkeit, welche die Verwirklichung einer industriellen Symbiose mit sich bringt, liegt in der Kommunikation zwischen den Industriepartnern. Einerseits muss ein technischer Austausch von Einsatzstoffen und Produktionsergebnissen möglich sein, andererseits muss zuerst das gegenseitige Bewusstsein geschaffen werden, dass ein Einsatzstoff des einen Unternehmens ein theoretischer Abfallstoff eines anderen Unternehmens darstellt. Wichtig ist, dass der Begriff Abfall, der in seiner gängigen Auffassung eher negativ behaftet ist, eben hier nicht als schlecht empfunden wird. Als realisiertes Beispiel einer industriellen Symbiose ist in der Literatur häufig die Rede vom dänischen *Kalundborg-Komplex*. Da dessen genaue Entwicklung den Rahmen dieser Forschungsarbeit sprengen würde, ist hier eine weiterführende Literaturquelle angeführt: siehe [23]. [23, 55]

Generell bietet die Idee der *Industrial Ecology* Vorteile in ökologischer, wirtschaftlicher und auch sozialer Form, vor allem hinsichtlich der möglichen verstärkten Kommunikation und Kooperation unterschiedlichster Fachbereiche oder Industriefeldern. Nichtsdestotrotz existieren noch einige Herausforderungen, um die *Industrial Ecology* großflächig durchzusetzen zu können. In der Literatur wird auf fünf unterschiedliche Bereiche von Hindernissen hingewiesen für die es nötig ist Strategien dagegen zu finden: Markt- und Informationsstrategien, technische Strategien, Finanz- und Geschäftsstrategien, regionale sowie regulatorische Strategien. Im Folgenden werden nun Lösungen beziehungsweise Herangehensweisen angegeben, wie die jeweiligen Problemfelder in den Griff zu bekommen sind. Vorerst ist es für die *Industrial Ecology* eine der größten Herausforderungen die technischen Probleme für das Implementieren eines funktionierenden Cradle-to-Cradle Konzepts in Industrieprozessen zu beheben. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass jenes erwähnte Konzept von Cradle-to-Cradle keine direkte Verbindung mit der in Abschnitt 6.3 vorgestellten Idee von *Cradle to Cradle* nach Michael Braungart und William McDonough darstellt. Jedoch stehen beide Versionen für das Gleiche: eine funktionierende Kreislaufwirtschaft, die einen, ge-

genüber der Umwelt sicheren, geschlossenen Fluss von Rohstoffen oder Materialien gewährleistet und in der das Wort „Abfall“ ein Fremdwort darstellt, da für jede Verbindung wieder Verwendungspotential vorhanden ist. Vorbild einer solchen Kreislaufwirtschaft sind die Ökosysteme der Natur, in welchen die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Organismen genau jene erwähnten Vorteile bewerkstelligen. Im Laufe dieser Forschungsarbeit werden solche Parallelitäten noch häufiger vorkommen, es wird aber stets an der jeweiligen Stelle darauf hingewiesen werden. Wendet man sich nach diesem Exkurs nun wieder den technischen Herausforderungen, welche die *Industrial Ecology* zu meistern hat, zu, erfordert es viele neue Innovationen, damit es gelingt Abfall in neue Rohstoffe und weiterer Folge in Kapital umzuwandeln. Einfacher Zugang zu Informationen dahingehend, sowie ermutigende Vorschriften oder wirtschaftliche Förderungen könnten helfen die technische Barriere erfolgreich zu meistern. [23]

Bereits bei der Beschreibung von industriellen Symbiosen war die Rede von Regionalität und Nähe. Industriekomplexe, vor allem die sogenannte „schwere“ Industrie, siedeln sich bevorzugt in geographischen Regionen mit Zugang zu Rohstoffen, bequemen Transportmöglichkeiten, technisches Wissen in Form von anderen Unternehmen und vorhandenen Märkten an. Dadurch entstehen auch regional stärker auftretende Abfallströme, welche Wissenschaftler der *Industrial Ecology* in Form von Fallstudien über Regionen Unternehmen zur Verfügung stellen können, damit eine gezielte Ansiedlung Abfall-verwertender Firmen erfolgen kann, um Sektoren und die Umwelt zu entlasten. Umweltentlastung betreffen auch die regulativen Herausforderungen der *Industrial Ecology*. Industrie und Firmen müssen sich an lokale, nationale und internationale Regulierungsstrukturen anpassen. Solche Regelungen haben zur Verbesserung der Umweltqualität geführt, sind jedoch oft schwer zu durchblicken. Die Möglichkeiten einer Abfallwiederverwertung werden durch Vereinbarungen bezüglich dessen Transport über staatliche sowie nationale Grenzen gebremst, was einen stärkeren Einsatz von primären Rohstoffen zur Folge hat. Auch die Lagerung und der Transport von Abfall wird von nationalen Regulierungsapparaten, welche gleichzeitig auch die Behandlungsmethoden des aufkommenden Abfalls festlegen, kontrolliert. Dies breitet einer späteren Materialgewinnung aus Abfallstoffen weitere Schwierigkeiten. Diese gilt es für eine erfolgreiche Implementierung einer funktionierenden *Industrial Ecology* nach erwähntem Cradle-to-Cradle Konzept zu beheben. [23]

Neben Strategien gegen technische, regionale und regulatorische Barrieren muss sich die *Industrial Ecology* auch Gedanken über funktionierende Geschäfts- und Finanzstrategien machen. Es ist wichtig herauszufinden, wie unterschiedliche Unternehmen hinsichtlich Umweltfragen vorgehen und handeln. Firmen sind in der Lage ein breites Spektrum an organisatorischen Ansätzen diesbezüglich anzuwenden. Manche werden sich über ihre Umweltabteilung ausschließlich auf die Einhaltung der verlangten Umweltvorschriften befassen, um eine zivilrechtliche Haftung auszuschließen. Andere werden sich mit ihrem Umfeld mehr auseinandersetzen und neue Innovationen oder Technologien für einen besseren Umgang mit der Biosphäre einsetzen beziehungsweise die firmeneigene Leistung gegenüber der Umwelt verbessern. Solche Entscheidungen, und auch wie beispielsweise Entsorgungskosten in der Buchhaltung verbucht werden, trifft meist die Geschäftsleitung. Diese kurz- und auch langfristigen Entscheidungen von Unternehmen gilt es zu untersuchen. Deshalb ist es dahingehend nötig Forschung zu betreiben, um die Rolle bezie-

hungsweise Auswirkung unterschiedlicher unternehmerischer Organisation und verschiedener Verrechnungspraktiken auf die Umweltleistung zu verstehen. Zusätzlich kann auch ein besseres Verständnis für die Gründe und Anreize, die auf Unternehmen bei der Einführung von neuen Verfahren und Technologien wirken, aufgebaut werden. Wissenschaftliche Studien bezüglich der beschriebenen Forschungsfelder würden die Lernprozesse, welche in der Umgebung von Unternehmen stattfinden, untersuchen und in weiterer Folge helfen, die Gründe für Annahme oder Ablehnung innovativer Umweltpraktiken von Unternehmen zu verstehen. [23]

Das letzte, in der Literatur angeführte, Hindernis stellt eine Aufstellung einer Strategie für die Bereiche Markt und Information dar. Jene Strategien sind stark mit der sozialen und institutionellen Ebene verbunden. Märkte stellen hochentwickelte Maschinen zur Informationsverarbeitung dar, deren Stärke zum Teil auf die Menge verfügbarer Informationen und Rückmeldungen beruht. Es wäre eine Option einen Absatzmarkt für Abfall an der Börse zu implementieren, um interessierte Unternehmen die Möglichkeit zu geben sich gegenseitig auszutauschen. Jedoch ist Forschung für funktionierende Abfallinformationssysteme nötig, welche in weiterer Folge die Grundlage des Handelns bilden. Zusätzlich ist es nötig, im Rahmen der Marktanalyse, neben Trends aus der Vergangenheit hinsichtlich Auswirkungen von Preisunterschieden zwischen Materialien, die wieder gewonnen werden können, und Neuwaren auch den Einfluss von anderen wirtschaftlichen Faktoren, wie beispielsweise Transport- und Verarbeitungskosten auf den Absatzmarkt zu analysieren. Ob eine gewisse industrielle Dichte oder Anhäufung die Entstehung eines solchen Absatzmarktes begünstigt beziehungsweise dessen rentable Entwicklung an einen bestimmten Schwellenwert hinsichtlich der Agglomeration von Industrie gebunden ist, muss ebenfalls mit Hilfe von gezielter Forschung eruiert werden. [23]

Die Thematik der *Industrial Ecology* abschließend, soll der nächste Absatz einen kurzen Überblick über, in der Literatur gefundene, Eigenschaften der wissenschaftlichen Disziplin *Industrial Ecology* geben. Charakteristisch für das Fachgebiet sind, im Vergleich zu anderen, sich mit der Thematik der Nachhaltigkeit beschäftigenden, Forschungsfelder folgende fünf Punkte [55, Gleich, 2008, S.367]:

- *Der Schwerpunkt der IE liegt bei den eher natur- und ingenieurwissenschaftlichen einschließlich der unternehmensbezogenen, managementorientierten Fragestellungen und Problemen der Nachhaltigkeit.*
- *Im Fokus ihrer Arbeit liegt die Erfassung, Bewertung und Optimierung von Stoff- und Energieströmen (und der sie begleitenden Informationsflüsse) einschließlich der Technologien bzw. Arten und Weisen des Umgangs mit ihnen sowie deren Wirkungen auf die belebte und unbelebte Umwelt.*
- *Mit Blick auf die Tatsache, dass der Schwerpunkt der IE nicht auf sozialen, sondern eher auf den ökologischen und Ressourcen orientierten (ökonomischen) Nachhaltigkeitsproblemen liegt, könnte man sie als die „Natur- und Ingenieurwissenschaft der Nachhaltigkeit“ (science of sustainability) bezeichnen.*

- Die IE beschäftigt sich mit der Gestaltung von industriellen Systemen nach dem Vorbild der Natur und kann insofern mit ihrem Versuch, von Ökosystemen zu lernen, bei den „bionischen“ Ansätzen eingeordnet werden.
- Die Entwicklung von Formen eines „angemessenen Umgangs mit (in der Regel) komplexen Systemen“ wird für sie damit zu einer zentralen Herausforderung.

Als „bionischer Ansatz“ im vorletzten aufgezählten Merkmal ist die Tatsache gemeint, dass die *Industrial Ecology* versucht von natürlichen Ökosystemen, in weiterer Folge also von der Natur zu lernen. Das „Lernen von der Natur“ gilt als die Beschreibung der wissenschaftlichen Disziplin der *Bionik*. Hatte sich die *Bionik* in ihren Anfängen vor allem der Übertragung von Zusammenhängen hinsichtlich der Form und Funktion biologischer Vorbilder gewidmet, so verschwimmen die Übergänge zwischen den einzelnen Fach- und Forschungsgebieten immer häufiger, sodass eine eindeutige Zuordnung oft nicht mehr getroffen werden kann. Auf die Disziplin *Bionik* wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit im Abschnitt 6.4 noch näher eingegangen.

Zusammenfassend erstreckt sich das Forschungsfeld der *Industrial Ecology* über ein sehr breites Spektrum von Gebieten. Mit den vorangegangenen Absätzen sollten die Möglichkeiten dieser relativ neuen Disziplin ausgelotet werden und ein grober Überblick über mögliche Herangehensweisen sowie Entwicklungen gegeben werden. Wie schon des Öfteren in dieser Forschungsarbeit können breite Überschneidungen verschiedenster Thematiken beobachtet werden. Interdisziplinäre Forschung und Kommunikation wird für zukünftige Entwicklung immer wichtiger werden, um den Herausforderungen, in welchem Bereich auch immer, gewachsen zu sein.

6.3 Das Konzept „Cradle To Cradle“

Neben der bereits erwähnten *Industrial Ecology* haben sich auch andere Konzepte entwickelt, um die Herausforderungen der Zukunft hinsichtlich Nachhaltigkeit und Co. zu meistern. Eine weitere Idee, um aus dem aktuellen Produktions- und Konsumsystem auszusteigen zeigen Michael Braungart, seinerseits Chemiker, und William McDonough, als Vertreter der Disziplin Architektur, in ihren Büchern auf (siehe [19, 20]). Die Rede ist vom sogenannten *Cradle to Cradle* Konzept, welches von M. Braungart, W. McDonough und der *EPEA (Environmental Protection Encouragement Agency) Internationale Umweltforschung GmbH*, ihrerseits im Jahr 1987 von M. Braungart gegründet, in den Neunzigerjahren des 20. Jahrhunderts hervorgebracht wurde. Die im Jahr 1995 gegründete *MBDC (McDonough Braungart Design Chemistry)* (siehe [91]) mit Firmensitz in Charlottesville (USA) vertritt, wie auch *EPEA* die Ansichten und Konzepte hinter der Idee *Cradle to Cradle*. Vereinfacht formuliert beschreibt diese Idee eine sichere Kreislaufwirtschaft von Nährstoffen und Materialien, die das Potential besitzen soll eine unendliche Zirkulation dieser Stoffe zu garantieren. Des Weiteren steht der ins Deutsche übersetzte Name „Von der Wiege zur Wiege“ für gutes Design, Innovation und Qualität. Gleichzeitig soll diese Idee den begrifflichen Rahmen gewähren, um die zuvor angeführte (siehe Abschnitt 6.2) Grundbeziehung zwischen Natur und Technik beziehungsweise Industrie, wie es im Kontext der *Industrial Ecology*

bezeichnet wird, zu erneuern und umzustrukturieren. Menschliche Aktivitäten (Industrie und Co.) sollen mit der umgebenden Natur und Biosphäre in Einklang gebracht werden. [18, 19, 20, 41, 57, 58, 67, 92]

Wie auch bei der *Industrial Ecology* verwenden M. Braungart und W. McDonough Ansätze aus der Natur und Biosphäre. In ihren Büchern wird oft die Produktivität der Natur und die dadurch entstehenden positiven Rückkopplungen für das gesamte betrachtete Ökosystem am Beispiel einer Ameisenkolonie erläutert. „*Man denke einmal über folgendes nach: Zusammen genommen haben alle Ameisen auf unserem Planeten eine Biomasse, die weit größer ist als die der Menschen. Die Ameisen sind seit Million von Jahren unglaublich emsig. Und dabei nährt ihre Produktivität Pflanzen, Tiere und den Boden. Die von den Menschen geschaffene Industrie ist erst knapp über einem Jahrhundert in vollem Gang, und dennoch hat sie in fast allen Ökosystemen dieses Planeten zu einer Verschlechterung geführt. Im Gegensatz zu den Menschen hat die Natur kein Designproblem.*“ [20, Braungart, 2008, S.33] Dieser beschriebene Mehrwert der Produktivität durch die Ameisen soll für die Gesellschaft, Wirtschaft sowie die Umwelt zugänglich gemacht werden. Um dies erreichen zu können, strebt das Konzept von *Cradle to Cradle* eine Veränderung und Umstrukturierung des industriellen Systems beziehungsweise der industriellen Produktion an. Das bisherige klassische Produktions- und Wirtschaftssystem beruht auf Linearität und stößt mit schwindenden Ressourcen immer öfters an seine Grenzen. Es wird bereits im allgemeinen versucht dieses System durch das Anwenden der Effizienz Strategie, welche bereits in Abschnitt 6.2 beschrieben wurde, nachhaltiger zu gestalten. Nach M. Braungart und W. McDonough stellt dieser Lösungsansatz jedoch den falschen Weg dar, da dadurch versucht wird ein zerstörerisches System weniger umweltschädlicher zu gestalten. Auf Grund dessen wird im Rahmen von *Cradle to Cradle* von einer sogenannten „Öko-Effektivität“ anstatt der gängigen „Öko-Effizienz“ gesprochen. Der Unterschied zwischen diesen beiden Begriffen besteht darin, dass die „Öko-Effektivität“ im Gegensatz zur „Öko-Effizienz“, welche eine Verzögerung beziehungsweise Verringerung der Materialströme eines Produkts von dessen Entstehung/Produktion bis hin zur Vernichtung („from cradle to grave“) zum Ziel hat, die Umwandlung von Produkten und deren Überführung in einen zyklischen Metabolismus anstrebt. Neben dem Vorteil Materialien immer wieder neu nutzen zu können bietet der Ansatz von „Öko-Effektivität“ den positiven Effekt, dass ein brauchbarer Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und ökologischen Systemen gestaltet werden kann, da gesündere Produkte und Systeme ohne ökologischem Gefahrenpotential naturnah hergestellt werden können. Die schrittweise Überführung von „Öko-Effizienz“ auf „Öko-Effektivität“ ist in Abbildung 6.5 grafisch dargestellt. Wie auch die *Industrial Ecology* knüpft *Cradle to Cradle* das Band zwischen Ökologie und Ökonomie neu, ganz nach dem Motto „die Natur ist verschwenderisch - dabei jedoch ein Nützlich für andere Lebewesen“ und „Qualität vor Quantität“. [18, 19, 20, 41, 57, 58, 67, 92]

Vor der Idee von *Cradle to Cradle* formulierten die beiden Buchautoren M. Braungart und W. McDonough im Jahr 1992 die sogenannten „Hannover Principles“. Sie sollten zukunftssträchtige Designrichtlinien im Rahmen der Weltausstellung 2000 werden. Beim schon im vorherigen Kapitel

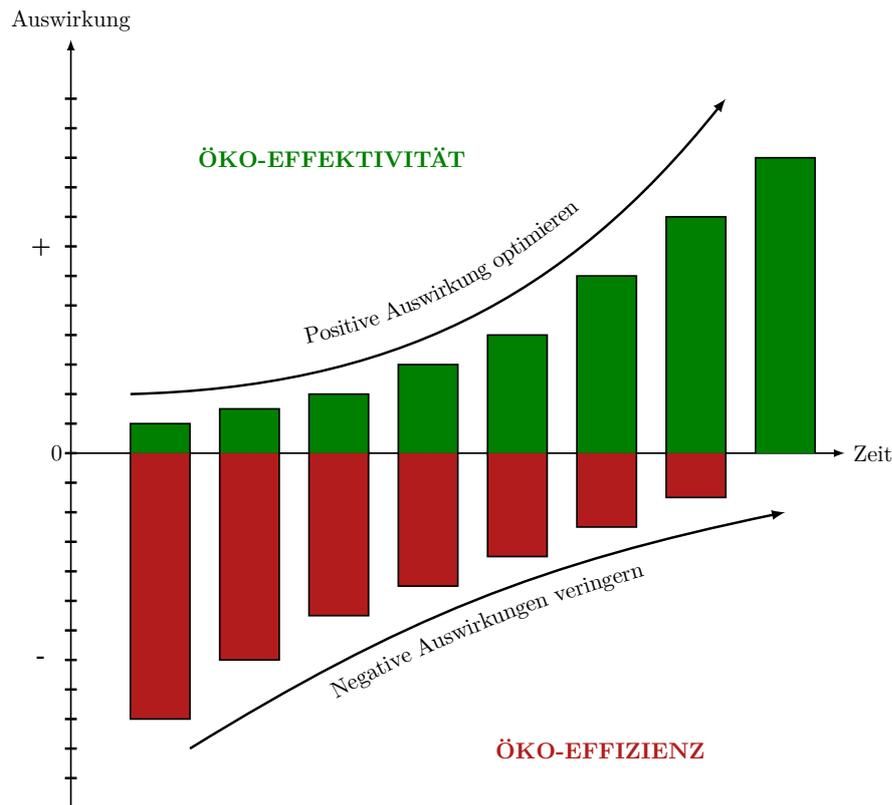


Abbildung 6.5: Effektivität versus Effizienz (Grafik in Anlehnung an [57])

angeführte (siehe Abschnitt 6.2) Umweltgipfel in Rio de Janeiro zum Thema Nachhaltigkeit und Globale Erwärmung im Jahr 1992 wurden jene Prinzipien dann beim „World Urban Forum“ publiziert. In den „Hannover Principles“ wurden jedoch andere, der Effizienz Strategie in Bezug auf Nachhaltigkeit nicht entsprechende, Vorschläge und Prinzipien formuliert. Ziel war es ein nachhaltiges System ohne ökologische Abstinenz zu erfinden, erschaffen durch eine komplette Umstrukturierung der bisherigen Denkvorgänge beziehungsweise Herangehensweise an Aufgaben. Das Ergebnis, die „Hannover Principles“, oder anders formuliert, die für den beschriebenen Umbruch nötigen Richtlinien sind in nachfolgender Aufzählung angeführt [21, Braungart und McDonough, 1992, http://www.mcdonough.com/wp-content/uploads/2013/03/HP-20_email_121023.pdf]:

1. *Insist on the right of humanity and nature to coexist in a healthy, supportive, diverse and sustainable condition.*
2. *Recognize interdependence. The elements of human design interact with and depend upon the natural world, with broad and diverse implications at every scale. Expand design considerations to recognize even distant effects.*
3. *Respect relationships between spirit and matter. Consider all aspects of human settlement, including community, dwelling, industry and trade, in terms of existing and*

evolving connections between spiritual and material consciousness.

4. **Accept responsibility for the consequences of design** decisions upon human well-being, the viability of natural systems and their right to coexist.
5. **Create safe objects of long-term value.** Do not burden future generations with requirements for maintenance or vigilant administration of potential dangers due to the careless creation of products, processes or standards.
6. **Eliminate the concept of waste.** Evaluate and optimize the full life cycle of products and processes to approach the state of natural systems, in which there is no waste.
7. **Rely on natural energy flows.** Human designs should, like the living world, derive their creative force from perpetual solar income. Incorporate this energy efficiently and safely for responsible use.
8. **Understand the limitations of design.** No human creation lasts forever, and design does not solve all problems. Those who create and plan should practice humility in the face of nature. Treat nature as a model and mentor, not as an inconvenience to be evaded or controlled.
9. **Seek constant improvement by the sharing of knowledge.** Encourage direct and open communication between colleagues, patrons, manufacturers and users to link long-term sustainable considerations with ethical responsibility and to reestablish the integral relationship between natural processes and human activity.

Im Gegensatz zu den Forderungen der Umweltschützer der Klimakonferenz in Rio de Janeiro nach weniger Abfall, verlangten M. Braungart und W. McDonough dessen gänzliche Vermeidung, wenn man das Prinzip Nummer Sechs, *Eliminate the concept of waste*, als Beispiel nimmt. [18, 19, 20, 57, 92]

Beide Autoren gehen noch einen Schritt weiter und schreiben in ihren Büchern und dem 1998 veröffentlichtem, gleichnamigen Artikel *The NEXT Industrial Revolution* über jene „nächste industrielle Revolution“, welche ihre Ideen und Konzepte umsetzen beziehungsweise beinhalten soll. Diese zukünftige Industrieversion soll im Vergleich zur „ersten industriellen Revolution“, bei der als Leitparameter die Faktoren Kosten, Ästhetik und Funktion im Vordergrund der systemgestaltenden Schritte stand, die Elemente Gerechtigkeit, ökologische Intelligenz und Spaß berücksichtigen. Des Weiteren soll die neue Strategie nicht die der, weiter oben beschriebenen, Öko-Effizienz sein, sondern neben dem Prinzip der Öko-Effektivität zusätzlich folgende sieben Entwicklungskriterien erfüllen [22, Braungart und McDonough, 1998, S.92]:

The Next Industrial Revolution can be framed as the following assignment: Design an industrial system for the next century that

** introduces no hazardous materials into the air, water and soil*

- * *measures prosperity by how much natural capital we can accrue in productive ways*
- * *measures productivity by how many people are gainfully and meaningfully employed*
- * *measures progress by how many buildings have no smokestacks or dangerous effluents*
- * *does not require regulations whose purpose is to stop us from killing ourselves too quickly*
- * *produces nothing that will require future generations to maintain vigilance*
- * *celebrates the abundance of biological and cultural diversity and solar income*

Nach diesen Richtlinien wurde auch die, für dieses Kapitel dieser Forschungsarbeit namensgebende, Idee von *Cradle to Cradle* inszeniert. Wie bereits in einem vorangegangenen Absatz erwähnt, versucht *Cradle to Cradle* eine Brücke zwischen der Industrie in Form von diversen industriellen Systemen und der umgebenden Biosphäre zu spannen. Somit kann laut M. Braungart und W. McDonough ein neues System geschaffen werden in dem Wachstum positiv konnotiert ist und nicht als negative Eigenschaft hinsichtlich Nachhaltigkeit in Bezug gebracht wird, ganz nach dem eingangs erwähnten Beispiel der produktiven Ameisenkolonie, welche durch ihrer Produktivität zum Gemeinwohl anderer Organismen beiträgt. Das Konzept von *Cradle to Cradle* soll in gewisser Hinsicht die regenerative, positive, gesunde Produktivität der Natur für industrielle Systeme zugänglich machen. Grundstein für jene Industrien liefern Prinzipien aus der Natur, welche für M. Braungart und W. McDonough für naturnahe Produktion stehen [18, 19, 20, 57, 58, 67, 92]:

- Abfall bedeutet Nahrung / Nährstoffe bleiben Nährstoffe
- Nutzung der fortlaufenden Zufuhr von Sonnenenergie / Nutzung von erneuerbaren Energien
- Förderung von Vielfalt / Unterstützung von Diversität

6.3.1 Abfall bedeutet Nahrung:

Das Vorbild für dieses Prinzip bereitet die Natur. Als Paradebeispiel verwenden M. Braungart und W. McDonough den Kirschbaum. Nachdem der Baum in voller Blüte stand, fallen dessen Blüten zur Erde und dienen somit anderen Organismen als Nahrungsquelle. Die in den herabgefallenen Blüten vorhandenen Nährstoffe werden durch Mikroben, Pilze und andere Organismen für das Ökosystem zugänglich gemacht und helfen schlussendlich dem Kirschbaum wieder weiter zu wachsen. Die Früchte des Baumes werden von Vögel gefressen, welche dessen aufgenommene Samen in einem großen Umkreis über ihren Kot verbreiten können und bieten somit dem Baum die Möglichkeit sich auszubreiten. Abfall ist unter dieser Bezeichnung in der Natur nicht vorhanden, da für jeden vorkommenden Stoff beziehungsweise für jede vorkommende Verbindung ein Abnehmer und Verwerter existiert. Menschlicher Abfall wird zum Teil recycelt, verbrannt oder deponiert und ist nicht mehr zugänglich oder nutzbar, weder von uns noch von vielen Organismen

der Biosphäre. Das *Cradle to Cradle* Konzept baut auf diesen beschriebenen Tatsachen auf. Ziel ist es Stoffkreisläufe zu schaffen, in welchen das Wort Abfall in seiner bisherigen Bedeutung durch den Begriff Nährstoff ersetzt werden kann und somit im System zum positiven Nutzen aller vorkommenden Systemelemente verbleiben und verwendet werden kann. Zyklische Materialflusssysteme stellen einen wichtigen Bestandteil des *Cradle to Cradle* Konzepts dar. [18, 19, 20, 57, 92]

6.3.2 Nutzung von erneuerbaren Energien:

Wieder verwenden M. Braungart und W. McDonough den Kirschbaum als Beispiel zur besseren Veranschaulichung der Nutzung von erneuerbaren Energien, oder von einstrahlender Sonnenenergie im Speziellen. Stützte sich die „erste industrielle Revolution“ auf die Vorräte von fossilen Energieträgern, welche im Laufe von Millionen von Jahren durch Umwandlungsprozesse in der Erdkruste entstanden sind, und später auf die Atomenergie und ihrem gefährlichen Potential für zukünftige Generationen, so ist ein weiterer Ansatz des *Cradle to Cradle* Konzepts die Nutzung von Sonnenenergie direkt oder in indirekter Form. Nutzt man die aktuell verfügbare Energieform so gefährdet man im Sinne des Nachhaltigkeitsprinzips die zukünftigen Generationen, im Vergleich zu fossilen Energieträgern nicht. Die Möglichkeiten der Nutzung von erneuerbaren Energiequellen sind sehr vielfältig. Sie reichen vom direkten Einfangen der eingestrahelten Sonnenenergie mit Hilfe von Photovoltaikanlagen oder Solarwärmekraftwerken, über Windkraftanlagen, welche die, auf Grund von Temperaturunterschieden durch unterschiedlich starke Einstrahlung der Sonne in verschiedenen Zonen der Erde, bewegten Luftmassen nutzen, bis hin zur Nutzung von Biomasse, welche von Pflanzen gespeicherte Sonnenenergie verkörpert. [18, 19, 20, 57, 92]

6.3.3 Förderung von Diversität:

Das dritte, aus der Natur übernommene, Prinzip für das *Cradle to Cradle* Konzept basiert auf der Komplexität natürlicher Ökosysteme und die daraus resultierende Funktionalität. Die Biosphäre bietet im Vergleich zu den standardisierten Lösungen der „industriellen Revolutionen“ eine breite Palette an möglichen Vorschlägen und Konzepten für diverse Problem- beziehungsweise Aufgabenstellungen. Ziel ist es sich die unendliche Vielfalt der Natur als Vorbild für die Produktion und das Design von Gütern zu nehmen. Dadurch kann die natürliche Effektivität ausgenutzt werden und industrielles Wachstum mit einem positivem Synergieeffekt hinsichtlich sozialer, ökonomischer und ökologischer Ziele realisiert werden. Versorgungsketten, Materialstromsysteme oder Herstellungsprozesse können mit neuen Designs so verändert werden, dass ein Mehrwert für alle, sowohl für das menschliche industrielle System, als auch für die umgebenden Ökosysteme, entstehen kann und neue Nischen erschlossen werden können. Das Prinzip der Förderung von Diversität bedeutet im Kontext von *Cradle to Cradle* sich die Natur beziehungsweise Biosphäre als Vorbild für zukünftige Designs und Systeme zu nehmen. [18, 19, 20, 57, 92]

Das Design der naturnahen Produktion nach dem *Cradle to Cradle* Konzept baut auf diesen drei angeführten natürlichen Prinzipien auf. Die Idee von *Cradle to Cradle* und somit jener der naturnahen Produktion beziehungsweise der „Öko-Effektivität“ kann mit zwei unterschiedlichen Kreisläufen beschrieben werden, welche in Abbildung 6.6 graphisch dargestellt sind. Auf der einen Seite befindet sich der biologische Stoffwechselkreislauf beziehungsweise Metabolismus, auch als Biosphäre bezeichnet, auf der anderen Seite werden industrielle Systeme und Technik über den technischen Stoffwechselkreislauf oder die Technosphäre vertreten. Natürlich vorkommende Prozesse, wie beispielsweise die Umwandlungs- und Zersetzungsprozesse durch Mikroorganismen, werden im biologischen Kreislauf zusammengefasst, wobei der technische Metabolismus die zyklische Nutzung von wertvollen Materialien, deren Rückgewinnung und Reproduktion beinhaltet. Gemeinsam haben diese beiden Sphären, dass der in ihnen zirkulierende Nährstoffstrom in Form von Materialien zu einer gesunden Produktivität beiträgt. Des Weiteren ist in Abbildung 6.6 ersichtlich, wie eine funktionierende „Circular Economy“¹⁸ beziehungsweise Kreislaufwirtschaft aussehen kann. [18, 19, 20, 41, 57, 58, 67, 92]

6.3.4 Biologischer Kreislauf - Biosphäre:

Wie bereits erwähnt beinhaltet der natürliche Stoffwechselkreislauf beziehungsweise die Biosphäre jenes Netzwerk zwischen verschiedensten Organismen, welches die Diversität, Komplexität und Funktionalität der Natur widerspiegelt. Die Biosphäre ist ihrerseits wiederum aus vielen einzelnen kleineren Kreisläufen und Teilsystemen aufgebaut, in welchen Abbauprodukte beziehungsweise Nährstoffe aus anderen biologischen zyklischen Systemen verarbeitet werden. Diese Verkettung setzt sich bis ins unendliche fort und steht für die Komplexität, welche für die Wissenschaft teilweise nur schwer nachzuvollziehen ist. Auch der Mensch zählt als Mitglied der Biosphäre und kann sich auf Grund dessen durch gesunde Produktivität positiv mit einbringen. Generell werden den biologischen Metabolismus optimal durchlaufende Stoffe auch als biologische Nährstoffe bezeichnet. Ein ideales Beispiel für diese Art von Nährstoff und dessen hervorragenden Kreislauf ist der Stickstoffkreislauf. Er, sowie viele andere Beispiele für biologische Nährstoffe sollen eine Vorbildfunktion für unsere Systeme darstellen. Vom Menschen in naturnaher Produktion geschaffene Produkte und Güter sind biologisch oder in irgendeiner anderen Art und Weise abbaubar beziehungsweise degradierbar. Sie stellen somit weder während ihrer Lebensdauer noch für spätere Lebenssysteme eine Gefahr dar, da ihre beinhaltenden Nährstoffe problemlos der Umwelt wieder zurückgegeben werden können. Solche biologischen Nährstoffe sollen im Kontext von *Cradle to Cradle* als Verbrauchsgüter verwendet und bezeichnet werden. Kandidaten dieser Güterkategorie sind beispielsweise „Wegwerfverpackungen“, Wasch- und Reinigungsmittel oder, durch die eigentliche Nutzung in chemischer, physikalischer oder biologischer Hinsicht veränderte, Produkte, wie Bremsbeläge und Schuhsohlen. [18, 19, 20, 57, 58, 67, 92]

M. Braungart und W. McDonough führen ein neu entwickeltes, naturnah produziertes Produkt als Beispiel für einen natürlichen Nährstoff in ihren Büchern und auch online an. Die Rede ist vom, in Kooperation mit *EPEA*, *MBDC*, dem in der Schweiz ansässigen Textilhersteller *Rohner*

¹⁸die Originalabbildung ist unter <https://www.epea.com/de/toolbox-circular-economy/> zu finden

Textil und dem Hersteller von Möbelbezugsstoffen *DesignTex* entworfenen, textilen Stoff *ClimateX Lifecycle*. Hergestellt ist der neuartige Textilstoff aus einer Kombination von neuseeländischer Schafwolle und einer Faserpflanze mit dem Namen Ramie. Die zur Färbung benötigten Farbstoffe wurden durch ein, von *EPEA* entwickeltes Verfahren, hinsichtlich der technisch und ökologisch geforderten Eigenschaften ausgewählt. Bei der Produktion anfallende Produktionsausschüsse, der bei der Textilherstellung produzierte Verschnitt, sowie generelle Stoffabfälle erfuhren einen weiteren Verfahrensschritt. Dieser bestand darin jene Abfälle zu Filz zu verarbeiten, welcher in weiterer Folge als Gartenmulch für verschiedenste Pflanzenarten eingesetzt werden kann. Auch ein fertiges Produkt bestehend aus dem Stoff *ClimateX Lifecycle* kann am Ende seiner Verwendungszeit der Umwelt problemlos zugeführt werden, da es Organismen möglich ist Nährstoffe aus ihm zu extrahieren. [19, 20, 57]

6.3.5 Technischer Kreislauf - Technosphäre:

Im Gegensatz zum biologischen Stoffwechselkreislauf zirkulieren im technischen Metabolismus, der sogenannten Technosphäre, komplexe Gebrauchsgüter. Basierend auf beziehungsweise den Funktionsprinzipien der Biosphäre nachempfunden existieren in der Technosphäre ebenfalls mehrere kleine geschlossene Kreisläufe, in welchen technische Nährstoffe zirkulieren. Per Definition besitzt ein solcher technischer Nährstoff die Eigenschaften in einem technischen Zyklus, bestehend aus Herstellung, Wiedergewinnung und Nutzung des Produktes, seinen materiellen Wert nicht zu verlieren und immer wieder neu Verwendung zu finden. Leider ist dies in unserem aktuellen industriellen Systemen nicht der Fall. In der Technosphäre des *Cradle to Cradle* Ansatzes kommt es zum „upcycling“ beziehungsweise zur Aufwertung von Materialien. Technische Nährstoffe lassen sich in langlebigen Gebrauchsgütern wiederfinden, welche beim Hersteller für den Gebrauch sozusagen geleast werden können, wobei das Gut nicht in den Besitz der Konsumenten übergeht. Dadurch ist es laut M. Braungart und W. McDonough möglich einen endlosen Umlauf basierend auf Wiederaufbereitungsleistungen und darauf folgende Neunutzung zu gewährleisten. Dieses Konzept wird auch „Öko-Leasing“ genannt und bietet auf beiden Seiten Vorteile, da der Hersteller beispielsweise Eigentümer über die eingesetzten Materialien bleibt und die Konsumenten dahingehend diese materielle Verpflichtung, welche auch die richtige Entsorgung mit einschließen würde, abgeben. Des Weiteren existiert über einen langen Zeitraum eine Verbindung beziehungsweise Beziehung zwischen beiden Parteien. Technische Nährstoffe können auch, bei einem nachgeschaltetem, gut entwickeltem Materialtrennungskonzept, mit natürlichen Nährstoffen kombiniert und zu komplexen Produkten oder Gütern weiterverarbeitet werden. Viele unserer zur Zeit genutzten Produkte oder Güter, wie moderne Computer oder abgebrannte Brennstäbe aus Atomkraftwerken, können per Definition nicht unter dem Deckmantel der Öko-Effektivität verstanden werden, da sie sich nicht im Kreislauf führen lassen, weder in der Bio- noch in der Technosphäre. Das Ziel von *Cradle to Cradle* ist es somit jene Produkte neu zu designen, sodass dieses positive Kreislaufpotential gewährleistet werden kann. [18, 19, 20, 57, 58, 67, 92]

Ein Beispiel für ein bereits realisiertes „Öko-Leasing“, auf der Idee von *Cradle to Cradle* aufbauend, zeigt die amerikanische Firma *Shaw* in der Teppichbranche. Sie hat ein System für

den Teppichboden *EcoWorx* entwickelt, dass eine Rückgewinnung des eingesetzten Werkstoffes „Nylon 6“ auf höchster Qualität ermöglicht ohne Qualitätseinbußen hinsichtlich Materialqualität zu erhalten. Würde es auf gängige Art und Weise recycelt, würde die Länge der synthetisch hergestellten Polymere abnehmen und jene noch zusätzlich während des Recyclingverfahrens mit anorganischen Stoffen kontaminiert werden, was die Einsatzmöglichkeiten des recycelten Rohstoffes herabsetzt. [19, 20, 57]

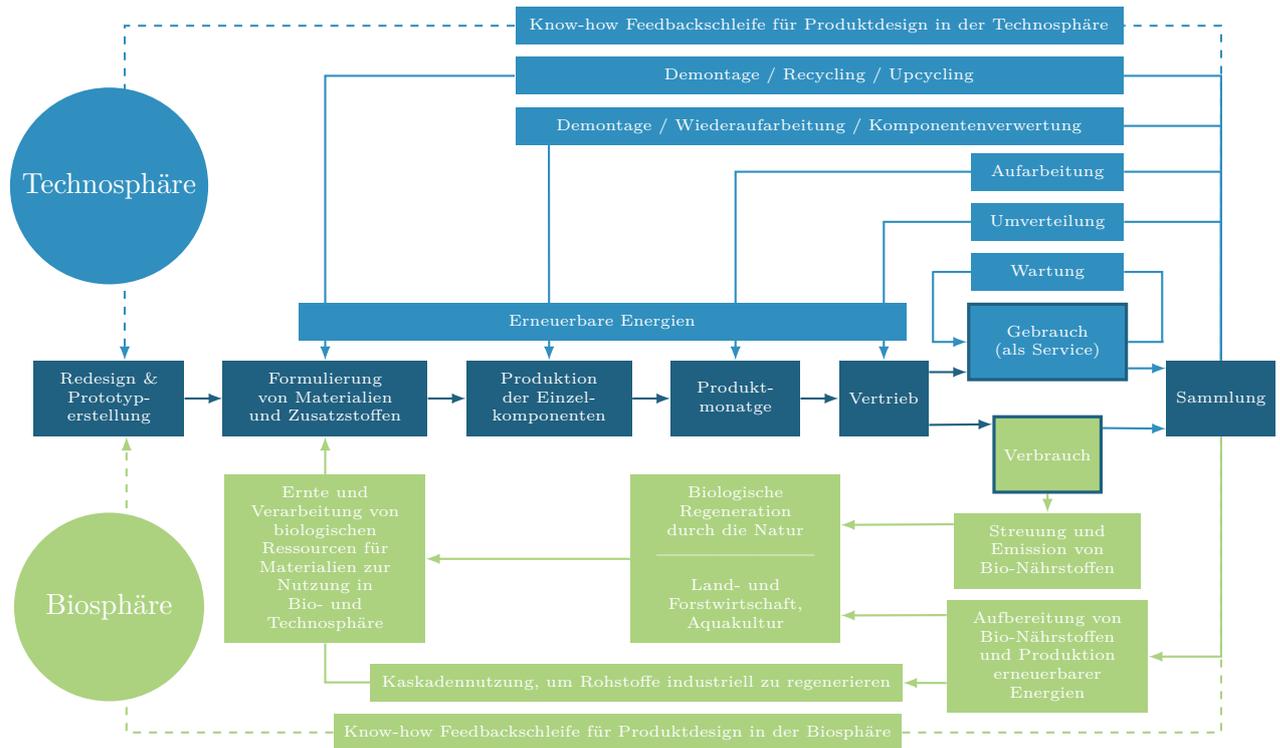


Abbildung 6.6: Schematische Darstellung der „Circular Economy“ inklusive technischem und biologischem Kreislauf nach M. Braungart, W. McDonough und der *EPEA Internationale Umweltforschung GmbH* (Graphik in Anlehnung an [57])

Auch zählt die 2002 von M. Braungart und W. McDonough entwickelte „Triple Top Line“ zur Idee von *Cradle to Cradle* dazu und ist in Abbildung 6.7 veranschaulicht dargestellt. Die „Triple Top Line“ steht der bereits länger etablierten „Triple Bottom Line“, welche ein Verantwortungskonzept für Unternehmen verkörpert, gegenüber. Jenem Konzept der „Triple Bottom Line“ folgend, sollen Einrichtungen mit dem wirtschaftlichen Erfolg ihres Kerngeschäftes einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung, im sozialen und ökologischen Kontext, beisteuern. Auch in der Finanzbranche wird diese „Triple Bottom Line“ für die Beurteilung der Geschäftsbeziehungswise Kreditwürdigkeit eines Unternehmens durch Banken oder Kreditinstitutionen angewandt. Auf der anderen Seite steht nun das Konzept der „Triple Top Line“, welches, wie auch *Cradle to Cradle*, sein Design auf Naturgesetzen aufbaut. Das Kernelement der neuen „Triple Top Line“ Vision ist Wirtschaftswachstum kombiniert mit Umweltgesundheit und sozialer Gleichheit. Im Gegensatz zur „Triple Bottom Line“, bei der der ökologische und soziale Aspekt

in allen Bereichen eines Konzerns als Endergebnis der Gewinn- beziehungsweise Verlustrechnung quantifiziert wird, soll der Ansatz der „Triple Top Line“ alle Systeme und Produkte hinsichtlich ihrer ökologischen, ökonomischen, sozialen sowie kulturellen Umgänglichkeit prüfen und keinen dieser Bereiche bevorzugt gewichten. M. Braungart und W. McDonough stellen in ihren Büchern sowie Homepages eine Vorgehensweise vor, wie die beschriebene Vision nach dem *Cradle to Cradle* Konzept verwirklicht werden kann. Auf diese Thematik wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit jedoch nicht weiter eingegangen. [19, 20, 68]

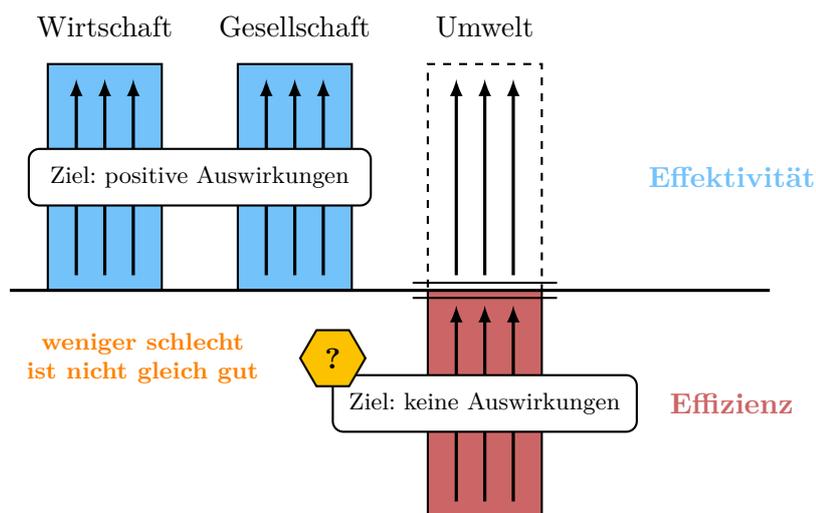


Abbildung 6.7: Triple Top Line (Grafik in Anlehnung an [57])

6.4 Bionik - „Lernen von der Natur für die Technik“

Die Wurzeln des aus den beiden Wörtern beziehungsweise Disziplinen *BIO*logie und *TechnIK* zusammengesetzte Begriffs *Bionik* reichen in die Sechzigerjahre des 20. Jahrhunderts zurück in denen der amerikanische Luftwaffenmajor J. E. Steele den Begriff „bionics“ verwendet und geprägt hat. Die bionischen Wurzeln reichen jedoch viel weiter als in die Sechzigerjahre des 20. Jahrhunderts zurück. Leonardo da Vinci zählt zu einem der ersten Vertreter von bionischen Innovationen und Überlegungen. In manch Literatur ist er sogar als der Gründervater der, in diesem Abschnitt behandelten, Disziplin *Bionik* beschrieben. Somit beginnen die ersten übermittelten bionischen Überlegungen etwa im 15. und 16. Jahrhundert. Zurück in den Sechzigerjahren wich die Bezeichnung „bionics“ im angelsächsischen Raum später dem Begriff „biomimetics“. Hinter all diesen unterschiedlichen Wörtern versteckt sich trotzdem ein und die selbe Vorgehensweise: „[...]Lernen von der Natur für die Technik“. [97, Nachtigall, 2008, S.7]

Diese recht allgemein gehaltene Beschreibung spiegelt zwar die Idee hinter der Wissenschaftsdisziplin *Bionik* wieder, erklärt sie jedoch nicht sehr ausführlich. Etwas spezifischer beschreibt der *Verein Deutscher Ingenieure (VDI)* im Jahr 1993 die Kernaufgabe des Fachgebietes als das technische Umsetzen beziehungsweise Anwenden von Prinzipien nach dem Vorbild von

biologischen Systemen hinsichtlich der drei großen Hauptkategorien Konstruktion, Verfahren und Entwicklung. Jene Hauptaspekte und in weiterer Folge die stärker spezifizierten Teilaspekte der *Bionik* sind in Abbildung 6.9 graphisch dargestellt - sie soll einen groben Überblick über die vielfältigen Anwendungs- und Forschungsmöglichkeiten der relativ neuen Disziplin geben. W. Nachtigall, seinerseits Verfasser von vielen Büchern über *Bionik*, fügt jener Definition seitens des VDI noch einen wichtigen zukunftssträchtigen Aspekt hinzu. Die Rede ist vom Potential, welches von dieser Forschungsrichtung erschlossen werden kann, um die Technik dementsprechend zu verändern beziehungsweise zu beeinflussen, dass sie der Umwelt und dem Menschen selbst bessere Dienste erweist und ihnen stärker von Nutzen ist. [26, 80, 95, 96, 97, 98, 99, 114]

Das wissenschaftliche Fachgebiet der *Bionik* sollte nicht mit dem der *Technischen Biologie* verwechselt werden. Beide Disziplinen gehen Hand in Hand, da eine gegenseitige Abhängigkeit vorhanden ist. Erforscht die *Technische Biologie* oben erwähnte Konstruktions-, Verfahrens-, oder Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme beziehungsweise der Natur aus den Blickwinkeln beispielsweise der *Technischen Physik*, der *Technischen Chemie* oder anderer ähnlicher Fachgebieten, so beschäftigt sich die *Bionik* mit der Überführung der, durch die *Technische Biologie* gewonnenen, Ergebnisse zurück in die technische Welt und bietet somit neue, innovative Alternativen und Projektionen an. Die theoretische Vorgehensweise beziehungsweise Zusammenarbeit ist in Abbildung 6.8 vereinfacht dargestellt und soll denn Wissensfluss zwischen der technischen und biologischen Welt, ähnlich der etwas früher in dieser Forschungsarbeit beschriebenen Idee der *Industrial Ecology* (siehe Abschnitt 6.2) oder das *Cradle to Cradle* Konzept von M. Braungart und W. McDonough (siehe Abschnitt 6.3), verkörpern. [26, 80, 95, 96, 97, 98, 99, 114]

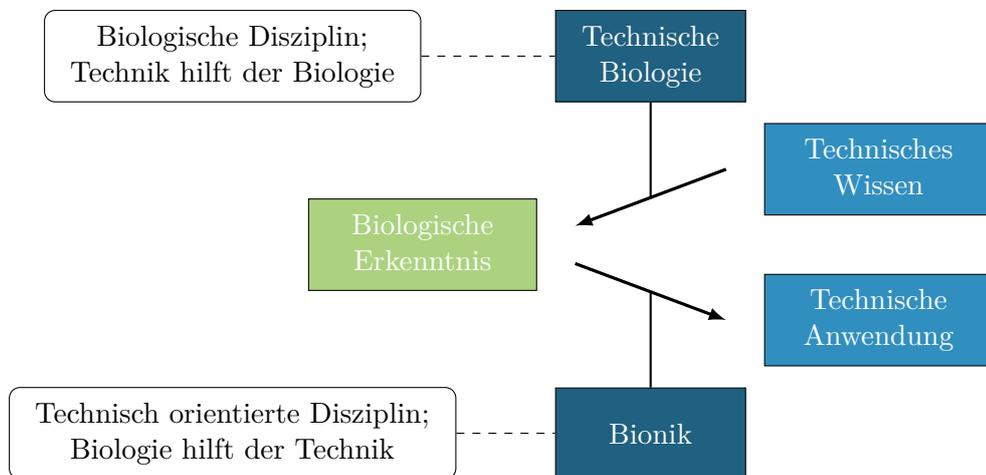


Abbildung 6.8: Verknüpfung von technischem und biologischem Wissen und Erkennen durch Technische Biologie und Bionik (Darstellung in Anlehnung an [96])

Die zuvor erwähnten, durch die *Bionik* gewonnenen, in die Technik übergeführten Naturprinzipien und daraus resultierenden Innovationen sollen sowohl für den Menschen als auch für die Umwelt einen besseren Nutzen bereiten. Ziel der beiden Disziplinen, *Technische Biologie* und *Bionik*, ist es die Kluft beziehungsweise gängige Trennung zwischen der technischen und natürli-

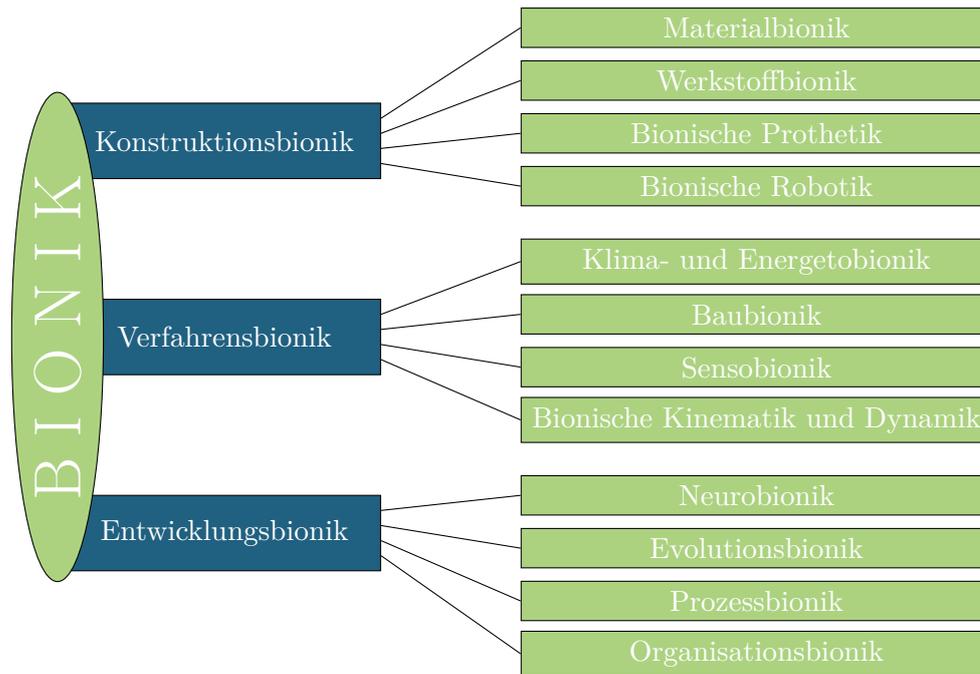


Abbildung 6.9: Aspekte und Teilaspekte der Bionik (Darstellung in Anlehnung an [97])

chen oder biologischen Welt zu überbrücken, da die Vertreter dieser beiden Forschungsfelder die Meinung vertreten, dass biologisch orientierte und technische Disziplinen voneinander lernen und dadurch nur profitieren können. Somit wird es Ingenieuren ermöglicht sich alternative Konzepte und Prinzipien hinsichtlich der in Abbildung 6.9 aufgelisteten Forschungsfelder anzueignen und sich aus dem Wissenspool der evolutionären Natur zu bedienen. Biologen auf der anderen Seite sollen laut W. Nachtigall sich nicht nur auf das Zusammentragen von Daten reduzieren, sondern mit der Erkenntnis neuen Wissens auf Ingenieure zugehen und diese dadurch bis an die Grenzen des Zumutbaren fordern. „[...] Nur so können wir aus festgefahrenen, scheinbar unabdingar vorgegebenen Pfaden ausbrechen.“ [97, Nachtigall, 2008, S.10] [26, 80, 95, 96, 97, 98, 99, 114]

Vorweg seien einfache Beispiele¹⁹ angeführt, sodass die Aufgabe und Idee der *Bionik* besser verständlich gemacht wird. Matthew Baker, seinerseits königlicher Schiffsbaumeister in England, entwickelte ungefähr ab dem Jahr 1576 einen neuartigen Galeonen Typ. Dieser zeichnete sich durch bessere Kursstabilität, Wendigkeit und erhöhte Schnelligkeit verglichen mit den gängigen Galeonen-Typen aus. Jene Vorteile konnte M. Baker durch Naturstudien der Strömungseigenschaften von Meeresfischen und anschließender Abstraktion der gewonnen Erkenntnisse auf die neuartige Boots- beziehungsweise Rumpfform übertragen. In diesem Beispiel ist die in Abbildung 6.8 dargestellte Brücke zwischen Biologie und Technik eindeutig zu erkennen. Zuerst konnten durch die *Technische Biologie*, hier das Studium von Meeresfischen, Erkenntnisse über optimierte Strömungseigenschaften gewonnen werden, welche danach mit Hilfe der *Bionik*, hier die Übertragung beziehungsweise Abstraktion jener biologischen Erkenntnisse auf den Rumpf

¹⁹weitere Beispiele können Sie in folgender Literatur nachlesen: [26, 80, 95, 96, 97, 98, 99, 114]

der Galeone, eine technische Anwendung erfuhren. Nebenbei sei noch erwähnt, dass es den Engländern unter anderem durch den neuen Galeonen Typ und dessen Vorteile möglich war die Vorherrschaft in der Seefahrt für sich zu behaupten. [97, 99]

Die Erfindung des Klettverschlusses gilt wohl als eines der Paradebeispiele für die *Bionik*. Der Schweizer Georges de Mestrals gab im Jahr 1980 der Journalistin D. Dumanowsky ein Interview, wie der Grundstein des modernen Klettverschlusses im Jahr 1941 gelegt wurde. De Mestrals war nach einem Jagdausflug von der Hartnäckigkeit mit der sich Kletten im Fell seines Jagdhundes und seiner Wollhose festhielten verblüfft und erkannte unter dem Mikroskop feine Haken an deren Enden. 1951 bereits als Patent angemeldet, entstand schließlich nach einer langen Zeit das erstmals unter dem Namen *Velcro* bekannte Produkt. Auch der nach dem Lotus Effekt benannte Fassadenlack „Lotusan“, welcher von W. Barthlott und Ch. Neinhuis erfunden wurde, benötigte neben viel Geld auch viel Zeit, insgesamt 20 Jahre, um die Marktreife zu erlangen. [95, 96, 97, 98, 99]

Aus den zuvor erwähnten Beispielen sind bereits die grundlegenden drei Prozesse beziehungsweise nacheinander geschalteten Vorgehensweisen der *Bionik* erkennbar. Vorweg sei angemerkt, dass die Herangehensweise der *Bionik* keine 1:1-Kopien aus der Natur erzeugt oder anders ausgedrückt technische 1:1-Kopien nicht zur *Bionik* per Definition zählen. Bei den erwähnten Beispielen handelt es sich sehr wohl um *Bionik* im eigentlichen Sinne, da beispielsweise der Rumpf des neuen Galeonen Typs von M. Baker nicht die Form eines Fisches, wie es in der Literatur teilweise dargestellt wird, besitzt sondern nur dessen Prinzipien auf ihn übertragen wurden. [95, 96, 97, 98, 99]

Zurück zur Methodik, welche nötig ist, um ein bionisches Produkt oder System entwickeln zu können, lassen sich nach W. Nachtigall drei einzelne Schritte unterscheiden [97, Nachtigall, 2008, S.55/56]:

1. *Erforschung [A] der belebten Welt. Das bedeutet im Allgemeinen das Erkennen von Struktur-Funktions-Beziehungen bei bestimmten Arten von Tieren und Pflanzen oder bei bestimmten Organen davon.*
2. *Abstrahieren [B] allgemeiner Prinzipien aus den biologischen Originaldaten, die sich aus (1) ergeben haben.*
3. *Umsetzung [C] der allgemeinen Prinzipien nach (2) auf adäquate, das heißt technikangemessene Weise durch den konstruierenden Ingenieur.*

W. Nachtigall beschreibt des Weiteren, dass *Bionik* im eigentlichen Sinne nur der Schritt C aus oben erwähnter Aufzählung ist, beziehungsweise der Übergang der Schritte B auf C. Der erste Schritt, A, ist generell die Aufgabe der *Technischen Biologie*, welche als eigene wissenschaftliche Disziplin Grundlagenforschung betreibt und diese für die nachfolgenden Schritte (B, C) bereitstellt. *Technische Biologie* wird jedoch auch als Verbindungselement zwischen den Schritten A und B dargestellt. Somit kann der zweite Schritt, B, als gemeinsame Schnittmenge

beziehungsweise als gemeinsamer Nenner beider Wissenschaftsdisziplinen angesehen werden. Verglichen mit der *Bionik*, welche unter die Kategorie angewandte Forschung fällt, stellen die Erkenntnisse aus der *Technischen Biologie*, welche ihrerseits der Grundlagenforschung zugehörig ist, bereits ein akzeptables Resultat beziehungsweise Forschungsergebnis dar. Deshalb existiert nach W. Nachtigall eine strikte Trennung dieser beiden Fachgebiete, da, falls *Bionik* als die gesamte Methode (von A bis C) angesehen würde, Ergebnisse aus Schritt A mit nachfolgender Beendigung der Forschung nicht den Erwartungen an die *Bionik* per Definition erfüllen würden. Das endgültige Produkt oder System ist jedoch das Ergebnis beider Disziplinen. [95, 96, 97, 98]

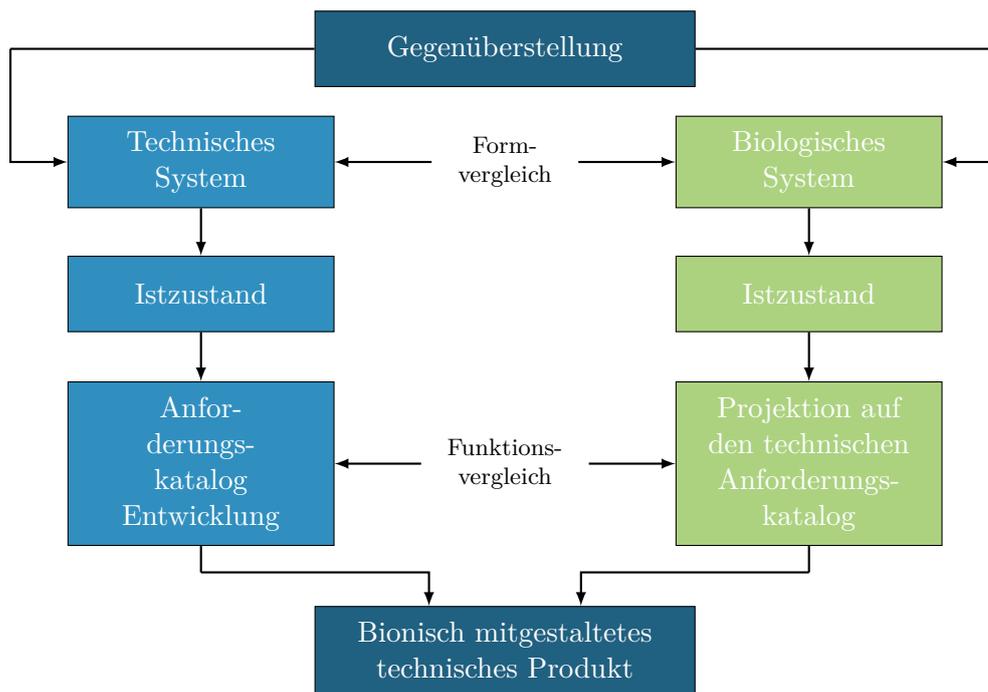


Abbildung 6.10: Flussdiagramm der Analogieforschung. Bionischer Form- und Funktionsvergleich (Darstellung in Anlehnung an [97])

Wie genau die Zusammenarbeit zwischen Biologie und Technik aussehen kann, wird das Thema dieses Absatzes sein. Zu Beginn ist eine Evaluierung des Istzustandes beider Systeme durchzuführen. Gleich wie das technische System sich aus einem Katalog von Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt zusammensetzt, existiert parallel dazu ein vergleichbares biologisches System, dessen aktueller Zustand beziehungsweise Eigenschaften beschrieben werden müssen. Diese Vorgehensweise wird auch Analogieforschung genannt, deren weitere Schritte in Abbildung 6.10 als Blöcke veranschaulicht sind. Voraussetzung für die Analogieforschung für ein technisches System beziehungsweise Produkt ist das Vorhandensein eines äquivalenten oder ähnlichem biologischen Systems mit dem das erwähnte technische verglichen werden kann. Jener Vergleich ist über zwei verschiedene Ebenen möglich. Neben dem Formvergleich existiert auch noch die Möglichkeit einen Funktionsvergleich durchzuführen. Oft wird die Option des Formvergleichs von Designern angewandt, um eine gewisse Formähnlichkeit des natürlichen Systems

ohne dessen Eigenschaften zu erhalten, welche jedoch für bionisches Forschen höchstens ein nebensächliches Ergebnis darstellt. Weitaus relevanter für die *Bionik* ist der Funktionsvergleich, da bei dieser Vergleichsart funktionale Elemente aus biologischen Systemen und der Natur, sofern vernünftige vorhanden sind, in die Gestaltung des technischen Produktes oder Systemes mit einfließen können. Die Schwierigkeit beim Funktionsvergleich ist jedoch die Uneindeutigkeit beziehungsweise das Auffinden möglicher Vergleichselemente, da auf den ersten Blick oft nicht alle Eigenschaften hinsichtlich Material, Struktur oder Wirkungsweise erkennbar sind. Es müssen selbstverständlich Wagnisse eingegangen werden, was die Kreativität der Gegenüberstellung von technischen und biologischen Systemen anbelangt. W. Nachtigall schreibt in einem seiner Bücher, dass seine Erfolgsquote oder der Wirkungsgrad einen vernünftigen, anwendbaren Funktionsvergleich durchführen zu können bei etwa 10% liegt, was aber völlig im Rahmen liegt, da die *Bionik* oft nach dem Ausschlussverfahren arbeitet. [95, 96, 97, 98, 99]

Neben den zwei, im vorangegangenen Absatz beschriebenen, Vergleichen zwischen technischen und biologischen Systemen ist es für ein erfolgreiches bionisches Produkt oder System wichtig die geeigneten Kontaktstellen zwischen Biologie und Technik zu eruieren. In Abbildung 6.11 ist auf der technischen Seite (links) die gängige Vorgehensweise zur Implementierung eines Produktes am Markt graphisch veranschaulicht. Wurde ein geeignetes Konzept für ein Produkt gefunden folgen die nächsten Schritte. Nach der Ausarbeitung eines Prinzips folgt daraus ein sogenanntes Nullmodell beispielsweise als CAD-Konstruktion, welches nach mehreren Überarbeitungen schließlich in der Endausführung mündet. Der nächste Schritt ist eine erfolgreiche Implementierung auf dem Markt. Ein Iterationsprozess beginnt, wenn die Bindung des Produktes auf dem verfügbaren Markt nachlässt und somit eine Weiterentwicklung des Produktes verlangt. Dies verlangt eine Abänderung des Prinzipes und die beschriebene Prozesskette wird erneut durchlaufen. Genau zu diesem Zeitpunkt, wenn eine neue Iterationsstufe startet, hat die Biologie beziehungsweise *Bionik* die Möglichkeit alternatives Gedankengut mit in den Prozess der Weiterentwicklung mit einzubringen. Einerseits existiert eine Schnittstelle zwischen Konzeption und Prinzip, andererseits eine zwischen Marktverankerung und Weiterentwicklung. [95, 96, 97, 98]

Die Rolle der Biologie, im speziellen der *Technischen Biologie*, in Abbildung 6.11 gilt der Grundlagenforschung, welche entweder als großer Datenpool, gefüllt durch eine Vielzahl von verschiedensten Ergebnissen aus dieser Forschungskategorie, oder als spezifischer Rechercheauftrag den Technikern zur Verfügung gestellt werden kann (siehe Abbildung 6.12). W. Nachtigall erwähnt in seinen Büchern drei wichtige Aspekte im Zusammenhang mit Grundlagenforschung im eigentlichen Sinn. Als ersten Aspekt beschreibt er diese Kategorie der Forschung als einen Zivilisation- beziehungsweise Kulturauftrag, für welchen jede, sich als Kulturnation bezeichnende, Nation einen Teil ihrer Einnahmen unzweckmäßig investieren sollte. Es ist jedoch sehr schwierig Wirtschaftstreibende und Politiker von der vorerst „zweckfreien Grundlagenforschung“, wie W. Nachtigall sie kategorisiert, zu überzeugen. Jene füllt jedoch, wie bereits erwähnt, den Datenpool, auf welchen Techniker und die Industrie zugreifen können. Als zweiten Aspekt dieser Vorgehensweise wird der Zusammenhang beziehungsweise Parallelität der „zweckfreien Grundlagenforschung“ mit der natürlichen, biologischen Evolution erklärt. Jene verankert eine

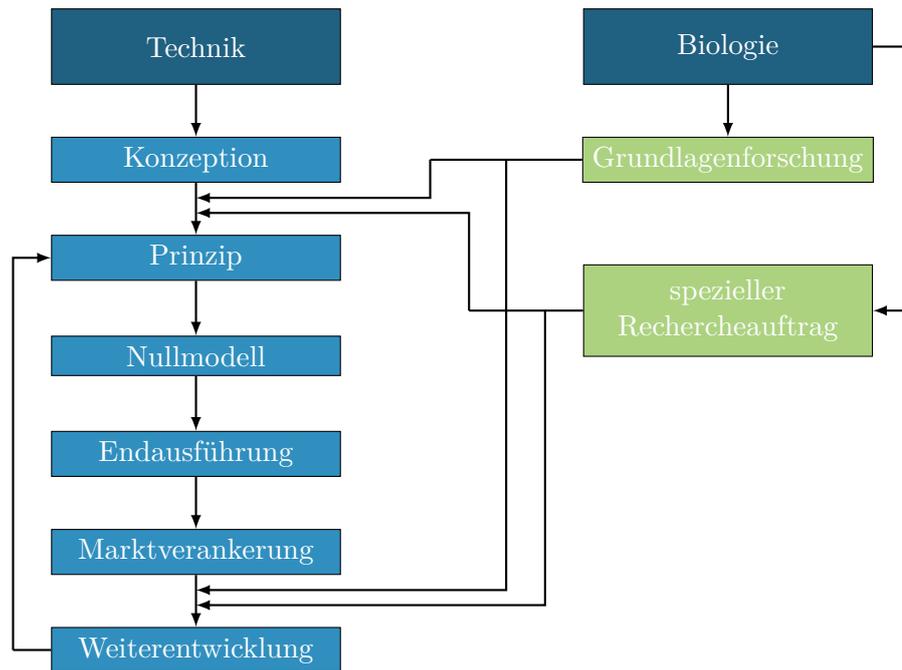


Abbildung 6.11: Stufen der Zusammenarbeit. Einbringung bionischer Anregung in die technische Entwicklungskette (Darstellung in Anlehnung an [97])

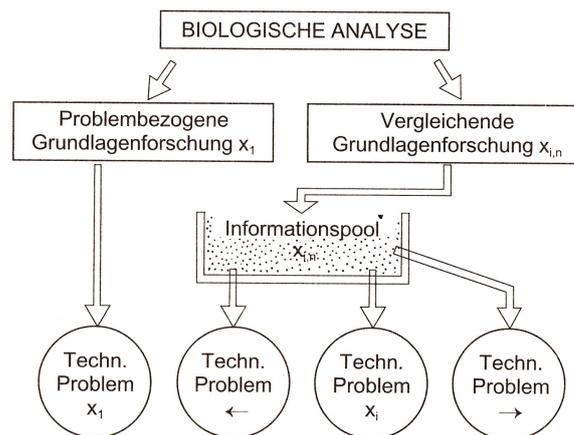
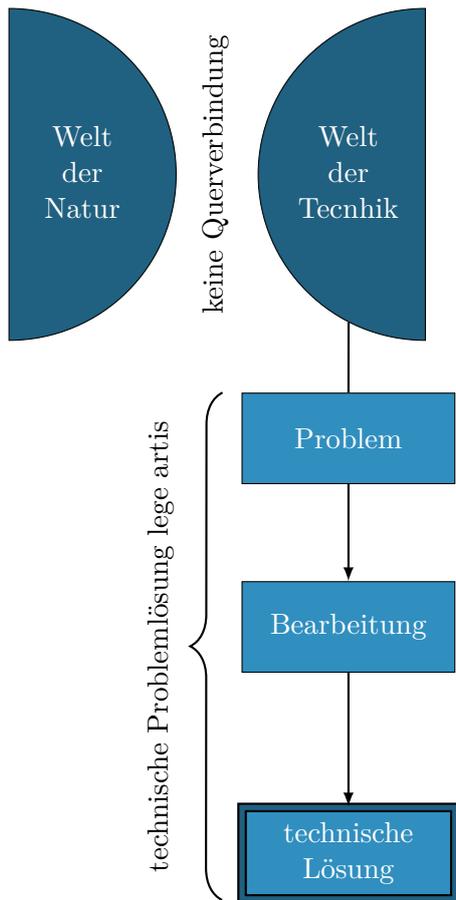


Abbildung 6.12: Spezielle und allgemeine Datensammlung. Problembezogene und „zweckfreie“ Grundlagenforschung [97]

Unmenge an genetischen Variationen unabhängig der äußeren Umwelteinflüsse. Ändern sich die äußeren Bedingungen jedoch, ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, dass eine der abgespeicherten Genkombinationen sich als „besser angepasst“ entpuppt als jede andere. Diese eine besitzt dann gegenüber aller anderen einen Vorteil und wird als ein biologisch evolutionäres Konzept betrachtet. Ähnlich der biologischen Evolution bietet die „zweckfreie Grundlagenforschung“ einen großen Datenpool, aus welchem man sich bedienen kann, sofern sich diverse Bedingungen für Produkte oder Systeme ändern. Der dritte Aspekt geht genau auf die zuvor erwähnte Tatsache ein, dass der Datenpool, gefüllt mit Erkenntnissen aus der Natur, zusammengetragen werden muss, wenn man neue innovative, der Natur angelehnte Ideen oder Konzepte verwenden will. Somit weisen die beiden bereits beschriebenen Aspekte die Charakteristik einer praktischen Notwendigkeit auf. Nur wenn der Datenpool der Grundlagenforschung gefüllt ist, kann es zu nützlicher, durchdachter weiterführender Forschung kommen. Eine grafische Veranschaulichung dieses Vorgangs ist in Abbildung 6.12 ersichtlich. [95, 96, 97, 98]

Zusammenfassend ist es mit den Wissenschaftsdisziplinen *Bionik* und *Technische Biologie* möglich neue, naturnahe und innovative Lösungen für technische Problemstellungen zu finden. Jedoch ist zu beachten, dass *Bionik* keine Heilslehre ist und auch keine Naturkopie darstellt. Sie dient lediglich als Werkzeug beziehungsweise Hilfsmittel, welches benutzt werden kann aber nicht muss, anstatt als die allgemeine Problemlösung schlecht hin. Laut W. Nachtigall favorisiert *Bionik* eher Technologien auf höchster Stufe, welche aber dem Menschen und der Umwelt dienen. Grundsätzlich kann sie aber in jeglicher Sparte Anwendung finden und Innovationen hervorbringen. Ziel ist es auf jeden Fall die drei Komponenten Mensch, Technik und Umwelt in Einklang zu bringen, sodass ein vorrangig positives Umfeld beziehungsweise eine positive Vernetzung auftritt. Wenn es möglich ist die beiden Disziplinen *Technische Biologie* und *Bionik* in den technischen Entwicklungsprozess, dessen Vorgehensweise bereits in den vorangegangenen Absätzen erklärt und graphisch in Abbildung 6.11 veranschaulicht wurde, zu implementieren, kann eine Brücke zwischen den beiden Systemen Natur und Technik gespannt werden. Eine mögliche, zukünftige Interaktion zwischen den beiden gegensätzlich wirkenden Systemen ist in Abbildung 6.13 dargestellt. Diese Thematik wurde auch in vorangegangenen, die Ideen beziehungsweise Konzepte der *Industrial Ecology* (siehe Abschnitt 6.2) oder *Cradle to Cradle* (siehe Abschnitt 6.3) behandelnden, Absätzen aufgeschlüsselt und analysiert. Beide Systeme, das der Natur und das der Technik, können gegenseitig voneinander profitieren. Auf der einen Seite helfen neue Innovationen aus der Technik biologische Prozesse besser verstehen, erforschen und beschreiben zu können, auf der anderen Seite finden sich neue Lösungsvorschläge, da Konzepte, Konstruktionen oder Funktionen aus der Biologie in technische Problemstellungen einfließen können. [96, 97]

Bisheriges technisches Vorgehen



Mögliches zukünftiges technisches Vorgehen

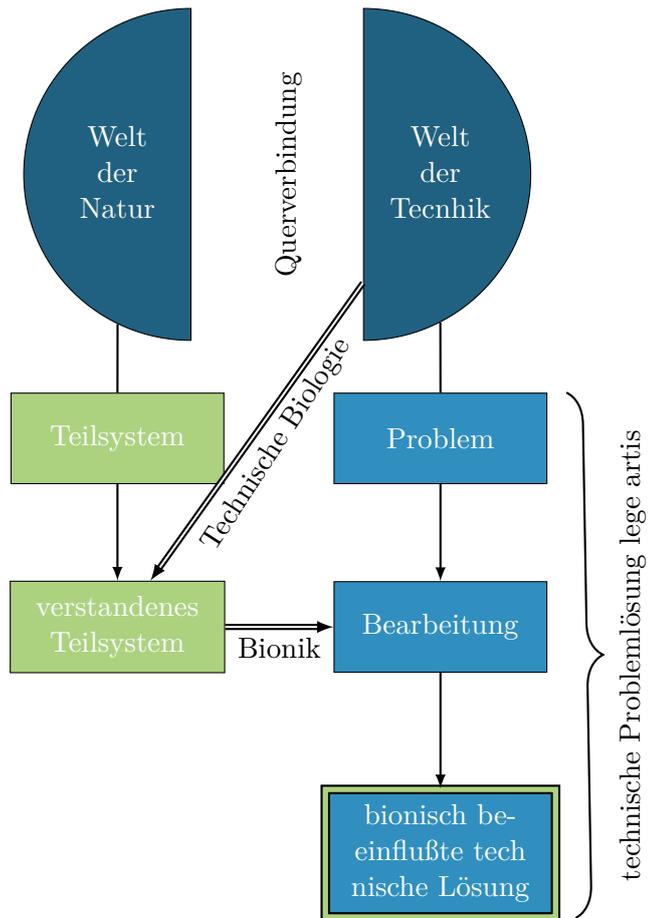


Abbildung 6.13: Interaktion zwischen biologischem Verstehen und technischem Gestalten: bisheriges System versus mögliches zukünftiges System (Darstellung in Anlehnung an [96, 97])

6.5 Vorhandene natürliche Prinzipien und Regeln

Wurde in den vorangegangenen Absätzen bereits ein Überblick über derzeit existierende, „Brückenspannende“ Disziplinen, Konzepte und Ideen gegeben, so befasst sich der nun folgende Abschnitt dieser Forschungsarbeit mit Grundprinzipien beziehungsweise Grundregeln, welche Wissenschaftler verschiedenster Themenbereiche, basierend auf Beobachtungen natürlicher Systeme und Organismen, herausgefunden haben und in der Literatur zu finden sind.

Anfangen von den „zehn Grundprinzipien natürlicher Systeme“, die Werner Nachtigall in seiner Literatur zum Themengebiet der *Bionik* anführt, über die „acht Grundregeln der Biokybernetik“ von Frederic Vester, welcher sich vor allem dem Verständnis für und dem Lernen von komplexen, biologischen Systemen widmet, bis hin zu den „ökologischen und ökonomischen Prinzipien“ der Frau Irene Ring, ihrerseits Professorin an der *Technischen Hochschule Dresden*, wird all dieses im Laufe des kommenden Abschnittes behandelt werden.

6.5.1 Die zehn Grundprinzipien natürlicher Systeme nach W. Nachtigall

Beschäftigt man sich näher mit dem Forschungsbereich der *Bionik* oder auch der *Technischen Biologie*, so kommt man um sogenannte Grundprinzipien oder Grundregeln von natürlichen Systemen nicht umher. Philosophisch betrachtet bilden jene Disziplinen, wie auch viele andere Forschungsrichtungen, eine eigene, spezielle Betrachtungs- beziehungsweise Herangehensweise von Problemstellungen und Abläufen. W. Nachtigall bezeichnet *Bionik* als einen „[...] *Denkansatz, der den philosophischen Unterbau für ein ‚natürliches Konstruieren‘ liefert.*“ [97, Nachtigall, 2008, S.73] Des Weiteren führt er in einigen seiner Bücher oben erwähnte Grundprinzipien natürlicher Systeme an, welche in seinen Augen Gedanken beziehungsweise Kreativität nicht einengen, sondern viel mehr animieren und diesbezüglich als Denkanstoß dienen sollten. [96, 97] Die nachfolgende Aufzählung stellt jene Prinzipien kurz vor [96, Nachtigall, 2010, S.172]:

- *Prinzip 1: Integrierte statt additive Konstruktion*
- *Prinzip 2: Optimierung des Ganzen statt Maximierung eines Einzelements*
- *Prinzip 3: Multifunktionalität statt Monofunktionalität*
- *Prinzip 4: Feinabstimmung gegenüber der Umwelt*
- *Prinzip 5: Energieeinsparung statt Energieverschwendung*
- *Prinzip 6: Direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie*
- *Prinzip 7: Zeitliche Limitierung statt unnötiger Haltbarkeit*
- *Prinzip 8: Totale Recyklierung statt Abfallanhäufung*
- *Prinzip 9: Vernetzung statt Linearität*

- *Prinzip 10: Entwicklung im Versuchs-Irrtums-Prozess*

Zur näheren Erläuterung dieser zehn, von W. Nachtigall verfassten, Prinzipien sind auf den folgenden Seiten genauere Beschreibung jener aufgelisteten Naturprinzipien und Beispiele für diese aus der Biologie sowie der Technik gegeben. Des Weiteren werden bei manchen der zehn Prinzipien beide Systeme, Technik und Biologie, verglichen und einander gegenübergestellt.

„Prinzip 1: Integrierte statt additive Konstruktion:“ Im Gegensatz zur technischen Herangehensweise konstruiert die Natur Apparate, Organe oder Elemente nicht aus vielen, aufeinander aufbauenden (additiven) Einzelkomponenten, sondern als integrierte Konstruktion. Einzelelemente sind zwar noch immer vorhanden, meist aber nicht von anderen Elementen in der Nachbarschaft morphologisch oder funktionell getrennt beziehungsweise abgegrenzt. Als biologisches Beispiel führt W. Nachtigall die Speichelpumpe einer Rindenwanze dar, welche alle Elemente einer modernen, technisch gestalteten Kolbenpumpe besitzt, diese jedoch in einem Organ kombiniert. [95, 96, 97]

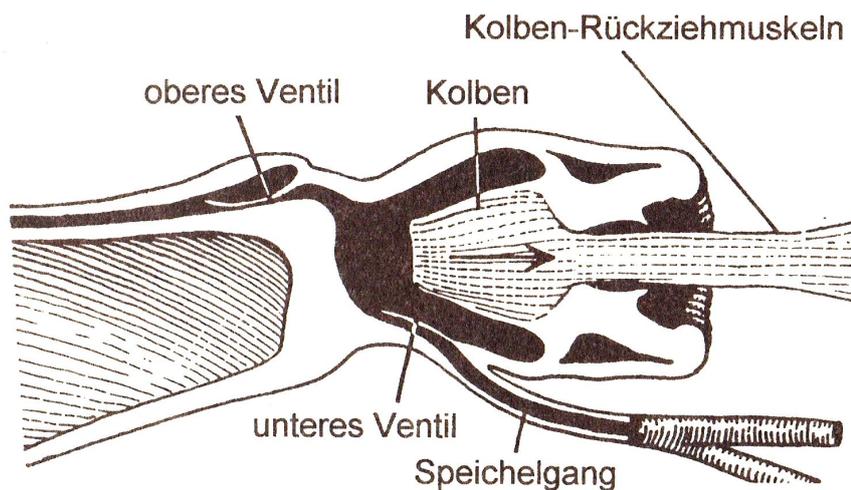


Abbildung 6.14: Speichelpumpe einer Rindenwanze [97]

„Prinzip 2: Optimierung des Ganzen statt Maximierung eines Einzelements:“ Wie bereits beim ersten Prinzip erwähnt, werden Einzelelemente beziehungsweise -funktionen heutzutage von der Technik bevorzugt hervorgehoben. Die Natur arbeitet jedoch auf, den Einzelelementen übergeordnete, Zusammenhänge hin, was jedoch des Öfteren den Verzicht mancher einzelner Elemente oder Funktionen mit sich bringt. Diese Vorgehensweise induziert jedoch eine Optimierung hinsichtlich des gesamten Systems. Beispielhaft für dieses Prinzip ist die Einstellung der Blutzusammensetzung bei Säugern in Bezug auf das Sauerstoffaufnahmevermögens, dem sogenannten Hämokrit, welcher das relative Volumen an Blutbestandteilen repräsentiert. Mit steigender Zahl der roten Blutkörperchen steigt auch die Aufnahmefähigkeit von Sauerstoff, jedoch sinkt mit selber auch die Fließgeschwindigkeit des Blutes auf Grund der vermehrten

festen Bestandteile. Die Natur entscheidet sich nicht für die Maximierung einer Eigenschaft, beispielsweise der verstärkten Sauerstoffaufnahme, sondern stellt den größtmöglichen Volumenstrom bei einem optimalen Hämatokrit, also einem bestmöglichen Verhältnis aus flüssigen und festen Blutbestandteilen ein. [95, 96, 97]

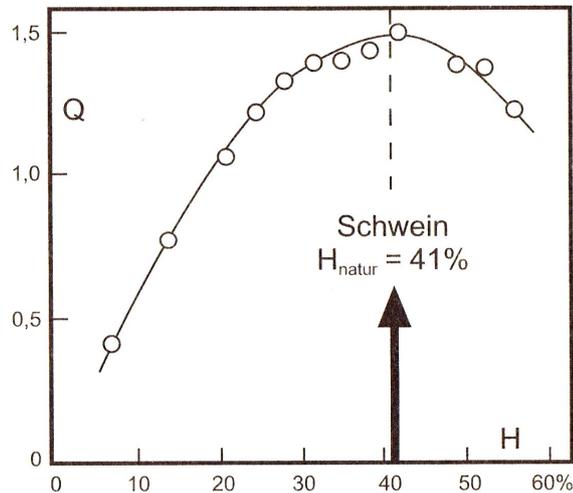


Abbildung 6.15: Zusammensetzung zwischen Fließvermögen Q und Hämatokrit H bei Schweineblut [97]

„Prinzip 3: Multifunktionalität statt Monofunktionalität:“ Wie bereits über das zweiten Prinzip beschrieben, entwickelt die moderne Technik Einzelelemente ausgelegt für eine einzelne, spezielle Aufgabe beziehungsweise Anforderung. Aus der Natur stammende Entwicklungen weisen jedoch die Eigenschaft auf, mehrere, oft physikalisch kontroverse, Anforderungen bewältigen zu können. Um jenes dritte Prinzip zu untermauern, wird ein erklärendes Beispiel aus der biologischen Welt angeführt. Die Rede ist vom Aufbau der Eierschale von Schmeißfliegen. Die Konstruktion ist so ausgelegt, dass sie einerseits leicht, andererseits trotzdem stabil ist. Zusätzlich weist die Eierschale genügend Elastizität auf, um als „trittfest“ eingestuft zu werden. Zu guter Letzt verhindert der Schalenaufbau das Eintreten von externem Wasser und eventueller mitgeführter schädlicher Keime bei gleichzeitiger Durchlässigkeit von internem Wasserdampf. Der Baustoff der Eierschalen von Schmeißfliegen ist Chitin, der, je nach dem in welcher Position beziehungsweise Dicke der Eierschale die Betrachtung stattfindet, speziell differenziert angeordnet ist. [95, 96, 97]

„Prinzip 4: Feinabstimmung gegenüber der Umwelt:“ Dieses Prinzip ist selbsterklärend, da Lebewesen auf ihre Umwelt, in belebter oder auch unbelebter Form, angewiesen sind und in stetiger Wechselwirkung mit dieser stehen. Bezüglich der Form und Funktion, also der Morphologie und Physiologie, sind Organismen oft sehr an ihre Umweltbedingungen angepasst. Dieses Phänomen lässt sich zum Teil bis ins kleinste Detail beobachten. Beispielsweise weisen die Greiffüße, die sogenannten Ständer, von unterschiedlichen Adlerarten unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheiten auf. Die Unterseite der Greiffüße des Seeadlers sind mit dornigen Schuppen versehen, um seine glitschige Beute besser festhalten zu können. Im Gegensatz hierzu weist der Steinadler,

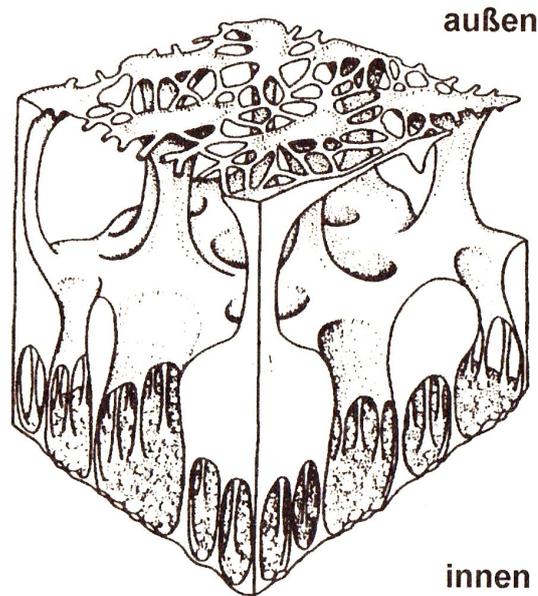


Abbildung 6.16: Feinbau der Eierschale der Schmeißfliege [97]

dessen Beuteschema vermehrt aus behaarten Organismen, wie Gämsen, Hasen und ähnlichem besteht, eine raue, verhornte Oberfläche auf [95, 96, 97]

„Prinzip 5: Energieeinsparung statt Energieverschleuderung:“ Die verfügbare Energie und somit auch die daraus resultierende mögliche Abgabe von Leistung für Organismen in ihrer Lebenszeit ist begrenzt und muss deshalb weise genutzt werden. Wird für einen speziellen Ablauf oder Vorgang, beispielsweise im Zuge der Fortpflanzung, im Leben eines Organismus vermehrt Energie benötigt, muss diese in anderen Bereichen eingespart werden. Für dieses Prinzip existieren in der belebten Natur unzählige Beispiele. Auch in der unbelebten Natur, welche für die Bionik ebenfalls eine Anregungsquelle für technische Umsetzungen sein kann, finden sich Beispiele zur Energieeinsparung. Flüsse und Flusssysteme, die eine Neigung besitzen Mäander²⁰ auszubilden, sind in der Lage durch diese, aus Selbstorganisation entstehenden, Schleifen ihre Energiedissipationsrate und Transportverluste zu reduzieren. Das gleiche Phänomen ist auch in lebenden Organismen zu beobachten, welchen es ebenfalls durch die Ausprägung von Mäandern möglich gemacht wird, den Druckverlust über ihren gesamten Gas- und Blutkreislauf zu reduzieren. [95, 96, 97]

„Prinzip 6: Direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie:“ Die einzige Energiequelle für biologische Organismen und auch den Menschen ist die Strahlungsenergie der Sonne und deren umgewandelten Energieformen. W. Nachtigall beschreibt dieses Prinzip als das bedeutendste von allen. Sonnenenergie lässt sich sowohl direkt als auch indirekt kostenlos nutzen. Dieser Aspekt beziehungsweise dieses Prinzip wurde im Laufe der vorliegenden Forschungsarbeit bereits des

²⁰ „[...] (bei Wasserläufen) eine der Windungen, Schleifen, die in dichter Aufeinanderfolge den Verlauf des Fluss-, Bachbettes bestimmen [...]“ [33, Duden online: Mäander, Online; 10.11.2017]

Öfteren (siehe Abschnitt 6.2) und Abschnitt 6.3 angeführt, was auf dessen Bedeutsamkeit und Wichtigkeit schließen lässt. Wie auch beim vorangegangenen Prinzip existieren unzählige Modelle in der Natur. Allbekannt und unter die Nutzung der Sonnenenergie fallend, ist das Prinzip der Photosynthese mit welcher chlorophyllhaltige Pflazen mit Hilfe eingestrahler Lichtquanten des Sonnenlichtes Kohlendioxid und Wasser zum Einfachzucker Glucose umwandeln können. Vertreter aus der Tierwelt sind beispielsweise Präriehunde, die über ihre spezielle Konstruktion die Durchlüftung ihres unterirdisch gelegenen Baus sicherstellen können. Sie nutzen das Bernoulli Prinzip, dass Unterdruck an düsenartigen Stellen entsteht und das strömende Medium zusammengedrückt wird, indem sie das ausgetragene Erdreich auf der einen Seite ihres Erdbaus zu einem hohen, steilen Kegel anhäufen und auf der anderen Seite einen flachen, niedrigen Eingang graben. Somit erfolgt eine stetige Luftströmung vom niedrigeren, flacheren Eingang hin zum steilen, höheren. Dieser Effekt tritt zusätzlich unabhängig der aktuellen Windrichtung auf, benötigt jedoch eine externe Zirkulation der Luft, die wiederum eine umgewandelte Form von Sonnenenergie darstellt. [95, 96, 97]

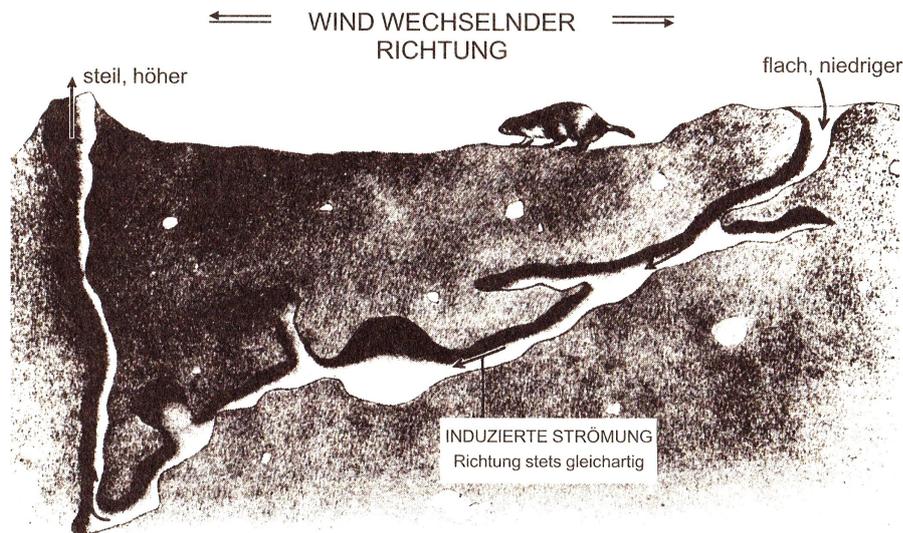


Abbildung 6.17: Präriehundbau und Baudurchlüftung [97]

„Prinzip 7: Zeitliche Limitierung statt unnötiger Haltbarkeit:“ Für uns Menschen gestaltet sich eine langfristige Planung als eher schwierig, da, wenn man das Beispiel Häuser und Wohnen betrachtet, keine Prognose über zukünftige Dämmmaterialien oder ökologische Rahmenbedingungen getroffen werden kann. Heutzutage wird eine große Menge an Material, Energie und Zeit im Häuser- und Wohnungsbau aufgewandt. Diese Anlagen überdauern oft über mehrere Generationen und müssen mit erneutem Energie-, Zeit- und Kostenaufwand wieder abgetragen werden. Die Natur baut ihre Konstruktionen für die Dauer ihrer benötigten Funktion. Am Beispiel der Stinkmorchel kann dies gut beobachtet werden. Der Schaft des Fruchtkörpers ist sehr filigran, leicht und locker aufgebaut. Er hält den Witterungs- und Umgebungsbedingungen oft nur für wenige Tage stand. Jedoch erfüllt er in dieser kurzen Zeit genau die Aufgabe für welche er ausgelegt wurde und ist im Stande seine Masse an Sporen über Fliegen zu verteilen und somit

den Fortbestand seiner Spezies zu sichern. Innerhalb von Stunden bis Tagen danach ist er bereits von Schnecken, Bakterien und anderen Organismen abgebaut. Seine Nähr- und Baustoffe befinden sich wieder im Kreislauf des Ökosystems und stehen anderweitig zur Verfügung. [95, 96, 97]

„Prinzip 8: Totale Rezyklierung statt Abfallanhäufung:“ W. Nachtigall beschreibt dieses Prinzip als eines der wichtigsten, in der Natur vorkommenden, Prinzipien. Wie bereits beim biologischen Beispiel, der Stinkmorchel, des vorangegangenen Prinzips der „zeitlichen Limitierung statt unnötiger Haltbarkeit“ erwähnt, sind natürliche, biologische Systeme in der Lage Nährstoffe innerhalb der Systemgrenzen zu rezyklieren. Dieser Umwandlungsprozess von Substanz kann, wie bei der Stinkmorchel, binnen weniger Tage oder im tropischen Regenwald innerhalb eines Jahres stattfinden, was im Vergleich zur Umsetzungsrate von Ökosystemen in mittleren Breiten trotzdem sehr schnell ist. Es existieren jedoch auch Zeiträume von vielen Jahrillionen, wie es bei den Ablagerungen der Kalkschalen von Globigerinen²¹ der Fall ist. Jene Ablagerungen werden jedoch in geologischen Zeiträumen sehr wohl wieder umgesetzt. Durch dieses Prinzip wird die Thematik des Abfalls in ein ganz neues Licht gerückt, mit welchem sich auch vorangegangene Ideen, wie beispielsweise *Cradle to Cradle* (siehe Abschnitt 6.3), die *Industrial Ecology* (siehe Abschnitt 6.2) oder die alternative Beschreibung der „Industrie 5.0“ von M. Rada (siehe Abschnitt 5.7.1 - „Industrie 5.0“ nach M. Rada) beschäftigt. [95, 96, 97]

„Prinzip 9: Vernetzung statt Linearität:“ Natürliche Systeme weisen eine hochgradig komplexe Struktur auf. Die große Anzahl an Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen Organismen und Umwelteinflüssen gestaltet sich für uns Menschen mit unseren eher linearen Denkvorgängen als schwierig. Frederic Vester versucht diese Komplexität beziehungsweise Vernetzung in seinem Buch *Die Kunst vernetzt zu denken - Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität* (siehe [136]) für uns Menschen zugänglich zu machen. Mit Hilfe linearer Denkvorgänge sind unsere eigenen technischen Strukturen, welche eine mäßige komplexe Systematik aufweisen, kaum zu durchblicken. Zum Verständnis dieser Strukturen muss man sich spezielle Sichtweisen aneignen, auf welche F. Vester in seinem erwähnten Buch hinweist. Er geht des Weiteren auf Alternativen zur Linearität ein.

Betrachtet man das Ökosystem Waldrand als Beispiel eines komplexen, biologischen Systems und pickt einen kleinen Ausschnitt heraus, ist dieser noch einigermaßen gut verständlich beziehungsweise nachvollziehbar. In Abbildung 6.18 - Beziehungsschema A - ist ein spezielles Bezugsschema zwischen den drei Teilnehmern oder Organismen *Zitterpappel*, *Gabelschwanz* und *Kohlmeise* schematisch dargestellt. Die Blätter der *Zitterpappel* werden von den Raupen des *Gabelschwanz* gefressen, welche wiederum von *Kohlmeisen* verspeist werden. In der Grafik sind diese Wechselwirkungen und Beziehungen als negativer Pfeil veranschaulicht. Das Fressen der Raupen des *Gabelschwanzes* durch die *Kohlmeise* induziert für die *Zitterpappel* einen positiven Beziehungspfeil, da die Baumart weniger Fressfeinden ausgesetzt ist. Selbstverständlich existieren im Ökosystem Waldrand weitaus mehr Wechselwirkungen beziehungsweise Vernetzungen, als nur die drei er-

²¹ „freischwimmendes Meerestierchen, dessen Gehäuse aus mehreren [stacheligen] Kugeln besteht“ [32, Duden online: Globigerine, Online; 13.11.2017]

wähnten. Folglich wird dieses Beziehungsnetzwerk des Ökosystems immer undurchschaubarer (siehe Abbildung 6.18 - Beziehungsschema B). Es kann jedoch beobachtet werden, dass sich ein Gleichgewichtszustand für einen bestimmten, von den Umweltbedingungen abhängigen, Zeitraum einstellt. Mit Hilfe sogenannter „fuzzy logic“ können solche Systemwechselwirkungen, ohne spezielles Detailverständnis, für die Technik und Wissenschaft zugänglich gemacht werden. [95, 96, 97]

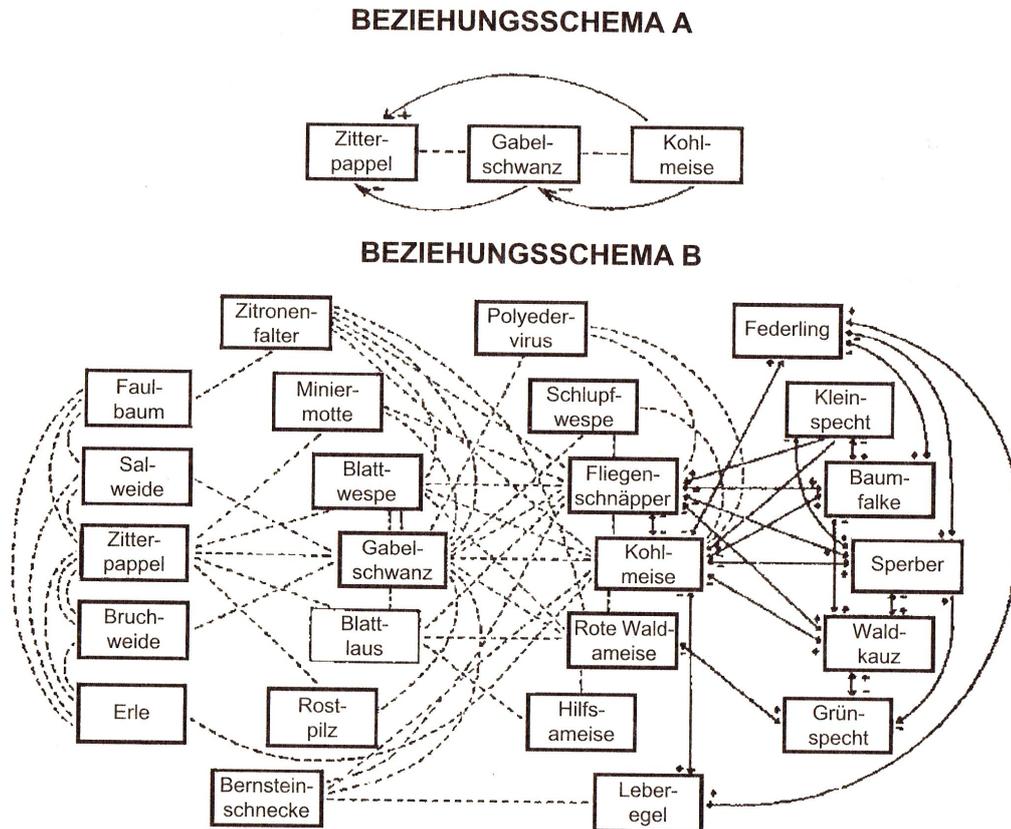


Abbildung 6.18: Beziehungsschemata für den Waldrand. A: Einfaches Schema mit drei Teilnehmern, B: nicht mehr durchschaubares Schema mit mehreren Konsumentengruppen [97]

„Prinzip 10: Entwicklung im Versuchs-Irrtums-Prozess:“ Einer der Teilaspekte von *Bionik* nach Abbildung 6.9 beschäftigt sich vorwiegend mit den Methoden der natürlichen, biologischen Evolution. Wie auch Verfahrensweisen und Konstruktionen aus der Natur können auch die Methodiken, wie besagte Verfahrensweisen und Konstruktionen entstanden sind, hinter der Evolution für die technische Anwendung nutzbar gemacht werden. Es wird im Teilaspekt der *Evolution sbionik* von sogenannten Evolutionsstrategien gesprochen. Manche von diesen Strategien finden bereits technische Anwendungen, wie beispielsweise in der Verpackungsbranche²² oder im Management. Eines der Paradebeispiele für den Aspekt *Entwicklungsbionik* ist jenes von H. P. Schwefel wobei er den Querschnitt und somit den Wirkungsgrad einer Zweiphasenströmungsdüse optimierte. Unter Berücksichtigung der, in der natürlichen Evolution vorkommenden, Prozesse

²²siehe [136]

Mutation, Rekombination und *Selektion* konnte H. P. Schwefel unterschiedliche Querschnitte einer zuvor zerschnittenen Zweiphasenströmungsdüse beliebig anordnen und schaffte es den Wirkungsgrad um etwa 40% zu erhöhen. Zuerst veränderte er rein zufällig die Reihenfolge der Querschnitte (*Mutation*), verbesserte sich der Wirkungsgrad wurde diese neue Anordnung als Ausgangspunkt für weitere Veränderungen verwendet (*Rekombination*). Ergab eine neue Anordnung der Düsenquerschnitte keine Steigerung des Wirkungsgrades wurde sie verworfen (*Selektion*) und bei der letzten Düsengeneration von neuem begonnen. [95, 96, 97, 99]

6.5.2 Die acht Grundregeln der Biokybernetik nach F. Vester

Neben den, im vorangegangenen Absatz, aufgelisteten Grundprinzipien natürlicher Systeme nach W. Nachtigall existieren auch von anderen Wissenschaftlern diverse Grundregeln oder Grundprinzipien. Frederic Vester, seinerseits Biochemiker, erwähnt in seinem Buch *Die Kunst vernetzt zu denken - Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*²³. Die im Rahmen einer UNESCO-Studie ausgearbeiteten, acht Grundregeln der Biokybernetik²³. Die vorherrschenden Organisations- und Denkstrukturen der kapitalistischen Industriegesellschaften kritisierend, beschäftigt sich F. Vester mit den komplexen Vorgängen in natürlichen Ökosystemen. Er versucht natürliche Vorgänge und Prozesse für die Technik beziehungsweise Menschen zugänglich zu machen. Dafür abstrahiert er beispielsweise die Vorgehensweise der Selbstregulation am Vorbild der Natur über einen Regelkreis, welcher in Abbildung 6.19 grafisch dargestellt ist.

Über die folgenden Grundregeln der Biokybernetik versucht er die bisherige Denkweise von Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu überwinden und den Blick auf die Zusammenhänge zwischen und innerhalb technischer, wirtschaftlicher und biologischer Systeme zu richten. Eine seiner Idee beziehungsweise Rückschlüsse aus Beobachtungen aus der Natur: versteht man die Konsequenzen seines Handelns kann man Rück- und Nebenwirkungen mit einplanen. Das System der Biosphäre ist und war deshalb so erfolgreich, weil alles bis ins kleinste Detail miteinander vernetzt ist und interagiert. Es gibt keine Organismen, der Mensch zählt hier nicht als Ausnahme, die völlig alleine existieren können, das Überleben wird als großes Miteinander möglich. Dieses Bewusstsein jedoch ist wenigen tatsächlich bewusst. „*Dort, wo Kybernetik seit jeher funktioniert, im biologischen Geschehen, bedeutet sie keinesfalls detaillierte Vorprogrammierung oder zentrale Steuerung [...], sondern lediglich Impulsvorgabe zur Selbstregulation, ‚Antippen‘ von Wechselwirkungen zwischen Individuum und Umwelt, Stabilisierung von Systemen und Organismen durch Flexibilität, Nutzung vorhandener Kräfte und Energien sowie ständiges Wechselspiel mit ihnen. Durch Fluktuation, nicht durch Starrheit wurde dieses Vorgehen zur Gangart des Lebens, gewann die Natur ihre nie erlahmende Stabilität und Stärke.*“ [136, Vester, 2001, S.124] [97, 136] Auf diesen Beobachtungen aus der Natur bauen die nachfolgenden Grundregeln auf [136, Vester, 2001, S.128ff]:

²³ „[...] [ist] eine Theorie aller dynamischen Systeme. Sie beschäftigt sich bes. mit der Informationsverarbeitung in dynamischen Systemen und mit deren Regelung und Steuerung. Die Kybernetik erforscht die wesentlichen Eigenschaften von dynamischen Systemen, damit diese die relevanten Informationen verarbeiten können und die Systeme zielgerecht gelenkt werden bzw. sich selbst entsprechend lenken. [...]“ [46, Gabler Wirtschaftslexikon: Kybernetik, Online; 14.11.2017]

- *Regel 1: Negative Rückkopplung muss über positive Rückkopplung dominieren*
- *Regel 2: Die Systemfunktion muss vom quantitativen Wachstum unabhängig sein*
- *Regel 3: Das System muss funktionsorientiert und nicht produktorientiert arbeiten*
- *Regel 4: Nutzung vorhandener Kräfte nach dem Jiu-Jitsu-Prinzip statt Bekämpfung nach der Boxer-Methode*
- *Regel 5: Mehrfachnutzung von Produkten, Funktionen und Organisationsstrukturen*
- *Regel 6: Recycling: Nutzung von Kreisprozessen zur Abfall- und Abwasserverwertung*
- *Regel 7: Symbiose. Gegenseitiger Nutzen von Verschiedenartigkeit durch Kopplung und Austausch*
- *Regel 8: Biologisches Design von Produkten, Verfahren und Organisationsformen durch Feedback-Planung*

Die aufgezählten acht Regeln der Biokybernetik nach F. Vester werden auf den kommenden Seiten weiter beleuchtet und erklärt. Zuerst wird die Kurzfassung einer jeden Regel von F. Vester selbst angeführt, danach werden Beispiele zum besseren Verständnis jener Grundregeln, welche der Natur abgeschaut wurden, gegeben. Befolgt man diese, dem Kriterium der Lebensfähigkeit zu Grunde liegenden Regeln, in Kombination mit der Fähigkeit vernetzt zu denken, sollen laut F. Vester die größten Planungsfehler eines neuen Systems vermeidbar sein. Projekte und Systeme können dadurch hinsichtlich Problemlösungen neu betrachtet werden. Wie auch W. Nachtigall, beschreibt F. Vester seine acht Grundregeln nicht als Verbote sondern viel mehr als Innovationsanreize, durch die systemverträgliche beziehungsweise vernünftige Entscheidungen getroffen werden können. [136]

„Regel 1: Negative Rückkopplung muss über positive Rückkopplung dominieren.“
„Positive Rückkopplung bringt die Dinge durch Selbstverstärkung zum Laufen. Negative Rückkopplung sorgt dann für Stabilität gegen Störungen und Grenzüberschreitungen.“[136, Vester, 2001, S.128]

Spricht man von negativer Rückkopplung ist im allgemeinen eine Selbstregulation durch Kreisprozesse gemeint. Diese Art von Rückkopplungen sind in technischen Systemen beispielsweise der Schwimmer im Benzinvergaser eines Motors oder dessen Drehzahlregelung mittels eines Fließkraftreglers. Biologisch betrachtet soll die erste Regel von F. Vester anhand von zwei Beispielen erklärt werden. Das erste der beiden ist das klassische „Räuber-Beute-Modell“. Betrachtet man die Wechselwirkungen oder Beziehungen zwischen den beiden Organismen Wolf und Hase, ist zu erkennen, dass der eine ohne dem anderen nicht existieren kann. Die Parameter Fanghäufigkeit, Körpergewicht und Laufgeschwindigkeit bilden beim Wolf einen eigenen Regelkreis, von diesem jedoch auch der Hase mit beeinflusst wird. Kann der Wolf auf Grund seines geringen Körpergewichtes schneller

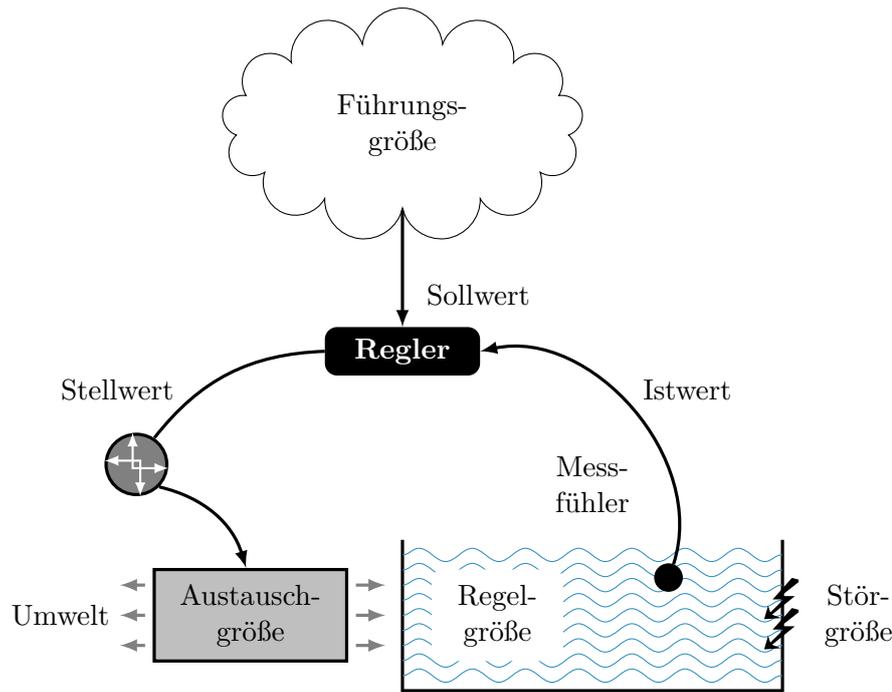


Abbildung 6.19: Klassischer Regelkreis mit den gängigen kybernetischen Bezeichnungen (Grafik in Anlehnung an [136])

laufen wird er mehr Hasen als Beutetiere schlagen, nimmt jedoch dadurch auch an Gewicht zu, was sich wiederum in der Laufgeschwindigkeit und Fanghäufigkeit niederschlägt, da diese beiden Parameter sinken werden. Wie bereits erwähnt beeinflusst der interne Regelkreis des Wolfes auch den der Hasenpopulation und des umgebenden Ökosystems, da ein Zusammenhang zwischen den, für die Hasen verfügbaren, Nahrungsquellen, deren Populationsgröße und den Beutegreifern besteht. Man spricht in diesem Fall von einer Selbstregulation, einem Organisationsprinzip eines Teilsystems, durch das es überhaupt erst in der Lage ist in einem größeren Gesamtsystem zu existieren. Die Tatsache, dass Ursache und Wirkung innerhalb solcher Systeme, insbesondere Kreisprozesse, ihre Bedeutung vertauschen beziehungsweise verlieren kann uns Menschen nicht nur in Systemen weiterhelfen, sondern auch in zwischenmenschlichen Beziehungen, wenn es um die Frage der Schuldzuweisung geht. Wie auch Ursache und Wirkung verändern sich in solch komplexen Systemen auch die eigentlichen Kriterien für beispielsweise Fortschritt, da diese sich ebenfalls im Laufe der Zeit weiterentwickeln. Das zweite Beispiel, die These von Charles Darwin über das „*survival of the fittest*“, greift genau hier an. Oft missverstanden oder fehlinterpretiert bedeutet diese These nicht wie oft angenommen, dass „der Stärkste“ überlebt, sondern derjenige, der mit den Wechselwirkungen des Systems am besten zurecht kommt. Als biologisches Beispiel erwähnt F. Vester die Wechselwirkung zwischen den bereits ausgestorbenen Säbelzähntigern und deren Beutetieren. Jene Organismen waren derart erfolgreiche Beutegreifer, dass sie sich sehr stark vermehrten und in weiterer Folge jedoch immer weniger Beutetiere zur Verfügung hatten. Der Regelkreis des Teilsystems Säbelzähntiger und Beutetiere war gestört beziehungsweise unterbrochen. Dies hatte zur Folge, dass der übergeordnete Regelkreis zu Tragen kam und mit der Zeit die Säbelzähntieger verschwinden ließ. [136]

„Regel 2: Die Systemfunktion muss vom quantitativen Wachstum unabhängig sein:“
„Der Durchfluss an Energie und Materie ist langfristig konstant. Das verringert den Einfluss von Irreversibilitäten und das unkontrollierte Überschreiten von Grenzwerten.“[136, Vester, 2001, S.130]

F. Vester beschreibt in seinem Buch *Die Kunst vernetzt zu denken - Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*, dass Systeme, wenn sie wachsen und überdauern wollen, Metamorphosen beziehungsweise Umstrukturierungen durchlaufen müssen. Unser heutiges Wirtschaftssystem, welches auf Wachstum als das System definierenden Parameter aufgebaut ist, kann auf langfristige Sicht nicht überdauern. Wachstum führt in einem begrenzten zur Verfügung stehenden Raum zu einem Anstieg der Dichte des wachsenden Organismus, Produktes oder Systems und gleichzeitig auch zu einer stärkeren Vernetzung der einzelnen Einheiten untereinander. Durch den entstehenden Platzmangel beziehungsweise dem sogenannten *Dichtestress*, auf welchen F. Vester im Rahmen einer weiteren *UNESCO*-Studie bereits im Jahr 1976 hingewiesen hatte, muss das System eine wichtige Entscheidung treffen: entweder es ändert seine Organisationsstruktur beziehungsweise -stufe oder es wächst weiter und muss mit den folgenden Konsequenzen rechnen. *Dichtestress* lässt nur diese beiden Entscheidungsmöglichkeiten zu. „Entweder erzeugt er über einen psychosomatischen Mechanismus verstärkte Aggression, nachlassenden Brutpflegeinstinkt und Sterilität, Kreislaufkrankheiten und Epidemien, was alles zur Vernichtung von großen Teilen der Population und damit allmählich wieder zu der früheren Dichte führt, oder aber er zwingt die Population zu einem anderen Verhalten, zu einer Organisationsform auf höherer Stufe, die es ihr erlaubt, auch bei höherer Dichte zu überleben.“[136, Vester, 2001, S.72] Als biologisches Beispiel kann der Zusammenschluss von Amöben ab einer gewissen Populationsdichte und zusätzlichem Nahrungsmangel zu einer höheren Organisationsstruktur, einem sogenannten Schleimpilz²⁴, verwendet werden. Die neue Organisationsstufe ist jedoch erneut einer oberen Grenze hinsichtlich der Populationsdichte unterworfen. Wird diese überschritten treten die unangenehmen Folgen des *Dichtestresses* in Kraft, was zur Reduktion auf eine frühere Dichte führt. Ein anderes Beispiel aus der Biologie veranschaulicht die Anwendung dieser Regel ebenfalls sehr gut: Raupen von Schmetterlingen oder Nachtfaltern stoppen ab einem gewissen Punkt ihr Größenwachstum, da sie nicht mehr überlebensfähig wären. Damit die Raupe dennoch ihre Funktion erfüllen kann beginnt sie sich zu verpuppen und verwandelt sich durch Metamorphose zu einem Schmetterling, welcher in der Lage ist sich fortzupflanzen. Solche innovativen Umstrukturierungen können auch im Ökosystem als großes Ganzes erkannt werden. Je komplexer Ökosysteme aufgebaut sind, desto größer ist ihre Stabilität, wobei diese jedoch ein Maximum durchläuft, da zu komplexe Strukturen wiederum instabiler werden. Um diesen idealen, stabilen Punkt auf Dauer innehalten zu können nutzen natürliche Systeme viele kleine komplexe Teilsysteme, welche wiederum, jedoch in begrenzten Maße, miteinander vernetzt sind. Als Paradebeispiel für die Tatsache, dass andauerndes Wachstum mit gleichzeitiger qualitativ hochwertiger Funktionalität und Struktur nicht gleichzeitig funktionieren kann ist das menschliche Gehirn, welches bereits im Alter von nur wenigen Monaten als ausgewachsen gilt. Um die volle Kapazität des Gehirns, nämlich die

²⁴z.B. *dictyostelium discoideum*

Speicherung und Verarbeitung von Informationen, nutzen zu können muss das Gehirn ausgewachsen sein, da ein zusätzliches Wachstum durch Einbau von „neuen Chips“ nur hinderlich wäre und einem „Reset“ gleichkommen würde. [136]

Die zweite Regel warnt vor der Abhängigkeit von Wachstum, da diese die erste Grundregel aufheben würde. Durch negative Rückkopplungen soll es Systemen möglich sein den sogenannten Inflexionspunkt oder Wendepunkt in der Wachstumskurve nicht zu erreichen. Würde dieser kritische Punkt überschritten werden, würde man die sichere Rückkopplung in Form eines Systemzusammenbruchs nur zeitlich hinauszögern, wie es in Abbildung 6.20 grafisch veranschaulicht ist. [136]

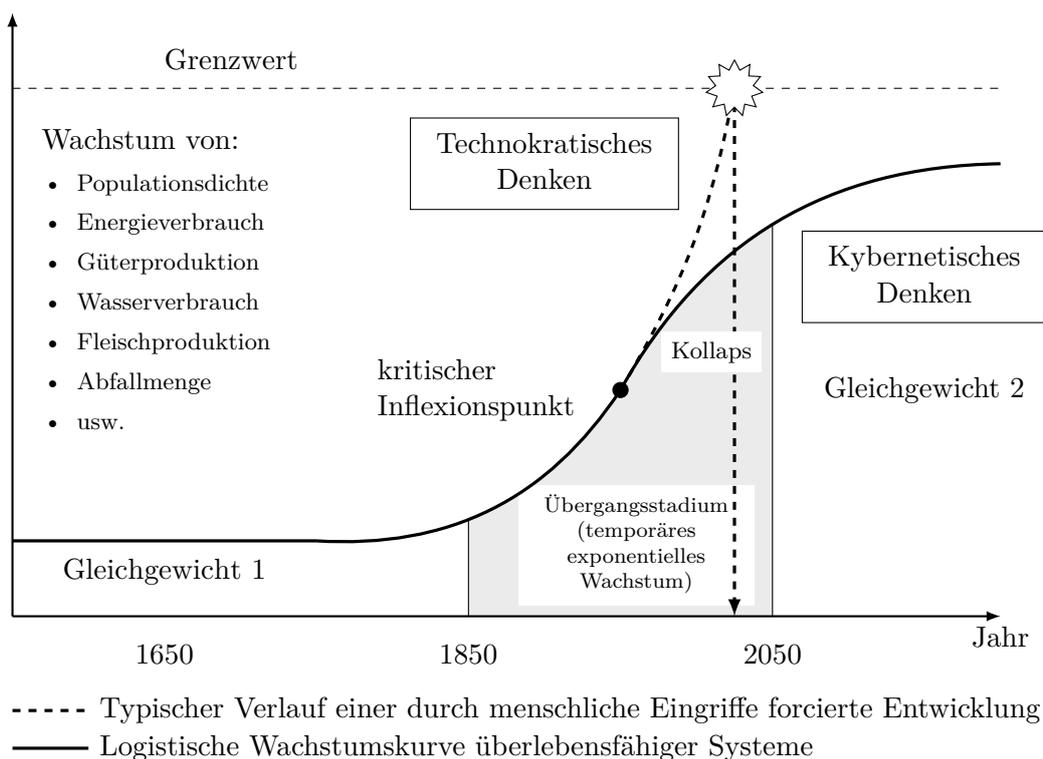


Abbildung 6.20: Zweierlei Wachstum (Grafik in Anlehnung an [136])

„Regel 3: Das System muss funktionsorientiert und nicht produktorientiert arbeiten:“
 „Eine entsprechende Austauschbarkeit des Angebots erhöht Flexibilität und Anpassung. Das System überlebt auch bei veränderter Nachfrage.“ [136, Vester, 2001, S.132]

Im Gegensatz von Produkten ändern sich Funktionen weniger schnell, sodass genügend Zeit zum Handeln beziehungsweise Verändern vorhanden sein sollte. Überlebensfähige Systeme orientieren sich stets anhand der Funktion als an Produkten. Dies gewährleistet die benötigte Flexibilität von Projekten oder Unternehmungen. Die Funktion dient stets der Erfüllung eines Verlangens oder Bedürfnisses, welche auf langfristige Sicht profitabler ist. *Ford Deutschland* wurde von F. Vester einer Untersuchung des vorherrschenden Systems unterzogen, wobei sich herauskristallisierte, dass sich das Unternehmen auf nur eine einzige Aufgabe - den Autobau - spezialisierte. Würde das Unternehmen funktionsorientiert handeln wäre dessen Aufgabenbereich das Verkehrsgeschäft,

wie es F. Vester beschreibt. Somit würde sich die Aufgabenpalette des Unternehmens erweitern, da diese Branche weit mehr als die Produktion von Autos alias Produkten bietet. Von neuer Transportarten über Ver- und Entsorgungseinrichtungen sowie einer besseren Städteplanung zur Minimierung des Verkehrsaufkommens bis hin zur Entwicklung von neuen Fahrzeugen und Strukturen könnte laut F. Vester die erwähnte Aufgabenpalette reichen. Durch unsere gesetzlichen Normen und Vorschriften befassen wir Menschen uns zu sehr mit Produkten anstatt mit Funktionen und Service. Förderungen sowie Subventionen helfen am Markt gescheiterten Produkten oft nicht weiter und dienen nur der zeitlichen Überbrückung eines zum Scheitern verurteilten Produktes. Unternehmerische Ressourcen, wie Mitarbeiter und deren Know-how, können viel produktiver und innovativer in einer solchen Phase eingesetzt werden, wenn sich das Unternehmen dafür entscheidet eine Metamorphose zu durchleben und somit den vorausgegangenen Wachstumstrend gegen Evolution zu tauschen. [136]

„Regel 4: Nutzung vorhandener Kräfte nach dem Jiu-Jitsu-Prinzip statt Bekämpfung nach der Boxer-Methode:“

„Fremdenergie wird genutzt (Energiekaskaden, Energieketten), während eigene Energie vorwiegend als Steuerenergie dient. Die Nutzung vorhandener Kräfte profitiert von vorliegenden Konstellationen und fördert die Selbstregulation.“[136, Vester, 2001, S.134]

Diese vierte Grundregel nach F. Vester geht auf die Ausnutzung vorhandener Energien näher ein. Verglichen werden zwei unterschiedliche Konzepte miteinander, wobei das eine der natürlichen Vorgehensweise, hinsichtlich Energieausnutzung, und das andere der technischen Vorgehensweise sehr ähnlich ist. Die Rede ist vom sogenannten „Jiu-Jitsu-Prinzip“, als Vertreter der Natur, und der „Boxermethode“, ihrerseits die Technik repräsentierend. Wie auch andere asiatische Kampfsportarten nutzt Jiu-Jitsu vorhandene Energien durch gezielte Hebeltechniken aus, was zu einem geringen Aufwand von eigener Energie, in der Regelungstechnik als Steuerenergie bezeichnet, führt. Durch natürliche Energiekaskaden und -ketten, verschiedenen Prozessen wie Photosynthese und Katalyse sowie der Nutzung statt Zerstörung von vorhandenen Strukturen oder Ressourcen kann man die Arbeitsweise natürlicher Systeme mit Jiu-Jitsu vergleichen beziehungsweise beschreiben. Als Kontrast dazu steht des Öfteren die Vorgehensweise der sogenannten „Boxermethode“ im Vordergrund technischer Systeme. Das Konzept hinter der Kampfsportart Boxen ist, im Vergleich zu dem des Jiu-Jitsu ein ganz anderes. Es wird einerseits Energie für den Angriff und andererseits für die Verteidigung gegen Angriffe des Kontrahenten aufgewandt, ohne vorhandene Energien zu nutzen. In technischer Hinsicht spiegelt sich diese Vorgehensweise beispielsweise durch den Einbau von Klimaanlage, welche wiederum Energie benötigen und Abwärme produzieren, anstatt natürliche Temperaturgefälle und vorhandene Energiequellen wie Wind und Sonne auszunutzen. [136]

Prophylaxe statt Reparatur kann man sich von natürlichen Systemen abschauen. Erhält man die Selbstreinigungsfähigkeit von Gewässern könnte man Auslastungen für Kläranlagen verringern, die Saugfähigkeit natürlicher, nicht versiegelter Böden beziehungsweise die Nutzung von Auegebieten, welche als natürliches Puffersystem dienen, können zum Schutz vor Hochwässern beitragen. Die vorangegangene Erwähnung der Nutzung von Wind- und Sonnenenergie, sowie das Ausnut-

zen von Abwärmen und Temperaturgefällen sind weitere mögliche Beispiele beziehungsweise Hebelpunkte für technische Systeme. Als Motivation könnte eine Erhöhung der Renditen bei gleichzeitiger Senkung der Betriebskosten im Bereich Umweltschutz durch diverse Maßnahmen in der Industrie dienen. Als Beispiel²⁵ kann die Steigerung der Konkurrenz- und Leistungsfähigkeit durch ökologische Umstrukturierungsmaßnahmen in der Industrie herangezogen werden. [136]

„Regel 5: Mehrfachnutzung von Produkten, Funktionen und Organisationsstrukturen:“

„Mehrfachnutzung reduziert den Durchsatz, erhöht den Vernetzungsgrad und verringert den Energie-, Material- und Informationsaufwand.“[136, Vester, 2001, S.136]

Das fünfte von insgesamt acht Grundregeln nach F. Vester ist eine spezielle Anwendung beziehungsweise ein spezielles Konzept des vorangegangenen „Jiu-Jitsu-Prinzips“. Es basiert auf der Mehrfachnutzung von Produkten, Funktionen sowie Organisationsstrukturen. Ziel ist es, dieser Regel nach, keine Technologie, Verfahren oder System alleinstehend zu nutzen sondern ein multifunktionales Netzwerk für verschiedenste Anwendungen aufzubauen. Die Kunst für das Realisieren eines solchen Projektes liegt in der notwendigen, fachübergreifenden Herangehensweise und Denkweise. Beginnen muss dieser Ansatz bei der Grundlagenforschung und endet in der endgültigen Realisation von Produkten und Systemen. Als praktisches Beispiel²⁶ zeigt der Autor des Buches *Die Kunst vernetzt zu denken - Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*, Frederic Vester, die Kombination aus Solarzellen oder Windkraftanlagen, Stirlingmotor in Verbindung mit Biogas und der Begrünung des Hausdaches zur Verwendung in Häusern für Energie, Wärme und als Antriebsenergie des Elektrofahrzeuges. Mit Hilfe der Dachbegrünung kann ein angenehmes, kühles Klima in den Wohnräumen geschaffen werden, die vom Stirlingmotor produzierte Abwärme wiederum dient dem Heizen und der gewonnene Strom aus Wind- oder Solaranlagen kann in Batterien, Pufferspeichern oder in das Netz eingespeichert werden. Auch in der Stadt lässt sich eine komplexe, Infrastruktur für unterschiedlichste Technologien, dezentrale Energieerzeugungs- und -versorgungskonzepte schaffen. [136]

„Regel 6: Recycling: Nutzung von Kreisprozessen zur Abfall- und Abwasserverwertung:“

„Ausgangs- und Endprodukte verschmelzen. Materielle Flüsse laufen kreisförmig. Irreversibilitäten und Abhängigkeiten werden gemildert.“[136, Vester, 2001, S.137]

Mit dieser Regel beziehungsweise der dahinterstehenden Idee beschäftigen sich neben F. Vester auch noch andere Wissenschaftler beziehungsweise Autoren, die nachfolgend in der vorliegenden Forschungsarbeit erwähnt werden. Als Beispiel sei M. Braungart und W. McDonough mit ihrem *Cradle to Cradle* Konzept (siehe Abschnitt 6.3) oder M. Rada, der seine Vision der zukünftigen Industrie, „Industrie 5.0“, über das Kernelement der hier beschriebenen Regel „Recycling: Nutzung von Kreisprozessen zur Abfall- und Abwasserverwertung“ in abgewandelter Form definiert (siehe Abschnitt 5.7.1 - „Industrie 5.0“ nach M. Rada), erwähnt.

Der sich im Laufe von Millionen von Jahren in der Natur entwickelte geschlossene Materialkreislauf sollte als Vorbild für technische Prozesse dienen. In der belebten Natur ist der Begriff

²⁵für weitere Informationen und Beispiele siehe [40, 42]

²⁶für weitere Informationen siehe [135]

„Abfall“ ein Fremdwort, da sich hier für jedes Produkt ein geeigneter Abnehmer finden lässt. Auf diesen Verwertungskaskaden baut die Komplexität biologischer Systeme zum Großteil auf. Die Unterscheidung zwischen einem Ausgangs- und Endprodukt, wie es in gängigen technischen Prozessen und Systemen der Fall ist, existiert in der Natur nicht. Abfallprodukte und die darin enthaltenen Nährstoffe der einen Organismen stehen anderen wiederum durch spezielle Enzyme zur Verfügung. Vergleicht man natürliche Systeme mit unseren technischen, kann man schnell große Unterschiede feststellen. Unsere linearen, technischen Prozessen unterscheiden sehr wohl zwischen Ausgangs- und Endprodukten, wobei letztere beziehungsweise der Arbeitsschritt des Produzierens mehr Aufmerksamkeit erhält. Dem, in natürlichen Systemen so wichtigen Schritt der Abfallumwandlung bringen wir Menschen hingegen nur wenig Aufmerksamkeit entgegen, was zu einer Anhäufung von Abfall führt. Laut F. Vester ist einer der Auslöser dieser Problematik unser lineares, eindimensionales Denken, das uns daran hindert in kybernetischen Kreisprozessen beziehungsweise branchenübergreifend zu denken. Möchte man profitable Recyclingsysteme erfolgreich integrieren, so ist eine interdisziplinäre Denkweise der Schlüssel dazu, da in unterschiedlichen Tätigkeitsfeldern die Verwertungsmöglichkeiten für unterschiedlichste Stoffe und Produkte weit aus größer sind als in einem einzelnen Betrieb, der versucht alle Aufgaben alleine zu stemmen. Diversität eröffnet oft viele Möglichkeiten des Austausches. [136]

„Regel 7: Symbiose. Gegenseitige Nutzung von Verschiedenartigkeit durch Kopplung und Austausch:“

„Symbiose begünstigt kleine Abläufe und kurze Transportwege. Sie verringert Energieverbrauch, Durchsatz und externe Dependenz, erhöht statt dessen interne Dependenz.“ [136, Vester, 2001, S.138]

Die in der vorangegangenen Regel, Nummer sechs, erwähnte Diversität oder Vielfalt gilt als wichtiger Grundbaustein der siebten Regel nach F. Vester. Symbiose kann nur dort zustande kommen, wo es auch zur Funktionsmischung von Organismen und Systemen kommt. Im Allgemeinen bezeichnet man als Symbiose „[...] das Zusammenleben von Lebewesen verschiedener Art zu gegenseitigem Nutzen [...]“ [37, Duden online: Symbiose, Online; 25.11.2017]. [136] Die Vielfalt ihrer Erscheinungsformen in natürlichen Ökosystemen ist enorm, sodass sie nach F. Vester unter anderem als die Grundlage aller lebenden Systeme bezeichnet wird. Beispiele für symbiotische Beziehungen gibt es in der Natur viele, sei es der Zusammenschluss von Algen und Pilzen, die als Flechten bekannt sind, Darmbakterien im menschlichen Verdauungstrakt mit deren Hilfe wichtige Vitamine hergestellt und andere, in der Nahrung enthaltene, chemische Verbindungen abgebaut werden können oder das Zusammenleben von Ameisen und Blattläusen, welche von ersteren geschützt werden. Symbiose dient immer einem gegenseitigen Nutzen der unterschiedlichen Parteien beziehungsweise Spezies. Als Gegenleistung des, im vorangegangenen Beispiel erwähnten, Schutzes der Blattläuse vor Angreifern durch Ameisen erhalten diese Honigtau, der ihnen als Nahrungsquelle dient. Ein weiteres, weit aus größeres Beispiel von Symbiose stellt die Wechselwirkung und Abhängigkeit der beiden wichtigen, die Natur prägenden, Prozesse Atmung und Photosynthese dar. Diese Art der Symbiose zwischen Tier- und Pflanzenwelt kann als globales System angesehen werden.

Vorteile, die durch Symbiosen für alle beteiligten Parteien entstehen, sind in ökologischer und ökonomischer Sicht als Einsparung in den Bereichen Transport, Energie und Rohstoffverbrauch zu verstehen. Zusätzlich zu den drei erwähnten Bereichen profitiert auch die Umwelt davon, da sie entlastet wird. Um diese Vorteile nutzen zu können bedarf es jedoch einer gewissen Kleinräumigkeit, dezentraler Strukturen sowie einem Vorhandensein bereits erwähnter Diversität, um eine gute Durchmischung verschiedener Funktionen bereitstellen zu können. Dies ist auch ein Mitgrund, warum Monokulturen, wie beispielsweise in der Forstwirtschaft mit nur einer Baumart, wenig bis keinen Nutzen von der Symbiose erfahren können, da die notwendige Vielfalt der Arten und Wechselbeziehungen unter diesen nur in begrenztem Ausmaß vorhanden ist oder schlichtweg fehlt. Monostrukturen im Allgemeinen erfordern für deren „Betreiber“ stets einen höheren Aufwand in den Bereichen der Entsorgung, des Transportes oder der Überwachung beziehungsweise Kontrolle, was weiterführend zu einer Steigerung der Kosten und Fehleranfälligkeit führt. Symbiotische Systeme hingegen sind in der Lage Fehler zu puffern. Als Erklärung warum Monostrukturen verglichen mit diversen Systemen, die von Symbiose profitieren können, die erwähnten Nachteile mit sich bringen erklärt F. Vester anhand der Tatsache, dass in ihnen, wie bereits der Name vermuten lässt, nur gleichartige Einheiten vorzufinden sind. Der Grund für die, bereits weiter zuvor erwähnten, Nachteile solcher Monostrukturen ist die Tatsache, dass jede Einheit für sich die selben Ressourcen benötigen und zugleich alle gemeinsam den gleichen Output beziehungsweise im Fall eines Forstwaldes den identen Rohstoff liefern. Die benötigten Ressourcen sowie der entstandene Abfall der Monostruktur müssen jedoch mit erhöhten Transportaufwand zur Verfügung gestellt werden, da kein gegenseitiger Nutzen unter den einzelnen Einheiten auf Grund der identen Ansprüche zustande kommen kann. Symbiotische Systeme und Strukturen bringen verglichen mit Monostrukturen nicht den scheinbaren rationellen, wirtschaftlichen Gewinn, können jedoch im Bereich Systemstabilität und geringerer Abhängigkeit punkten. Wie schon des Öfteren beschrieben, können symbiotische Systeme Störungen ausgleichen beziehungsweise diese auf unterschiedlichste Weise puffern. Ein Beispiel aus der Forstwirtschaft, wo bevorzugt Monokulturen der Baumart *Fichte* verwendet werden, zeigt, dass solche Systeme sehr stark anfällig auf Störungen, im speziellen Fall dem Borkenkäfer, sind. [8, 136]

„Regel 8: Biologisches Design von Produkten, Verfahren und Organisationsformen durch Feedback-Planung:“

„Biologisches Design berücksichtigt endogene und exogene Rhythmen, nutzt Resonanz und funktionelle Paßformen, harmonisiert die Systemdynamik und ermöglicht organische Integration neuer Elemente nach den acht Grundregeln.“[136, Vester, 2001, S.140]

Mit der achten und letzten Regel geht F. Vester auf die Notwendigkeit ein, dass sowohl Produkte oder Funktionen als auch Organisationen der Struktur von, wie er es nennt, überlebensfähigen Systemen nachempfunden sein sollen. Als Nebenbedingung führt F. Vester des Weiteren an, dass der Zweck genannter Bereiche (Produkt, Funktion, Organisation) zum einen immer mit der Natur beziehungsweise den Menschen vereinbar sein muss und zum anderen dem menschlichen Überleben und nicht dessen Untergrabung beziehungsweise Vernichtung dient. Bei der Argumentation der Notwendigkeit der achten Regel geht der Autor des Buches *Die Kunst vernetzt zu*

denken - Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität neben der ökologischen Betrachtungsebene auch auf die psychologische beziehungsweise ökonomische ein. Denn unsere akzeptierten Dienstleistungen und Güter werden zu selten als biologisches Design produziert und verfehlen dadurch oft das Bedürfnis beziehungsweise den Markt, welchen sie jedoch versuchen abzudecken. Als praktisches Beispiel, welches nicht einem biologischen Design entspricht, erwähnt er den Ausbau des Internets, welcher eine immer komplexere Struktur annimmt und dadurch anfälliger auf Störungen, Computerviren oder ähnliches wird. Wie bereits zu Beginn der Beschreibung der acht Grundregeln erklärt wurde, ist unkontrolliertes Wachstum und ein zu hoher Grad an Vernetzung auf lange Sicht keine geeignete Möglichkeit die Überlebensfähigkeit eines System auf Dauer zu gewährleisten. Diese Thematik wird auch in der zweiten Regel, *Die Systemfunktion muss vom quantitativen Wachstum unabhängig sein.* behandelt. F. Vester zeigt als Lösung jener Probleme die enge Verknüpfung und auch Zusammenarbeit mit der lokalen lebendigen Umwelt sowie das Werkzeug der Feedback-Schleifen auf. Zusätzlich sollen Projekte nie isoliert betrachtet werden, sondern als eine Kooperation, die acht Grundregeln berücksichtigend, zwischen Umwelt und Menschen. Dies legt laut F. Vester den Grundstein zum Aufbau überlebensfähiger Systeme. [136]

Die acht Grundregeln überlebensfähiger Systeme sind allgemein, sowohl auf einer niedrigen strukturellen Ebene eines Systems als auch auf der alles überspannenden Ordnung des Gesamtsystems, gültig. Alle natürlichen komplexen Systeme besitzen auf allen Ebenen ihrer Struktur, sei es in einzelnen Zellen oder als gesamter Organismus betrachtet, diese Gesetzmäßigkeiten, welche ihnen das Überleben ermöglichen. Der Umgang beziehungsweise Aufbau komplexer Systeme gestaltet sich durch diese Tatsache durchaus leichter, da ein, den acht Grundregeln der Biokybernetik nachempfundenes, künstliches System jene Grundregeln automatisch auf jeder strukturellen Ebene besitzt und anwendet. Komplexe Systeme sind auf die Interaktion und Wechselwirkung mit den in ihren implementierten Teilsystemen angewiesen, sodass eine Allgemeingültigkeit auf globaler systemischer Ebene die Allgemeingültigkeit in jedem der Teilsysteme induziert. F. Vester bezeichnet in weiterer Folge seine acht Grundregeln der Biokybernetik auch als die acht Fähigkeiten zur Selbstorganisation lebensfähiger Systeme und können sowohl auf die in Abbildung 6.6 graphisch dargestellte Bio- als auch Technosphäre, welche alle von Menschenhand geschaffenen Systeme wie Unternehmen, Energie-, Verkehrs- und Ausbildungssysteme miteinbezieht, beziehungsweise auf die *Welt der Technik* und die *Welt der Natur* in Abbildung 6.13 angewandt werden.

6.5.3 Ökologische und ökonomische Prinzipien nach I. Ring

Zum Abschluss dieses Kapitels wird als Alternative zu den, bereits in Unterabschnitt 6.5.1 und Unterabschnitt 6.5.2 angeführten, natürlichen Grundprinzipien und -regeln noch die Sichtweise von Frau Irene Ring, ihrerseits Professorin im Forschungsbereich *Umwelt und Gesellschaft* an der *Technischen Universität Dresden*, vorgestellt. Mit ihrer fachübergreifenden Betrachtungsweise aus Ökologie und Ökonomie zum Thema Umweltpolitik bietet sie mit ihrem Buch und ihrer Publikation (siehe [111, 112]), welche im Rahmen der Literaturrecherche gefunden werden konnten,

eine interessante Meinung und auch einen neuen Zugang rund um biologische Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten. Hier soll nun zu Beginn die Sichtweise der Ökologie beleuchtet werden, aus der sich im weiteren jene erwähnten Prinzipien beziehungsweise Kategorien herauskristallisieren werden.

Wie auch bereits zuvor M. Braungart und W. McDonough mit ihrem *Cradle to Cradle* Konzept (siehe Abschnitt 6.3) sowie Vertreter der Disziplin *Industrial Ecology* (siehe Abschnitt 6.2) sich das biologische Ökosystem und dessen internen als auch externen Wechselwirkungen als Forschungsobjekt auserwählt, stellt es auch bei Frau I. Ring das Kernelement zur Erforschung ökologischer Gesetzmäßigkeiten dar. Das Ökosystem stellt sozusagen die funktionale Einheit im Fachgebiet der Ökologie dar, da es sowohl die darin lebenden Organismen als auch die Umwelt, in der es existiert, umfasst. Wie auch in vielen anderen ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen, verwendet man in der Ökologie als Werkzeuge Massen- und Energiebilanzen zur Beschreibung ökosystematischer Phänomene. Die Energiereserven von Organismen sind limitiert, können jedoch durch Energieerwerb wieder aufgefüllt werden. Dieser findet zum Hauptteil über die Nahrungsnetze und -ketten in ökologischen Systemen statt. Die Verfügbarkeit und Größe des Nahrungsangebotes ist wiederum vom eingestrahlenen Energiestrom der Sonne abhängig, über welchen Organismen niedrigerer trophischer Stufen, wie beispielsweise Pflanzen, die Nahrungspyramide aufbauen. Verglichen mit industriellen Systemen, basiert ein biologisches Ökosystem auf dezentral arbeitenden Sonnenkraftwerken, wobei deren Wirkungsgrad, im übertragenen Sinn, von Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit abhängig ist. [100, 109, 111, 112, 144]

Nahrung hilft nicht nur den Energiehaushalt aufrecht zu erhalten, sondern auch wichtige Stoffe aufzunehmen. In Ökosystemen können sich, wenn stabile, langanhaltende Umweltbedingungen herrschen und genügend Zeit zur Entwicklung vorhanden ist, praktisch geschlossene Stoffkreisläufe einstellen. Die Verbindungen zwischen organischen und anorganischen Bereichen ist dann nahtlos. Mit Hilfe von Symbiosen zwischen unterschiedlichsten Organismen können Nährstoffe lange ohne Verluste im System gehalten werden. Diese Entwicklung bedarf jedoch einer langen Entwicklungszeit, da sich in jungen Systemen Nährstoffe hauptsächlich im abiotischen Teil befinden und erst mit der Zeit über Mikroorganismen für die gesamte Systemgemeinschaft aufgeschlossen werden können. Solche jungen Systeme sind jedoch nicht so anfällig auf Störungen, da es noch zu keiner vollständigen Nährstoffausnutzung kommt und erst geringere Anteile zwischen den Organismen ausgetauscht werden. Eine Schädigung von alten Ökosystemen hat deshalb meist irreversible Folgen, da keine stofflichen Reserven im abiotischen Teil des Ökosystems mehr vorhanden sind und alle Nährstoffe bereits zwischen den Organismen wandern. [100, 109, 111, 112, 144]

Energie- und Stoffanalysen stellen nur einen Teil der Charakterisierung von Ökosystemen dar. Zur weiteren Beschreibung ist die sogenannte Artenzahl sowie die relative Häufigkeit der Arten ein hilfreiches Werkzeug in der Ökologie. Hier gilt im Allgemeinen, dass ein reifes ökologisches System komplexe Beziehungen in der Nahrungskette aufweist. Ökosysteme weisen im Allgemeinen eine größere Artenvielfalt auf, je wechselseitiger die Umweltbedingung sind und je näher das System am biologischen Optimum liegt. Für diese Aussage gilt auch der Umkehrschluss, dass bei einseitigen Umweltbedingungen und einer Entfernung vom biologischen Optimum die

Artenvielfalt rückgängig ist beziehungsweise sich manche Arten zahlenmäßig verstärkt in den Vordergrund drängen. Dies widerspricht jedoch der ökologischen Beschreibung eines stabilen Systems, da hierfür eine Grundmenge von unterschiedlichen Arten stabil gehalten werden muss. Um dies auf Dauer gewährleisten zu können sind geeignete äußere Einflüsse beziehungsweise Umweltbedingungen, wie Temperatur oder Feuchtigkeit, nötig, jedoch benötigt es auch einer gewissen Stabilität gegenüber innerer Störungen. Damit das System diese als Ganzes behält und über lange Zeit überdauern kann, müssen folgende Punkte erfüllt werden: es darf nicht im Laufe des Wettbewerbs um Ressourcen, die nur in begrenzter Menge verfügbar sind, zur Verdrängung des Schwächeren kommen. Des Weiteren müssen Abfallprodukte von Stoffwechselreaktionen entsorgt beziehungsweise verarbeitet werden. In natürlichen Systemen ist es häufig so, dass eine Vielzahl von Organismen durch die Ausbeutung anderer Arten leben. Auf langfristige Sicht kann ein solches System nur bestehen, wenn auch die ausgebeuteten Organismen überdauern können. Dies gilt sowohl für alle Tiere als auch für manche Pflanzen und Mikroorganismen. Gleichzeitig bedeutet die erwähnte Ausbeutung mancher Arten einen regulatorischen Mechanismus, der dem theoretisch möglichen exponentiellem Wachstum der Population eines Organismus entgegenwirkt. Solche Regulations- und Steuermöglichkeiten von Ökosystemen setzen jedoch die nötige Informationsaufnahme und -verarbeitung der betroffenen Organismen voraus. Zusätzlich dazu sind eine sichergestellte Energiezufuhr, Energiespeicherungsmöglichkeiten, genügend Untergliederung des betrachteten ökologischen Systems in diverse, eigenständige Untersysteme sowie ein Pool an Ressourcen von Nöten. [100, 109, 111, 112, 144]

Generell strebt die Entwicklung von Ökosystemen eine Optimierung des Gesamtgefüges an. Dies kann durch eine Steigerung von symbiotischen Beziehungen, geschlossener Nährstoffkreisläufe, Anstieg von Stabilität gegenüber Störungen und Informationsgewinn charakterisiert werden. Ökosysteme erlangen im Laufe ihrer Entwicklung unterschiedliche Reifestadien, bei denen es mit Fortschritt des Reifestadiums zu einer Änderung der Verteilung zwischen ab- und aufbauenden Prozessen kommt. Junge Systeme beispielsweise besitzen eine höhere Produktion von Biomasse als in ihnen durch Abbauprozesse wieder umgesetzt wird. Erlangt das Ökosystem einen fortgeschrittenen Reifestatus, so halten sich Auf- und Abbau von organischer Substanz die Waage. Kurzfristige Schäden und Störungen können mit Hilfe der sich gebildeten Infrastruktur unter den Organismen sowie mit akkumulierter Energie gepuffert werden. Anders als im derzeitigen wirtschaftlichen System, stehen in ökologischen Systemen die beiden Parameter Systemstabilität und Nettowachstum umgekehrt proportional zueinander. [100, 109, 111, 112, 144]

Folgende fünf Kategorien an Organisationsprinzipien aus der Ökologie konnte I. Ring aus den oben beschriebenen Eigenschaften von ökologischen Systemen und Vorgängen in biologischen Ökosystemen erkennen. Können sich Ökosysteme über einen bestimmten Zeitraum entwickeln, werden sie diesen allgemeinen Regeln der fünf Grundfaktoren *Energie*, *Materie*, *Information*, *Raum* und *Zeit* unterworfen sein [112, Ring, 1994, S.56]:

1. Kategorie Energie: Maximale (dezentrale) Nutzung der am Ort vorhandenen Sonnenenergie.
2. Kategorie Materie: Maximales Halten der Nährstoffe im System durch Kreislaufwirtschaft

3. Kategorie Information: Steigerung der Komplexität durch Anwachsen der gespeicherten Information über Artenvielfalt und Vielfalt der Beziehungen der Arten untereinander.
4. Kategorie Raum: Dezentrale Organisation; weitgehende Eigenständigkeit einzelner Kompartimente.
5. Kategorie Zeit: Im Reifestadium Gleichgewicht zwischen auf- und abbauenden Prozessen; Stabilität von Prozessen.

In Abbildung 6.21 wird die bisherige menschliche Vorgehensweise industrieller Systeme in Bezug auf alle fünf Kategorien nach I. Ring mit natürlichen Ökosystemen gegenübergestellt. Gut ersichtlich ist die vorhandene Kreislaufwirtschaft, welche als ökologisches Organisationsprinzip in den Kategorien *Materie* und *Energie* dient. Unser ökonomisches Prinzip in diesen beiden Bereichen zeichnet sich derzeit als ein, auf fossilen Energieträgern basierendes, Durchlaufsystem aus. Interessant ist auch der Unterschied zwischen den beiden Systemen in der Spalte *Raum*, wobei das industrielle, wirtschaftliche System auf internationaler Arbeitsteilung beziehungsweise dem Weltmarkt, die Natur jedoch auf sogenannte regionale Kompartimentierung, also einer Unterteilung größerer Ökosysteme in kleine Teilsysteme, welche sich in komplexen Wechselbeziehungen untereinander befinden. Der Unterschied zwischen den beiden Organisationsprinzipien, ökologische und ökonomische, in der Kategorie *Information* besteht darin, dass in der Natur die Speicherung von Information auf der Artenvielfalt, welche über den gegenseitigen Wettbewerb und Symbiosen zustande kommt, aufbaut. Im industriellen System baut das Organisationsprinzip ebenfalls auf den gegenseitigen Wettbewerb auf, dieser basiert jedoch auf einer Unmenge an individuellen Bedürfnissen und materiellen Gütern. In der letzten Gruppe, der *Zeit*, kann erneut ein großer Unterschied zwischen den beiden diskutierten Systemen festgestellt werden. Das ökologische Organisationsprinzip zeichnet sich durch das Erlangen eines Reifestadiums, welches in weiterer Folge zu einem Gleichgewicht zwischen Konsum und Produktion führt, aus. Unser bisheriges wirtschaftliches Vorgehen konzentrierte sich allgemein gesprochen auf unbegrenzte Wachstumsprozesse und deren Förderung. Das Erlangen eines, wie in natürlichen Systemen vorhandenes, Reifestadium in dieser Hinsicht wurde, wenn man die Wachstumskurven verschiedenster wirtschaftlicher Systeme analysiert, noch nicht geschafft. [111, 112, 136]

Um in den fünf Kategorien nach I. Ring systematische beziehungsweise organisatorische Verbesserungen zu vollbringen, sollten die in der nachfolgenden Aufzählung erwähnten Vorschläge wahrgenommen werden [112, Ring, 1994, S.93/94]:

1. Kategorie Energie: Maximale Ausnutzung der täglich eingestrahlteten Sonnenenergie und regenerativer Energien im allgemeinen.
2. Kategorie Materie: Abkehr vom Durchflußprinzip und ein Fördern des Kreislaufprinzips in bezug auf Rohstoffe wo immer möglich.
3. Kategorie Information: Intelligente Nutzung knapper Ressourcen mit minimalem Eingriff in den Naturhaushalt durch entsprechende Technologien.

4. Kategorie Raum:

- *Prinzipielle Berücksichtigung der Regenerationsfähigkeit von Lebewesen im Verbund mit ihrem Lebensraum,*
- *Förderung von Dezentralisierungsprozessen,*
- *Risikominimierende Technologien (vgl. 5).*

5. Kategorie Zeit:

- *Förderung eines Ausgleichs zwischen Wachstums- und Begrenzungsfaktoren hinsichtlich des energetischen und materiellen Ressourcenverbrauchs,*
- *Risikominimierende Technologie: Unfälle durch menschliche Fehler und unkontrollierbare Außenfaktoren dürfen keine weitreichenden und irreversiblen Schädigungen in Raum und Zeit verursachen.*

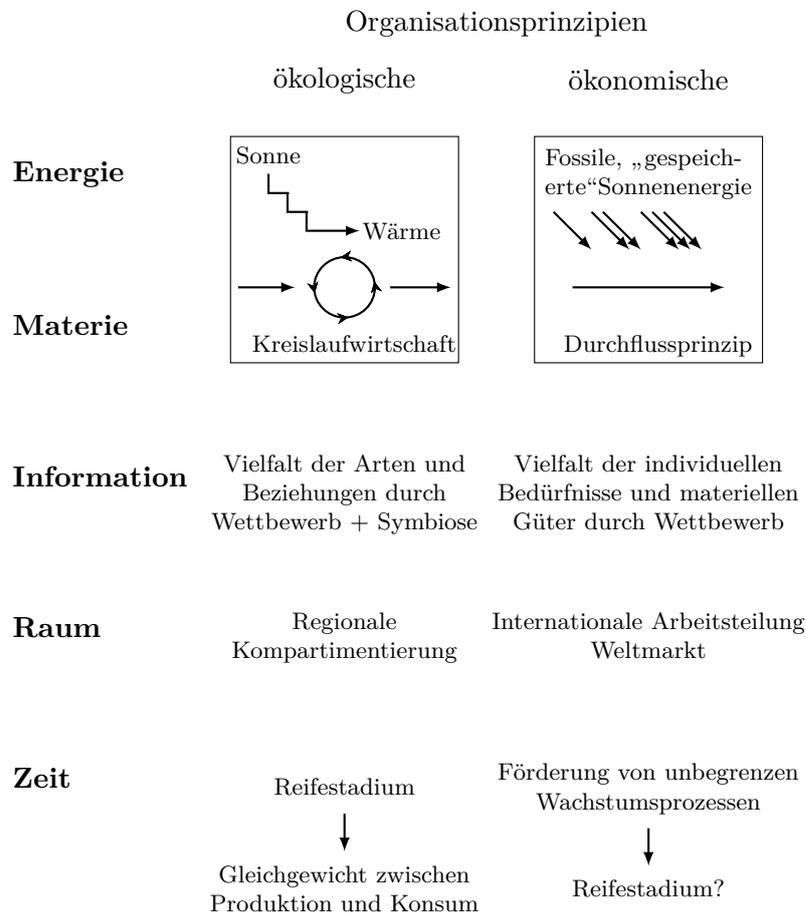


Abbildung 6.21: Ökologische und ökonomische Organisationsprinzipien nach I. Ring (Grafik in Anlehnung an [111, 112])

7 Ergebnisse - „Guiding Principles“

Dieser Abschnitt befasst sich mit den sogenannten „Guiding Principles“ der neuen Industrieversion, „Industrie 5.0“ mit der Zusatzbeschreibung „Imagineering Nature“. Wie bereits in Unterabschnitt 5.7.2 ausführlich erklärt wurde, soll die zukünftige Industrieversion nach den Vorstellungen des *Instituts für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften* als Kernelement natürlich vorkommende Prinzipien besitzen, durch welche sie die Fähigkeit erlangen soll, Brücken zwischen Technik und Biologie zu spannen. Der Entfremdung des industriellen Systems von der Natur soll durch die Anwendung der „Guiding Principles“ entgegengewirkt werden. Zusätzlich sollen auch Erfahrungen aus vorangegangenen „industriellen Revolutionen“ Teil der neuen Version werden. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurden mit Hilfe einer fundierten Literaturrecherche einige biologische Grundprinzipien bereits in Kapitel 6 vorgestellt. Die folgenden Seiten sollen nun das zusammengetragene Wissen als „Guiding Principles“ formulieren. In der nachfolgenden Aufzählung ist ein Überblick der als wichtig für die zukünftige Industrieversion erachtenden „Guiding Principles“ gegeben:

1. (Bio-) Diversität
2. (Interdisziplinäre) Kommunikation
3. Komplexität und Kompartimentierung
4. Selbstregulation und -organisation
5. Symbiose und Synergie
6. Geschlossene Kreisläufe und Mehrfachnutzung von Ressourcen
7. Effektive Funktionen statt effizienter Produkte
8. Multifunktionalität und Anpassungsfähigkeit
9. (Erneuerbare) Energie
10. Soziale Komponente

Es sei an diesem Punkt angemerkt, dass es bei den hier angeführten „Guiding Principles“ einer zukünftigen „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ zu Überschneidungen diverser, aus der Literatur stammenden, Grundregeln beziehungsweise Prinzipien kommt. Manche dieser, in Abschnitt 6.5 von unterschiedlichen Wissenschaftlern angeführten, Regeln oder Prinzipien werden vom Autor dieser Forschungsarbeit ebenfalls als wichtig beziehungsweise grundlegend

betrachtet. Er kann sich sehr gut mit diesen, in der Literatur gefundenen, Grundprinzipien identifizieren. Zusätzlich werden jedoch auch „Guiding Principles“ nach eigenen Beobachtungen beziehungsweise Gewichtungen angeführt.

Des Weiteren spiegeln aufgelistete „Guiding Principles“ vorwiegend Eigenschaften beziehungsweise Prozesse von biologischen Systemen, nicht aber von einzelnen Organismen wieder. Der Grund dafür ist die Allgemeingültigkeit von Prozessen in ganzen Ökosystemen. Hingegen können einzelne, an nur wenigen Arten von Organismen beobachtbare, Prozesse oder Fähigkeiten Ausnahmen gegenüber dem Gesamtsystem darstellen. Bei spezifischen technischen Problemstellungen können jedoch spezifische, auf einzelne Organismen bezogene, Lösungsvorschläge aus der Natur herangezogen werden. Solche Vorgänge werden im Themengebiet der *Bionik* verwendet, stellen jedoch meist keine allgemeingültigen Grundprinzipien für Systeme dar.

Auffällig bei der Betrachtung der angeführten „Guiding Principles“ ist, dass sie in starker gegenseitiger Abhängigkeit von einander stehen und sich zum Teil auch gegenseitig implizieren. Beispielsweise beruht das „Guiding Principle“ der *Symbiose und Synergie* auf einer entsprechenden (*Bio-*) *Diversität* im betrachteten System.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen „Guiding Principles“ einzeln vorgestellt und beschrieben.

7.1 (Bio-) Diversität

„Eine hohe Diversität beziehungsweise Vielfalt an Fachgebieten, Firmen und Branchen in industriellen Systemen bietet jenen die Möglichkeit von einander zu profitieren und nebeneinander zu existieren. Gleichzeitig hilft eine hohe Biodiversität der umgebenden Natur beziehungsweise der Ökosysteme anfallende industrielle Nährstoffe bestmöglich zu verarbeiten.“

Das erste der „Guiding Principles“ basiert auf der Artenvielfalt in funktionierenden biologischen Ökosystemen und wurde bereits in vorangegangenen Aufzählungen biologischer Prinzipien und Regeln direkt oder indirekt erwähnt (siehe Abschnitt 6.5). Eine reiche Artenvielfalt liefert den Grundstein eines funktionierenden Ökosystems. Der Grund dafür ist die ideale Ausnutzung jeglicher ökologischer Nischen und die gesteigerte Produktivität im betrachteten System. Zusätzlich sind Systeme mit hoher Diversität, oder im Fall von ökologischen Systemen großer Artenvielfalt, in der Lage externe sowie interne Störungen besser auszugleichen, da die einzelnen Organismen beziehungsweise Systemkomponenten komplexer miteinander vernetzt sind und dadurch größere Abhängigkeiten zwischen ihnen auftreten können. Betrachtet man dieses „Guiding Principle“ am Beispiel der Wiederansiedlung von Wölfen im *Yellowstone Nationalpark* in den USA, so werden die Vorteile großer Diversität schnell ersichtlich. Durch den Wolf sind Auswirkungen im gesamten Ökosystem des Nationalparks erkennbar, da sie als große Raubtiere andere Organismen, die in ihr Beuteschema fallen, dezimieren. Dadurch entsteht ein natürliches Gleichgewicht zwischen Räuber und Beutetieren. Nimmt die Population von beispielsweise Wapitis, bevorzugt in Nordamerika vorkommende Rothirsche, durch das Nichtvorhandensein von Wölfen zu, hat dies Folgen auf

das Ökosystem, da die Vegetation darunter leidet. Im *Yellowstone Nationalpark* kann eine Regeneration der Bestände von Pappeln, Espen und Weiden beobachtet werden, seit Wölfe wieder frei in diesem Gebiet umherstreifen. Sie geben durch das Dezimieren der Pflanzenfresser jungen Bäumen die Chance von Fressfeinden verschont zu bleiben. In weiterer Folge hat die Regeneration der Baumbestände zur Folge, dass sich Arten wie der Biber ebenfalls wieder ansiedeln, da ihre bevorzugte Nahrungsquelle, junge Triebe mit denen sie auch ihre sogenannten Biberburgen errichten, häufiger zur Verfügung stehen. Durch Biberbauten aufgestaute Gewässer bieten wiederum anderen Organismen eine Lebensgrundlage beziehungsweise Lebensräume, sodass die Biodiversität in Form von Vögeln, Fischen bis hin zu großen Säugetieren wie Elchen steigt. Gut zu erkennen sind die langfristig beobachteten positiven Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem durch die Wiederansiedlung des Wolfes. In Gebieten, wo Wölfe durch den Menschen ausgerottet wurden, muss dieser ihre Aufgabe zur Stabilisierung des Gleichgewichtes übernehmen. Das Hauptaugenmerk liegt jedoch nicht an der einzelnen Spezies selbst, vielmehr an der positiven Auswirkung beziehungsweise Produktivität auf das Ökosystem bei gesteigerter Biodiversität. [54, 113, 122]

In zukünftigen industriellen Systemen kann durch die bewusste Steigerung der Diversität hinsichtlich der Branchen und Tätigkeitsbereiche von Firmen und Unternehmen eine generelle Steigerung der Produktivität zustande kommen. Dadurch können verschiedene Unternehmen voneinander profitieren, da sie beispielsweise Abfälle von anderen Branchen als eigene Ressource einsetzen können. Auf die Ressourcenbilanz des betrachteten Industriesystems hätte dies ebenfalls positive Auswirkungen, da Materialien und Stoffe länger im System verbleiben. [55]

7.2 (Interdisziplinäre) Kommunikation

„(Interdisziplinäre) Kommunikation stellt einen wichtigen Motor für den Fortschritt und zur Verwirklichung von Projekten dar. Unterschiedliche Disziplinen bieten verschiedenste Sicht- und Herangehensweisen.“

Betrachtet man die vergangene industrielle Entwicklung seit Beginn der „ersten industriellen Revolution“ (siehe Abschnitt 5.2) gegen Ende des 18. Jahrhunderts bis zum Ausruf der „Industrie 4.0“ in heutiger Zeit (siehe Abschnitt 5.5), so kann man im Laufe dieser Industrieversionen die steigende Kommunikation zwischen technischen, industriellen Branchen erkennen. Die deutsche Bundesregierung, als Begründer der aktuellen „vierten industriellen Revolution“, sieht Kommunikation als ein wichtiges Element zur Realisierung ihres Zukunft-Projektes. Hier wird bevorzugt ein Dialog zwischen den Bereichen beziehungsweise Disziplinen Wissenschaft, Verbände und Gewerkschaften, Wirtschaft und Politik gepflegt. Dieser soll in weiterer Folge ein Gesamtverständnis für die in diesem Beispiel betrachtete „Industrie 4.0“ oder andere Projekte schaffen, damit jeder der erwähnten Bereiche am selben Strang ziehen kann und der Fortschritt durch verschiedenste Sicht- und Betrachtungsweisen beschleunigt wird. [11, 15]

Das zuvor beschriebene „Guiding Principle“ der *(Bio-) Diversität* ist eng mit dem hier beschrie-

benen Prinzip der *(Interdisziplinären) Kommunikation* verbunden. Beide „Guiding Principles“ verstärken sich gegenseitig, da eine hohe *(Bio-) Diversität* mehr unterschiedliche Sicht- und Herangehensweisen der einzelnen Systemkomponenten mit sich bringt. *Interdisziplinäre Kommunikation* in Kopplung mit hoher *(Bio-) Diversität* bringt den Fortschritt und das Verwirklichen von Projekten schneller voran. Umgekehrt wird eine funktionierende *Interdisziplinärer Kommunikation* mehrere Branchen und Disziplinen anlocken, was zur Erhöhung der *Diversität* innerhalb des industriellen Systems führt. Mit Hilfe neuen Technologien im Bereich der Information und Kommunikation kann der Wissensaustausch und somit das Voranschreiten des technischen Fortschritts beschleunigt werden. Dieses Phänomen lässt sich bereits während der „vierten industriellen Revolution“ beobachten und zählt somit auch für die zukünftige Industrieversion „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ als ein „Guiding Principle“. [49, 116]

In der Biosphäre herrscht ebenfalls eine rege Kommunikation unter den einzelnen Organismen und Arten, sie kann jedoch nicht als interdisziplinär bezeichnet werden. Viele Interaktionen, wie Symbiosen oder Tierpartnerschaften, zwischen unterschiedlichen Spezies wären ohne Kommunikation so in der Natur nicht möglich. [87] Somit setzt sich das „Guiding Principle“ der *(Interdisziplinären) Kommunikation* einerseits aus dem Wort „interdisziplinär“, welches das industrielle, technische Umfeld abdeckt, andererseits aus dem Begriff „Kommunikation“ zusammen, wobei letzterer sowohl für ökologische als auch industrielle Systeme einen wichtigen Parameter darstellt. Dieses „Guiding Principle“ wurde im Rahmen der industriellen Literaturrecherche dieser Forschungsarbeit erkannt und als wichtig erachtet, da es in der Natur ebenfalls eine tragende Rolle für ein positives Zusammenleben spielt.

7.3 Komplexität und Kompartimentierung

„Komplexität bringt in natürlichen Ökosystemen eine Steigerung der Stabilität des Gesamtsystems gegenüber innerer und äußerer Störungen mit sich. Eine ausreichende Kompartimentierung oder Feinstrukturierung hat den Vorteil, dass bei Störungen nur kleine Teile des Gesamtsystems beziehungsweise wegfallen.“

Das „Guiding Principle“ *Komplexität und Kompartimentierung* steht, wie auch die meisten anderen Prinzipien untereinander, in starker Beziehung beziehungsweise Abhängigkeit mit den „Guiding Principles“ *(Bio-) Diversität, (Interdisziplinäre) Kommunikation, Symbiose und Synergie* oder *Selbstregulation und -organisation*. Sie alle implizieren sich gegenseitig, da beispielsweise Symbiosen nur durch Kommunikation oder Komplexität durch eine Vielzahl von Wechselbeziehungen, die eine hohe Diversität voraussetzen, entstehen können. Dadurch kann sich die Synergie des betrachteten Systemes steigern. Auch F. Vester beschreibt in seinem Buch *Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität* (siehe Unterabschnitt 6.5.2, [136]) welche Vorteile aus komplexen Strukturen gezogen werden können und in wie fern dies Auswirkungen auf zukünftige Entwicklungen haben könnte. [136] Die Natur beziehungsweise die Biosphäre weist, wie bereits bei diversen anderen „Guiding

Principles“ angeführt, eine starke Vernetzung unter den einzelnen Organismen eines Ökosystemes und zwischen verschiedenen benachbarten Ökosystemen auf. Solche Beziehungsgefüge legen den Grundstein für die Stabilität natürlicher Ökosysteme, da die gegenseitigen Abhängigkeiten innere sowie externe Störfaktoren besser abfedern können, als bei einer rein linearen Abhängigkeit. Hier ist der Begriff Stabilität für das gesamte Ökosystem als Lebensgemeinschaft anzuwenden und dessen Überlebensfähigkeit gegenüber Störungen als Ganzes. Im Folgenden wird noch eine Unterscheidung zwischen der hier erwähnten Stabilität und der Stabilität einzelner Arten von Organismen im Beziehungsgefüge von biologischen Ökosystemen hinsichtlich dem Anstieg an Komplexität behandelt. [9]

Erwähnte Wechselwirkungen treten in Ökosystemen in Form von trophischen Netzen beziehungsweise Nahrungsnetzen auf. Solche Netze weisen eine Vielzahl von Beziehungen innerhalb verschiedener Arten von Organismen auf. Wissenschaftler haben mit Hilfe von mathematischen Modellen und in weiterer Folge durch empirische Studien herausgefunden, dass Lebensgemeinschaften mit einem großen Artenreichtum die größte Stabilität als Gesamtsystem aufweist. Betrachtet man jedoch eine einzelne Population, ist die Elastizität oder Resilienz, sprich die Fähigkeit einer Population nach einer Störung wieder in ihren Ursprungszustand zurückzukehren, bei großem Artenreichtum am geringsten. Erwähnte Stabilität des Gesamtsystems kann auch über den Begriff Widerstandsfähigkeit beschrieben werden, infolge dessen die betrachtete gesamte Lebensgemeinschaft gegenüber einer Störung geringe oder keine Veränderungen in ihrer Struktur erfährt. Komplexität in biologischen Systemen kann sich als Steigerung der Artenvielfalt oder als die Zunahme der Stärke von Verknüpfungen und Wechselwirkungen äußern. Es kann jedoch über die Zunahme der Komplexität eines Systems zu dessen Destabilisierung kommen, wenn nicht stabilisierende Faktoren, wie eine ausreichende Kompartimentierung, auf welche im folgenden Absatz näher eingegangen wird, in ausreichendem Maß vorhanden sind. [9]

Der zweite Begriff des hier beschriebenen „Guiding Principles“ ist die Kompartimentierung oder Unterteilung beziehungsweise Strukturierung in kleinere Teilbereiche. Sie hilft in natürlichen Ökosystemen die Komplexität der Wechselwirkungsbeziehungen zu steigern. Meist entstehen solche Substrukturen in den trophischen Netzen der Natur über limitierende morphologische Einschränkungen, wie die Tatsache nur Beutetiere einer gewissen Größe erfolgreich jagen zu können. Dies hat zur Folge, dass sich eigene kleine Teilsysteme der Nahrungsnetze herausbilden. Die Tatsache, dass manche Nahrungsnetze kompartimentiert sind beruht auf der dadurch hervorgerufenen Steigerung der Stabilität für das Gesamtsystem. Stirbt beispielsweise eine einzelne Art in einer stark kompartimentierten Lebensgemeinschaft aus, führt dies zu einer geringeren Anzahl implizierter Aussterbefälle von Arten innerhalb benachbarter Kompartimentierungen, welche ebenfalls mit der ausgestorbenen Art in Beziehung standen. Implizierte Aussterbefälle sind vermehrt auf die betroffene Substruktur begrenzt. Hingegen sterben beim Wegfall einer einzelnen Art innerhalb einer wenig kompartimentierten Gemeinschaft mehrere Arten gleichmäßig in benachbarter Untergliederungen aus. [9]

Wendet man diese Erkenntnisse auf die Technik beziehungsweise Industrie an und geht davon aus, dass sich technische sowie industrielle Systeme ähnlich wie natürliche Ökosysteme, wie

es die Wissenschaftsdisziplin *Industrial Ecology* als Arbeitsbasis annimmt, verhalten, so sollte eine Steigerung der Komplexität und der dadurch implizierten Erhöhung von Wechselwirkungen und Beziehungen unterschiedlichster Komponenten im System einen Aufschwung hinsichtlich Stabilität erfahren. Wirtschaftliche Störungen könnten dadurch leichter abgefedert werden und es würde ein regerer Austausch von Wissen, sogenannter (*Interdisziplinärer*) *Kommunikation*, stattfinden. Diese würde hier eine weitere tragende Rolle spielen, da durch sie, über die Vernetzung unterschiedlicher Branchen, die Komplexität von Systemen gesteigert werden kann. Somit könnte sie zur Steigerung der Gesamtstabilität des Systems beitragen. Die erwähnte Gesamtstabilität bezieht sich jedoch auf das industrielle Gesamtsystem, nicht aber auf einzelne Unternehmen oder Firmen. Im Falle einer externen oder internen Störung des Systems könnten die Auswirkungen auf einzelne Systemkomponenten zwar fatal sein, das Gesamtsystem wäre jedoch in der Lage mit einem Großteil seiner Systemkomponenten zu überdauern. Kompartimentierung beziehungsweise Strukturierung des Gesamtsystems würde dessen Stabilität weiter erhöhen. Ein anderes Wort für Kompartimentierung wäre in diesem Kontext Dezentralität oder Dezentralisierung. Vorteile dezentraler Strukturen sind beispielsweise die bessere Zugänglichkeit zu Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung in komplexen Systemen, da die Betrachtungsebene, im Vergleich zu einem zentralisierten System, nicht nach dem Top-Down Prinzip funktioniert. Die sogenannte Bottom-Up Strategie bietet eine Betrachtungsweise der einzelnen Systemkomponenten hin auf ein großes Ganzes.

Komplexe Systeme sind auch auf Grund ihrer Wechselwirkungen in der Lage sich selbst zu organisieren beziehungsweise regulieren. Auf diese Thematik wird im „Guiding Principle“ *Selbstregulation und -organisation*, welches wiederum in starker Wechselwirkung mit dem hier beschriebenen steht, noch genauer eingegangen (siehe Abschnitt 7.4).

7.4 Selbstregulation und -organisation

„Die Fähigkeit zur Selbstregulation natürlicher Systeme verhindert das Überhandnehmen einzelner Spezies durch einen hohen Vernetzungsgrad und damit verbundenen Wechselbeziehungen zwischen Organismen. Selbstorganisation verhilft kritische Situation zu meistern und stellt eine evolutionäre Fähigkeit natürlicher Systeme und Organismen dar.“

Die Fähigkeit natürlicher Systeme sich selbst zu regulieren beziehungsweise sich zu organisieren stellt das Kernstück des hier erklärten „Guiding Principle“ *Selbstregulation und -organisation* dar. Natürliche Systeme besitzen auf Grund ihrer *Komplexität und Kompartimentierung*, einer hohen (*Bio-*) *Diversität* und daraus implizierter Beziehungsgefüge, welche wie limitierende beziehungsweise regelnde Faktoren funktionieren, die Fähigkeit zur *Selbstregulation und -organisation*. Des Weiteren sind sie in der Lage ein Gleichgewicht zwischen abbauenden und aufbauenden Prozessen einzustellen. Abbauende Prozesse, wie das Umsetzen von Biomasse durch Pilze und andere Mikroorganismen, stehen aufbauenden Prozessen, wie das Wachstum von Pflanzen in Form von Biomasse, gegenüber. [111, 112] F. Vester erklärt diese Phänomene über negative

und positive Rückkopplungen, die in natürlichen Ökosystemen großen Einfluss haben. Generell vergleicht er solche Systeme mit einem, in der Technik als Regelkreis bezeichneten regulierenden Konstrukt (siehe Unterabschnitt 6.5.2). [136]

Für die Fähigkeit der Selbstregulation benötigt es in biologischen wie auch in technischen Systemen Wechselwirkungen zwischen Organismen beziehungsweise Systemkomponenten. Ein einfaches biologisches Beispiel hierfür sind Wechselbeziehungen zwischen Prädatoren und deren Beutetieren. Zu Beginn existiert eine große Population an Beuteorganismen und eine kleine Abundanz²⁷ an Prädatoren, die gut vom reichen Nahrungsangebot gedeihen sollten. Dadurch wird die Population der Prädatoren zunehmen, was eine Auswirkung auf die Menge an Beutetieren hat, da mehr Prädatoren auch mehr Beute schlagen. Der Rückgang des Nahrungsangebotes für die Räuber führt zeitlich verzögert ebenfalls zu deren Dezimierung. Zum einen verhungern sie, da zu wenig Beutetiere vorhanden sind, zum anderen können sie sich nicht mehr so erfolgreich fortpflanzen, da zu wenig Nahrung für die Aufzucht von Jungtieren vorhanden ist. Auch hat das verfügbare Nahrungsangebot Auswirkungen auf die Zeugungsfähigkeit von Populationen unterschiedlicher Arten. Dieses Phänomen erlangte bereits mit der zweiten Grundregel der Biokybernetik von F. Vester Aufmerksamkeit in Form des sogenannten *Dichtestress* (siehe Unterabschnitt 6.5.2), auf welchen in weiterer Folge nochmals eingegangen wird. Der Rückgang der Abundanz an Prädatoren verhilft der Beutepopulation jedoch wieder sich zu vergrößern. Schlussendlich befinden sich in einem funktionierenden Ökosystem beide Populationen, die der Raub- und die der Beutetiere, wieder an ihren Ausgangspunkten. Ihre Wechselwirkung kann somit als oszillierende Zyklen beschrieben werden. [9] Es ist hier erneut ein Zusammenhang zwischen „Guiding Principles“, zu erkennen. Unter den Prinzipien der (*Interdisziplinären*) *Kommunikation*, hier in Form der Wechselwirkungen innerhalb der Räuber-Beute-Beziehung beispielsweise über den *Dichtestress*, und dem Prinzip der *Komplexität und Kompartimentierung*, erkenntlich in diesem Beispiel als kleines abgegrenztes Untersystem dieser Beziehung gegenüber des gesamten Ökosystems, kann ein Zusammenhang gefunden werden.

Der zweite Begriff dieses „Guiding Prinziples“, die *Selbstorganisation*, beruht ebenfalls auf der Fähigkeit natürlicher Systeme und Organismen sich selbst zu organisieren beziehungsweise im übertragenen Sinne: den richtigen Zeitpunkt für eine Änderung ihres Systems wahrzunehmen. Solche Änderungen gehen oft mit Metamorphosen einher. Beispielsweise stoppt eine Raupe (siehe zweite Grundregel der Biokybernetik nach F. Vester, Unterabschnitt 6.5.2, [136]) ihr Wachstum ab einem gewissen Zeitpunkt, da sie genügend Energie für eine strukturelle Verwandlung, einer sogenannten Metamorphose aufgenommen hat. Das übergeordnete Ziel der Raupe ist das Überleben ihrer Art, welches sie in ihrer aktuellen Form oder Stufe nicht erreichen kann. Aufgrund dessen stellt sie ihr Wachstum ein, verpuppt sich und entwickelt sich schließlich zum adulten Schmetterling, welcher in der Lage ist sich fortzupflanzen. Dadurch wurde das Ziel zur Erhaltung der Art, durch Veränderung der Organisations- beziehungsweise Entwicklungsstufe, erreicht. Ein anderes Beispiel aus der Biologie behandelt den sogenannten *Dichtestress*, welcher in vorangegangener Räuber-Beute-Beziehung schon Thema war, dessen Auswirkungen sowie Bewälti-

²⁷ „[...] Häufigkeit, Dichte des Vorkommens, Fülle [...]“ [30, Duden online: Abundanz, Online; 04.01.2018]

gungsstrategien von Organismen. Prinzipiell lässt die Funktion des *Dichtestress* zwei mögliche Ausgänge zu. Ein Ausgang wäre eine Reduktion der betroffenen Population auf eine Größe, bei der es beispielsweise zu keinem Nahrungsmangel oder ähnlichem kommt. Der andere Ausgang ist die Umstrukturierung des bisherigen Systems oder der Organisationsstufe. Manche Amöben sind in der Lage sich bei Nahrungsmangel zu einer höheren Stufe zusammenzuschließen, einem Schleimpilz. Auch der Mensch hat im Laufe seiner evolutionären Entwicklung eine Änderung der Organisationsstruktur durchwandert. Am Beginn der Menschheitsgeschichte war die vorherrschende Wirtschaftsform, wenn man sie als solche bezeichnet, die des Jägers und Sammlers. Wie bei der Räuber-Beute-Beziehung stellte sich bei Vergrößerung der menschlichen Population ein *Dichtestress* ein, da weniger Beutetiere vorhanden waren und sich Jagdreviere benachbarter Populationen überschneiden. Die Lösung war ein Umstieg auf eine andere Wirtschaftsform, der Mensch wurde sesshaft und organisierte sich dadurch um. Es wurde nachhaltiger gewirtschaftet und auf längere Zeit voraus geplant. Somit konnte der Mensch, trotz seiner angestiegenen Population, weiter überdauern. [136]

Die Auswirkungen unseres derzeitigen Wirtschaftens, unseres Umgangs mit Ressourcen sowie unserer exponentiellen Wachstumskurven auf die Natur und auch auf den Menschen selber kommen immer stärker zum Vorschein. Durch die Verfolgung effektiver Ziele, sowie einer starken *Komplexität und Kompartimentierung* neuer industrieller Systeme kann es möglich sein eine neue Organisationsstufe zu erlangen. Diese könnte den Menschen eine Lösung liefern, um auf langfristige Sicht in Einklang mit natürlichen Ökosystemen zu überdauern.

7.5 Symbiose und Synergie

„Symbiosen zwischen verschiedensten Organismen als zentrales Element natürlicher Evolution sind in der Lage eine Steigerung der zur Bewältigung von Aufgaben vorhandenen Energie, der sogenannten Synergie, hervorzurufen.“

Wie auch bereits F. Vester in seinen acht Grundregeln der Biokybernetik (siehe Unterabschnitt 6.5.2) erkannt hatte, spielt das Beziehungsgefüge der Symbiose zwischen unterschiedlichen Arten in der Biosphäre eine grundlegende Rolle. Es wurde bereits die bekannte symbiotische Beziehung zwischen Ameisen und Blattläusen erwähnt, bei der ein gegenseitiger Nutzen für beide Parteien, auf Seiten der Ameisen der Zugang zu Nahrung und auf Seiten der Blattläuse der Schutz vor Fressfeinden entsteht. Diese spezielle Form der Symbiose, bei der es prinzipiell um Nahrungsaustausch und einer dafür entgegengenommen Leistung beispielsweise Schutz geht, nennt man in der Fachsprache auch *Trophobiose*. [136, 140]

Ein weiteres, viel komplexeres Beispiel von Symbiose wurde in ostasiatischen Regenwäldern von Wissenschaftlern gefunden. Es handelt sich hierbei um die Kooperation zwischen Epiphyten sogenannten „Aufsitzerpflanzen“, welche bevorzugt auf anderen Pflanzen wachsen, einem Pilz, Ameisen, Schildläusen und einer Trägerpflanze, deren Vorteil aus dieser Symbiose noch nicht

weitgehend erforscht ist. Wissenschaftler vermuten, dass die Trägerpflanze von den Ameisen vor Fressfeinden geschützt wird. [87]

Manche Ameisenarten haben zum Überleben begonnen kleine Laubnester, in der Fachsprache auch Karton genannt, im Blätterdach des Regenwaldes zu errichten. Solche Kartons lassen sich auf verschiedensten Trägerpflanzen finden und umfassen zur Verankerung ganze Äste beziehungsweise Pflanzenstiele. Das Nest an sich besteht aus groben Kammern und ist vor allem aus Pflanzenpartikeln aufgebaut, was ihm eine körnig-fasrige Struktur verleiht. In diese fertigen Nestern werden nun Pflanzensamen erwähnter Epiphyten, wobei es sich im Speziellen um sogenannte Ameisengarten-Epiphyten handelt, angebaut. Die Wurzeln der Pflanze stützen so das Ameisennest und verhelfen ihm zu einer stabilen, elastischen Struktur, welche zugleich, neben der Wasserhaltefähigkeit des Wurzelgeflechtes, die Symbioseleistung der Pflanzen darstellt. Die zentralen Akteure dieses Beziehungsgefüges sind jedoch die Ameisen, deren symbiotischer Leistung gegenüber der Epiphyten die Verfügbarkeit von Lebensraum mit gleichzeitiger Düngung von Nährstoffen und Humus durch das Einbringen von Resten erlegter Beutetieren, verstorbenen Ameisen und Pflanzenresten in den Karton. [87]

Der dritte Partner beschriebener Symbiose stellt ein für das betrachtete System spezifischer Pilz dar, dessen Hyphen tiefere Schichten des Ameisennestes durchziehen. Neben der weiteren Stabilisierungsfunktion des Kartons durch das Hyphengeflecht des Pilzes sind sich Wissenschaftler über die Funktion beziehungsweise die Rolle, die der Pilz in dieser Gemeinschaft spielt, noch nicht sicher. [87]

Der vierte Kooperationspartner ist Blick von außen auf das Ameisennest, wie auch der Pilz und das Wurzelgeflecht der Epiphyten, nicht zu erkennen. Wird ein Karton bis auf seine Grundmauern abgetragen, kommen Schildläuse an der Oberfläche der, vom Nest umschlossenen, Trägerpflanze zum Vorschein. Diese Pflanzensaft-saugenden Insekten sind in der Lage die Leitröhren der Trägerpflanze, in denen Nährstoffe und Wasser transportiert werden, anzubohren, um sich davon zu ernähren. Den Überschuss der aufgenommenen Nahrung ernten die Ameisen in Form von Honigtau ab, welcher ihnen ebenfalls als Nahrungsquelle dient. Neben der, im vorherigen Absatz angeführten, Symbioseleistung gegenüber der Epiphyten bieten die Ameisen ihren Schildläusen Schutz vor Fressfeinden und erhalten als Gegenleistung nahrhaften Honigtau sowie Wasser für ihre Gärten. Die Ameisengarten-Epiphyten werden dadurch bewässert und erlangen ein angenehmes Mikroklima im Inneren des Nestes. Der fünft Partner dieser Symbiose wurde bereits eingangs vorgestellt und ist die Trägerpflanze, welche sich die komplexe Gemeinschaft als Existenz erwählt hat. Sie zählt als Nährstoffgrundlage dieses symbiotischen Beispiels. [87]

Um das Prinzip der Symbiose auf industrieller Ebene zugänglich zu machen, muss das Erfolgsrezept dahinter beziehungsweise das Zustandekommen solcher Partnerschaften verstanden werden. Im Vergleich zur natürlichen Evolution, die langsam und in kleinen Schritten stetig voranschreitet, stellen Symbiosen eine Form der Evolution dar, die schnell, innovativ und in größeren Schritten stattfindet. Einen solchen innovativen Sprung stellt beispielsweise die Partnerschaft zwischen Chloroplasten, welche in der Frühzeit als eigenständige Mikroorganismen vorkamen, und Pflanzenzellen dar. Mit Hilfe dieser Symbiose war die Photosynthese für Pflanzen möglich

und sie konnten sich dadurch so weiterentwickeln, wie wir sie heute kennen.

Gehen verschiedene Organismen eine Symbiose ein, bringen sie alle unterschiedliche, bereits vorher vorhandene Fähigkeiten aus individuellen Spezialisierungen gegenüber der Umwelt mit. Die erwähnten Talente haben vorerst nichts mit einer zukünftigen symbiotischen Partnerschaft zu tun. Positive Effekte die durch Symbiosen für alle beteiligten Parteien entstehen sowie die Entscheidung selbst in Symbiose zu treten sind keine Reaktion auf sich ändernde Umweltbedingungen, es ist „ [...] *vielmehr die Nutzung bereits bestehender, sozusagen verborgener „Potentiale“ in einem neuen evolutionären Zusammenhang.*“ [87, Maschwitz, 2010, S.317] [87]

Die Randbedingung zur Entstehung von Symbiosen ist jedoch eine gewisse Regionalität der beteiligten Partner und Vielfaltigkeit beziehungsweise (*Bio-*) *Diversität* im betrachteten Ökosystem. Regionalität ist deshalb nötig, damit die Wege beziehungsweise die benötigte Energie zum Aufrechterhalten der Symbiose klein gehalten werden. Bei zu großen Entfernungen zwischen den symbiotischen Partnern würde der Energieaufwand zu stark ansteigen, sodass der positive Effekt der Symbiose verloren ginge. Die zweite Bedingung für eine erfolgreiche Bildung von symbiotischen Beziehungen stellt eine ausreichend große biologische Diversität beziehungsweise Artenvielfalt dar. Existieren in einem Ökosystem viele Organismen steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass sich zwei oder mehrere Partner mit unterschiedlichen Fähigkeiten zusammenfinden und eine symbiotische Beziehung eingehen.

Der zweite Begriff aus dem sich dieses „Guiding Principle“ zusammensetzt ist Synergie. Diese Bezeichnung, beziehungsweise in anderen Disziplinen wie Chemie, Pharmazie oder Physiologie auch Synergismus genannt, bedeutet „[...] *[ein] Zusammenwirken von Substanzen oder Faktoren, die sich fördern [...]*“ [39, Duden online: Synergismus, Online; 02.01.2018] oder „[...] *[die] Energie, die für den Zusammenhalt und die gemeinsame Erfüllung von Aufgaben zur Verfügung steht [...]*“ [38, Duden online: Synergie, Online; 02.01.2018]. Wie bereits in Abschnitt 6.2 als Beispiel erwähnt, existiert bei sogenannten industriellen Symbiosen stets ein großes Potential die vorhandene Synergie im System zu steigern. [55] Auch in der Natur vorkommende Symbiosen erzeugen über ihre Wechselwirkungen zwischen den, sich in der Partnerschaft befindlichen, Organismen eine Steigerung der nutzbaren gemeinsamen Energie zur Bewältigung von Aufgaben beziehungsweise Problemstellungen. Unterschiedlich zwischen dem industriellen und dem ökologischen System ist die Tatsache, dass es sich in der Ökologie um das Überleben einzelner Arten im biologischen Kontext, in der Industrie um das Überleben von Unternehmen im wirtschaftlichen Sinne handelt. Der Effekt ist jedoch der gleiche, Symbiosen erzeugen über ihre (*interdisziplinäre*) *Kommunikation* entweder zwischen verschiedenen Organismen in der Biosphäre oder zwischen, sich in unterschiedlichen Branchen befindlichen, Unternehmen eine Steigerung der verfügbaren Energie, sprich eine Erhöhung der Synergie. Dies geschieht über unterschiedlichste Sicht- beziehungsweise Herangehensweisen aus verschiedenen Branchen oder über, in die Symbiose mit eingebrachte, bereits vorher vorhandene spezialisierte Fähigkeiten. [55, 87, 97, 136]

Bei der Erklärung des „Guiding Principles“ *Symbiose und Synergie* kann man erneut die enge Verbundenheit, zum Beispiel mit der (*Interdisziplinären*) *Kommunikation*, der einzelnen „Guiding Principles“ untereinander erkennen. Sie implizieren sich sozusagen gegenseitig, da sie, wie auch

die Natur, über komplexe Beziehungen miteinander verbunden sind.

7.6 Geschlossene Kreisläufe und Mehrfachnutzung von Ressourcen

„Geschlossene Material- und Energiekreisläufe helfen Ressourcen mehrfach zu nutzen und bietet gleichzeitig einen Kostenvorteil in ökonomischer Hinsicht. Zusätzlich hält eine funktionierende Kreislaufwirtschaft wertvolle Ressourcen und Energie länger im System.“

Dieses „Guiding Principle“ existiert bereits in der Literatur und kommt im *Cradle To Cradle* Konzept von M. Braungart und W. McDonough (siehe Abschnitt 6.3), der Wissenschaftsdisziplin *Industrial Ecology* (siehe Abschnitt 6.2) sowie als eine Grundregel der Biokybernetik nach F. Vester vor (siehe Unterabschnitt 6.5.2). Auch I. Ring beschreibt in ihrem Vergleich zwischen ökologischen und ökonomischen Organisationsprinzipien die positiven Auswirkungen der Kreislaufwirtschaft (siehe Unterabschnitt 6.5.3).

Geschlossene Material- und Energiekreisläufe stellen den Grundstein dieses „Guiding Principles“ dar. Betrachtet man biologische Prozesse in Ökosystemen, sei es organischer oder anorganischer Art, verbindet solche Systeme meist eine funktionierende Kreislaufwirtschaft. Eingestrahlte Sonnenenergie stellt auf Seiten des Energiehaushaltes von Pflanzen, Tieren beziehungsweise in weiterer Folge von biologischen Ökosystemen die Grundquelle dar. Pflanzen sind in der Lage die Energie eingestrahelter Photonen über den Prozess der Photosynthese für sich nutzbar zu machen und können dadurch chemische Verbindungen aufbauen und spalten, welche sie in weiterer Folge zum Überleben benötigen. Dieser evolutionäre Prozess der Energieumwandlung hat jedoch nicht nur Auswirkungen auf den Energiehaushalt der Pflanze, er nährt folgend auch andere Organismen, von pflanzenfressenden Tieren bis hin zu tote organische Substanz abbauende Mikroorganismen, und bereitet somit die Basis der komplexen trophischen Netze biologischer Systeme. Energie- und Stoffkreisläufe gehen in der Natur Hand in Hand, da die zur Aufspaltung chemischer, essentieller Verbindungen benötigte Energie durch die Aufnahme von Nahrung beziehungsweise Stoffen und folglich anderer chemischer Verbindungen zur Verfügung gestellt wird. [95, 96, 97, 100, 109, 111, 112, 136]

Zur Realisierung einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft in industriellen Systemen muss der Begriff „Abfall“ neu definiert werden beziehungsweise seine negative Vorbelastung verlieren. In der Natur existiert „Abfall“ in diesem Sinn nicht, weil es für die meisten chemischen Verbindungen geeignete Verwerter gibt, welche Nährstoffe wieder für andere Organismen zugänglich machen können. In unseren heutigen industriellen Systemen herrscht jedoch ein sogenanntes Durchflussprinzip von Ressourcen und Energie. Unsere Endprodukte oder Abfallstoffe sind zum Teil so komplex, dass technische Prozesse nicht in der Lage sind sie in ihre einzelnen Komponenten aufzuspalten, um so Ressourcen und Wertstoffe mehrfach nutzen zu können. Auch biologische Verwerter in der Natur sind nicht im Stande unsere teils synthetischen hergestellten, chemischen Verbindungen aufzuspalten, sodass jene Stoffe zu keinem Nährstoffeintrag in der Biosphäre führen. Ganz im Gegenteil, sie schädigen biologische Ökosysteme kurz- und auch langfristig,

betrachtet man diese Problematik am Beispiel von Mikroplastik. [126] In industriellen Systemen ist das Ziel eine Mehrfachnutzung von Stoffen und chemischen Verbindungen. Das Endprodukt beziehungsweise der Abfall aus dem Produktionsprozess eines Unternehmens soll zukünftig das Ausgangsprodukt oder der Grundrohstoff eines industriellen Prozesses eines anderen Unternehmens sein. Somit können Rohstoffe und Material länger im System gehalten werden und helfen dadurch den Verbrauch natürlicher Rohstoffe zu minimieren. In weiterer Folge kommt es auf Grund geringerer Transportkosten für weniger anzuliefernder Ressourcen und Mehrfachnutzung zur Kostenersparnis. [55, 69, 86, 107]

Eine weitere Eigenschaft biologischer Systeme könnte für die Realisierung einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft nützlich sein. In der Natur existieren chemische Verbindungen und Strukturen meist nur für die Dauer ihres Nutzens beziehungsweise Gebrauchs und sind in weiterer Folge vollständig wieder in den Systemkreislauf zurückzuführen. W. Nachtigall beschreibt dies anhand eines Beispiels in Form von Fruchtkörpern von Stinkmorcheln. Der Fruchtkörper des Pilzes hält den Umweltbedingungen so lange stand, bis er seine Funktion, die Weitergabe von Sporen, erfüllt hat und wird anschließend von Mikroorganismen erneut in den Rohstoffkreislauf aufgenommen. Dadurch stehen die, im Fruchtkörper vorhandenen Nährstoffe, wieder anderen Partnern der Lebensgemeinschaft in einem Ökosystem zur Verfügung. Im Gegensatz zu synthetisch hergestellten chemischen Verbindungen, die in der Natur nicht vorkommen würden, können chemische Verbindungen in der Natur von Bakterien und anderen Mikroorganismen umgesetzt werden. Das zuvor angesprochene Beispiel des Mikroplastiks zeigt, dass solche künstlich hergestellten Strukturen und Materialien negative Auswirkungen auf die Biosphäre haben. Abhilfe könnten biologisch degradierbare Materialien als Ersatz für synthetisch hergestellten Verbindungen schaffen. Diese Idee vertritt auch das *Cradle to Cradle* Konzept, welches in Abschnitt 6.3 vorgestellt wird. Mit Hilfe von biologisch abbaubaren Materialien und Produkten hätte unser Konsumverhalten weniger negative Auswirkungen auf die Umwelt, da Destruenten²⁸ diese in biologischen Systemen verwerten könnten.

Werden zukünftige industrielle Systeme nach biologischen Vorbildern designet, wird das nicht nur Auswirkungen auf die Ökologie sondern auch auf die Ökonomie haben. Mit Hilfe einer Kreislaufwirtschaft können Ressourcen geschont, Kosten gespart und die Umwelt entlastet werden. Die sogenannte Mehrfachnutzung in diesem beschriebenen „Guiding Principle“ folgt aus der Kreislaufwirtschaft, da Materialien und chemische Stoffe im System kreisen und, wie in der Natur, eine mehrfache Anwendung erfahren. Wie bereits eingangs erwähnt, beschäftigen sich auch die Wissenschaftsdisziplin der *Industrial Ecology* (siehe Abschnitt 6.2), das Konzept des *Cradle to Cradle* (siehe Abschnitt 6.3), Teile des Forschungsfeldes der *Bionik* und sogar M. Rada mit seiner eigenen Zukunftsversion der „Industrie 5.0“ (siehe Abschnitt 5.7.1 - „Industrie 5.0“ nach M. Rada) mit der Thematik einer Kreislaufwirtschaft in industriellen Systemen. [55, 69, 86, 107]

²⁸Gruppe von Organismen, die andere abgestorbene Organismen beziehungsweise Biomasse zersetzen und abbauen.
[9]

7.7 Effektive Funktionen statt effizienter Produkte

„Für einen Systemwechsel hat Effektivität eine viel höhere Bedeutung als Effizienz. Die Natur orientiert sich an Funktionen anstatt, wie der Mensch an Produkten. Eine Effektive Funktion zur Lösung einer Herausforderung bieten zwar nicht immer den schnellsten Weg, jedoch wird das Ziel erreicht. Hingegen können effiziente Produkte beispielsweise billiger produziert werden, wenn sie jedoch nicht effektiv sind, verfehlen sie das Ziel.“

Dieses „Guiding Principle“ versucht, wie auch die Disziplin der *Industrial Ecology* in Abschnitt 6.2 eine Alternative zur heutzutage gängigen Effizienz-Strategie hinsichtlich Nachhaltigkeit zu bieten. Neben der *Industrial Ecology* haben sich auch M. Braungart und W. McDonough mit ihrem Konzept von *Cradle to Cradle* mit dieser Thematik auseinandergesetzt. Ihre Lösung ist die, nach ihnen benannten, „Öko-Effektivität“. Der *Cradle to Cradle* Ansatz beschreibt sie als Alternative gegenüber der „Öko-Effizienz“, welche bereits eingangs als Effizienz-Strategie bezeichnet wurde (siehe Abschnitt 6.3). [18, 19, 20, 55]

Vorerst ist es wichtig den Unterschied zwischen den beiden Begriffen Effizienz und Effektivität zu verstehen. M. Braungart und W. McDonough erwähnen diese wichtige Unterscheidung in ihren Büchern und beschreiben den Begriff Effektivität über die Aussage „Die richtigen Dinge tun.“ und Effizienz mit „Die Dinge richtig tun.“, wobei diese Formulierungen sehr allgemein sind. In der Literatur wird der Begriff Effektivität als „[...] [ein] Beurteilungskriterium, mit dem sich beschreiben lässt, ob eine Maßnahme geeignet ist, ein vorgegebenes Ziel zu erreichen [, erklärt]. Über die Art und Weise der Zielerreichung werden bei der Betrachtung unter Effektivitätssichtspunkten keine Aussagen getroffen. [...]“[48, Gabler Wirtschaftslexikon: Effektivität, Online; 02.01.2018]. Effizienz hingegen als „[...] [ein] Beurteilungskriterium, mit dem sich beschreiben lässt, ob eine Maßnahme geeignet ist, ein vorgegebenes Ziel in einer bestimmten Art und Weise (z.B. unter Wahrung der Wirtschaftlichkeit) zu erreichen. [...]“[132, Gabler Wirtschaftslexikon: Effizienz, Online; 02.01.2018]

Einfacher ausgedrückt stellt Effektivität das Maß der Zielerreichung dar, wobei unter dieser die Beziehung zwischen Angestrebtem zu Erreichtem verstanden wird. Wie hoch die Mühe zum Erreichen des Zieles ist, ist für die Effektivität nicht relevant. Unter Effizienz kann hingegen ein Verhältnis eingesetzter Leistungen zu benötigter Kosten beziehungsweise eine Art Wirkungsgrad oder die Wirtschaftlichkeit des betrachteten Projektes verstanden werden. Somit beinhaltet der Begriff der Effizienz die Art und Weise, wie Projekte oder Ziele erreicht werden, jedoch nicht, ob das Ziel „das richtige“ darstellt. Ein wichtiges Beispiel, um die Unterschiede beider Begriffe noch besser herauszuarbeiten, umfasst den Umgang mit vorhandenen Ressourcen. Setzt man sich zur Entlastung der Umwelt das Ziel die Ressourceneffizienz zu erhöhen, bedeutet das jedoch nicht gleichzeitig eine Steigerung der Ressourceneffektivität. Verbrauchen Fahrzeuge weniger Energie, werden jedoch mehr produziert und gefahren, so kompensiert dies die Einsparungen durch Effizienz. Effektiv wäre im Beispiel Ressourcenschonung der Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel, was zur Realisierung eine gute Kommunikation zwischen Politik, Industrie und anderen Branchen voraussetzt. Effizienz ist somit für die Effektivität keine notwendige oder hinreichende Bedingung. Effizienz kann jedoch für die Effektivität ein untergeordnetes Ziel darstellen, hat man sich

beispielsweise für ein effektiveres Produktionsverfahren entschieden kann man dies in weiterer Folge effektiver gestalten. [18, 19, 20, 22, 55, 118, 121]

Das hier beschriebene „Guiding Principle“ *Effektive Funktionen statt effizienter Produkte* fasst zwei wichtige, in biologischen Ökosystemen vorkommende Beobachtungen beziehungsweise Prinzipien zusammen. Einerseits sind Organismen hinsichtlich ihrer Überlebensfähigkeit sehr effektiv darin unterschiedlichste Nahrungsquellen für sich zugänglich zu machen, andererseits können sie beispielsweise durch Symbiosen die Effektivität ihrer Überlebensfähigkeit noch weiter steigern. Im Beispiel der Ameisengartensymbiose (siehe Abschnitt 7.5, [87]) würden die Ameisen alle Fähigkeiten zum Überleben von sich aus besitzen, hätten jedoch noch das Potential durch Symbiosen ihr Dasein effektiver zu gestalten. Mit Hilfe von Pflanzen, Schildläusen und Pilzen sind sie in der Lage beispielsweise ihre Nährstoffassimilation zu steigern und ermöglichen gleichzeitig anderen Organismen ebenfalls effizienter hinsichtlich Überlebensfähigkeit zu sein. Betrachtet man in diesem Kontext erwähnte Schildläuse, so besitzen sie, gleich wie die Ameisen bereits alle benötigten Fähigkeiten zum Überleben, sie sind in dieser Hinsicht effektiv. Mit ihrem Panzer aus Chitin sind sie gut gegenüber schädlichen Umwelteinflüssen oder Fressfeinden geschützt. Mit Hilfe der Ameisen, die den Schildläusen zusätzlichen Schutz als Gegenleistung für den nahrhaften Honigtau liefern, können sie ihre Schutzmechanismen weiter ausbauen und somit effizienter gestalten. In diesem Kontext zeigt sich erneut das positive Potential, welches von der Symbiose ausgehen kann.

Eingangs wurde die sogenannte „Öko-Effektivität“ und das, durch steigende Produktion und vermehrte Nutzung zunichte gemachte, Beispiel der effizienteren Fahrzeuge erwähnt. Beides kritisiert das gleiche Phänomen, die derzeitige Überordnung von Effizienz gegenüber Effektivität. Derzeit wird in industriellen Systemen und Volkswirtschaften, die bereits mehrfach erwähnte, Effizienz-Strategie angewandt, um die Folgen auf Umwelt und Ressourcen zu mindern. Am Beispiel der energieeffizienteren Fahrzeuge, „effizienten Produkten“, zeigt sich jedoch, dass diese positiven Einsparungen wieder zunichte gemacht werden können. Das *Cradle to Cradle* Konzept verweist deshalb auf eine Wirtschaft, die die „richtigen“ Dinge tut, da das bisherige System und der Ansatz „Öko-Effizienz“ den prophezeiten Kollaps des bisherigen Systems nur hinauszögern anstatt alternative Lösungsvorschläge zu liefern. Die Tatsache, dass der Nutzen von fossilen Energieträgern negative Auswirkungen auf das Klima unseres Planeten hat kann nicht durch das effizientere Nutzen fossiler Energien verbessert werden. Mit Steigerung der Effizienz eines schädlichen Systems werden negative Auswirkungen dessen, laut M. Braungart, nur gemildert, bleiben jedoch immer noch negativ. Ziel soll es sein effektive Lösungsvorschläge für anstehende, zukünftige Problematiken zu finden. In der Praxis ist es leider oft so, dass Investoren und Unternehmen in eine sogenannte „Effektivitätsfalle“ geraten, durch die sie sich nicht sicher sein können was einerseits ein richtiges Investment darstellt und andererseits wann der geeignete, richtige Zeitpunkt dafür wäre. Diese Unsicherheiten entstehen oft, wenn sich politische Rahmenbedingungen in Form eines Regierungswechsels ändern können. [19, 20, 22, 55, 118]

Das „Guiding Principle“ *Effektive Funktionen statt effizienter Produkte* soll den Fokus auf die Effektivität richten. Funktionalität soll das Hauptaugenmerk zukünftiger Industrieverversionen sein, da ökologische Systeme auf die gleiche Art und Weise arbeiten. Existiert eine effektive Lösung eines Problems kann diese in weiterer Folge dann effizienter gestaltet werden, um beispielsweise den Energieverbrauch eines neuen Produktionsverfahrens zu verkleinern. Die Steigerung der Effizienz von Produkten sollte ein Untergeordnetes Ziel der Effektivität von Funktionen darstellen. Dieses „Guiding Principle“ ist zum Teil an die dritte Regel der Biokybernetik von F. Vester angelehnt, die folgendermaßen lautet: „*Das System muss funktionsorientiert und nicht produktorientiert arbeiten.*“ [136, Vester, 2001, S.132] (siehe Unterabschnitt 6.5.2). Mit dieser Regel nach F. Vester soll das „Guiding Principle“ *Effektive Funktionen statt effizienter Produkte* noch weiter untermauert werden, da auch er erkannt hat, dass überlebensfähige Systeme sich an der Funktion, also an der Effektivität, orientieren. Wirtschaftlich betrachtet weist F. Vester noch darauf hin, dass in Zeiten von technischen und sozialen Umbrüchen der Fokus auf Funktionen und nicht auf Produkte gelegt werden sollte, da letztere gegenüber Funktionen, die oft über lange Zeit konstant bleiben, kurzweiliger sind. [136]

7.8 Multifunktionalität und Anpassungsfähigkeit

„*Die Spezialisierung hinsichtlich der Optimierung des Gesamtsystems beziehungsweise des gesamten Organismus gegenüber Umwelteinflüssen beschert neben einer Steigerung der Überlebensfähigkeit, die Fähigkeit mehrere Funktionen gleichzeitig erfüllen zu können.*“

Biologische Systeme und Organismen sind, wie es das „Guiding Principle“ *Multifunktionalität und Anpassungsfähigkeit* vermuten lässt, in der Lage sich gegenüber ihrer Umwelt beziehungsweise deren Störungen und Einflüsse anzupassen. Nicht nur kommt es zur Spezialisierung von Mechanismen, welche zum Überleben dienen, jene Prozesse charakterisiert gleichzeitig auch eine bestimmte Multifunktionalität. Nachfolgend wird auf ein Beispiel diesbezüglich noch genauer eingegangen.

Mit Hilfe von (*Interdisziplinärer*) *Kommunikation* ist der mögliche Nutzen einer technischen Errungenschaft oder einer theoretischen wissenschaftlichen Erkenntnis für mehrere Forschungsfelder beziehungsweise Branchen anwendbar. Dadurch kann gewährleistet werden, dass mehrere Disziplinen einen Nutzen durch eine Innovation erfahren können. Zusätzlich kann beispielsweise eine spezialisierte Funktion eines Gerätes in anderen Fachgebieten für zusätzliche Funktionalität sorgen. In der Natur besitzen Strukturen ebenfalls oft mehrere Funktion auf Grund von differenzierten Oberflächen oder unterschiedlichen Schichten beziehungsweise deren molekularer Anordnung einer Struktur. Als Beispiel wurde bereits in Unterabschnitt 6.5.1 die Eierschale von Schmeißfliegen angeführt. Die spezielle Struktur beziehungsweise Konstruktion der Schale ist in der Lage Eigenschaften wie Elastizität, Durchlässigkeit von Stoffen, in diesem Fall von Wasserdampf, und Stabilität zu gewährleisten. Mit Hilfe stark differenzierter Schichten können

die erwähnten Fähigkeiten kombiniert und realisiert werden. [97]

Das Prinzip der Eierschale bezüglich ihrer Permeabilität gegenüber Wasserdampf vom Inneren der Schale nach außen und deren Rückhaltevermögen von eindringendem Wasser hat die Technik bereits kopiert. In jeder Funktionsjacke sind ähnliche Strukturen eingearbeitet, die einerseits Wasser nicht ins Innere, jedoch Wasserdampf nach außen treten lassen.

Multifunktionalität stellt in der Natur ein gängiges Prinzip dar, welches auch W. Nachtigall erkannt hat. Er führt dies deshalb auch in seinen zehn Grundprinzipien natürlicher Systeme (siehe [97]) an. Im Gegensatz zu unseren meist hoch spezialisierten Technologien setzt die Natur auf eine Palette von vielen Funktionen, um das Überleben der jeweiligen Spezies sicher zu stellen. Die Überlebensfähigkeit natürlicher Systeme und Organismen basiert nicht nur alleine auf einer Vielzahl an Möglichkeiten, mit welchen beispielsweise Strukturen oder Oberflächen ausgerüstet sind. Das zweite wichtige Prinzip stellt hier die Anpassungsfähigkeit von Organismen an ihre Umweltbedingungen dar.

Das Leben auf unserem Planeten ist mit einer breiten Palette von Funktionen ausgestattet. Durch evolutionäre Prozesse kommt es zur Spezialisierung beziehungsweise Anpassung gegenüber den jeweiligen Umweltbedingungen. Erwähnte Anpassungsfähigkeit beruht auf der Optimierung des Gesamtsystems beziehungsweise des Organismus als Ganzes gegenüber Umwelteinflüssen. Ein im Laufe dieser Forschungsarbeit erklärtes Beispiel aus der Literatur kann diesen Prozess klar herausarbeiten. Der sogenannte Hämatokrit, das Verhältnis zwischen flüssigen und festen Blutbestandteilen zur Sauerstoffaufnahme im Blut von Säugetieren, wird von der Evolution hinsichtlich eines größtmöglichen Volumenstroms optimiert. Würde der Anteil der festen Blutbestandteile steigen, wäre zwar das Sauerstoffaufnahmevermögen erhöht, jedoch auch die Fließgeschwindigkeit und somit der mögliche Volumenstrom herabgesetzt. Das System wird nicht auf eine spezielle Eigenschaft, wie maximale Sauerstoffaufnahme optimiert, sondern auf ein Optimum des Gesamtsystems. Dadurch ist ein größtmöglicher Volumenstrom bei optimalen Hämatokrit erreichbar.

Auf Grund der Fähigkeit sich gegenüber Umwelteinflüssen zu spezialisieren beziehungsweise anzupassen sind biologische Systeme und Organismen in der Lage überlebensfähig zu bleiben. Den Vorgang hinter all dem wird allgemein hin als natürliche Evolution bezeichnet. Mit Hilfe eines großen Genpools und zufälliger „Fehler“ oder Mutationen im Erbgut werden stets neue Updates für eine bessere Anpassung an die Umwelt geschaffen. Dieser Prozess existiert bereits seit Millionen von Jahren, er benötigt jedoch viel Zeit, da es sich bei der Evolution um kleine, stetige Änderungen handelt. Diese Modifikationen dauern, je nach Generationszyklus des betrachteten Organismus, unterschiedlich lange. Die aktuelle Abdrift der gewohnten Umwelteinflüsse auf Grund des Klimawandels zwingt viele Arten sich neu an die sich verändernden Gegebenheiten anzupassen. Jene mit schnellen Generationszeiten besitzen gegenüber jenen mit langen Tragezeiten, wie es beispielsweise bei Elefanten oder Nashörnern der Fall ist, einen Vorteil.

7.9 (Erneuerbare) Energien

„Biologische Systeme nutzen stets die vorhandene Energie, die ihnen zur Verfügung steht. Über geschlossene Kreisläufe kann zusätzlich Energie eingespart werden und fördert gleichzeitig die Vernetzung von Systemen und deren Stabilität.“

Dieses „Guiding Principle“ kann vermehrt in der Literatur gefunden werden. W. Nachtigall beschreibt in seinen zehn Grundprinzipien natürlicher Systeme das Prinzip der Nutzung von Sonnenenergie in direkter oder indirekter Form (siehe Unterabschnitt 6.5.1), die *Industrial Ecology* erklärt in ihrer Beschreibung natürlicher Ökosysteme, dass die Grundenergiequelle die Strahlungsenergie der Sonne darstellt (siehe Abschnitt 6.2). Auch F. Vester und I. Ring erkennen diese Tatsache als ein fundamentales Prinzip natürlicher Systeme an (siehe Unterabschnitt 6.5.2, Unterabschnitt 6.5.3). Generell existiert in biologischen Systemen eine Kreislaufwirtschaft, deren einzige externe Energiequelle die Sonne darstellt. All die vorhandene Energie in solchen Ökosystemen lässt sich auf die Strahlungsenergie der Sonne zurückführen.

In der Natur bauen die meisten Prozesse auf dem einfallenden Sonnenlicht auf, welches den Motor des Lebens auf unserem Planeten darstellt. Den Beginn dieser Energiekette, die sich in Form von Nahrungsnetzen auf höheren trophischen Stufen fortsetzt, stellen vorwiegend Pflanzen dar. Sie besitzen, neben anderen Mikroorganismen wie Cyanobakterien, die Fähigkeit Energie eingestrahelter Photonen in chemische Energie über den Prozess der Photosynthese umzuwandeln. Pflanzen nutzen die umgewandelte Energie zum Aufbau von Biomasse, von welcher sich in weiterer Folge wieder Organismen ernähren können. Auch abgestorbene Biomasse, beispielsweise in Form von Laubfall, erhält eine Menge Energie in Form von Cellulose, Lignin oder ähnlicher chemischer Substanzen, die zum Aufbau von pflanzlicher Biomasse benötigt werden. Pilze und Mikroorganismen verwenden diese Energiequelle zum Überleben. Verfolgt man die Energiekaskade biologischer Systeme weiter, erkennt man den Zusammenhang von pflanzenfressenden Lebewesen und deren Prädatoren. Im „Guiding Principle“ *Geschlossene Kreisläufe und Mehrfachnutzung von Ressourcen* wurden diese Zusammenhänge ebenfalls beschrieben. Ein weiteres Beispiel der intelligenten Nutzung vorhandener Energien, in diesem Fall der Windenergie, ist in Unterabschnitt 6.5.1 anhand des Baues von Präriehunden bereits angeführt.

Auch alle Wetterphänomene unseres Planeten bauen auf der eingestrahnten Energie der Sonne auf. Der allen Meeresströmungen und Wetterphänomenen, wie der Monsun, zugrunde liegende Motor ist die Sonne. Je nach geographischer Lage ist die Dichte der einfallenden Sonnenstrahlung unterschiedlich wodurch es zum Anstieg der Temperatur in manchen Breiten des Globus kommt. Globale Temperaturunterschiede haben die Ausprägung von marinen Meeresströmungen und atmosphärischen Winden zur Folge. In welcher Form und Intensität Winde, Strömungen oder Niederschlag auftreten basiert jedoch auf Unterschieden der Topographie verschiedener Regionen und Gebieten des Planeten. Einige Tiere, wie Zugvögel, nutzen diese bereits vorhandenen Energien zu ihrem Vorteil. Beispielsweise kann eigene Energie durch das Nutzen von Thermik eingespart werden, sodass Vögel weitere Strecken zurücklegen können.

Fossile Energieträger stellen ebenfalls eine Form von Sonnenenergie dar, welche vor Millionen von Jahren als Biomasse auf dem Planeten existierte. Der große Nachteil beim Nutzen von jenen Energieträgern ist die Tatsache, dass sie durch ihren CO₂ Ausstoß eine zusätzliche Kohlenstoffquelle darstellen und dadurch das langwierige, ohne anthropogenen Einfluss gestörte, Gleichgewicht des globalen Ökosystems Erde beeinflussen. Ökosysteme, ob regional oder global, reagieren, jedoch oft stark zeitlich verzögert, auf zusätzliche Senken²⁹ oder Quellen eines Stoffes. Am Beispiel CO₂ konnte eine große Menge in marinen und terrestrischen Ökosystemen gepuffert beziehungsweise gebunden werden. Dadurch treten und traten einige Auswirkungen der anthropogenen Kohlenstoffquelle erst in jüngster Vergangenheit auf. Der in fossilen Energieträgern gespeicherte Kohlenstoff war bereits vor Millionen von Jahren im globalen Ökosystem gebunden und stellte damals eine Kohlenstoffsene dar. Auch hier reagierte das globale Ökosystem auf die Störung durch beispielsweise die Anpassung der jährlichen Durchschnittstemperatur, wie wir es heutzutage ebenfalls beobachten können.

Wie bereits erwähnt nutzen biologische Ökosysteme die ihnen zur Verfügung stehenden Energiequellen aus. Geschlossene Kreisläufe stellen eines der besten Beispiele dafür dar, da die gespeicherte chemische Energie in abgestorbener Biomasse von Pilze und Mikroorganismen wieder aufgeschlossen werden kann. Hier ist erneut die enge Verbundenheit der unterschiedlichen „Guiding Principles“ zu erkennen. Die technische Herangehensweise sollte in Zukunft der biologischen Systeme nachempfunden werden. Wind, Sonne, Wellen oder Geothermie bieten ein großes energetisches Potential und sind bereits vorhanden. Es muss weniger energetischer Aufwand betrieben werden, um sie zur Energiegewinnung nutzbar zu machen. Für die Problematik beziehungsweise Kompensation der täglichen oder saisonalen Schwankungen der Energiegewinnung stehen bereits Lösungsvorschläge, wie „Power-to-Gas“ oder „Power-to-Heat“, zur Verfügung. Auf diese Technologien beziehungsweise die Vor- und Nachteile diverser Energieträger wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit jedoch nicht eingegangen.

7.10 Soziale Komponente

„Der Mensch sollte im Mittelpunkt der Gesellschaft stehen. Neben technischen Innovationen stellen motivierte Mitarbeiter einen starken Motor für den Fortschritt dar.“

Vorweg sei für die Thematik dieses hier behandelten „Guiding Principle“ angemerkt, dass dies nicht in das Spezialgebiet des Forschers fällt. Auf Grund dessen haben nachfolgende Aussagen einen etwas interpretativen Charakter. Zur weiteren beziehungsweise näheren Ausführung dieser Thematik bedarf es entsprechender Experten. Dennoch ist es eine wichtige, nicht zu vernachlässigende Komponente des Gesamtkonstruktes „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“, da ein weiteres „Guiding Principle“ auf die Wichtigkeit der *(Interdisziplinären) Kommunikation* verweist.

²⁹ laut Ökologie: „[...] Die Orte der Speicherung eines Elements oder die Mechanismen für den Verlust eines Stoffes [...]“ [9, Begon et al., 2017, S.445]

Im Verlauf der einzelnen Industrieverversionen konnte eine stete Verschiebung sozialer Verhältnisse beobachtet werden. Zu Beginn der „ersten industriellen Revolution“ schwenkte die Beschäftigungsverteilung vom primären Sektor, der Landwirtschaft, auf den industriellen um. Ein weiterer Umbruch der Verteilung von Arbeitsplätzen konnte in den Anfängen des Computerzeitalters beziehungsweise ab der „dritten industriellen Revolution“ zu Beginn der Siebzigerjahre des 20. Jahrhunderts beobachtet werden. Hier erblühte der tertiäre Sektor, jener der Dienstleistungen. [85]

In solchen Zeiten des Umbruches waren die Menschen stets einem großen Druck ausgesetzt. Sei es in Form von schwerer körperlicher Arbeit, Angst vor dem Verlust des Arbeitsplatzes oder neue aufkommende Technologien, mit denen umzugehen erst gelernt werden musste. Auch in unserer heutigen Zeit, zu Beginn der „Industrie 4.0“, kommen genau die gleichen Thematiken erneut auf die Menschen zu. Die Digitalisierung greift um sich und ersetzt zum Teil ganze Berufsgruppen. Den betroffenen Menschen müssen Alternativen geboten werden, sonst sind Probleme wie Arbeitslosigkeit und ähnliches nur schwer in den Griff zu bekommen.

Auch ist im Zuge der Digitalisierung von einer Verbesserung der sogenannten „Work-Life-Balance“ die Rede. Eine ähnliche Prognose wurde bereits während der „dritten industriellen Revolution“ prophezeit. Tatsache ist, dass neue Technologien neue Aufgabenfelder aufwerfen und die Menschen in verschiedensten Bereichen unterstützen können. Eine Verschiebung jenes Verhältnisses zugunsten eines ausgeglichenen Privatlebens konnte jedoch auch nicht während der „Industrie 3.0“ bewerkstelligt werden.

M. Rada spricht in seiner Vision einer „Industrie 5.0“ von der Wichtigkeit die soziale Komponente nicht zu vernachlässigen. Auch die aktuelle „vierte industrielle Revolution“ geht auf diese Thematik über ihre Kommunikation zwischen verschiedenster Branchen sowie Vertretungen unterschiedlicher Berufsgruppen, wie Gewerkschaften und Verbände, ein. Der Mensch sollte wieder in den Mittelpunkt der Gesellschaft gerückt werden. Zusätzlich sollen Perspektiven und Aussichten angeboten werden, welche die Motivation und den Willen von Mitarbeitern stärken können. Die Sinnhaftigkeit der eigenen Tätigkeit sollte nicht in Frage gestellt werden. Das Wissen, dass die eigene Tätigkeit einen Sinn beispielsweise für das Gesamtsystem, die Umwelt oder jeden anderen Bereich auf den man seinen Fokus legt, hat, schafft ein großes Potential an Motivation. Neben technischen Innovationen stellen motivierte, an Sinnhaftigkeit orientierte Menschen einen starken Motor des Fortschritts dar. Aufgaben werden schneller und gewissenhafter erledigt oder die zu erledigende Tätigkeit macht eventuell mehr Spaß und Freude³⁰.

³⁰für weiterführende Literatur siehe [70]

8 Diskussion

Die folgenden Absätze sollen zur Diskussion der in dieser Forschungsarbeit aufgegriffenen Thematiken dienen. Es wird auf Entwicklungen im Lauf der Industrialisierung sowie diverser Problematiken, wie die des steigenden anthropogenen Energieverbrauchs, und der Vermittlung ethischer, moralischer Werte eingegangen.

Im Laufe dieser Forschungsarbeit ist immer wieder von sogenannten Störungen im Bezug auf natürliche und industrielle Systeme die Rede. Die Bedeutung beziehungsweise Definition störender Effekte ist jedoch in beiden Systemen eine andere. Da es sich bei der Ausarbeitung des Forschungszieles dieser Arbeit um eine Theorie handelt, wird der Begriff Störung in verallgemeinerter Form verwendet. In spezifischen, in dieser Forschungsarbeit gegebenen, Beispielen stellt der Begriff Störung jedoch die jeweilig möglichen Effekte des jeweiligen betrachteten Systems dar. Für biologische Systeme beziehungsweise natürliche Ökosysteme stellen Störungen im Allgemeinen das Einwirken von Prädatoren, Umweltkatastrophen wie Vulkanausbrüche oder Einflüsse anthropogenen Ursprungs dar. Hingegen in technisch, industriellen Systemen werden Störungen als Fluktuationen wirtschaftlicher Parameter, wie der Nachfrage oder des Preises über die Börse, beschrieben. Auch Schwankungen der Rohstoffverfügbarkeit stellen eine Art der Störung dar, welche aber für beide Systeme, dem technisch, industriellen sowie dem natürlich, ökologischen, gilt.

Erlangt ein System, gleich ob ein technisches oder ökologisches, eine hohe (*Bio-*) *Diversität* und *Komplexität und Kompartimentierung* ist es generell befähigter Störungen, egal welchen Ursprungs zu puffern beziehungsweise abzuschwächen. Wie bereits bei den erwähnten „Guiding Principles“ angeführt, sind industrielle Systeme in der Lage sich solche Pufferfähigkeiten von natürlichen Ökosystemen anzueignen. Dadurch müssen die Prinzipien und Prozesse hinter dem Zusammenwirken der biologischen Gemeinschaft verstanden und angewandt werden.

Bei genauerer Betrachtung der Zeitachse seit Beginn der „ersten industriellen Revolution“ (siehe Abschnitt 5.2), deren Kennzeichen die Dampfmaschine ist, bis hin zur jüngsten Industrieversion, der „Industrie 4.0“ (siehe Abschnitt 5.5), ausgerufen von der Deutschen Bundesregierung als Zukunftsprojekt im Rahmen der Hightech-Strategie 2020 etwa im Jahr 2011 [5], so kann man erkennen, dass die Intervalle zwischen zwei benachbarten Industrieversionen immer kürzer werden. Diese Tendenz kann sehr gut in Abbildung 5.1 und Tabelle 8.1, welche einen Überblick der ungefähren zeitlichen Dauer jener erwähnten Übergänge gibt, beobachtet werden. So nehmen die Umbrüche zwischen der „Industrie 1.0“ auf die „Industrie 2.0“ und von dieser „zweiten industriellen Revolution“ auf die nachfolgende „Industrie 3.0“ in etwa eine zeitliche Dauer von 100 bis 120 Jahren ein, je nachdem auf welche Literaturquelle man sich bezieht. Der darauffolgende

Übergang von der „Industrie 3.0“ auf die „Industrie 4.0“ erfolgte jedoch bereits nach 42 Jahren, was eine zeitliche Reduktion von etwa der Hälfte der Zeit der vorgelagerten Industrieverversionen entspricht. Würde man nun die „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ für das Jahr 2018, in welchem auch diese Forschungsarbeit entstanden ist, ansetzen, so verkürzt sich die Übergangszeit zwischen den aktuellsten Industrieverversionen, „Industrie 4.0“ und „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“, auf nur 6 bis 7 Jahre. Es kann daraus eine beschleunigte Entwicklung beziehungsweise ein schneller voranschreitender Fortschritt abgeleitet werden. Zusätzlich ist bei dieser Analyse zu berücksichtigen, dass die letzte offizielle Industrieverversion „Industrie 4.0“ als erste Version im Vorhinein ausgerufen wurde (siehe Abschnitt 5.5).

Tabelle 8.1: Überblick über die Industrieverversionen und ihre ungefähre zeitliche Dauer

Industrieverversion	ungefährer Startzeitpunkt	Dauer zwischen zwei benachbarten Versionen
„Industrie 1.0“	1750 - 1850 ^a	
„Industrie 2.0“	1870 ^b	20 - 120 Jahre
„Industrie 3.0“	1970 - 1980 ^c	100 - 110 Jahre
„Industrie 4.0“	2011 ^d	42 Jahre
„Industrie 5.0“	2017/18 ^e	6 - 7 Jahre

^a [101] ^b erstes Fließband: Schlachthöfe von Cincinnati [115]

^c [115] ^d [5] ^e reine Annahme!

Industrielle und ökologische Systeme haben sich jedoch voneinander entfernt, der Mensch grenzte sich im Laufe seiner Entwicklung immer weiter von der Umwelt ab und in Folge dessen von deren limitierenden Faktoren beziehungsweise Prozessen, sodass er sich nun in einem exponentiell wachsenden System wiederfindet. Setzt man sich in Zeiten der Klimaproblematik und schwindender Ressourcen zum Ziel, diese beiden Systeme wieder zu vereinen ist der Ausruf einer neuen Industrieverversion im Vorhinein vielleicht der richtige Weg.

Der große Vorteil, der von einer vorausgegangenen Definition zukünftiger Industrieverversionen ausgeht ist die Tatsache, dass die Bevölkerung schrittweise auf das neue System vorbereitet werden kann. Zusätzlich können die Richtung, in welche die Entwicklung gehen soll, und Geschwindigkeit des Fortschritts günstig beeinflusst werden, sodass die schwierigen Umbrüche von Systemwechseln eventuell gepuffert werden können. Eines der „Guiding Principles“ beruht auf der (*Interdisziplinären*) *Kommunikation*, mit welcher eine Vielzahl von Betrachtungs- und Herangehensweisen der Forschung und Entwicklung zur Verfügung stehen, wendet man dieses Leitprinzip der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ an.

Beschäftigt man sich weiter mit der Entwicklung aller bisherigen Industrieverversionen („Industrie 1.0 - 3.0“) sowie mit der zur Zeit aktuellen „Industrie 4.0“, so kann man stets eine Problematik hinsichtlich der Arbeitsplätze, Arbeitsbedingungen beziehungsweise der Arbeitszeit erkennen. Angefangen vom Arbeitsleid aus der „ersten industriellen Revolution“ (beschrieben in Abschnitt 5.4)

über die monotonen Fließbandarbeit während der „zweiten industriellen Revolution“ (siehe Abschnitt 5.3.2 - Fordismus und Abschnitt 5.3.2 - Taylorismus) bis hin zur Angst über Arbeitsplatzverlust durch neue Innovationen wie den Computer (siehe Abschnitt 5.4) während der „dritten industriellen Revolution“ schwingt diese Thematik über die Zeit stets mit. Neue Innovationen, Systeme oder Produktionstechniken bergen jedoch stets das Potential neue Tätigkeitsfelder für Mensch und Maschine zu erschließen, sodass ein steter Wandel im Bereich der Arbeitsbedingungen und Jobmöglichkeiten stattfindet. Kritisiert wird jedoch, dass die Lebensarbeitszeit verlängert werden könnte, da auf Grund von Assistenzsystemen die Arbeit für MitarbeiterInnen Schritt für Schritt erleichtert werden kann, wie es bei der Implementierung der „Industrie 4.0“ der Fall ist. Jene Entwicklung würde der, zur Zeit im Fokus stehenden, Erwartungshaltung von Work-Life-Balance aber widersprechen. [5]

Betrachtet man die in Tabelle 5.3 angeführten möglichen Wendepunkte, die sich bis zum Jahr 2025 ereignen sollen, näher, so erkennt man einen deutlichen Unterschied beziehungsweise verschiedene Erwartungshaltungen der befragten Personen zu jenen Punkten. Beispielsweise erwarten 91,2% der Umfrageteilnehmer, dass im besagten Jahr 2025 10% der von Personen getragene Kleidung bereits mit dem Internet verbunden ist, 67,2% der Teilnehmer jedoch nur, dass bis zum besagten Stichjahr 2025 global betrachtet mehr Reisen und Ausflüge mit Hilfe eines CarSharing Autos unternommen werden. Es ergibt sich somit eine Differenz von 24% zwischen diesen beiden herausgegriffenen Wendepunkten. Insgesamt wurden zur Erhebung dieser in Tabelle 2.3 dargestellten Ergebnisse 816 Probanden zu den 21 angegebenen Wendepunkten befragt. Durch diese Studie, durchgeführt von *Global Agenda Council on the Future of Software & Society des World Economic Form*, wird somit ein Überblick über mögliche Entwicklungen der derzeitigen „Industrie 4.0“ gegeben. [56]

Beim Herausgreifen dieser beiden Wendepunkte kann man sehr gut die Bedeutsamkeit beziehungsweise Wichtigkeit eines guten Dialoges zwischen den einzelnen Disziplinen, wie Wissenschaft, Wirtschaft oder Politik, erkennen. Bezieht man beide Wendepunkte, Internettechnologie und das Prinzip des CarSharings, auf wichtige zukunftssträchtige Aspekte, wie Energieeffizienz oder dem Potential CO₂ einzusparen, ergeben sich für beide unterschiedliche Ausgangspunkte. CarSharing bietet dem Verbraucher die Möglichkeit, ohne näher auf diese spannende Thematik einzugehen, durch kleinere, geringer motorisierte Fahrzeuge ihren CO₂ Ausstoß zu reduzieren. Einer Studie aus der Schweiz zufolge besitzt ein aktiver Schweizer CarSharing Kunde das Potential 290 kg CO₂ weniger in die Atmosphäre auszustoßen. Dieser Wert bezieht sich auf eine theoretische Situation, in welcher kein CarSharing Angebot existiert. [60, 110, 134]

Im Gegensatz zu dieser Einsparungsmöglichkeit von CO₂ durch CarSharing benötigt der wachsende Bedarf an Internet, wie der herausgegriffene Wendepunkt mit internetfähiger Kleidung, immer mehr Strom, welcher von Kraftwerken zur Verfügung gestellt werden muss. Im Jahr 2012 benötigten alle Endgeräte für Nutzer (PCs, Telefone, Displays, Laptops, etc.), die Kommunikationsnetze (Internet Router und Mobilfunkstationen mit inbegriffen) und die dazu benötigten Daten- und Rechenzentren (inklusive Server und Aggregate zur Kühlung) in etwa 900 TWh, was einem Anteil von rund 4% des weltweiten Stromverbrauchs widerspiegelt. Zieht man den zur Herstellung nötigen Stromverbrauch in die Bilanz mit ein, so ergibt sich sogar ein Anteil von

5% des weltweiten Stromverbrauchs für das Jahre 2012. Zwar steigert sich die Energieeffizienz von Endgeräten, wie Computern oder Smartphones, weiter, jedoch müssen die Geräte immer höhere Geschwindigkeiten und damit mehr Rechenoperationen durchführen, was dazu führt, dass sich die beiden beschriebenen Effekte Energieeffizienz und Geschwindigkeit gegenseitig aufheben. Zukünftige Szenarien und Prognosen gehen im Mittel von einem steigenden Stromverbrauch von 4 - 7% pro Jahr aus, wobei die Steigerung des Weltstromverbrauchs bei 3,5% pro Jahr liegt. Der am schnellsten wachsende Stromverbrauch der weiter oben erwähnten Sektoren ist jener der Kommunikationsnetze, welcher eine Verdopplung seines Energieverbrauchs in nur 10 Jahren erfuhr. Folglich wird in Zukunft eine weitere Steigerung des Stromverbrauchs durch das Internet und dessen Anwendungen erfolgen, welcher über Energieerzeuger aller Art bereitgestellt werden muss. [28, 64, 89]

Legt man nun den Fokus wieder auf den, am Anfang dieses Absatzes erwähnten, wichtigen Dialog zwischen verschiedensten Disziplinen beziehungsweise Institutionen und der Tatsache, dass laut Tabelle 5.3 die Erwartungshaltung für internetfähige Kleidung höher ist als der von CarSharing, und setzt sich beispielsweise als Regierung das Ziel den Energieverbrauch oder den CO₂ Ausstoß seines Landes zu minimieren, ist eine Lenkung jenes Dialoges in die jeweilige angestrebte Richtung sehr wichtig. Erkennen kann man dies heutzutage sehr gut am Beispiel der von Deutschland ausgerufenen „Industrie 4.0“, welche bevorzugt und gezielt jene neuen Technologien, wie 3D Druck, Cyber-Physische Systeme oder das Internet der Dinge, einsetzt und vermarktet.

Es zeigt sich anhand der erwähnten Beispiele, dass für das Annehmen jener Technologien innerhalb der Bevölkerung eine lange Zeitspanne nötig ist. Gleich verhält es sich auch bei aktuelleren Entwicklungen, wie der „Industrie 4.0“. Der Zeitraum kann jedoch über gute Kommunikation und Vermarktung verkürzt werden, sodass Umbrüche schneller von Statten gehen. Für die zukünftige „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ gilt dieses Phänomen ebenfalls, ist eventuell aber komplexer, da die behandelnde Thematik mehrere Bereiche und Disziplinen vereint.

Bei genauerer Betrachtung des Energieverbrauchs wirft sich die Frage auf, ob dieser nicht minimiert werden kann. Der Motor unserer Wirtschaft ist derzeit noch der Konsum von Produkten über die Bevölkerung. Eine gängige Strategie von Unternehmen zur Steigerung jenes Konsumverhaltens sind Werbeanzeigen. Im Zeitalter der Digitalisierung werden zum Teil an jeder Straßenecke Bildschirme aufgestellt, um die Menschen rund um die Uhr mit Werbeanzeigen versorgen zu können. Diese Entwicklung trägt zu einem steigenden Stromverbrauch bei, wobei sich die Frage der Notwendigkeit dieser permanent laufenden Geräte aufwirft. Energie könnte sinnvoller investiert werden, als in Form von Lichterketten, Flachbildschirmen oder urbanen Heizstrahlern, welche beispielsweise den Kunden eines Kaffeehauses erlauben auch im Winter ohne Jacke im Freien ihr Getränk zu genießen.

Berücksichtigt man das „Guiding Principle“ (*Erneuerbare*) *Energien* und bearbeitet diese Thematik weiter, erkennt man die Schwierigkeit unseren steigenden Energiebedarf mit erneuerbaren Energiequellen zu decken. Das Nutzen von Holz soll als einfaches Beispiel für dieses Problem dienen. Vor der „ersten industriellen Revolution“ konnte der globale, anthropogene Energiebedarf über erneuerbare Energien, wie Wasserkraft, Holz oder Wind gedeckt werden. Auch tierische

Arbeitskraft wurde in der vorindustriellen Zeit herangezogen, um beispielsweise Felder zur Nahrungsmittelproduktion bestellen zu können. Holz gilt als Rohstoff der Zukunft, benötigt jedoch Zeit, um sich zu bilden und zu regenerieren. Somit ist nur eine begrenzte Menge für beispielsweise private Haushalte in Form von Brennstoff verfügbar. Die Nachfrage steigt jedoch stetig an, sodass zum Teil mehr Holz gefällt wird, als für das Ökosystem nachhaltig wäre. Es bedarf wissenschaftlicher Studien, um die genauen Potentiale erneuerbarer Energien exakt auszuloten und Prognosen für die Zukunft stellen zu können. Die Notwendigkeit einer Umstellung unseres bisherigen energetischen Systems ist auf Grund der Auswirkungen durch die Nutzung von fossilen Brennstoffen in Form des Klimawandels und vermehrter Umweltkatastrophen durchaus gegeben. Zurzeit wird jedoch die wirtschaftliche Deckung des steigenden Energiebedarfs verfolgt, anstatt an der Effizienz beziehungsweise an Energieeinsparungsmaßnahmen zu arbeiten.

Das aktuelle wirtschaftliche System basiert vorwiegend auf Wachstum und Kapital. Es ist seit Beginn der „ersten industriellen Revolution“ über exponentielle Prozesse gekennzeichnet. Derzeit beherrschen sie noch unsere Wirtschaft, auf lange Sicht besitzen sie jedoch keine Existenzberechtigung. Im Gegensatz zu natürlichen Systemen existiert in unseren wirtschaftlichen Systemen derzeit kein Gleichgewicht zwischen Produktion und Konsum, da viel mehr Rohstoffe verbraucht werden als sich auf natürlichem Weg bilden. Denkt man diesen Vorgang zu Ende, kommt es zum Kollaps dieses wirtschaftlichen Systems, jedoch erst nachdem alle Ressourcen aufgebraucht worden sind oder die ökologischen Systeme nicht mehr funktionieren.

Die Notwendigkeit eines Systemwechsels ist bei genauerer Betrachtung der Thematik des Klimawandels und schwindender Ressourcen eindeutig. Der Aufwand sowie die hohen Kosten, die ein solcher Wechsel mit sich bringt, muss in Kauf genommen werden, damit unser anthropogenes System mit all seinen Komponenten, wie die Industrie oder Wirtschaft, langfristig eine Existenzberechtigung auf diesem Planeten innehat. Dies kann nur gelingen, wenn man versteht, wie natürliche Systeme funktionieren und lernt mit ihnen in Synergie zu leben.

8.1 Limitationen

Auf Grund des breiten Themenspektrums der vorliegenden Forschungsarbeit kann eine lückenlose, vollständig korrekte Aufarbeitung der außerhalb der Hauptdisziplin des Autors liegenden Thematiken, nicht vorausgesetzt werden. Es wurde zwar versucht sich in verschiedenste Bereiche einzulesen und einzuarbeiten, dennoch steht außer Frage, dass eine interdisziplinäre Zusammenarbeit wünschenswert gewesen wäre. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit war dies jedoch nicht vorgesehen. Sollte es zu einer weiteren Aufarbeitung dieser Thematik kommen, wäre eine Zusammenarbeit mit entsprechenden Experten unumgänglich.

Ein weiterer limitierender Faktor stellt der eingeschränkte Zugang zu manchen wissenschaftlichen Artikeln dar. Auch wenn über die Bibliotheken der Technischen Universität Wien eine Vielzahl von Kooperationen zwischen Anbietern von Literatur besteht, konnte nicht auf alle

gefundenen wissenschaftlichen Artikeln zugegriffen werden.

8.2 Ausblick

Die Vision der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ könnte zu Beginn des Entwicklungsprozesses für diverse Projekte herangezogen werden. Schafft man es kleinere Aufgabenstellungen unter dem Deckmantel der Institutsvision beziehungsweise der gefundenen „Guiding Principles“ zu verwirklichen, kann dies vorteilhaft für die Implementierung der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ auf höherer oder globaler Ebene sein. Zu Beginn kann das Hauptaugenmerk auf ein einzelnes Leitprinzip gelegt werden, beispielsweise jenes der *(Erneuerbaren) Energie*. Schafft man es das erste erwählte „Guiding Principle“ im Rahmen eines Projektes verwirklichen zu können, kann in weiterer Folge der Fokus auf die Realisierung von zusätzlichen „Guiding Principles“ gelegt werden. Viele der gefundenen „Guiding Principles“ hängen aber stark von anderen ab, was die Fokussierung auf einzelne Prinzipien schwierig gestalten könnte. Die starke Vernetzung zwischen den Richtlinien kann jedoch auch positive Auswirkungen mit sich bringen, da für die Realisierung eines einzelnen „Guiding Principles“ oft auch schon ein Schritt zur Verwirklichung eines anderen getan wurde. Versucht man beispielsweise die *(Interdisziplinäre) Kommunikation* im Rahmen eines Projektes umzusetzen wird man feststellen, dass sich beim „Guiding Principle“ *Symbiose und Synergie* ebenfalls Fortschritte beobachten lassen werden können.

Des Weiteren sind die „Guiding Principles“ eher auf ein Gesamtsystem mit vielen untergliederten Teilsystemen, ganz nach dem Vorbild natürlicher Systeme, aufgebaut, sodass beispielsweise das Prinzip *(Interdisziplinäre) Kommunikation* bei einem einzelnen Projekt wahrscheinlich schwieriger zu verwirklichen ist wie jenes der *(Erneuerbaren) Energie*. Das „Guiding Principle“ der *(Interdisziplinären) Kommunikation* müsste auf einer anderen organisatorischen Ebene des Projektes etabliert werden, als das der *(Erneuerbaren) Energie*. *(Interdisziplinären) Kommunikation* muss bereits vor der Planung eines einzelnen Projektes in die Organisationsstruktur des *Instituts für Verfahrenstechnik, Umweltwissenschaft und Technische Biowissenschaften* eingebettet werden. Plant man ein Projekt so sollen zukünftig Meinungen, Sichtweisen und Werkzeuge aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen und deren Teilbereichen im Voraus berücksichtigt werden, damit ein größerer Nutzen und eine größere Funktionalität für mehrere Disziplinen hervorgebracht werden kann, ganz nach dem ersten Teil des „Guiding Principle“ *Multifunktionalität und Anpassungsfähigkeit*.

Das Ziel für folgende Projekte sollte schlussendlich die Erfüllung aller „Guiding Principles“ zum Ziel haben, sodass gewonnene Erkenntnisse in Folge dessen für das Gesamtsystem „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ hoch skaliert werden kann. Diese Entwicklung benötigt jedoch einiges an Zeit, um sich durchsetzen zu können.

Die Anwendung der gefundenen „Guiding Principles“ in Zukunft wäre wünschenswert. Dies, und die Implementierung der neuen Industrieversion, könnte beispielsweise mit Hilfe einer Prüfinstanz

bewerkstelligt werden. Dies setzt aber eine erfolgreiche Annahme beziehungsweise Akzeptanz der Bevölkerung, Wirtschaft und Politik gegenüber der neuen Industrieversion „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ voraus. Die zuvor angeführten Schritte zur Verwirklichung der Institutsvision im Rahmen von kleinen Projekten des *Instituts für Verfahrenstechnik, Umweltwissenschaft und Technische Biowissenschaften* sind zu diesem Zeitpunkt bereits vorangegangen. Geht man nun von einer zukünftigen, verstärkten Kommunikation zwischen unterschiedlichen Disziplinen, politischer Instanzen sowie der Industrie aus, kann der Grundstein für die neue Industrieversion gelegt werden. Die Politik gibt den gesetzlichen Rahmen für Prozesse und den Umgang mit Ressourcen, basierend auf dem Vorbild der Natur und der „Guiding Principles“, vor. Mit Hilfe der zuvor erwähnte Prüfinstanz könnten Unternehmen und industrielle Prozesse auf die Einhaltung der „Guiding Principles“ überprüft werden. Über ein Belohnungs-Bestrafungs-System könnte die Einhaltung der „Guiding Principles“ und in Folge dessen das Wirtschaften im Sinne der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ umgesetzt werden.

Damit ein systematischer Umbruch, wie die Verwirklichung einer neuen, zukünftigen Industrieversion, gelingen kann, benötigt es neben den „Guiding Principles“ als Rahmenbedingungen auch eine Strategie zur Vermittlung dieses Konzeptes in der Gesellschaft. Es muss sozusagen die geistige Grundeinstellung von ökologischen Organisationsprinzipien, seien es nun die acht Grundregeln der Biokybernetik nach F. Vester, die zehn Grundprinzipien natürlicher Systeme nach W. Nachtigall oder die „Guiding Principles“ der Vision einer „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“, aus der Natur in den Menschen verankert werden. Beschäftigt man sich mit den Vorgängen und Abläufen in der belebten und unbelebten Natur erlangt man nicht nur Wissen auf diesen Gebieten sondern auch eine eigene Sicht der Dinge oder wie W. Nachtigall es nennt, eine eigene Lebenshaltung. Jener Vertreter der Bionik versucht dieser Haltung mit der Aufstellung folgender Fragen Gehör in der Gesellschaft zu verschaffen [97, Nachtigall, 2008, S.84]:

1. *Was braucht der Mensch wirklich, um „menschenangemessen“ leben zu können, und wie kann man es ihm (uns) verschaffen?*
2. *Welche Grundkonzepte der Natur können helfen, Punkt 1 zu verwirklichen?*
3. *Welche Grundkonzepte nach Punkt 2 sind praktikablerweise kombinier- und umsetzbar, um Punkt 1 zu verwirklichen?*

Ethik spielt in diesem Kontext eine sehr wichtige Rolle. Sie darf zur Implementierung einer neuen Vision oder eines neuen industriellen Systems nicht vernachlässigt werden. Mit Hilfe der „Guiding Principles“ und deren Kommunikation sowie Verbreitung kann es in der Gesellschaft und Wirtschaft zu Einsichten kommen, die schlussendlich ein Umdenken zu langfristigen, stabilen Systemen bewirken können.

Zu Beginn müssen jedoch die führenden Vertreter des Wirtschaftssektors zu diesen Einsichten gelangen, sodass in weiterer Folge politische Rahmenbedingungen erarbeitet werden können. Es soll in Zukunft nicht um wirtschaftliches Wachstum und daraus resultierenden Gewinn gehen,

vielmehr sollten ethische Leitlinien im Vordergrund jeglichen Handelns stehen. Die in dieser Forschungsarbeit gefunden „Guiding Principles“ besitzen in gewisser Hinsicht dieses ethische Potential, da durch das Auseinandersetzen mit ihnen die Wichtigkeit und Unverzichtbarkeit natürlicher Systeme und deren Effekte auf das Leben aller Menschen zur Geltung gebracht werden können.

Will man einen Systemwandel realisieren, müssen Institutionen, welche sich mit dieser Thematik beziehungsweise mit einem alternativen, nachhaltigen System auseinandersetzen, mehr zur Kenntnis genommen werden, sodass deren Ideen und Vorstellungen in den Köpfen der Menschen Früchte tragen können. Auch sollte auf die, diese Thematik mit sich bringende, ethischen Aspekte im Elternhaus, Schulen und anderen Bildungseinrichtungen eingegangen werden.

Setzt sich die „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ großflächig durch, könnte die Entfremdung der Industrie von natürlichen Systemen bekehrt werden, sodass ein gegenseitiger Nutzen dieser beiden Systeme entstehen könnte. Findet man zum Beispiel alternative Werkstoffe oder Materialien für unsere täglichen Gebrauchsgegenstände mit der zusätzlichen Eigenschaft biologisch abbaubar zu sein, könnte dies unsere derzeitige Problematik mit Plastik eindämmen. Biologische Systeme sind derzeit noch nicht in der Lage unsere synthetisch hergestellten Stoffe und Materialien zu verarbeiten. Ganz im Gegenteil, Plastik stellt beispielsweise eine Gefährdung gegenüber ökologischen Systemen dar. Können solche Materialien, wie eingangs bereits erwähnt, jedoch mit biologisch abbaubaren substituiert werden, hätte man einen dankbaren Partner im Bereich Abfallwirtschaft gefunden - Ökosysteme. Abfall, falls dessen Verbindungen biologisch und chemisch angreifbar sind, würde in Folge dessen als Nährstoff in ökologischen Systemen sogar einen positiven Effekt erzielen. Dieses Beispiel stellt nur eine von vielen möglichen Erungenschaften dar, welche mit Hilfe der neuen Industrieversion und deren Wissen über die Systematik biologischer beziehungsweise natürlicher Prozesse und Prinzipien verwirklicht werden könnte. Für spezifische Problemstellungen können bereits existierende Disziplinen, wie die *Bionik* und *Technische Biologie*, Lösungsvorschläge aus der Natur liefern. Hat man jedoch eine neue Industrieversion als Vision, sollte der Fokus zuerst auf die Festigung und Verbreitung der, der „Industrie 5.0 - Imagineering Nature“ zugrunde liegenden, „Guiding Principles“ gelegt werden.

Literatur

- [1] V. Ahren. „Inflation industrieller Revolutionen“. In: *Productivity Management* 05 (2012), S. 30–31.
- [2] R. Anderl u. a. *Industrie 4.0 grenzenlos*. Hrsg. von U. Sandler. München: Springer Vieweg, 2016.
- [3] D. Balkhausen. *Die dritte industrielle Revolution: Wie die Mikroelektronik unser Leben verändert*. Erste Auflage. Düsseldorf, Wien: Econ Verlag, 1978.
- [4] T. Bartscher. *Ergonomie*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/76639/ergonomie-v10.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 28.08.2017]. o. J.
- [5] T. Bauernhansl und M. t. Hompel. *Industrie 4.0 in der Produktion, Automatisierung und Logistik - Anwendung, Technologien, Migration*. Hrsg. von B. Vogel-Heuser. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.
- [6] G. Baum u. a. *Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM*. Hrsg. von U. Sandler. München: Springer Vieweg, 2013.
- [7] J. Baum. *Natur schützen - weshalb?: Die ethische Fragestellung*. GRIN Verlag, 2010.
- [8] Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. *Kleine Käfer – Große Schäden*. <http://www.waldbesitzer-portal.bayern.de/055363/index.php>. [Online; 06.12.2017]. o. J.
- [9] M. Begon, R. W. Howarth und C. R. Townsend. *Ökologie*. Dritte Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2017.
- [10] O. Bendel. *Cyber-physische Systeme*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/-2046932906/cyber-physische-systeme-v2.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 04.08.2017]. o. J.
- [11] O. Bendel. *Industrie 4.0*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/-2080945382/industrie-4-0-v2.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 04.08.2017]. o. J.
- [12] G. Berger und M. Wahrendorff. *Machine Dreams - Making the most of the Connected Industrial Workforce*. Techn. Ber. Accenture, 2016.
- [13] J. Beyerer, J. Jasperneite und O. Sauer. „Industrie 4.0“. In: *at - Automatisierungstechnik* 63.10 (2015), S. 751–752.
- [14] InfinityQS Blog. *Inside the Next Factory of the Future: Industry 5.0*. <https://www.infinityqs.com/blog/april-2017/inside-the-next-factory-of-the-future-industry-5>. [Online; 07.09.2017]. 2017.

- [15] BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie). *Was ist Industrie 4.0?* <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>; jsessionid=0B3DC6F0248CE3D442ED481BD610F7F2. [„Plattform Industrie 4.0“; Online; 06.10.2017]. 2017.
- [16] A. Bodmer u. a. *Enzyklopädie der textilchemischen Technologie*. Hrsg. von P. Heermann. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1930.
- [17] L. Brandt. *Die zweite industrielle Revolution*. München: Paul List Verlag, 1957.
- [18] M. Braungart. *Prof. Dr. Michael Braungart*. <http://braungart.com/de>. [Online; 20.10.2017]. o. J.
- [19] M. Braungart und W. McDonough. *Die nächste industrielle Revolution: Die Cradle to Cradle-Community*. Hrsg. von W. McDonough. Hamburg: EVA (Europäische Verlagsanstalt), 2008.
- [20] M. Braungart und W. McDonough. *Einfach intelligent produzieren: Cradle to Cradle: Die Natur zeigt, wie wir Dinge besser machen können*. Hrsg. von W. McDonough. Dritte Auflage. Berlin: BvT (Berliner Taschenbuch Verlags GmbH), 2008.
- [21] M. Braungart und W. McDonough. *The Hannover Principles - Design for Sustainability*. http://www.mcdonough.com/wp-content/uploads/2013/03/HP-20_email_121023.pdf. [Online; 23.10.2017]. 1992.
- [22] M. Braungart und W. McDonough. „The NEXT Industrial Revolution“. In: *The Atlantic Monthly* 282.4 (Okt. 1998), S. 82 –92.
- [23] N. Brings Jacobsen. „Voraussetzungen für eine erfolgreiche industrielle Symbiose - Untersuchung und Neubetrachtung des Falls Kalundborg“. In: *Buch: Industrial Ecology - Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen* (2008), S. 139.
- [24] F. Butschek. *Europa und die industrielle Revolution*. Böhlau Verlag, 2002.
- [25] M. Cawley. *Before the Animation Begins: The Art and Lives of Disney Inspirational Sketch Artists / Walt Disney Imagineering: A Behind-the-Dreams Look at Making the Magic Real*. Cawley reviews "Before the Animation Begins: The Art and Lives of Disney Inspirational Sketch Artists," by John Canemaker, and "Walt Disney Imagineering: A Behind-the-Dreams Look at Making the Magic Real," by The Imagineers. New York: Media Source, 1996.
- [26] Z. Cerman, W. Barthlott und J. Nieder. *Erfindungen der Natur: Bionik - Was wir von Pflanzen und Tieren lernen können*. Dritte Auflage. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, Nov. 2011.
- [27] M. Chertow. *Encyclopedia of Energy*. Hrsg. von C. J. Cleveland. „Industrial Symbiosis“, S.407-415. Elsevier, 2004.
- [28] P. Corcoran und A. Andrae. „Emerging Trends in Electricity Consumption for Consumer ICT“. In: *ResearchGate GmbH* (Juli 2013). https://www.researchgate.net/publication/255923829_Emerging_Trends_in_Electricity_Consumption_for_Consumer_ICT [Online; 09.10.2017].

- [29] P. M. Deane. *The First Industrial Revolution*. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.
- [30] Dudenredaktion. *Abundanz*. <https://www.duden.de/node/687817/visions/1172331/view>. [Online; 04.01.2018]. o. J.
- [31] Dudenredaktion. *Eutrophierung*. <http://www.duden.de/node/756191/visions/1097449/view>. [Online; 13.10.2017]. o. J.
- [32] Dudenredaktion. *Globigerine*. <https://www.duden.de/node/735181/visions/1285293/view>. [Online; 13.11.2017]. o. J.
- [33] Dudenredaktion. *Mäander*. <https://www.duden.de/node/650057/visions/1377905/view>. [Online; 10.11.2017]. o. J.
- [34] Dudenredaktion. *Nachhaltigkeit*. <http://www.duden.de/node/658572/visions/1337271/view>. [Online; 14.10.2017]. o. J.
- [35] Dudenredaktion. *Natur*. <http://www.duden.de/node/643967/visions/1299076/view>. [Online; 04.10.2017]. o. J.
- [36] Dudenredaktion. *Neologismus*. <http://www.duden.de/node/789790/visions/1364566/view>. [Online; 04.10.2017]. o. J.
- [37] Dudenredaktion. *Symbiose*. <https://www.duden.de/node/686604/visions/1660665/view>. [Online; 25.11.2017]. o. J.
- [38] Dudenredaktion. *Synergie*. <https://www.duden.de/node/682572/visions/1294441/view>. [Online; 02.01.2018]. o. J.
- [39] Dudenredaktion. *Synergismus*. <https://www.duden.de/node/689874/visions/1211899/view>. [Online; 02.01.2018]. o. J.
- [40] T. Dyllick, Hrsg. *Ökologische Lernprozesse in Unternehmungen*. Bern: Paul Haupt Verlag, 1990.
- [41] S. El-Haggar. *Sustainable Industrial Design and Waste Management: Cradle-to-cradle for Sustainable Development*. Burlington, USA: Elsevier Academic Press, 2007.
- [42] J. Elkington und T. Burke. *Umweltkise als Chance. Ökologische Herausforderungen für die Industrie*. Wiesbaden: Orell Füssli Verlag, 1989.
- [43] S. Erkman. „Industrial ecology: an historical view“. In: *Journal of Cleaner Production* 5.1 - 2 (1997), S. 1 –10.
- [44] E. Feess. *Biosphäre*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/3209/biosphaere-v7.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 10.10.2017]. o. J.
- [45] E. Feess. *industrielles Ökosystem*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9959/industrielles-oekosystem-v7.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 12.10.2017]. o. J.
- [46] E. Feess. *Kybernetik*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/12591/kybernetik-v7.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 14.11.2017]. o. J.

- [47] E. Feess und E. Günther. *Ökosystem*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/10044/oekosystem-v11.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 05.01.2018]. o. J.
- [48] E. Feess u. a. *Effizienz*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7640/effizienz-v18.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 02.01.2018]. o. J.
- [49] E. Fleisch und F. Mattern. *Das Internet der Dinge: Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2005.
- [50] K. Frederiksen. *Industry 4.0 or Industry 5.0?* <https://www.linkedin.com/pulse/industry-40-50-kim-frederiksen>. [Online; 07.09.2017]. 2016.
- [51] R. Fremdling. *Technologischer Wandel und internationaler Handel im 18. und 19. Jahrhundert: Die Eisenindustrie in Großbritannien, Belgien, Frankreich und Deutschland*. Berlin: Duncker & Humblot, 1986.
- [52] G. Friedmann. *Zukunft der Arbeit*. Köln: Bund Verlag, 1953.
- [53] O. Ganschar u. a. *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0*. Hrsg. von D. Spath. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013.
- [54] Gesellschaft zum Schutz der Wölfe e.V. *Zum Thema: Wölfe*. Techn. Ber. Zweite Auflage. Gesellschaft zum Schutz der Wölfe e.V., 2006.
- [55] A. von Gleich. *Industrial Ecology: Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen*. Hrsg. von S. Gößling-Reisemann. Wiesbaden: Vieweg + Treubner Verlag, 2008.
- [56] Global Agenda Council on the Future of Software & Society. „Deep Shift - Technology Tipping Points and Societal Impacts“. In: *World Economic Forum* (2015).
- [57] EPEA Internationale Umweltforschung GmbH. *EPEA The Cradle of Cradle to Cradle*. <http://epea.com/de>. [Online; 03.10.2017]. o. J.
- [58] E. Günther. *Cradle-to-Cradle*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/222058/cradle-to-cradle-v6.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 25.10.2017]. o. J.
- [59] S. Gotfredsen. *Industrie 5.0, a New Era of Modern Manufacturing*. <http://www.asiaoutlookmag.com/news/industry-50-a-new-era-of-modern-manufacturing>. [Online; 07.09.2017]. 2016.
- [60] U. Haefeli u. a. *Evaluation Car-Sharing - Schlussbericht*. Techn. Ber. Bern: Bundesamt für Energie BFE, 2006.
- [61] H. W. Hahn. *Die Industrielle Revolution in Deutschland*. Dritte Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2011.
- [62] S. M. Hanes und R. C. Hanes. *Cold War: Almanac*. First Edition. Farmington Hills, USA: UXL Thomson Gale, 2004.
- [63] W. Hebeisen. *F.W. Taylor und der Taylorismus: über das Wirken und die Lehre Taylors und die Kritik am Taylorismus*. Zürich: vdf Hochschulverlag, 1999.

- [64] W. V. Heddeghem u. a. „Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012“. In: *Computer Communications* 50 (2014), S. 64 –76.
- [65] H. Henderson. *Alan Turing: Computing Genius and Wartime Code Breaker*. New York: Chelsea House, 2001.
- [66] The Imagineers. *Walt Disney Imagineering: A Behind the Dreams Look at Making More Magic Real*. Disney Editions, 2010.
- [67] Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken. *Cradle-to-Cradle-Vision*. https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_f_cradle_to_cradle_vision_1544.htm?sid=ca40edm15avoeps9g0ubg2255. [Online; 25.10.2017; letzte Aktualisierung 2015]. 2015.
- [68] Industrie- und Handelskammer Nürnberg für Mittelfranken. *Triple Bottom Line und Triple Top Line*. https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_b_triple_bottom_line_und_triple_top_line_1532.htm. [Online; 25.10.2017; letzte Aktualisierung 2015]. 2015.
- [69] L. W. Jelinski u. a. „Industrial ecology: Concepts and approaches“. In: *Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America* 89 (1992), S. 793 –797.
- [70] W. Jäger und K. Röttgers, Hrsg. *Sinn von Arbeit: Soziologische und wirtschaftspolitische Betrachtungen*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2008.
- [71] M. Jänicke und K. Jacob. „Die dritte industrielle Revolution: Die Ära billiger Brennstoffe ist vorbei, die Grenzen des fossilen Wachstums sind erreicht. Nur der Weg ins Solarzeitalter kann den geplünderten Planeten retten.“ In: *IP (Internationale Politik)* 10 (2008), S. 32–40.
- [72] C. Köhne. *Die tayloristisch-fordistische Arbeitsorganisation am Beispiel der Automobilindustrie seit den 1960er Jahren - ein überholtes Programm oder immer noch aktuell?* Erste Auflage. Norderstedt: GRIN Verlag, 2008.
- [73] H. B. Kief und H. A. Roschiwal. *CNC-Handbuch: 2013/2014*. Carl Hanser Verlag, 2013.
- [74] H. Kiehling. *Wirtschafts- und Sozialgeschichte kompakt*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2009.
- [75] H. Kiesewetter. *Industrielle Revolution in Deutschland: Regionen als Wachstumsmotoren*. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, 2004.
- [76] A. Kloss. *Von der Electricität zur Elektrizität: Ein Streifzug durch die Geschichte der Elektrotechnik, Elektroenergetik und Elektronik*. Basel: Springer Basel, 1987.
- [77] V. Kospanos. *Industrie 5.0 – far from science fiction (pt. 2)*. <http://www.pnmsoft.com/industry-5-0-far-science-fiction-pt-2/>. [Online; 07.09.2017]. 2017.
- [78] V. Kospanos. *Industrie 5.0 – When Man Meets Machine*. <http://www.pnmsoft.com/industry-5-0-man-meets-machine/>. [Online; 07.09.2017]. 2017.
- [79] S. Kostka und A. Hassan. *Umweltmanagementsysteme in der chemischen Industrie: Wege zum produktionsintegrierten Umweltschutz*. Springer Verlag, 2013.

- [80] E. W. U. Küppers. *Systemische Bionik: Impulse für eine nachhaltige gesellschaftliche Weiterentwicklung*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [81] C. Kuen und J. Köbler. „Industrial Engineering versus Industrie 4.0: Analyse der Werkzeuge, Methoden und deren Einsatzmöglichkeiten“. In: *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 110.11 (2015), S. 751–754.
- [82] H. Lasi u. a. „Industrie 4.0“. In: *WI - WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 56.4 (2014), S. 261–264.
- [83] E. Lippert und H. A. C. McKay. *Das Atomzeitalter: Von den Anfängen zur Gegenwart*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1989.
- [84] R. Lombardi und P. Laybourn. „Redefining Industrial Symbiosis“. In: *Journal of Industrial Ecology* 16 (Feb. 2012), S. 28–37.
- [85] A. Maddison. *The World Economy: A Millennial Perspective*. Paris: OECD Publishing, 2001.
- [86] B. Mahro und V. Kasche. „Biomasse als Rohstoff der Zukunft - Zum Stellenwert der Bio- und Gentechnik im nachhaltigen Wirtschaften“. In: *Buch: Industrial Ecology - Erfolgreiche Wege zu nachhaltigen industriellen Systemen* (2008), S. 95.
- [87] U. Maschwitz, A. Weissflog und E. Kaufmann. „Hängende Gärten in luftiger Höhe: Ameisen, Pflanzen und mehr - neu entdeckte Vielpartnersymbiosen im Kronendach südostasiatischer Regenwälder“. In: *Natur und Museum* 140.11 (2010), S. 306–319.
- [88] P. Mathias. *The First Industrial Nation: The Economic History of Britain 1700 - 1914*. Second Edition. Methuen & Co. Ltd, 1983.
- [89] F. Mattern. *Wieviel Strom braucht das Internet?* <https://www.ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2015/03/wieviel-strom-braucht-das-internet.html>. [Online; 10.10.2017]. 2015.
- [90] B. Matthias und H. Ding. „Die Zukunft der Mensch-Roboter Kollaboration in der industriellen Montage“. In: *Internationales Forum Mechatronik* (2013).
- [91] MBDC (McDonough Braungart Design Chemistry). *MBDC - Creators of the Cradle to Cradle Design Framework*. <https://mbdc.com/>. [Online; 23.10.2017]. o. J.
- [92] W. McDonough. *Cradle to Cradle*. <http://www.mcdonough.com/cradle-to-cradle/>. [Online; 23.10.2017]. o. J.
- [93] D. H. Meadows u. a. *The limits to growth: A report for the club of rome's project on the predicament of mankind*. London: Universe Books, 1972.
- [94] K. Mohr. *Soziale Exklusion im Wohlfahrtsstaat: Arbeitslosensicherung und Sozialhilfe in Großbritannien und Deutschland*. Erste Auflage. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2007.
- [95] W. Nachtigall. *Bionik - Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. Zweite Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2013.

- [96] W. Nachtigall. *Bionik als Wissenschaft: Erkennen -> Abstrahieren -> Umsetzen*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2010.
- [97] W. Nachtigall. *Bionik: Lernen von der Natur*. München: Verlag C. H. Beck, 2008.
- [98] W. Nachtigall und G. Pohl. *Bau-Bionik - Natur, Analogien, Brennstofftechnik*. Zweite Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2013.
- [99] W. Nachtigall und A. Wisser. *Bionik in Beispielen - 250 illustrierte Ansätze*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2013.
- [100] E. P. Odum. *Grundlagen der Ökologie*. Band 1. Stuttgart: Thieme, 1983.
- [101] J. Osterhammel. *Die Verwandlung der Welt: Eine Geschichte des 19. Jahrhunderts*. Fünfte Auflage. München: Verlag C. H. Beck, 2010.
- [102] M. Pietsch. *Die Industrielle Revolution: Von Watts Dampfmaschine zu Automation und Atomkernspaltung*. Freiburg: Verlag Herder, 1961.
- [103] M. Rada. *Business Guide - Industrial Upcycling*. Industrial Upcycling, 2016.
- [104] M. Rada. *Industrie 5.0 - from virtual to physical*. <https://www.linkedin.com/pulse/industry-50-from-virtual-physical-michael-rada>. [Online; 07.09.2017]. 2015.
- [105] M. Rada. *Industrie 5.0 - Human Industry*. <https://www.linkedin.com/pulse/industry-50-human-michael-rada>. [Online; 07.09.2017]. 2017.
- [106] M. Rada. *Industrie 5.0 definition*. <https://www.linkedin.com/pulse/industrial-upcycling-definition-michael-rada>. [Online; 07.09.2017]. 2017.
- [107] M. Rada. *Industrie 5.0 use AI to Humanize the Business environment once again*. <https://www.linkedin.com/pulse/industry-50-use-ai-humanize-business-environment-once-michael-rada/>. [Online; 12.09.2017]. 2017.
- [108] I. M. Rübenach. „Industrie 4.0 - die ungeklärte Revolution: Sicherheit als Herausforderung für eine Industrie 4.0-Welt“. In: *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 111.5 (2016), S. 292–295.
- [109] H. Remmert. *Ökologie: ein Lehrbuch*. Vierte Auflage. Berlin: Springer Verlag, 1989.
- [110] J. Rifkin und B. Schmid. *Die dritte industrielle Revolution: Die Zukunft der Wirtschaft nach dem Atomzeitalter*. Frankfurt am Main: Campus Verlag, 2011.
- [111] I. Ring. „Evolutionary strategies in environmental policy“. In: *Ecological Economics* 23 (1997), S. 237–249.
- [112] I. Ring. *Marktwirtschaftliche Umweltpolitik aus ökologischer Sicht: Möglichkeiten und Grenzen*. Hrsg. von M. Bahandir u. a. Teubner-Reihe Umwelt. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1994.
- [113] J. Robbins. „Wieder Wölfe im Yellowstone-Park“. In: *Spektrum der Wissenschaft* (Aug. 2004), S. 24–29.
- [114] T. Rossmann. *Bionik: Aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaft*. Hrsg. von C. Tropea. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2005.

- [115] J. Schlick u. a. „Produktion 2020: Auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution“. In: *IM: Information Management und Consulting* 03 (2012), S. 26–33.
- [116] A. Schlüter. „Technischer Fortschritt durch Informations- und Kommunikationstechnologien“. In: *Historical Social Research / Historische Sozialforschung* 27.1 (2002), S. 171–189.
- [117] K. Schwab. *Die vierte industrielle Revolution*. Zweite Auflage. München: Pantheon Verlag, 2016.
- [118] H.G. Servatius, U. Schneidewind und D. Rohlfing, Hrsg. *Smart Energy - Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2012.
- [119] C. Shea. *Industrie 5.0: The Convergence of Robots and Artisans*. <http://blog.robotiq.com/industry-5.0-the-convergence-of-robots-and-artisans>. [Online; 07.09.2017]. 2016.
- [120] R. Shill. *Workshop of the World*. Stroud, Gloucestershire: History Press, 2006.
- [121] Simon, F. *Effektivität und Effizienz*. <http://www.rechnungswesen-verstehen.de/bwl-vwl/bwl/effektivitaet-und-effizienz.php>. [Online; 02.01.2018].
- [122] D. W. Smith, R. O. Peterson und D. B. Houston. „Yellowstone after Wolves“. In: *BioScience* 53.4 (Apr. 2003), S. 330–340.
- [123] K. H. Stefan. *Technik der Automation: Eine zweite industrielle Revolution*. Berlin: Safari Verlag, 1960.
- [124] E. H. Østergaard. *Industrie 5.0 – Die Rückkehr der menschlichen Note*. <http://www.forum-mensch-roboter.de/industrie-5-0-die-rueckkehr-der-menschlichen-note/>. [Online; 07.09.2017]. 2016.
- [125] E. H. Østergaard. *Industrie 5.0 – Return of the human touch*. <https://blog.universal-robots.com/industry-50-return-of-the-human-touch>. [Online; 07.09.2017]. 2016.
- [126] K. Stöven, F. Jacobs und E. Schnug. „Mikroplastik: Ein selbstverschuldetes Umweltproblem im Plastikzeitalter“. In: *Journal für Kulturpflanzen* 67.7 (2015), S. 241–250.
- [127] B. Stöver. *Der Kalte Krieg 1947-1991: Geschichte eines radikalen Zeitalters*. München: Verlag C. H. Beck, 2007.
- [128] A. Suchanek u. a. *Nachhaltigkeit*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55232/nachhaltigkeit-v9.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 14.10.2017]. o. J.
- [129] D. Tapscott. *Die digitale Revolution: Verheißungen einer vernetzten Welt - die Folgen für Wirtschaft, Management und Gesellschaft*. Erste Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1996.
- [130] F. W. Taylor und R. Roesler. *Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung*. Paderborn: Salzwasser-Verlag, 2011.
- [131] The United Nations Conference on Environment and Development. „The '92 Global Forum. International Academy of Architecture Symposium. Ecopolis Forum of Ideas, 3-5 June 1992“. In: *Journal of Architectural Education* 46.3 (Feb. 1993), S. 197–198.

- [132] J.P. Thommen u. a. *Effektivität*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/7639/effektivitaet-v10.html>. [Gabler Wirtschaftslexikon; Online; 02.01.2018]. o. J.
- [133] S. Tschöpe, K. Aronska und P. Nyhuis. „Was ist eigentlich Industrie 4.0?": Eine qualitative Datenbankanalyse liefert einen Einblick“. In: *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 110.3 (2015), S. 145–149.
- [134] Verein zur Förderung einer umwelt- und zukunftsgerichteten Mobilität durch CarSharing e.V. und Bundesverband CarSharing. *Klimaschutz durch CarSharing - Daten und Fakten zur klimawirksamen CO₂-Einsparung durch integrierte Mobilitätsdienstleistung CarSharing*. <http://www.carsharing-vaterstetten.de/uploads/VAT/Klimaschutzbrochure2008.pdf>. [Online; 09.10.2017]. 2008.
- [135] F. Vester. *Crashtest Mobilität. Die Zukunft des Verkehrs - Fakten, Strategien, Lösungen*. München: Heyne Verlag, 1999.
- [136] F. Vester. *Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*. Siebte Auflage. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 2001.
- [137] W. Volpert. *Zauberlehrlinge: Die gefährliche Liebe zum Computer*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag, 1985.
- [138] H. Walland. *Kenntnis der Wasch-, Bleich- und Appreturmittel: Ein Lehr- und Hilfsbuch für technische Lehranstalten und die Praxis*. Zweite Auflage. Berlin: Verlag von Julius Springer, 1925.
- [139] R. Walter. *Einführung in die Wirtschafts- und Sozialgeschichte*. UTB, 11. Nov. 2008.
- [140] W. Weitschat. „Jäger, Gejagte, Parasiten und Blinde Passagiere - Momentaufnahmen aus dem Bernsteinwald“. In: *Kataloge des Oberösterreichischen Landesmuseums* 86 (2009), S. 243–256.
- [141] W. Weller. *Auf dem Weg zur 4. Industriellen Revolution: Technologien und erkennbare Anwendungen*. Techn. Ber. Berlin: Humboldt Universität, 2014.
- [142] E. Wolfrum und C. Arendes. *Globale Geschichte des 20. Jahrhunderts*. Hrsg. von M. Erbe. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer, 2007.
- [143] D. Ziegler. *Die Industrielle Revolution*. Zweite Auflage. Darmstadt: WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), 2009.
- [144] H. Zwölfer. „Was bedeutet eigentlich "ökologische Stabilität"?“ In: *Buch: Bayreuther Hefte für Erwachsenenbildung; Heft 3: Ökologie und Zukunftssicherung* (1978), S. 13–33.

Abbildungsverzeichnis

5.1	Die vier Stufen „industrieller Revolutionen“	12
5.2	Entwicklung des Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukts zwischen 1500 und 1998 in den Ländern China, Indien, Afrika und England	17
5.3	Entwicklung des Pro-Kopf-Bruttoinlandsprodukts zwischen 1500 und 1998 in den Ländern Deutschland, USA, Österreich und England	20
5.4	Automation - Kreislauf der Beeinflussungen	33
5.5	Technologieentwicklung im Zuge der „Industrie 4.0“	39
5.6	Kette des Datenflusses in der Industrie 4.0	40
5.7	Alternative Einteilung der „industriellen Revolutionen“ aus der Literatur	52
5.8	„Industrie 5.0“ als Nachfolgeversion der vorangegangenen „industriellen Revolutionen“	60
6.1	Mensch als Verursacher und Empfänger im globalen Kreisprozess	63
6.2	Zyklischer Materialfluss in „Typ III“ Ökosystemen	66
6.3	Modell eines „Typ III“ Industriesystems auf Basis eines natürlichen „Typ III“ Ökosystems	68
6.4	„Typ I“ und „Typ II“ Ökosysteme	68
6.5	Effektivität versus Effizienz	75
6.6	Schematische Darstellung der „Circular Economy“ inklusive technischem und biologischem Kreislauf nach M. Braungart, W. McDonough und EPEA	81
6.7	Triple Top Line	82
6.8	Verknüpfung von Technischer Biologie und Bionik	83
6.9	Aspekte und Teilaspekte der Bionik	84
6.10	Flussdiagramm der Analogieforschung. Bionischer Form- und Funktionsvergleich	86
6.11	Stufen der Zusammenarbeit. Einbringung bionischer Anregung in die technische Entwicklungskette	88
6.12	Methoden Datensammlung Bionik	88
6.13	Interaktion zwischen biologischem Verstehen und technischem Gestalten	90
6.14	Speichelpumpe einer Rinderwanze	92
6.15	Zusammensetzung Hämatokrit	93
6.16	Feinbau der Eierschale der Schmeißfliege	94
6.17	Präriehundbau und Baudurchlüftung	95
6.18	Beziehungsschemata für den Waldrand	97
6.19	Klassischer Regelkreis mit den gängigen kybernetischen Bezeichnungen	100
6.20	Zweierlei Wachstum	102
6.21	Ökologische und ökonomische Organisationsprinzipien	111

Tabellenverzeichnis

4.1	Verwendete Literaturdatenbanken, Suchmaschinen und Bibliotheken	8
5.1	Überblick der Beschäftigungsverteilung in den Niederlanden, Großbritannien und den USA zwischen 1700 bis 1998 auf die drei Wirtschaftssektoren	15
5.2	Herkunft des Schienenbestandes preußischer Eisenbahnen, 1843-1863	22
5.3	Wendepunkte, die sich bis zum Jahr 2025 ereignen sollen	46
8.1	Überblick über die Industrieversionen und ihre ungefähre zeitliche Dauer	132