

Industrial Symbiosis – Potenziale für einen fabrikübergreifenden Ressourcenaustausch

Uwe Dombrowski, Alexander Karl, Philipp Krenkel

Institut für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung, TU Braunschweig

Unterschiedliche Trends wie beispielsweise die zunehmende Globalisierung, die Individualisierung der Kundenwünsche und das steigende Umweltbewusstsein stellen Unternehmen vor große Herausforderungen. Als eine Reaktion auf diese Herausforderungen haben Unternehmen verstärkt eine Fokussierung auf ihre Kernkompetenzen realisiert, die in der Regel zu einer verringerten Fertigungstiefe und einer veränderten Beschaffungsstrategie führen.

Auch wenn grundsätzlich aus der Globalisierung ein fortlaufender Prozess der Vernetzung resultiert, ist der tatsächliche Grad der Vernetzung zwischen einzelnen Unternehmen sehr gering und meist nur linear ausgeprägt. Insbesondere die unternehmensübergreifenden Verbesserungen werden vernachlässigt oder nur sehr eingeschränkt berücksichtigt. Eine Möglichkeit der unternehmensübergreifenden Verbesserung lässt sich in naturwissenschaftlichen Phänomenen finden.

Seit vielen Jahrzehnten beschäftigen sich Wissenschaftler mit der Übertragung von Phänomenen aus der Natur in die Technik. Beschrieben wird diese Wissenschaft durch den Begriff der Bionik. Dieses interdisziplinäre Forschungsgebiet ermöglicht eine systematische Lösungsfindung wirtschaftlicher und technischer Fragestellungen am Beispiel der Natur; aus der bereits viele existierende Erfindungen realisiert werden konnten. Exemplarisch können hierfür das U-Boot (Fisch), die Winglets am Flugzeug (Vogel) oder der Lotus-Effekt (Lotuspflanze) genannt werden.

Angelehnt an die Bionik leitet sich die Idee der Industrial Symbiosis ab. Unter dem Begriff „Symbiose“ wird ein Austausch von Material, Energie und/oder Informationen zwischen mindestens zwei Lebewesen verstanden. Ein zentraler Aspekt der Symbiose ist dabei die Tatsache, dass der Benefit für beide Teilnehmer größer als der einzelne Nutzenvorteil ist.

Das Ziel des folgenden Beitrags ist die systematische Aufarbeitung des Themenschwerpunktes Industrial Symbiosis. Diese soll die Grundlagen zur Realisierung eines unternehmensübergreifenden, gemeinschaftlichen Ressourcenansatzes bilden, der zu Wettbewerbsvorteilen mindestens zweier Unternehmen führt. Die Realisierung dieser Wettbewerbsvorteile basiert auf einem digitalen oder physischen Austausch von Ressourcen wie beispielsweise Material, Energie, Nebenprodukten oder Know-how. Hierbei soll insbesondere die systematische Konzeptionierung dieser Partnerschaften zwischen Unternehmen thematisiert werden.

1 Produktionssysteme im Wandel

1.1 Identifizierung unterschiedlicher Trends

Es können unterschiedliche Trends identifiziert werden, welche die gesamte Struktur des globalen Unternehmensumfeldes und damit die unternehmerischen Prozesse beeinflussen. Ziel dieses Kapitels ist es, einen Überblick solcher Trends darzustellen, die sich auf die Produktionssysteme nachhaltig auswirken und deren Berücksichtigung für Planungsprozesse zwingend erforderlich ist.

Herkunft der Trends ist nahezu ausnahmslos der Markt und der Kunde selbst. (Anderl et al. 2012), (Albrecht et al. 2013) Diese Trends wirken als externe Störgrößen auf die Unternehmen und deren Produktionssysteme. Sie sind „...geprägt durch eine Vielzahl sich überlagernder und gegenseitig beeinflussender Faktoren, die sich in ihrem Zusammenwirken verstärken und ein turbulentes Umfeld zur Folge haben“ (Cisek et al. 2002), (Nyhuis et al. 2008). Grundlegend lassen sich vier verschiedene relevante Trends aggregieren. Im Folgenden soll diese Gruppierung genauer spezifiziert und deren Relevanz für die Unternehmung detailliert erläutert werden. (Anderl et al. 2012)

- **Globalisierung**
- **Individualisierung**
- **Verknappung der Ressourcen und Umweltbewusstsein**
- **Informations- und Kommunikationstechnologie**

Obwohl die **Globalisierung** sich über die Bereiche Individuen, Gesellschaften, Institutionen und Staaten erstreckt, erfolgt im Rahmen dieser Betrachtung die ausschließliche Fokussierung auf die unternehmerischen Prozesse. Bei der Erschließung neuer Märkte im Zuge der Globalisierung lassen sich speziell für Unternehmen zwei unterschiedliche Ereignisse voneinander abgrenzen:

- Unternehmensinterne örtliche Verteilung (interne Funktionsebene)
- Unternehmensexterne Verteilung (externe Stakeholderebene)

Neue Produkte werden nicht mehr ausschließlich von Herstellern eigenständig initiiert und zur Serienreife ausgearbeitet; vielmehr sind diese Produkte heutzutage das Resultat einer engen Zusammenarbeit unterschiedlicher, unternehmensinterner und -externer Funktionsbereiche. Die Streuung der Produktentstehungs- und Produktionsprozesse hat erhöhte Koordinationsaufgaben und einen deutlich verstärkten Integrationsaufwand zur Folge. Hierbei gilt es, nicht nur unterschiedliche Interessen einzelner Abteilungen, z. B. Marketing-, Vertriebs- und Produktionsabteilung, zu koordinieren, sondern vermehrt steigende überregionale Distanzen zwischen einzelnen Abteilungen zu überwinden. (Eigner/Stelzer 2013), (Sanz et al. 2007) Ziele der regionalen Verschiebung liegen in Verbesserungen der Kostenstrukturen und in einer Verbesserung der Wettbewerbssituation. Gleichzeitig können durch die globale Vernetzung mehr Kunden über erweiterte Vertriebswege erreicht werden. Häufig sind mit diesen Chancen auch Risiken verbunden, die sich aufgrund zahlreicher Defizite im Bereich

der Qualität, Flexibilität, Logistik und Kommunikation entwickeln. (Hofbauer et al. 2012), (Arndt 2015)

Entsprechend einer Studie des VDA ist China bereits heute der größte Absatzmarkt für die deutsche Automobilindustrie. China stellt demnach für die Automobilzulieferer einen der wichtigsten Märkte für zukünftige Investitionen dar. Die Studie geht davon aus, dass zum Jahr 2025 über 50 % der weltweiten Automobilproduktion in Asien erfolgt. (Berking et al. 2012) Bereits heute wird angenommen, dass nicht nur in der Automobilindustrie, sondern in vielen weiteren Branchen der Anteil an fremdbezogener Wertschöpfung bereits deutlich über 60 % liegt. Zukünftig ist mit einer weiteren Verschiebung sämtlicher Wertschöpfungsprozesse in Richtung der Lieferanten zu rechnen. (Glock 2010) Die Verlagerung der Wertschöpfungsprozesse erfolgt nicht nur aufgrund von geringeren Lohnkosten und eigenen Kapazitätsengpässen. Zunehmend werden Lieferanten und weitere externe Partner gezielt zur strategischen Know-how-Erweiterung in die unternehmerischen Prozesse eingebunden. (Dombrowski/Karl 2016)

Neben den bereits skizzierten Trends ist des Weiteren eine **Individualisierung** der Gesellschaft zu beobachten, die sich exemplarisch in individualisierten Kundenwünschen widerspiegelt. Darüber hinaus führen ökonomische Trends zu einem geänderten Nachfrageverhalten der Kunden. Kunden erhöhen ihre Anforderungen an unterschiedliche, zum Teil stark konvergierende Branchen. (Anderl et al. 2012), (Albrecht et al. 2013) Insgesamt sind diese unterschiedlichen Anforderungen nicht nur gestiegen, sondern wurden um neue zusätzliche, wie beispielsweise den Innovationsgrad, ergänzt. (Feldhusen/Grote 2013) Resultat dieser Entwicklungen ist ein Zielkonflikt: Auf der einen Seite fordern Kunden eine zunehmend höhere Qualität der Produkte und Dienstleistungen bei kürzeren Lieferzeiten. Auf der anderen Seite sinkt die Bereitschaft der Kunden, für diesen Mehrwert einen höheren Preis zu zahlen. (Dombrowski et al. 2008), (Arndt 2015) Aus den höheren Anforderungen und der geringeren Bereitschaft, die damit verbundenen Preise zu zahlen, steigt der Preisdruck auf dem gesamten branchenübergreifenden Markt erheblich. Resultierend geht ein verschärfter Wettbewerb hervor. (Wildemann 2013), (Berking et al. 2012) Unternehmen sind gezwungen, diesen Preisdruck in der Wertschöpfungskette und damit an den Lieferanten weiterzugeben. Der Wettbewerb findet daher vermehrt innerhalb der Wertschöpfungskette statt. (Sanz et al. 2007), (Arndt 2015) Verstärkt wird die Komplexität der Anforderungen dahingehend, dass es Unternehmen zunehmend nicht möglich erscheint, präzise Nachfrageprognosen durchzuführen (Berking et al. 2012).

Neben der Globalisierung und Individualisierung kann eine zunehmende, weltweite **Verknappung der Ressourcen** als ein weiterer relevanter Trend identifiziert werden. Gründe für die zunehmende Verknappung der Ressourcen sind das globale Bevölkerungswachstum, die grundsätzlich höhere Nachfrage sowie die Endlichkeit von Schlüsselressourcen. Von einer Verknappung sind sowohl Erdöl, Kohle und Erdgas, aber auch wichtige Metalle betroffen. Exemplarisch ist dieser zunehmende Bedarf beim Erdgas zu beobachten, dessen Verbrauch sich annähernd alle 25 Jahre verdoppelt. (Wahl 2008) Auch im Bereich der Metalle lässt sich diese Verknappung beispielsweise an den Edelmetallen Silber und Platin aufzeigen (New Scientist 2007). Mit dem bereits skizzierten Bevölkerungswachstum und der steigenden Nachfrage geht ein signifikanter Anstieg der Industrieemissionen einher.

Begleitet durch steigende Treibhausgasemissionen und einen wachsenden Energiebedarf, resultiert im Zuge der globalen Erderwärmung ein steigendes Umweltbewusstsein der Bevölkerung. (Dombrowski/Ernst 2014)

Der Sektor der **Informations- und Kommunikationstechnologie** erfährt eine beträchtliche Komplexitätszunahme. Eine 2012 durchgeführte Studie des VDA identifiziert den Bereich der Technologie als einen der bedeutendsten Risikotreiber für die Automobilbranche. (Berking et al. 2012) Die zunehmende Bedeutung der Technologie führt dazu, dass innovative Schrittmachertechnologien mit hoher Leistungstiefe erkannt werden müssen, bevor sich diese über die Schlüsseltechnologie zur Basistechnologie wandeln (Groher 2003). Ein typisches Beispiel der Technologiekomplexität stellt die Erfindung des Lasers dar, der zunächst als Schrittmachertechnologie aufkam und sich innerhalb kurzer Zeit in unterschiedlichsten Branchen zur Basistechnologie wandelte. (Wiendahl 2014) Der Technologizeyklus kann als Referenz herangezogen werden, um die fortlaufende Komplexitätserhöhung aufzuzeigen. Während gegenwärtig die Komponenten- und Modulzyklen zwischen drei und sieben Jahren liegen, verzeichnen die Elektronikzyklen ein durchschnittliches Intervall von sieben Monaten. Noch radikaler manifestiert sich dies in der Softwareentwicklung, bei der durchschnittlich nur fünf Monate pro Zyklus vergehen. (Wildemann 2013), (Groher 2003) Die steigende Technologiekomplexität erschwert es Unternehmen zunehmend, in allen erforderlichen Technologiesegmenten Know-how aufzubauen. Es resultiert eine zunehmende Relevanz der unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit, welche die Einbeziehung unterschiedlicher Schlüsseltechnologien erst wirtschaftlich ermöglicht. (Groher 2003)

Obwohl bereits zahlreiche Anforderungen aus den externen Trends resultieren, existieren auch im Unternehmen Turbulenzen, aus denen Anforderungen identifiziert werden können. (Nyhuis et al. 2008) Um den gesamten Anforderungen zu begegnen, sind Unternehmen gezwungen, gezielt Verbesserungsmaßnahmen zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit einzuleiten. Die Vorgehensweise bei der Umsetzung solcher Verbesserungsmaßnahmen ist äußerst kompliziert, da einzelne Trends und die jeweiligen Anforderungen nicht isoliert betrachtet werden können, sondern sich gegenseitig beeinflussen. Diese Beeinflussung zeigt sich am Beispiel der Globalisierung, die zu erheblichen Mehraufwendungen innerhalb der Informations- und Kommunikationstechnologie führt. (Sanz et al. 2007)

1.2 Dimensionen von Verbesserungsmaßnahmen

Bei einem Unternehmen handelt es sich um ein Gefüge von Verantwortungen, Befugnissen und Beziehungen sowohl auf personeller als auch auf sachlicher Ebene. (DIN EN ISO 9000) Hierbei stellt das Unternehmen und sein Produktionssystem kein isoliertes System dar. Durch verschiedene Einflüsse aus dem Unternehmensumfeld werden die Unternehmen erheblich beeinflusst und deren Handlungen und Intentionen geprägt. (Jetter 2005), (Anderl et al. 2012) Bei den Unternehmens- und Umfeldbetrachtungen können diverse Perspektiven eingenommen werden. Insbesondere die prozess-, funktions- und strukturorientierten Sichtweisen lassen sich hierbei unterscheiden. Unter einem Prozess wird hierbei ein „Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkei-

ten“ verstanden, „der Eingaben in Ergebnisse umwandelt“. (DIN EN ISO 9000) Das Unternehmen wandelt Inputfaktoren in ein konkretes Ergebnis, nämlich ein Produkt bzw. eine Leistung, um und erzeugt dadurch einen Mehrwert. (Arndt 2015), (DIN EN ISO 9000) Während die prozessorientierte Sichtweise das Unternehmen als Summe einzelner Prozesse interpretiert und aufteilt, werden bei der funktions- und strukturorientierten Betrachtung personelle und sachliche Beziehungen fokussiert. Im Folgenden soll daher die strukturorientierte Betrachtung der Unternehmung detaillierter vorgestellt werden.

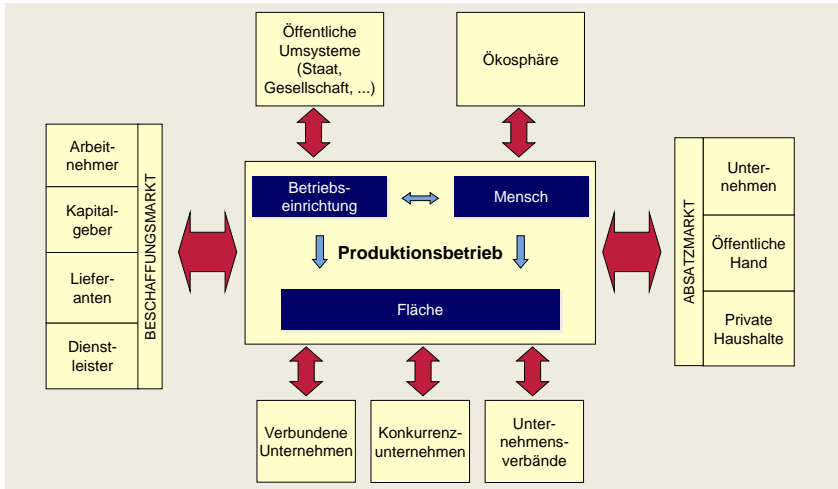


Abbildung 1: Grundstruktur eines Produktionsbetriebs

Abbildung 1 verdeutlicht stark vereinfacht die Grundstruktur eines Unternehmens. Neben dem zentrierten Produktionsbetrieb aus den Elementen Betriebseinrichtung, Mensch und Fläche lassen sich weitere externe Bereiche identifizieren. Hierzu zählen der Beschaffungs- und Absatzmarkt, konkurrierende und verbundene Unternehmen, Unternehmensverbände sowie öffentliche Umsysteme und die Ökosphäre. Bei dem Versuch der Unternehmen, auf die Anforderungen des Umfelds zu reagieren und möglichst erfolgreiche und innovative Produkte für den Absatzmarkt herzustellen, haben Unternehmen seit jeher Verbesserungen forciert. (Albrecht et al. 2013), (Hardeler/Winter 2002)

Dabei haben sich im Laufe der Zeit unterschiedliche Ansätze zur Generierung von Verbesserungsmaßnahmen etabliert. Abbildung 2 stellt insgesamt fünf verschiedene Dimensionen für Verbesserungsmaßnahmen grafisch dar.

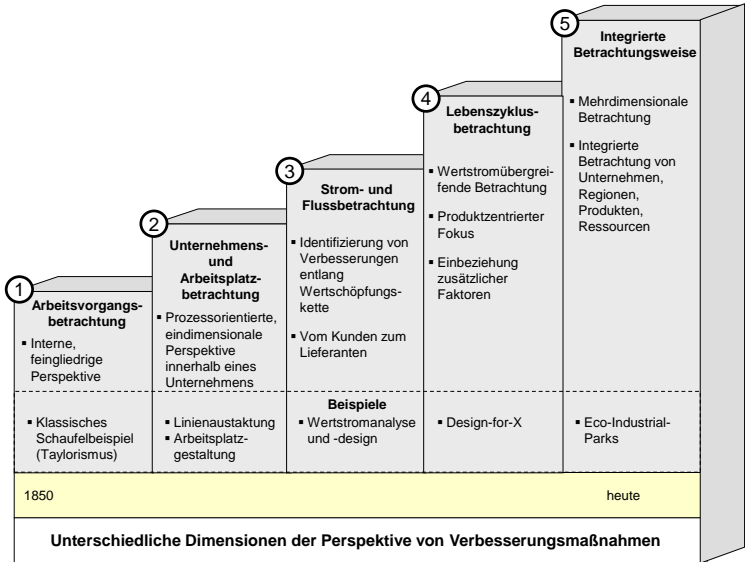


Abbildung 2: Unterschiedliche Dimensionen von Verbesserungsmaßnahmen

Die erste Stufe wird hierbei als **Arbeitsvorgangsbetrachtung (1)** bezeichnet und fokussiert eine rein unternehmensinterne Sichtweise der Verbesserungen. Ein typisches Beispiel dieser Verbesserungsansätze stellt das berühmte Schaufelbeispiel von Taylor dar. Taylor untersuchte den Arbeitsvorgang des Schaufelns von Kohle, Erz und Sand. Diesen Arbeitsvorgang analysierte er detailliert und identifizierte so jenes Gewicht, bei dem ein Schaufelvorgang für einen Menschen mit der höchsten Effizienz mehrfach durchgeführt werden kann. Die Arbeitsvorgangsbetrachtung analysiert damit ausschließlich interne, feingliedrige Arbeitsschritte und versucht diese möglichst effizient zu gestalten.

Auch die **Unternehmens- und Arbeitsplatzbetrachtung (2)** konzentriert sich auf die Effizienzsteigerung interner Unternehmensabläufe. Im Gegensatz zu der Arbeitsvorgangsbetrachtung werden hierbei nicht einzelne feingliedrige Arbeitsvorgänge, sondern die Summe einzelner Vorgänge betrachtet. Schwerpunkte solcher Verbesserungsansätze sind daher vornehmlich an bestimmte Arbeits- und Montageplätze sowie Fertigungsstraßen und -linien gebunden. Exemplarisch lässt sich hierbei die sogenannte Linienausstattung heranziehen, bei der Parameter einzelner Arbeitsvorgänge so gewählt werden, dass die Summe aller Arbeitsschritte möglichst effizient durchgeführt werden kann.

Bei der **Strom- und Flussbetrachtung (3)** liegt der Betrachtungsfokus nicht nur auf internen Arbeitsvorgängen, sondern berücksichtigt auch weitere Wirtschaftsteilnehmer. Ziel der Strom- und Flussbetrachtung ist die Verbesserung des gesamten Flusses. Ein konkretes Beispiel stellt die sogenannte Wertstrommethode dar. Hierbei werden gesamte Flüsse zwi-

schen dem Kunden und dem Lieferanten aufgenommen und auf mögliche Verbesserungsansätze analysiert. Schwerpunkt dieser Verbesserungen liegt nicht auf einzelnen Arbeitsvorgängen, sondern auf einer ganzheitlichen Verbesserung, die zu einer höheren Kundenzufriedenheit führt.

Die bisherigen Verbesserungsdimensionen betrachten lediglich die direkte Verbesserung der Produktionsprozesse. Die **Lebenszyklusbetrachtung (4)** geht über diese Prozesse hinaus. Dabei werden nicht isolierte Produktionsvorgänge und -abläufe betrachtet, sondern weitergehende Verbesserungsmaßnahmen initiiert. Einer der Grundgedanken liegt in der Erkenntnis, dass das Produkt selbst einen entscheidenden Einfluss auf die Produktionsabläufe hat. Insbesondere die Phasen der Produktentstehung haben großen Einfluss auf spätere Produzierbarkeit eines Produktes und den damit verbundenen Kosten-, Zeit- und Qualitätszielen. Ein Beispiel dieser Lebenszyklusbetrachtung zeigt sich bei den sogenannten „Design for excellence“-Ansätzen, zu denen eine Reihe unterschiedlicher Methoden gehört. Durch diese Methoden können z. B. montage- (Design for Assembly) und demontagefreundliche (Design for Recycling) Konstruktionen der Produkte realisiert werden. Diese Methoden ermöglichen es, gezielt Verbesserungsmaßnahmen am Produkt umzusetzen, wodurch unterschiedliche Verbesserungen der Produktionsprozesse realisiert werden können. Die demontagefreundliche Konstruktion findet sich bereits in einer Vielzahl von Konzepten wieder. Durch den Trend zum Up- und Downcycling werden Materialien und Stoffe aus den unzeitgemäßen Produkten am Ende des Lebenszyklus aufbereitet und für neue Produkte wiederverwertet. (Pahl et al. 2013)

Die **integrierte Betrachtungsweise (5)** geht über den singulären Betrachtungsstrang und damit die Lebenszyklusbetrachtung hinaus und forciert einen übergreifenden Ansatz. Im Fokus steht dabei das mehrdimensionale Verbessern und damit die Einbeziehung jeglicher Umweltsysteme eines Unternehmens. Allein hierdurch kann auf die in Kapitel 1 beschriebenen Trends angemessen reagiert werden. Konkrete Beispiele zeigen sich bereits in der praktischen Umsetzung einzelner Industrieparks, bei denen unternehmensübergreifend eine Ressourcenvernetzung stattfindet. Innovative Konzepte ermöglichen hierbei exemplarisch den Austausch und die Nutzung von Abwärme und Abwasser.

2 Basis der Industrial Symbiosis

2.1 Von der Natur lernen

Immer wieder konnten in den vergangenen Jahrzehnten Naturphänomene identifiziert, analysiert und auf technische und wirtschaftliche Fragestellungen angewendet werden. Eingangs wurden hierzu bereits die Beispiele des U-Boots (Fisch), der Winglets am Flugzeug (Vogel) und des Lotus-Effektes (Lotuspflanze) aufgezeigt. Die Betrachtung dieser Phänomene zielt nicht nur auf die Identifizierung rein technischer Ansätze ab, sondern berücksichtigt zunehmend organisationale Phänomene, die beispielsweise auf die Produktionsorganisation übertragen werden können. (Reinhart et al.) Unter dem als „Bionik“ bekannten Begriff werden Forschungs- und Entwicklungsansätze verstanden, „die ein technisches Anwendungsinteresse verfolgen und auf der Suche nach Problemlösungen, Erfindungen und Innovationen Wissen aus der Analyse lebender Systeme heranziehen und dieses Wissen auf technische Systeme übertragen“ (VDI 6220). Wie aus der zitierten VDI-Norm zu entnehmen, geht es dabei also um eine systematische Vorgehensweise zur Identifizierung von Naturphänomenen und deren strukturierte Übertragung auf andere Anwendungsgebiete. Die Bionik stellt damit ein interdisziplinäres Forschungsfeld dar.

Auch der Begriff „Symbiose“ entstammt aus der Beschreibung eines Naturphänomens und ist demnach als Terminus der Biologie zuzuordnen. Während der Begriff anfänglich für jegliches enge Zusammenleben zweier unterschiedlicher Tier- und Pflanzenarten verstanden wurde, wird der Begriff heutzutage für jegliche enge Formen des Zusammenlebens verwendet, wobei beide Partner einen Nutzen haben. Eine gängige Klassifizierung der Symbiose stellt Abbildung 3 dar. (Munk/Brose 2009) Demnach lässt sich die klassische Symbiose in die drei Klassen Protokooperation, Mutualismus und Eusymbiose einteilen.

Symbiosen in der Natur		
Protokooperation (Allianz)	Mutualismus (Nutznießertum)	Eusymbiose (obligate Symbiose)
<ul style="list-style-type: none"> Lockerste Form der Symbiosen Beide Arten ziehen zwar einen Vorteil aus dem Zusammenleben, sind aber ohne einander gleichwohl lebensfähig 	<ul style="list-style-type: none"> Regelmäßige, aber nicht lebensnotwendige Beziehung der Symbionten (lockere Symbiose) Beide Partner können ohne einander weiterleben, es entstehen jedoch zum Teil erhebliche Beeinträchtigungen 	<ul style="list-style-type: none"> Stärkste Form der symbiotischen Partnerschaft Isolierte Lebensfähigkeit der Partner ist nicht mehr gegeben Der Partner alleine ist nicht mehr lebensfähig

Abbildung 3: Übersicht verschiedener Symbiosen in der Natur

Bei der Protokooperation handelt es sich um die lockerste Form der Symbiose, die auch als *Allianz* bekannt ist. Beide Arten ziehen bei der Partnerschaft einen Vorteil, jedoch ist ein Zusammenleben ohne einander genauso möglich. (Munk/Brose 2009) Unter dem Begriff *Mutualismus (Nutznießertum)* wird eine regelmäßige, aber nicht lebensnotwendige Partnerschaft verstanden. Diese Form der Partnerschaft ermöglicht beiden Parteien das eigenständige Überleben. Anders ist dies bei der *Eusymbiose (obligatorische Symbiose)*, bei der die Verbindung der beiden Symbiosepartner so intensiv ist, dass das isolierte Leben ohne Partner nicht möglich wäre. Das wohl bekannteste Beispiel für eine Symbiose in der Natur ist das Bestäuben von Blütenpflanzen durch Bienen, Hummeln und Wespen. Für das Bestäuben der Pflanzen werden Pollen und Nektar ausgetauscht.

Werden die in Abbildung 3 genannten Arten der Symbiosen von der Natur auf den industriellen Bereich übertragen, wird dies durch den Begriff der sogenannten **Industrial Symbiosis** beschrieben. Der Ansatz der Industrial Symbiosis überwindet dabei traditionelle Branchen und betrachtet diese im Kontext eines ganzheitlichen Ansatzes, um gemeinsame Wettbewerbsvorteile durch den Austausch von Ressourcen wie Materialien und Energie zu erzielen. (Chertow 2000), (Massard et al.)

Dementsprechend zielt dieser Ansatz grundsätzlich auf die in Abbildung 2 dargestellte Stufe 5 bzw. die beschriebene integrierte Betrachtungsweise zur Umsetzung von mehrdimensionalen Verbesserungen. Letztendlich wird damit eine verbesserte Reaktion auf die in Kapitel 1 genannten Trends ermöglicht. Der Schlüssel zur Industrial Symbiosis liegt dabei in der Kollaboration und der synergetischen Nutzung von Möglichkeiten, die aus der geografischen Nähe resultieren (Chertow 2000). Im Ergebnis resultiert eine mehrdimensionale Verbesserung unter Einbeziehung mehrerer relevanter, in Abbildung 1 skizzierter, externer Bereiche. Unterschieden werden dabei vier grundsätzliche Prinzipien: (Korhonen 2000)

1. Roundput (Abfallverwertung),
2. Diversität der involvierten Akteure sowie Material- und Energieströme,
3. Interdependenz in Kooperation und
4. Lokalität (lokale Material- und Energieströme).

2.2 Herkunft und Definition der Industrial Symbiosis

Bereits 1989 veröffentlichten Frosch und Gallopoulos einen Beitrag, wonach die Reduzierung des Energie- und Materialverbrauchs erreicht werden soll, indem die Ausflüsse eines Prozesses als Ausgangsstoff für andere Prozesse dienen. (Frosch und Gallopoulos 1989) Ein Beispiel der Umsetzung in der industriellen Praxis stellt ein Cluster von Unternehmen verschiedener Branchen rund um ein Kraftwerk in Kalundborg, Dänemark dar. Dieses Cluster teilt untereinander verschiedene Ressourcen. (Knight 1990), (Barnes 1992) Initiatoren dieser Symbiose waren eine Ölraffinerie, ein Kraftwerk, eine Wandbauplatten-

Fabrik, eine Arzneimittelfabrik und die Stadt Kalundborg, die Grundwasser, Oberflächenwasser, Abwasser, Dampf und Strom teilen und auch eine Vielzahl von Nebenprodukten austauschen, die als Ausgangsmaterialien für andere Prozesse fungieren (siehe Abbildung 4). (Chertow 2000) Entsprechend von im Jahr 2000 veröffentlichten Ergebnissen, fand pro Jahr ein Austausch von rund 2,9 Millionen Tonnen Material statt. Der Wasserverbrauch konnte innerhalb der beschriebenen Gemeinschaft um 25 % reduziert werden und rund 5.000 Haushalte erhielten Fernwärme. Des Weiteren fanden ein Austausch von Informationen und Ausrüstungen sowie die verbesserte Einbindung des Personals statt. Im Ergebnis hat diese Symbiose damit ökologische und ökonomische, aber auch soziale Zielgrößen verbessert. (Chertow 2000)

Weitere Veröffentlichungen zu diesem Beispiel zeigen, dass bis ins Jahr 2010 insgesamt 33 unterschiedliche Projekte umgesetzt wurden, die sich auf Wasserrecycling (14 Projekte), Energieaustausch (7 Projekte) und Abfallrecycling (12 Projekte) verteilen. (Christensen 2012)

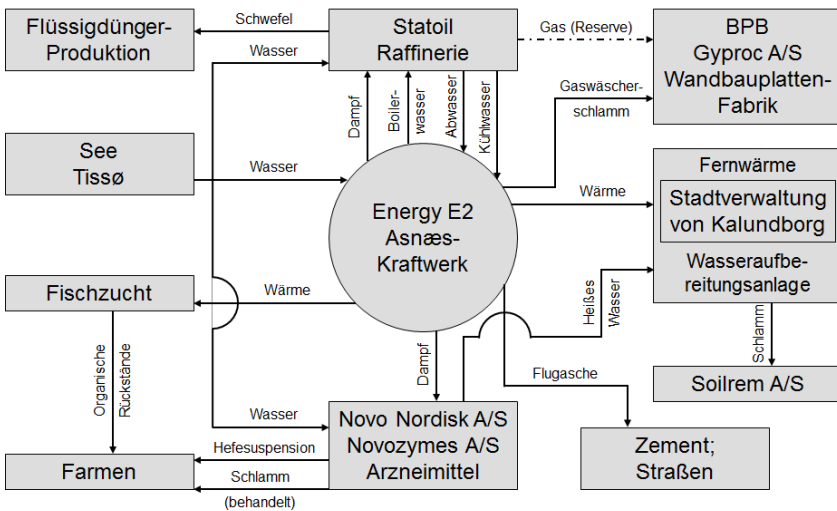


Abbildung 4: Überblick der Vernetzung (Darstellung angelehnt an Chertow 2007)

Basierend auf diesem Beispiel entstand der Begriff der Industrial Symbiosis, der eine Kooperation zwischen verschiedenen Branchen meint, in der die Anwesenheit einer jeden die Viabilität der anderen vergrößert und die Nachfrage der Gesellschaft nach Ressourceneinsparungen und Umweltschutz miteinbezieht (Engberg 1993). In der einschlägigen Literatur wird die Thematik der Industrial Symbiosis als Teilbereich der Industriellen Ökologie verstanden und diesem untergeordnet. Im Gegensatz zu weiteren Ansätzen im Bereich der

Industriellen Ökologie, fokussiert die Industrial Symbiosis insbesondere die Material- und Energieströme über regionale und lokale Organisationen. (Massard et al. 2014) Dieser Auffassung folgend definieren Chertow et al. das Konzept der Industrial Symbiosis als Zusammenschalten traditionell und regional getrennter Branchen in einem kollektiven Ansatz zur Generierung von Wettbewerbsvorteilen parallel zu einem physischen Austausch von Materialien, Energie, Wasser und Nebenprodukten. Die Schlüssel zur Industrial Symbiosis seien ihr zufolge Kollaboration und die synergistischen Möglichkeiten, die geografische Nähe bietet. (Chertow 2000) Auch Massard und Pakarinen et al. teilen das Verständnis, erweitern den Ansatz des Ressourcenaustausches um Dienstleistungen und Infrastruktur - begrenzen jedoch gleichzeitig die Betrachtungsweise auf einen definierten Industrieparks. (Massard et al. 2014), (Massard 2011), (Pakarinen et al. 2010)

Obwohl Industrial Symbiosis als Bestandteil der Industriellen Ökologie angesehen wird, geht ihre Relevanz für eine integrierte Betrachtungsweise weit darüber hinaus. Die alleinige Fokussierung auf die Ökologie ist nicht ausreichend, da vor allem auch ökonomische und soziale Faktoren beeinflusst werden können. Dementsprechend ist sie von Industriellen Ökologie zu lösen und als eigenständige Disziplin zu betrachten.

Basierend auf den genannten Punkten ist die Definition der Industrial Symbiosis zu erweitern: *Industrial Symbiosis beschreibt ein ganzheitliches Konzept zur Realisierung von Wettbewerbsvorteilen mindestens zweier Organisationen durch einen branchenunabhängigen, unternehmens-übergreifenden, gemeinschaftlichen Ressourcenansatz durch den digitalen oder physischen Austausch von Ressourcen, wie z. B. Material, Energie, Nebenprodukten oder Know-how, innerhalb eines individuell definierten Betrachtungsbereichs.*

2.3 Nutzen der Industrial Symbiosis

Durch die Umsetzung des Ansatzes der Industrial Symbiosis werden nicht nur monetäre Ziele verfolgt. Hinzu kommen ökologische und soziale Ziele. Im Ergebnis werden diese Zielgrößen verbessert, da neue Geschäftsmöglichkeiten erschlossen werden, die ohne die Symbiose gar nicht entstanden wären. Während der Umsatz steigt, können die Kosten sinken. Ferner nimmt die Umweltverschmutzung ab; nicht nur wird die Abfallmenge kleiner, sondern auch CO₂-Emissionen sowie der Ausstoß anderer schädlicher Treibhausgase geringer. Einst notwendige Transportabläufe werden überflüssig, Anlagen insgesamt effizienter und Ressourcen besser genutzt. Ebenso können durch eine verbesserte Datengrundlage Kapazitätsauslastungen ebenso steigen. Der Innovationsgrad wird größer und der Lerneffekt nimmt zu, da Wissen zum gegenseitigen Nutzen geteilt wird. Darüber hinaus können neue Arbeitsplätze resultieren. (Wahl 2008, S. 20)

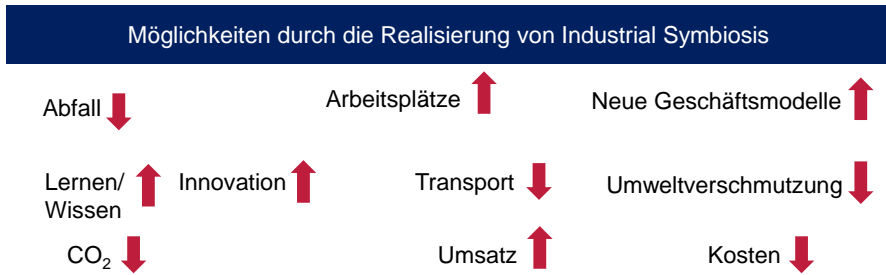


Abbildung 5: Möglichkeiten durch die Realisierung von Industrial Symbiosis (Übersicht angelehnt an Wahl 2008)

3 Industrial Symbiosis im Kontext der Fabrikplanung

In den vorherigen Kapiteln wurden die Grundlagen und die Relevanz des Forschungsfeldes Industrial Symbiosis aufgezeigt. Bei der Themenbetrachtung unter Einbeziehung der Literatur stellt sich heraus, dass es sich bei der Industrial Symbiosis um ein sehr junges Forschungsfeld handelt. Bestehende Literaturansätze sind dabei fallbezogen und besitzen keine Allgemeingültigkeit, die ein grundsätzliches Planungsvorgehen zur Konzeptionierung einer Industrial Symbiosis ermöglicht. Das Beispiel Kalundborg sowie weitere Fallbeispiele zeigen, dass die Bandbreite der Erfolge bei der Umsetzung der Industrial Symbiosis sehr groß sein kann. (Chertow 2007)

Basierend auf der in Kapitel 1 dargestellten Ausgangslage resultiert die Notwendigkeit eines strukturierten generischen Planungsvorgehens zur Identifizierung, Planung und Umsetzung einer Industrial Symbiosis. Ein solches Planungskonzept soll Unternehmen dabei unterstützen, bei Neu- und Umplanungen mögliche Industrial-Symbiosis-Ansätze einzubeziehen und diese erfolgreich umzusetzen.

Zur Realisierung eines solchen Vorgehens muss eine Planungsgrundlage erarbeitet werden, die eine strukturierte Methodik bei der Neu- und Umplanung von Fabriken ermöglicht. In der Literatur finden sich bereits unter dem Aspekt der Fabrikplanung zahlreiche Konzepte, die sich für die Neu- und Umplanung von Fabriken über Jahrzehnte etabliert haben. (VDI 5200), (Arnhold 2013), (Wiendahl et al. 2009), (Kettner et al. 1984) Schon bei der Betrachtung der Hauptziele der Fabrikplanung, wie sie beispielsweise in der VDI-Richtlinie und von Kettner et al. beschrieben werden, zeigen sich identische Zielstellungen zwischen dem Fabrikplanungsprozess und der Industrial Symbiosis. Beide Konzepte fokussieren neben dem Ziel der wirtschaftlichen Realisierung und einer ökologischen Verträglichkeit, einen günstigen Produktions- und Fertigungsfluss, der neben dem reinen Materialfluss auch Personal-, Energie- und Informationsflüsse berücksichtigt. Zudem werden im Rahmen der Fabrikplanung eine menschengerechte Gestaltung der Arbeitsbedingungen, eine gute Flächen- und Raumnutzung sowie eine hohe Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der Bauten,

Anlagen und Einrichtungen fokussiert. (VDI 5200), (Kettner et al. 1984), (Domenech/Davies 2011) Zusätzlich untermauert eine Studie den positiven Erfolg eines innovativen umweltorientierten Verbesserungsprozesses, wenn dieser möglichst früh in die Gesamtplanung von Fabrikplanungsprojekten Berücksichtigung findet. (Massard et al. 2014)

Es kann daher festgehalten werden, dass der Fabrikplanungsprozess einen idealen Referenzprozess darstellt, um auf dessen Basis Ansätze der Industrial Symbiosis zu integrieren. Im Folgenden soll daher der Fabrikplanungsprozess genauer betrachtet werden, um die Anknüpfungspunkte für eine systematische Konzeptionierung des Industrial-Symbiosis-Konzepts abzuschätzen.

3.1 Referenzprozesse der Fabrikplanung

In der Literatur finden sich zahlreiche Vorgehensweisen zur Planung einer Fabrik. (Kettner et al. 1984), (VDI 5200), (Wiendahl et al. 2009), (Arnhold 2013) Differenzierungsmerkmal der jeweiligen Vorgehensweisen und Konzepte stellt die Einteilung und Abgrenzung der einzelnen Planungsschritte zueinander dar. Grundsätzliche Vorgehensweisen im Rahmen der Fabrikplanung können analytischer und synthetischer Natur sein. Obwohl in der relevanten Literatur die Darstellung der Fabrikplanung prinzipiell analytisch (von außen nach innen) erfolgt, hängt die Wahl der tatsächlichen Vorgehensweise von unterschiedlichen Planungsrandbedingungen ab. Insbesondere bereits bestehende technische Anlagen und Maschinen sowie vorhandene Grundstücke führen dazu, dass ein standardisierter Planungsablauf synthetisch (von innen nach außen) erfolgt. Häufig werden in der Realität Planungsprozesse auch mehrfach durchlaufen.

Es gilt festzuhalten, dass in der Literatur trotz der bestehenden Richtlinie und anerkannter Fabrikplanungsprozesse kein einheitliches Verständnis der Fabrikplanung vorliegt. (Aggteleky 1981), (Kettner et al. 1984), (Schmigalla 1995), (Dombrowski 2007) Eine aktuelle und anerkannte Definition aus dem Jahr 2011 liefert die VDI-5200-Richtlinie, die die Fabrikplanung als *„(...) systematische[n], zielorientierte[n], in aufeinander aufbauenden Phasen strukturierte[n] und unter Zuhilfenahme von Methoden und Werkzeugen durchgeführte[n] Prozess zur Planung einer Fabrik von der Zielfestlegung bis zum Hochlauf der Produktion“* auffasst. (VDI 5200)

Im Vergleich zu anderen Modellen der Fabrikplanung ermöglicht das IFU-Referenzmodell einen ganzheitlichen Überblick. Besonders vor dem Hintergrund der Digitalen Fabrik, die eine ganzheitliche Integration der IT-Systeme anstrebt, ist diese Betrachtung daher zu bevorzugen. Auch Industrieparks unterliegen einem ständigen Wandel, in dessen Lebenszyklus nach einer Nutzungsphase bestimmte Bereiche erneuert und wiederaufgewertet werden müssen. (Massard et al. 2014) Besonders das IFU-Referenzmodell berücksichtigt hierbei durch zyklisch iterative Prozessschritte die Nachnutzung und Revitalisierung deindustrialisierter Bereiche.

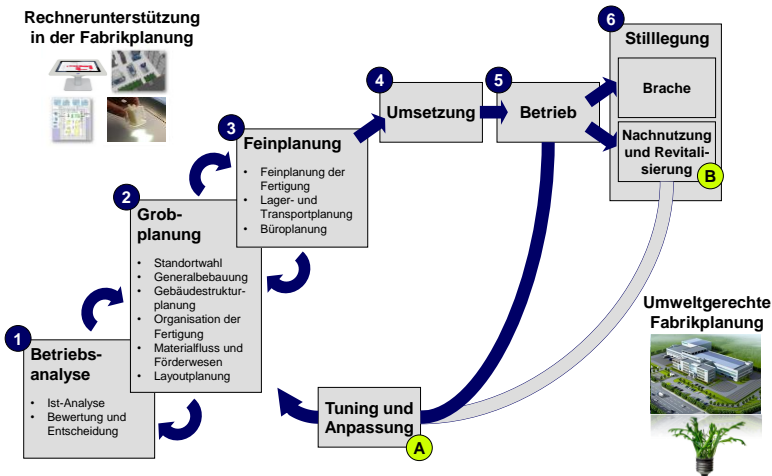


Abbildung 6: Das IFU-Referenzmodell der Fabrikplanung

Wie aus der Abbildung 6 zu entnehmen ist, teilt sich das IFU-Referenzmodell der Fabrikplanung in sechs unterschiedliche Stufen auf. Die **Betriebsanalyse** im Fabrikplanungsprozess basiert auf einer umfassenden Analyse der Ist-Situation, bei der wichtige Betriebsdaten in Bezug auf unternehmensspezifische Ziele und Grundsätze, Produktionsprogramme, Betriebsabläufe, Betriebsmittel sowie die Bedarfe von Betriebsmitteln, Personal, Fläche, Energie, Kapital und Zeit ermittelt werden. (Kettner et al. 1984) Ziel ist die Sammlung möglichst zahlreicher relevanter Informationen, die eine realitätsnahe Planung ermöglichen. Besonders die Fabrikplanung ist aufgrund der mit einer Fabrik verbundenen hohen Investitionssumme auf eine stabile und aussagekräftige Datenbasis angewiesen.

Im Rahmen der **Grobplanung** werden auf Basis der durchgeführten Ist-Analyse unterschiedlichste Varianten gebildet, die für die Umsetzung einer Fabrik infrage kommen. Primär gilt es, einen geeigneten Standort für die Fabrik zu identifizieren und auszuwählen, bei dem verschiedene Standortfaktoren wie beispielsweise Rohstoff-, Energie-, Verkehrs-, Absatz- und Arbeitskräftesituation berücksichtigt werden. (Wiendahl et al. 2009) Weiterhin erfolgt in der Grobplanung die Erstellung einer Generalbebauungs- und Gebäudestrukturplanung, in der die grundsätzliche Anordnung und Struktur der Fabrikgebäude festgelegt wird. (Henn 1961), (Ringes 1976), (Kettner et al. 1984) Wurde bis hierhin die fabrikinterne Planung nicht berücksichtigt, erfolgt im Rahmen der Grobplanung die Organisation der Fertigung, bei der gemäß zugrundeliegender Fertigungsverfahren und -prinzipien die Organisationsformen der Fertigung geplant werden. Weiterhin werden Material- und Förderwesen geplant und die Layoutplanung vorgenommen. (Kettner et al. 1984)

Gemäß dem Referenzprozess folgt nach der Grobplanung die **Feinplanung**, die die Bereiche Feinplanung der Fertigung, Lager- und Transportplanung sowie Büroplanung umfasst. Ziel der Feinplanung ist das „anforderungsgerechte und störungsfreie Zusammenwirken

von Mensch, Maschine und Material an jedem Arbeitsplatz“. Wurden in der Grobplanung überwiegend Flächendaten verwendet, erfolgt die Feinplanung auf Basis (flächen-) maßstäblicher Maschinen- und Anlagendaten. Der Einsatz der Planungs- und Simulationstechnik variiert je nach Planungsprojekt. Beispiele für den Einsatz von Planungswerkzeugen stellen das einfache (Papier-) Schiebelayout und die digitale CAD-Planung dar. Aufgaben der Feinplanung stellen des Weiteren die Auswahl und Dimensionierung geeigneter Materiallager vom Rohstoff bis zum Fertigwarenlager dar. Berücksichtigt werden hierbei nicht nur die Lager, sondern auch geeignete Transportmittel, die für den Transport der Materialien eingesetzt werden sollen.

Mit dem Beginn der **Umsetzung** werden die rein planerischen Tätigkeiten der vorhergehenden Phasen beendet und eine physische Realisierung der Fabrik umgesetzt. Mit der Fertigstellung dieser Phase beginnt der **Betrieb** der Fabrik.

Auch eine Fabrik ist steigenden Anforderungen ausgesetzt und unterliegt einem begrenzten Lebenszyklus. Um den Lebenszyklus einer Fabrik zu verlängern, können gemäß den im Kapitel 1.2 dargestellten unterschiedlichen Betrachtungsdimensionen fortlaufend Verbesserungsprozesse implementiert werden, die im Rahmen der Fabrikplanung als Tuning und Anpassung aufgefasst werden. Aufgrund unterschiedlicher fabrikbedingter Restriktionen können auch kontinuierliche Verbesserungsprozesse nicht fortlaufend den Betrieb einer Fabrik gewährleisten. Unter Umständen ist dann eine **Stilllegung** der Fabrik notwendig, da diese nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden kann. Ist eine Stilllegung vermeidbar, kann ebenfalls durch die Anwendung von Tuning- und Anpassungs-Maßnahmen die Weiternutzung der Fabrik realisiert werden. In einem solchen Fall beginnt der Lebenszyklus der Fabrik erneut. Im Falle einer unvermeidbaren Stilllegung bleibt neben der anderweitigen Nutzung keine weitere Alternative übrig – aus der Fabrik wird in diesem Fall eine Brache. (Stahl et al. 2003)

3.2 Weiterentwicklung des Fabrikplanungsprozesses

Viele der bestehenden Literaturansätze zur Industrial Symbiosis fokussieren rein technische Umsetzungsanalysen und Möglichkeiten zur Realisierung des Ressourcenaustausches. Domenech und Davies erkennen die Defizite in der wissenschaftlichen Literatur zur Industrial Symbiosis und zeigen den Missstand und die Relevanz der sozialen Aspekte auf. (Domenech/Davies 2011) Kurup et al. identifizieren darüber hinaus ökologische und ökonomische Aspekte, welche auf die Industrial Symbiosis einen Einfluss haben und bei Realisierungsmaßnahmen zusätzlich herangezogen werden müssen. (Kurup et al. 2005), (Agarwal/Strachan 2006) Die hohe Interdisziplinarität der Industrial Symbiosis kann auch in den von Christensen identifizierten Erfolgsfaktoren bestätigt werden. Christensen subsummiert, dass für die erfolgreiche Umsetzung der Industrial Symbiosis in Kalundborg nicht nur rein technische Aspekte, sondern auch industrielle, ökonomische, politische und kommunikative Faktoren einen hohen Einfluss gehabt haben. (Christensen 2012) Es ist daher zwingend notwendig, nicht isoliert einzelne Fragestellungen bei der Industrial Symbiosis zu betrachten, sondern basierend auf den bestehenden Erkenntnissen eine breite Basis relevanter Informationen zur Umsetzung einzubeziehen. (Abbildung 7 zeigt auf Basis

einer Literaturanalyse relevante Fragestellungen und Indikatoren, die bei der Industrial Symbiosis zu berücksichtigen sind. Domenech/Davies 2011), (Christensen 2012), (Kurup et al. 2005), (Agarwal/Strachan 2006)

	Technische Fragestellungen	Vertragliche Fragestellungen	Wirtschaftliche Fragestellungen	Soziale Fragestellungen	Ökologische Fragestellungen
Grundsätzliche Fragestellungen	Ist eine Kompatibilität der einzelnen Prozesse gegeben und wie müsste diese technisch gestaltet werden?	Bestehen gesetzliche/vertragliche Vorschriften und sind diese mit der Industrial Symbiosis vereinbar?	Ist die Symbiose wirtschaftlich umsetzbar und wie sollen die Kosten verrechnet werden?	Welcher soziale Mehrwert kann generiert werden? Welche sozialen Voraussetzungen liegen vor?	Welche umweltrelevanten Vorteile entstehen durch die Industrial Symbiosis?
Relevante Indikatoren (Beispiele)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Austauschprodukte ▪ Nähe der Industrieanlagen ▪ Effizienz des Transportes (z. B. Energieverlust) ▪ Identifizierung von Ankermietern ▪ Versorgungssicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kaufvertrag ▪ Allgemeiner Umweltschutz ▪ Abfallwirtschaft ▪ Immissionsschutz ▪ Gewässerschutz ▪ Arbeitsschutz ▪ Sonstige Gesetze 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Teilweise ungleiche Geschäftsvorteile durch Symbiose ▪ Geschäftsmöglichkeiten ▪ Löhne und Arbeit ▪ Umsatz und Gewinn ▪ Steuereinnahmen ▪ Umweltkosten ▪ Transportkosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kommunikation und Kompetenz ▪ Schaffung von Arbeitsplätzen ▪ Berufssicherheit ▪ Fähigkeits-Level ▪ Gesundheit und Wohlbefinden ▪ Stabilität ▪ Diebstahlrate ▪ Bildungsstandards ▪ Sinnesreize 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Landnutzung ▪ Biodiversität ▪ Energieverbrauch ▪ Wasserverbrauch ▪ Emissionen (Luft, Land und Wasser) ▪ Materialverbrauch

Abbildung 7: Felder zur Konzeptionierung einer Industrial Symbiosis

Technische Fragestellungen betreffen z. B. sowohl die Nähe der Industrieanlagen zueinander als auch die Vermeidung von Transportkosten und Energieverlusten. Neben den technischen lassen sich auch vertragliche Fragestellungen identifizieren, die durchaus kontrovers sind. Auf der einen Seite liefern sie mit **vertraglichen Fragestellungen** beispielsweise in Form von Gesetzen Anreiz zur Durchführung der Industrial Symbiosis. Auf der anderen Seite resultieren aus bestehenden Wirtschafts- und Umweltvorschriften Restriktionen, die eine Umsetzung einer solchen Partnerschaft verhindern können. Exemplarisch zeigt sich dieses Dilemma beim Resource Conservation and Recovery Act (RCRA). Hierin lassen z. B. zum einen die Umweltvorschriften wenig Spielraum für eine innovative, gemeinsame Nutzung von Abfällen zu; zum anderen sind sie Potenzialgeber für hohe Entsorgungskosten. Bei den **wirtschaftlichen Fragestellungen** geht es um die Notwendigkeit, die teilweise ungleichen Geschäftsvorteile, die durch Symbiose hervorgerufen werden, in irgendeiner Form zu bewerten und zu verrechnen. Wichtige Indikatoren zur Einschätzung der wirtschaftlichen Fragestellungen sind auch lokale Geschäftsmöglichkeiten, Löhne und Arbeit, Umsatz und Gewinn, Steuereinnahmen und spürbare Umwelt- und Transportkosten. (Agarwal/Strachan 2006) Zudem lassen sich **soziale Fragestellungen** formulieren. Hierbei kommt es darauf an, dass die einzelnen Partner einen hohen Grad an Vertrauen ineinander haben sollten. Christensen kommt sogar zu dem Schluss, dass der Kommunikation eine höhere Rolle als der Technologie des Unternehmens zuzuschreiben ist. (Christensen 2012) Soziale Indikatoren sind neben den obigen Gemeinschaft und Sinnesreize wie Ästhetik, Lautstärke, Nebel oder Geruch. Auch ökologische Fragestellungen dürfen nicht außer Acht gelassen werden. An fünfter Stelle lassen sich darüber hinaus **ökologische Fragestellungen**

identifizieren. Diese beschäftigen sich mit dem Schwerpunkt, wie umweltrelevante Vorteile durch die Industrial Symbiosis entstehen. Relevante Indikatoren betreffen die Landnutzung, Biodiversität aber auch den Wasser, Energie und Materialverbrauch sowie umfassende Emissionswerte. (Kurup et al. 2005), (Agarwal/Strachan 2006)

Diese zu berücksichtigenden Fragestellungen und deren Indikatoren machen die erfolgreiche Realisierung einer Industrial Symbiosis zu einem komplexen Planungsvorhaben. Derzeit noch fehlende fundierte wissenschaftliche Erkenntnisse und ein fehlendes übergreifendes Rahmenwerk zur Planung der Industrial Symbiosis verschärfen diese hohe Komplexität. (Agarwal/Strachan 2006)

Wie zu Beginn dieses Kapitels aufgezeigt, eignet sich das in Abbildung 6 dargestellte IFU-Referenzmodell der Fabrikplanung zur systematischen Konzeptionierung einer Industrial Symbiosis. Dies zeigt sich exemplarisch bei dem genauen Vergleich einzelner Lebenszyklusphasen einer Fabrik (siehe Kapitel 3.1) und den fabrikübergreifenden Lebenszyklus eines Industrieparks (Massard et al. 2014). Beide Lebenszyklen basieren auf einer umfangreichen Planungsphase, die Elemente der Standortwahl und der räumlichen und funktionalen Anordnung einzelner Organisationseinheiten zueinander enthält. Ebenfalls finden sich bei beiden Zyklen Nutzung- bzw. Betriebsphasen, nach denen eine Erneuerung und Wiederaufwertung der deindustrialisierten Bereiche stattfindet. Die hohe Eignung der Fabrikplanungsaktivitäten für eine Anwendung bei der Umsetzung der Industrial Symbiosis zeigt sich darüber hinaus ebenfalls bei der genaueren Betrachtung der Gestaltungsfelder der Fabrikplanung. Wiendahl et al. definieren die Bereiche Mensch, Technik und Organisation als sogenannte Gestaltungsfelder der Fabrik. Dieser Auffassung folgend stellen diese die Säulen der Fabrik dar, die auf den Standort und dem Gebäude aufsetzen. Auf Basis dieses Fundament greifen darüber hinaus auch kulturelle und nachhaltige Aspekte, die ebenfalls für den Erfolg der Fabrik verantwortlich gemacht werden können. (Wiendahl et al. 2009) Auch die in Abbildung 7 abgeleiteten Fragestellungen zur Konzeptionierung einer Industrial Symbiosis lassen sich den etablierten Gestaltungsfeldern der Fabrikplanung zuordnen. Es zeigt sich auch hier eine umfangreiche Schnittmenge der Gestaltungsfelder der Fabrikplanung zu den offenen Fragestellungen der Industrial Symbiosis.

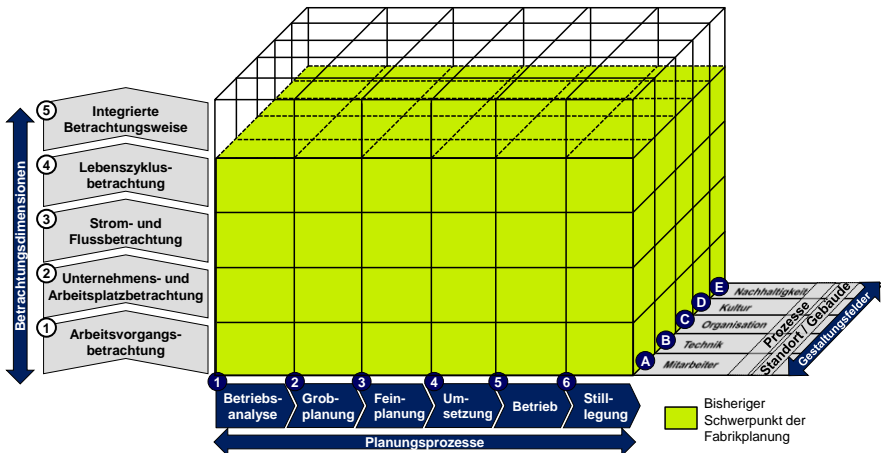


Abbildung 8: Erweiterung der Ebenen des Fabrikplanungsprozesses

Zusammengefasst ergeben sich damit drei Dimensionen der Fabrikplanung, die bei der Konzeptionierung einer Industrial Symbiosis Berücksichtigung finden müssen (siehe Abbildung 8). Die erste Dimension bildet die Planungsprozesse der Fabrikplanung entsprechend des IFU-Referenzmodells ab (vgl. Abschnitt 3.1). Die zweite Dimension berücksichtigt die Betrachtungsperspektiven, welche in Abschnitt 1.2 diskutiert werden. Die dritte Dimension beinhaltet die Gestaltungsfelder der Fabrikplanung. Der entstehende dreidimensionale Raum bildet die Grundlage zur Planung einer Industrial Symbiosis.

Obwohl sich das IFU-Referenzmodell der Fabrikplanung besonders durch seine ganzheitliche Betrachtungsweise im Fabrikplanungsprozess, unabhängig von der spezifischen Planungsaufgabe, abhebt, existieren noch wenige Erkenntnisse für ein detailliertes Vorgehen im Rahmen einer fabrikübergreifenden Planung bzw. integrierten Betrachtungsweise. Es ist erkennbar, dass über die gesamten Planungsprozesse ein breites Fundament an Methoden und Werkzeugen besteht. Der Fabrikplanungsprozess betrachtet dabei nicht nur rein technische Fragestellungen, sondern bezieht die unterschiedlichen Gestaltungsfelder mit ein, die eine hohe Relevanz auf den Planungserfolg besitzen. Da bestehende Ansätze der Fabrikplanung nur singuläre Fabrikbauten betrachten, existiert ein bisher noch nicht ausreichend wissenschaftlich fundierter Raum zu übergreifenden Planung. Hieraus resultiert die Notwendigkeit, bestehende Werkzeuge, Prinzipien und Methoden der Industrial Symbiosis zu identifizieren und deren Ansätze auf das bestehende Fundament der Fabrikplanung zu übertragen. Im Ergebnis soll die integrierte Betrachtungsweise zu einer fabrikübergreifenden Symbiose bzw. Verbesserung führen.

3.3 Methoden und Werkzeuge der Industrial Symbiosis

Im Rahmen der Fabrikplanung haben sich eine Vielzahl verschiedener Methoden und Werkzeuge etabliert, die den Planungsprozess unterstützen (Dombrowski/Tiedemann 2005), (Bracht 2011). Die bereits in Kapitel 1 skizzierten Trends machen die Anwendung verschiedener Methoden und Werkzeuge unabdingbar. Diese Relevanz lässt sich zum einen auf die steigenden Daten- und Informationsmengen im komplexen Planungsprozess und zum anderen auf die immer weiter sinkende verfügbare Zeit zur Realisierung eines Fabrikneu- oder -umbaus zurückführen. Die in der Literatur diskutierten Werkzeuge und Methoden reichen von verschiedenen Materialfluss-, Ergonomie- und Robotersimulationen bis hin zur Virtuellen Realität (VR) und dem Digital Mock-Up (DMU). Da die Anwendung von Methoden und Werkzeugen aufgabenspezifisch erfolgt, sind alle verfügbaren Methoden und Werkzeuge projektspezifisch auszuwählen. (Dombrowski/Tiedemann 2005), (Zäh/Schack 2006) Wie in Abschnitt 3.2 gezeigt werden konnte, adressiert der Ansatz der Industrial Symbiosis dieselben Gestaltungsfelder wie sie in der Fabrikplanung bereits etabliert sind. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass die bestehenden Methoden und Werkzeuge der Fabrikplanung in den Planungsprozess einer Industrial Symbiosis einbezogen werden müssen. Aufgrund der im Fabrikplanungsprozess bisher nicht vollständig berücksichtigten fabrikübergreifenden Betrachtung werden jedoch auch weitere Methoden und Werkzeuge bei der Konzipierung einer Industrial Symbiosis Berücksichtigung finden müssen.

Im Bereich der Industrial Symbiosis lassen sich bei der Literaturbetrachtung bereits einzelne Werkzeuge und Methoden identifizieren, die auf Basis der Analysen von unterschiedlichen Praxisbeispielen beschrieben werden. Abbildung 9 stellt die in der wissenschaftlichen Literatur identifizierten Werkzeuge grafisch dar. (Chertow 2000), (Gingrich 2000) Im Folgenden soll eine Auswahl dieser Methoden und Werkzeuge näher beschrieben werden.

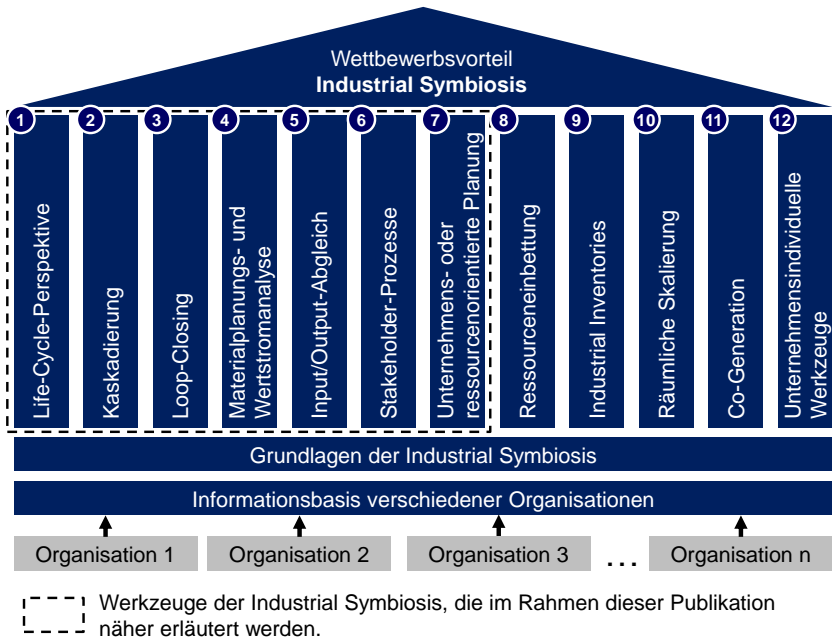


Abbildung 9: Methoden und Werkzeuge der Industrial Symbiosis

Life-Cycle-Perspektive

Zu den elementaren Bestandteilen einer Industrial Symbiosis gehört neben dem Ressourcenaustausch und der organisationsübergreifenden Zusammenarbeit vor allem ein übergreifendes Systemverständnis, das auf der Betrachtung von Materialflüssen und einer Lebenszyklusbetrachtung basiert. Die Perspektive entlang des Lebenszyklus erlaubt es, bestimmte Möglichkeiten der Zusammenarbeit überhaupt zu erkennen und diese darauf aufbauend realisieren zu können. (Chertow 2004), (Gingrich 2000) Bspw. wird bereits in der Produktentstehung ein Großteil der Kosten und Eigenschaften eines gesamten Produktlebens festgelegt. Hierin haben sich in den vergangenen Jahren Design-for-X-Ansätze (DfX) etabliert, die jeweils definierte Teile des Lebenszyklus betrachten. Sie ermöglichen in den frühen Phasen der Produktentstehung die Berücksichtigung späterer Anforderungen, die beispielsweise aus den verschiedenen Bereichen der Produktion, Montage, Ergonomie und Demontage stammen. Als konkretes Beispiel lässt sich Design for Manufacturing heranziehen. Hierbei werden Produkteigenschaften bewusst so ausgewählt, dass eine verbesserte Produktion gewährleistet werden kann. Auch für die Industrial Symbiosis haben die Produkteigenschaften signifikante Auswirkungen, die eine Betrachtung bereits in den frühen Produktentstehungsphasen erforderlich machen. Die bewusste Integration dieser Anforderung in das Produktdesign („Design for Industrial Symbiosis“) ermöglicht es, Ressourcen-

nutzung konstruktiv so auszulegen, dass eine innovative Integration von Ressourcen möglich wird. So können Produkte bewusst so gestaltet werden, dass beispielsweise die Nebenprodukte eines benachbarten Unternehmens als Ressourcen oder Zukaufteile in die eigenen Produkte einfließen oder die Produktionsschritte positiv unterstützen.

Kaskadierung

Unter dem Begriff der Kaskadierung wird im Allgemeinen das Hintereinanderschalten bzw. Verketteten von einzelnen Modulen verstanden. Das Element Kaskadierung tritt im Kontext der Industrial Symbiosis auf, wenn dieselbe Ressource mehrfach in verschiedenen Prozessen zum Einsatz kommt. Vor allem für Querschnittsressourcen wie Wasser und Energie wird dieses Element häufig herangezogen. Das zugrunde liegende Prinzip basiert auf der Tatsache, dass bei aufeinanderfolgenden Prozessen jener Prozessschritt zunächst die höhere Qualität erhält, der die höchsten Anforderungen an die Ressource stellt. Die Umsetzung solcher Elemente generiert, sofern diese technisch umsetzbar ist, nahezu ausnahmslos ökonomische und ökologische Vorteile. (Chertow 2004), (Gingrich 2000)

Loop-Closing

Normalerweise laufen Produkte in einer Linie und ihre Nebenprodukte stellen Abfallprodukte dar, wie z. B. in der Lebensmittelindustrie, die eine große Menge an Reststoffen erzeugt. Die Idee des Loop-Closing ist es, alle Produkte in einen Kreislauf zu bringen, da viele von ihnen das Potenzial haben, in anderen Produktionssystemen wiederverwendet zu werden, z. B. durch Bioraffinerien. Im Allgemeinen werden Lebensmittelabfälle erst nach einer Transformation, die funktionelle Inhaltsstoffe mit hohem Mehrwert extrahiert, wiederverwendet. Anwendungsbereiche hierfür sind die Nahrungsergänzungsmittel-, pharmazeutische und kosmetische Industrie. (Mirabelle et al. 2013)

Materialplanungs- und Wertstromanalyse

Unabhängig von der Industrial Symbiosis hat sich die Wertstromanalyse als relevantes Werkzeug bei der Identifikation von Verschwendungen im Rahmen des Lean Manufacturing etabliert. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren, das Produktionsabläufe sowie Material- und Energieflüsse vom Kunden bis zum Lieferanten mit einfachen Mitteln analysiert und mögliche Handlungsfelder identifiziert. Im weiteren Verlauf können dann aufgrund dieser Handlungsfelder neue Produktionsabläufe gestaltet und umgesetzt werden.

Chertow differenziert an dieser Stelle zwischen der Material- und Wertstromanalyse und der Materialbudgetierung. Aufgrund des sehr ähnlichen Betrachtungsfokus werden diese beiden Werkzeuge zusammengefasst. Beide Tools beziehen

- Reservoir-Konzepte ein, d. h. wo ein Material gelagert wird.
- die Flussdichte ein, also die Materialmenge, die ein Reservoir pro Zeiteinheit betritt oder verlässt.
- Quellen und Senken ein, die Input/Output-Verhältnisse von bestimmten Materialien, welche ein System betreten oder verlassen, darstellen.

Als einfaches - wenn auch industriefremdes - Beispiel verweist Chertow auf eine Studie, die den Durchlauf von Computern durch die Yale University untersucht. Dabei zeigte der entwickelte Materialplan, dass ungefähr 4.500 Computer die Universität jedes Jahr beschafft (von Studierenden besessene Einheiten ausgenommen), wogegen nur 250 das System durch Recycling und Spenden an andere Organisationen wieder verließen. Da die Materialplanung eine Identifizierung und einen Nachweis jedes Flusses benötigt und jeder Computer mehrere Jahre verwendet wird, wurde davon ausgegangen, dass die meisten noch in Nutzung sind. Einer Nutzerumfrage zufolge wird aber ein Fünftel der überholten Computer (ca. 1.000 Einheiten) weder recycelt noch entsorgt, sondern in hunderten Schränken in der Universität aufbewahrt. (Chertow 2000) Die Materialplanungs- und Wertstromanalyse ist insofern ein zentraler Baustein der Industrial Symbiosis.

Input/Output-Abgleich

Der Input/Output-Abgleich ist ein wichtiges Tool, um eine potenzielle Partnerschaft in der Industrial Symbiosis zu identifizieren. Hierbei werden Inputs und Outputs eines Unternehmens in ihrer Qualität und Quantität gemessen. Eine Schwierigkeit bei Unternehmen ist jedoch, dass die Input- und Outputdaten oft sensible oder private Daten betreffen. In einem weiteren Schritt folgt der Übereinstimmungsscheck mit anderen Organisationen. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass nur input- und outputrelevante Merkmale bei der Suche nach Übereinstimmungen zu berücksichtigen sind. Erst nach einem Matching erfolgt die konkrete Überprüfung, ob eine gemeinsame Nutzung aus ökologischen, ökonomischen und technischen Aspekten tatsächlich realisiert werden kann.

Bisher findet dieses Werkzeug Anwendung in Industrial Parks, in denen vor allem Input- und Outputdaten aller Organisationen innerhalb des Parks gesammelt und ausgewertet werden. Auch existieren bereits erste Computermodelle, die einen automatischen Datenabgleich durchführen. Als konkrete Beispiele nennt Chertow in diesem Zusammenhang FaST (Facility Synergy Tool), DIET (Designing Industrial Ecosystems Tool) und ReaLiTy (Regulatory, Economic, and Logistics Tool). FaST ist eine Datenbank von Industrieprofilen, die typische Inputs und Outputs z. B. von einem Milchbetrieb oder Krankenhaus beschreibt. Sie hat zudem ein Daten-Input-Interface und eine Suchfunktion, um mögliche betriebsübergreifende Übereinstimmungen zu identifizieren. Mit DIET, das ein lineares Programmierungstool beinhaltet, kann eine Szenarioanalyse verschiedener Betriebskombinationen durchgeführt werden. Der Planer kann hiermit Umwelt-, Wirtschafts- oder Arbeitsverhältnissgesichtspunkte und ihre relativen Wichtungen verändern. ReaLiTy hilft regulatorische Hürden, die je nach gewählten Austauschmaterialien auftauchen können, zu überwinden. Jedoch können obige Modelle idealisierte Was-wäre-wenn-Szenarios zu stark betonen, ohne weder auf die anzustrebende Folge symbiotischer Partner noch auf die zeitraubenden und frustrierenden Prozesse achtzugeben, die benötigt werden, um überhaupt erst eine Firma anzuziehen. (Chertow 2000)

Stakeholder-Prozesse

Der soziale Faktor ist von hoher Relevanz, worauf schon Christensen mit seiner Aussage, dass der Kommunikation eine höhere Rolle als der Technologie des Unternehmens zuzuschreiben ist, hinwies. Hierbei ist die Partizipation (Mitgestaltung) das allerwichtigste

Hilfsmittel, um Akzeptanz anderer Mitglieder zu erreichen, denn der Erfolg der Eco-Industrial-Parks erfordert, dass die Mitglieder offen sind, sich aufeinander zu verlassen. (Chertow 2000) Besonders interessant ist, dass - trotz des identischen strategischen Ziels der gemeinsamen Ressourcennutzung - Interessen innerhalb der Industrial Symbiosis sehr stark auseinanderklaffen und teilweise konträre Einzelziele vorliegen können, z. B. möchte jeder seinen eigenen Gewinn maximieren. Darüber hinaus können Konflikte durch unterschiedliche Branchen, Funktionen und Interessen entstehen. Maßnahmen, die einen hohen Informationsaustausch zwischen den einzelnen Mitgliedern fördern, sind regelmäßige Treffen, ein konsequenter Informationsaustausch und kurze Kommunikationswege. So wurde ein Projekt in Londonderry, New Hampshire, von einem repräsentativen beratenden Ausschuss geleitet und setzte sich aus vielen verschiedenen potenziellen Interessengruppen zusammen. Ein Design-Charrette-Verfahren wurde gehalten und Input gesucht, wie ein Eco-Industrial-Park im lokalen Kontext aussehen sollte. (Chertow 2000) Deshalb darf die Komplexität von Mehrparteien-Beziehungen, bei denen die Vorteile jeder Partei nicht unbedingt offensichtlich sind, nicht unterschätzt werden.

Unternehmens- oder ressourcenorientierte Planung

Die Frage, ob Unternehmen oder Material-/Wasser-/Energieströme u. a. an erster Stelle in der Planung von Industrial Symbiosis stehen, ist ähnlich zu bewerten wie das Henne-Ei-Problem. Auf der einen Seite garantiert eine bloße Zusammenkunft von Unternehmen allein nicht die Symbiose; auf der anderen Seite gibt es keine Ressourcen ohne Unternehmen. Manche Projekte sind jedoch gemäß ihrer Ziele mehr unternehmensorientiert, d. h. sie beginnen mit einem Planer auf der Suche nach Partnern, in der Hoffnung, dass die interessierten Unternehmen zur Industrial Symbiosis bzw. zum Eco-Industrial-Park-Modell passen. Des privaten Planers oberste Priorität ist in diesem Fall vor allem die Belegung, um monatliche Zahlungen zur Finanzierung der Projektkosten anzustoßen. Der ressourcenorientierte Ansatz, z. B. in FaST und DIET, präsentiert dagegen von Anfang an eine idealistischere Vision der Planung von Industrial Symbiosis.

Ein weiterer zentraler Unterschied in der Herangehensweise ist, zu welchem Grad das geplante Projekt auf neuen oder bestehenden Elementen beruht. Im Folgenden wird u. a. zwischen bestehenden und nicht bestehenden, Green- und Brownfield-Ansätzen unterschieden. Jedoch kommt es häufig vor, dass miteinander kombiniert oder aus Bestehendem weiterentwickelt wird. Daher ist es unzureichend, zwischen neuen und alten Ansätzen zu unterscheiden, sondern vielmehr zielführend, eine gemischte Form anzustreben. Das Mischen neuer und bestehender Abläufe und Anlagen ist eine andere Art, die Chancen und Möglichkeiten der Industrial Symbiosis zu maximieren. (Chertow 2000) Agarwal und Strachan unterscheiden in ihrer Klassifizierung zwischen sechs Typen: (Agarwal/Strachan 2006)

- **Green Twinning** (einzelnes Material und/oder Energieaustausch)
- **Greenfield Eco-Industrial Development** (geographisch begrenzter Raum)
- **Brownfield Eco-Industrial Development** (geographisch begrenzter Raum)
- **Eco-Industrial Network** (keine strenge Anforderung an geographische Nähe)

- **Virtual Eco-Industrial Network** (Netzwerke in großen Bereichen verteilt, z. B. regionales Netzwerk)
- **Networked Eco-Industrial System** (Entwicklungen auf Makroebene mit Verbindungen zwischen den Regionen)

Das bevorzugte Modell würde diese beiden Ansätze kombinieren, bei denen Partner basierend auf einer ressourcenorientierten Planung vorgeschlagen werden. Die Methoden und Werkzeuge Ressourceneinbettung, Industrial Inventories, räumliche Skalierung und Co-Generation gibt es auch noch. Obige Ansätze sind dahingehend abzusichern, inwieweit sie weiter umsetzbar sind. Da die Aufzählung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, müssen ggf. bestehende detailliert, neue hinzugefügt und hinsichtlich der Kompatibilität mit dem Fabrikplanungsprozess geprüft werden. Mit dem Einsatz neuer Methoden und Tools kann der vornehmlich allgemeine Prozess spezifisch auf die Anforderungen einer interorganisationalen Planung angepasst und nach Möglichkeit mit vorhandenen Methoden und Tools abgeglichen werden.

3.4 Erweiterung der Digitalen Fabrik auf die Methoden der Industrial Symbiosis

Die Betrachtung aktueller Ansätze der Industrial Symbiosis zeigt, wie erläutert, einen deutlichen Schwerpunkt im Bereich des Austausches einzelner physischer Produkte. (Frosch/Gallopoulos 1989), (Chertow 2004), (Wahl 2008), (Massard et al. 2014) Dabei wird die geografische Nähe als entscheidender Faktor genannt. Durch die moderne Informationstechnologie ist der Ansatz der Industrial Symbiosis heute jedoch weniger auf eine bestimmte Anzahl nah beieinander liegender Unternehmen begrenzt. Auch steht durch die neuen Möglichkeiten der Informationsverarbeitung und Digitalisierung ein wesentlich breiteres Feld an Daten zur Verfügung. Zum einen kann durch den Einsatz dieser modernen Informationstechnologien die Koordination des physischen Produktaustauschs verbessert werden. Denn eine zunehmende Distanz resultiert hierdurch nicht in hohen Koordinationskosten. Zum anderen werden durch moderne Informationstechnologien ganz neue Symbiosformen, wie der Austausch digitaler Ressourcen, ermöglicht.

Zur Umsetzung dieser Verbesserungen der Symbiose, kann die Digitale Fabrik ein grundlegendes Planungsinstrument darstellen. Die Digitale Fabrik ist als ein „*umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen*“ definiert, „*die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.*“ (VDI 4499)

Abbildung 10 stellt das in Kapitel 3.1 vorgestellte IFU-Referenzmodell dar und zeigt verschiedene digitale Werkzeuge und Methoden der Fabrikplanung auf. Es existieren zahlreiche unterschiedliche digitale Informationsquellen, die relevante Daten und Informationen über unternehmensspezifische Produkte und Prozesse bündeln. Die Bandbreite dieser Anwendungen reicht von Standard-Textverarbeitungsprogrammen bis hin zu umfangreichen

CAD-Programmen mit speziellen Erweiterungsmodulen der Fabrikplanung. Der Einsatz der Digitalen Fabrik als durchgängiges Datenmanagement ermöglicht eine Zentralisierung dieser einzelnen Insellösungen in ein ganzheitliches fabrikplanungsspezifisches Datenkonzept. (Dombrowski et al. 2001)

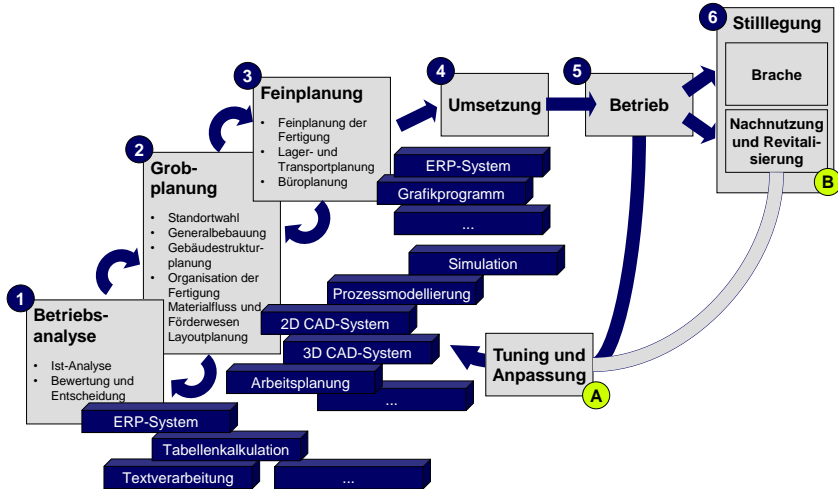


Abbildung 10: Daten und Informationen im Rahmen der Fabrikplanung

In diesem Zusammenhang kann der Digitalen Fabrik eine hohe Relevanz bei der Umsetzung der Industrial Symbiosis zugeordnet werden. Insbesondere zeigt die Definition der Digitalen Fabrik die mögliche Integration des Konzepts der Industrial Symbiosis auf. Durch die Realisierung einer rechnergestützten Abbildung der Fabrik, stehen zahlreiche Informationen zentral zur Verfügung und ermöglichen damit die fabrikübergreifende Modellierung und Simulation zur Identifizierung sowie Bewertung der Industrial Symbiosis. Durch die Simulation und Visualisierung von fabrikübergreifenden Symbioseprozessen wird deren zielgerichtete Verbesserung möglich. Hierbei können die in Kapitel 3.3 beschriebenen Methoden der Industrial Symbiosis integriert zur Anwendung kommen. Zusätzlich kann die Ergänzung spezifischer Methoden zur Konzipierung einer Industrial Symbiosis erfolgen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Einbeziehung der Digitalen Fabrik als eine zentrale Datenbasis relevanter Produkt- und Prozessdaten ein entscheidender Erfolgsfaktor bei der Initiierung einer Industrial Symbiosis angesehen werden kann.

4 Zusammenfassung

Zahlreiche Unternehmen produzieren Produkte für Kunden mit dem Ziel der Gewinnmaximierung. Die industrielle Herstellung und Produktion von Gütern benötigt Ressourcen und verursacht im Rahmen der Produktion verschiedene Nebenprodukte. Dabei betrachten viele Unternehmen nur den linearen Wertstrom ihrer Produkte und vernachlässigen erhebliche Potenziale zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, die bspw. durch die gezielte Verwertung und Verknüpfung dieser Nebenprodukte mit anderen Unternehmen ermöglicht werden. Die Berücksichtigung derartiger mehrdimensionaler Verbesserungen durch einen branchenunabhängigen, unternehmensübergreifenden, gemeinschaftlichen digitalen oder physischen Austausch von Ressourcen wird durch den Begriff der Industrial Symbiosis beschrieben.

Im Rahmen dieses Beitrags wird der Ansatz der Industrial Symbiosis systematisch aufgearbeitet und deren strukturierte Anwendbarkeit für Unternehmen diskutiert. Es ist festzustellen, dass es sich bei der Industrial Symbiosis um ein sehr junges Forschungsfeld handelt. Bestehende Literaturansätze analysieren überwiegend nur singuläre Fallbeispiele. Für die strukturierte Anwendung in Unternehmen ist jedoch ein Rahmenwerk notwendig, das Unternehmen bei der erfolgreichen Umsetzung der Industrial Symbiosis unterstützt. Ein solches Rahmenwerk existiert jedoch in der wissenschaftlichen Literatur nicht, wenn-gleich einzelne isolierte Methoden und Werkzeuge existieren.

Zur Realisierung eines solchen Rahmenwerkes wird der Prozess zur Planung einer Fabrik als besonders geeignetes, etabliertes Vorgehensmodell identifiziert. Der Fabrikplanungsprozess und die zugehörige Digitale Fabrik stellen ein solides Fundament dar, auf dessen Grundlagen die Integration des Ansatzes der Industrial Symbiosis ermöglicht werden kann. Denn im Fabrikplanungsprozess, in welchem fabrikspezifische Prozessabläufe sowie deren physische und digitale Ressourcen geplant werden, können auch fabriksübergreifende Fragestellungen der Industrial Symbiosis integriert werden. Hierdurch kann ein unternehmensübergreifender, gemeinschaftlicher Austausch digitaler oder physischer Ressourcen wie z. B. Material, Energie, Nebenprodukten oder Know-how geplant und umgesetzt werden. Dabei wird in diesem Beitrag herausgestellt, dass die Digitale Fabrik eine herausragende Rolle spielt, da durch Einsatz moderner Informationstechnologien die Koordination des physischen Produktaustauschs verbessert und ganz neue Symbioseformen, wie der Austausch digitaler Ressourcen, ermöglicht werden kann. Im Ergebnis resultieren durch die Symbiose Wettbewerbsvorteile für alle Unternehmen dieser Gemeinschaft.

Um die Potenziale der Industrial Symbiosis zu realisieren sind weitere Forschungsaktivitäten notwendig. Einzelne Methoden und Werkzeuge zur Umsetzung der Industrial Symbiosis werden in diesem Beitrag vorgestellt, wenn-gleich deren Nutzen noch nicht validiert ist. Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwieweit bestehende Methoden und Werkzeuge der Fabrikplanung auch auf die Erweiterung der Industrial Symbiosis angewendet werden können. Zudem gilt es der Frage nachzugehen, welche möglichen neuen Geschäftsmodelle sich im Zuge der aktuellen rasanten Entwicklung der Informations- und Datenverarbeitung ergeben.

Literatur

Agarwal, A.; Strachan, P., 2006.

Literature Review on Eco-industrial development initiatives around the world and the methods employed to evaluate their success / effectiveness, zuletzt geprüft am 31.05.2016.

Aggteleky, B. (Hg.), 1981.

Fabrikplanung. München: Hanser-Verlag.

Albrecht, C; Reimann, M.; Loeffler, J., 2013.

Faktoren und Rahmenbedingungen eines erfolgreichen Produktentstehungsprozesses. In: Steinbeis-Stiftung (Hg.): Faktoren und Rahmenbedingungen eines erfolgreichen Produktentstehungsprozesses, Bd. 1. 1. Aufl. Stuttgart: Steinbeis-Edition (Steinbeis Engineering Studie, 1), zuletzt geprüft am 07.01.2015.

Anderl, R.; Eigner, M.; Sendler, U.; Stark, R. (Hg.), 2012.

Smart Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, zuletzt geprüft am 06.01.2015.

Arndt, H., 2015.

Logistikmanagement. Wiesbaden: Springer-Verlag (Studienwissen kompakt), zuletzt geprüft am 01.04.2015.

Arnhold, D., 2013.

Digitale Produktionsprozessplanung variantenreicher Produkte unter Berücksichtigung von intervallbasierten Eingangsdaten. Aachen: Shaker (Innovationen der Fabrikplanung und -organisation, 29).

Barnes, H., 1992.

Fertile project exploits recycled wastes. Survey on Denmark. In: *The Financial Times*, 08.10.1992, S. 5.

Berking, J.; Borrek, M.-A.; Bossert, T.; Duckwitz, M.; Gong, L.; Juckenack, S. et al. 2012.

FAST 2025. Future Automotive Industry Structure. Eine Studie von Oliver Wyman. 1. Auflage. Berlin: Verband der Automobilindustrie (VDA), zuletzt geprüft am 07.01.2015.

Bracht, U.; Geckler, D.; Wenzel, S., 2011.

Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele. Berlin, New York: Springer

Chertow, M. R., 2000.

Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy, zuletzt geprüft am 31.05.2016.

- Chertow, M. R., 2004.
Industrial Symbiosis, S. 407–415. DOI: 10.1016/B0-12-176480-X/00557-X.
- Christensen, J., 2012.
The Kalundborg Symbiosis. What, who, when, how and why?, zuletzt geprüft am 07.06.2016.
- Cisek, R.; Habicht, C.; Neise, P., 2002.
Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)* 97 (9), zuletzt geprüft am 09.06.2016.
- Dombrowski, U.; Ernst, S., 2014.
Effects of Climate Change on Factory Life Cycle. In: *Procedia CIRP* 15, S. 337–342. DOI: 10.1016/j.procir.2014.06.012.
- Dombrowski, U.; Karl, A., 2016.
Lieferantenintegration im Produktentstehungsprozess. Ergebnisse einer deutschen Studie. Herzogenrath: Shaker (Produktentwicklung), zuletzt geprüft am 09.06.2016.
- Dombrowski, U.; Tiedemann, H., 2005.
Die richtigen Fabrikplanungswerkzeuge auswählen. Eine Methode zur Entscheidungsunterstützung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)* 100 (3), S. 136–140, zuletzt geprüft am 13.06.2016.
- Dombrowski, U.; Tiedemann, H.; Bothe, T., 2001.
Auf dem Weg zur Digitalen Fabrik. In: *Carolo-Wilhelmina*, zuletzt geprüft am 12.06.2016.
- Dombrowski, U.; Zahn, T.; Schmidt, S., 2008.
Hindernisse bei der Implementierung von Ganzheitlichen Produktionssystemen. In: *Industrial Engineering* (6), S. 26–31, zuletzt geprüft am 28.01.2015.
- Domenech, T.; Davies, M., 2011.
Structure and morphology of industrial symbiosis networks. The case of Kalundborg. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 10, S. 79–89. DOI: 10.1016/j.sbspro.2011.01.011.
- Eigner, M.; Stelzer, R., 2013.
Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. 2. Auflage. Dordrecht: Springer (VDI), zuletzt geprüft am 09.06.2016.
- Engberg, H., 1993.
Industrial symbiosis in Denmark. New York University, New York. Stern School of Business.

- Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hg.), 2013.
Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Frosch, R. A.; Gallopoulos, N. E., 1989.
Strategies for Manufacturing. Waste from one industrial process can serve as the raw materials for another, thereby reducing the impact of industry on the environment.
- Gingrich, C., 2000.
Industrial Symbiosis: Current Understandings and needed ecology and economics influences. In: *Annu. Rev. Energy. Environ.* 25 (1), S. 44–46. DOI: 10.1146/annurev.energy.25.1.313.
- Glock, C., 2010.
Koordination von Zuliefernetzwerken. In: Ronald Bogaschewsky (Hg.): Supply Management Research. Aktuelle Forschungsergebnisse 2009. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler-Verlag (Advanced studies in supply management, Bd. 2), S. 95–120.
- Groher, E. J., 2003.
Gestaltung der Integration von Lieferanten in den Produktentstehungsprozess. 1. Auflage. München: TCW Transfer-Centrum-Verlag (Wissenschaft und Praxis, 18), zuletzt geprüft am 27.03.2015.
- Hardeler, T.; Winter, E., 2002.
Gabler Wirtschaftslexikon. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Henn, W., 1961.
Industriebau. Band 2. Entwurfs- und Konstruktionsatlas: Verlag Gerorg D. W. Callwey.
- Hofbauer, G.; Mashhour, T.; Fischer, M., 2012.
Lieferantenmanagement. Die wertorientierte Gestaltung der Lieferbeziehung. 2. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, zuletzt geprüft am 06.01.2015.
- Jetter, A., 2005.
Produktplanung im fuzzy front end. Handlungsunterstützungssystem auf der Basis von fuzzy cognitive maps. 1. Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag (Gabler Edition Wissenschaft : Forschungs-, Entwicklungs-, Innovations-Management), zuletzt geprüft am 01.04.2015.
- Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R., 1984.
Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München, Wien: Hanser.

Knight, P., 1990.

A rebirth of the pioneering spirit. In: *The Financial Times*, 14.11.1990, S. 15.

Korhonen, J., 2000.

Industrial ecosystem. Using the material and energy flow model of an ecosystem in an industrial system. Jyväskylä: University of Jyväskylä (Jyväskylä studies in business and economics, 5), zuletzt geprüft am 06.06.2016.

Kurup, B.; Altham, W.; van Gerkel, R., 2005.

Triple Bottom Line Accounting Applied for Industrial Symbiosis. ALCAS Conference. Centre of Excellence in Cleaner Production, Curtin University of Technology, 2005, zuletzt geprüft am 13.06.2016.

Massard, G., 2011.

Les symbioses industrielles: une nouvelle stratégie pour l'amélioration de l'utilisation des ressources matérielles et énergétiques par les activités économiques. Lausanne.

Massard, G.; Jacquat, O.; Zücher, D., 2014.

International survey on eco-innovation parks. Learning from experiences on the spatial dimension. Bern (Environmental studies no. 1402), zuletzt geprüft am 06.06.2016.

Mirabelle, N.; Castellani, V.; Sala, S., 2013.

Closing the loop: Feasibility of Industrial Symbiosis from Food Processing Waste, zuletzt geprüft am 14.06.2016.

Munk, K.; Brose, U. (Hg.), 2009.

Ökologie - Evolution. Stuttgart: Thieme (Taschenlehrbuch Biologie).

New Scientist, 2007.

World Stripped Bare. In: *New Scientist*, 26.05.2007 (2605).

Nyhuis, P.; Gunther, R.; Abele, E. (Hg.), 2008.

Wandlungsfähige Produktionssysteme. Heute die Industrie von morgen gestalten. Hannover, Garbsen: Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek; PZH Produktionstechnisches Zentrum, zuletzt geprüft am 08.06.2016.

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K.-H., 2013.

Recyclinggerecht. In: Jörg Feldhusen und Karl-Heinrich Grote (Hg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 729/736.

- Pakarinen, S.; Mattila, T.; Melanen, M.; Nissinen, A.; Sokka, L., 2010.
Sustainability and Industrial Symbiosis -The evolution of a Finnish forest industry complex. In: *Resources, Conservation and Recycling* 54, S. 1393–1404.
- DIN EN ISO 9000, 2005.
Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2005); Dreisprachige Fassung EN ISO 9000:2005, zuletzt geprüft am 21.01.2015.
- Reinhart, G; Meis, J.-F.; Reisen, K.; Schindler, S.
Bionik in der Produktionsorganisation. Was wir von Ameisen und anderen sozialen Insekten lernen können. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, zuletzt geprüft am 14.06.2016.
- Ringes, G., 1976.
Handbuch Produktionsstättenplanung. Wissenschaftliche Grundlagen Praktische Erkenntnisse. Wiesbaden: Vieweg +Teubner Verlag.
- Sanz, F. J. G.; Semmler, K.; Walther, J. (Hg.), 2007.
Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz. Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, zuletzt geprüft am 09.06.2016.
- Schmigalla, H., 1995.
Fabrikplanung. Begriffe und Zusammenhänge. 1. Auflage. München: Hanser (REFA-Fachbuchreihe Betriebsorganisation).
- Stahl, V.; Olschewski, T.; Wirth, S., 2003.
Revitalisierung und Entwicklung von Brachen. In: *Standort - Zeitschrift für angewandte Geographie* 27 (4), S. 173–178. DOI: 10.1007/s00548-003-0153-1.
- VDI 4499.
Digitale Fabrik, zuletzt geprüft am 07.06.2016.
- VDI 5200, 2011.
Fabrikplanung – Planungsvorgehen.
- VDI 6220, 2012.
Bionik - Konzeption und Strategie - Abgrenzung zwischen bionischen und konventionellen Verfahren/Produkten. Band 1.
- Wahl, C., 2008.
Eco-Industrial Parks. Strengthening Our Regional Economy in Response to Climate Change and Resource Scarcity, zuletzt geprüft am 06.06.2016.

Wiendahl, H.-P. 2014.

Betriebsorganisation für Ingenieure. Mit 270 Abbildungen und 3 Tabellen. 8. Auflage. München: Hanser-Verlag.

Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P., 2009.

Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. 1. Auflage: Carl Hanser Fachbuchverlag.

Wildemann, H., 2013.

Advanced Purchasing. Leitfaden zur Einbindung der Beschaffungsmärkte in den Produktentstehungsprozess. 13. Auflage. München: TCW, Transfer-Centrum-Verlag (Leitfaden / TCW Transfer-Centrum für Produktionslogistik und Technologie-Management, 61), zuletzt geprüft am 05.03.2015.

Zäh, M.; Schack, R., 2006.

Methodik zur Skalierung der Digitalen Fabrik, zuletzt geprüft am 13.06.2016.