

Industriesymbiosen als
Ansatz regionaler
Kreislaufwirtschaft –
Begriffsklärung &
strukturpolitische
Potentiale

Autor

Marius Beckamp

Auf den Punkt

- Das Modell der Kreislaufwirtschaft bildet einen Ansatz für ein ressourcenschonenderes, nachhaltiges Wirtschaften
- Neben der Schaffung von Regulationen und Anreizen auf internationaler und nationaler Ebene gilt es, bei der Transformation auch Lösungen auf regionaler Ebene nicht aus den Augen zu verlieren
- Die Industrielle Symbiose als Konzept der lokalen Wiederverwertung von Nebenprodukten bietet hier einen erprobten und praxisnahen Ansatz
- Als Konzept mit regionalem Blickwinkel zeigen sich Anknüpfungspunkte für die regionale Strukturpolitik
- So bietet das Konzept Lösungsansätze für eine nachhaltige Transformation von Kraftwerks-, Industrie- und Gewerbestandorten

Einleitung

Vor dem Hintergrund des aktuellen Diskurses um Nachhaltigkeit und Klimaschutz wird sichtbar, dass es nicht ausreicht einzelne Produkte und Hersteller zu betrachten, sondern dass das Wirtschafts- und Produktionssystem als Ganzes in den Blick genommen werden muss. Wenn es also darum geht Deutschland hin zu einem zukunfts- und wettbewerbsfähigen, energieeffizienten und ressourcenschonenden Produktionsstandort zu entwickeln, gilt es Ansätze auf verschiedenen Ebenen zu kombinieren. Hierbei bieten insbesondere bereits erprobte, praxisnahe und anwendungsorientierte Konzepte die Möglichkeit von Bestehendem zu lernen und erfolgreiche Lösungen auch andernorts zu implementieren.

Das Modell der Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) setzt auf einen systemischen Wechsel weg vom linearen Wirtschaften entlang einer Prozesskette, bestehend aus Ressourcengewinnung, Verarbeitung, Verwendung und Entsorgung durch Deponierung oder thermische Verwertung (Wilts 2021, S. 7). So finden sich unter dem Ansatz verschiedene Lösungen, welche sich insbesondere in ihrer Orientierung auf Produkte (Ökodesign), Produktion (Ressourceneffizienz), Verwendung alternativer Materialien (Bioökonomie), die Rolle der Nutzenden (Sharing) und Endverwertung (Re-Use und Recycling) unterscheiden. Neben diesen Herangehensweisen, die an bestimmten Schritten im Lebenszyklus von Produkten ansetzen, stellt insbesondere die Etablierung eines Kreislaufs durch eine Kombination dieser Produktionsschritte den Unterschied zum linearen Wirtschaften dar. Dass die Kreislaufwirtschaft kein rein akademisches Konzept ist, sondern längst auch auf politischer Ebene an Relevanz gewinnt, zeigt hierbei insbesondere der europäische Grüne Deal, welcher die Etablierung einer klimaneutralen Kreislaufwirtschaft als Ziel hat und hierdurch eine Entkopplung des Wirtschaftswachstums von der Ressourcennutzung erzielen möchte (Europäische Kommission 11.03.2020).

Ein Konzept, das im Vergleich zu anderen Lösungsansätzen, die im Kontext einer Kreislaufwirtschaft diskutiert werden, weniger die Produkte selbst als vielmehr die Abläufe in den Blick nimmt, ist das der Industriellen Symbiose. Industriesymbiosen zielen darauf ab, in der Produktion entstehende Bei- und Nebenprodukte wie z.B. Reststoffe, Abwasser und Abwärme am Standort selbst oder innerhalb der Region in anderen Produktionsprozessen als Ressource zu nutzen. Während diese Weiter- und Wiederverwertung von Ressourcen und Energie insbesondere ökonomische und ökologische Vorteile bietet, ermöglicht der lokale bzw. regionale Ansatz des Konzepts, dass auch Kommunen und Regionen, die als außenstehende Akteure keinen direkten Einfluss auf die Produktionsverfahren und Ressourceneffizienz innerhalb von Unternehmen haben, sich in die Debatte um die Kreislaufwirtschaft einbringen und die Transformation hin zu einem zirkulären Wirtschaftssystem vorantreiben und so auch den damit verbundenen industriellen Strukturwandel vor Ort aktiv mitgestalten können.

Die vorliegende Ausgabe von IAT Forschung Aktuell zielt darauf ab, die Industrielle Symbiose als einen Bestandteil einer zirkulären Wirtschaft vorzustellen. Hierzu wird zunächst das Konzept erläutert, gefolgt vom aktuellen Forschungsstand und exemplarischen internationalen Fallbeispielen. Anschließend wird aufgezeigt, welche Anknüpfungspunkte zu Industriesymbiosen in Deutschland bestehen. In einem Ausblick werden hieraus abgeleitete Chancen und Potentiale genannt, die das Konzept für die regionale Strukturpolitik bietet.



Begriffsklärung Kreislaufwirtschaft & Industriesymbiosen

Der Begriff der Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) taucht im öffentlichen Diskurs in den verschiedensten Kontexten auf, sei es im Rahmen politischer Initiativen oder Forderungen, der Anpreisung neuer Geschäftsmodelle oder auch in Verbindung mit anderen „Buzzwords“ wie z.B. der Sharing Economy (Henry et al. 2021). Bei einer Betrachtung der Kreislaufwirtschaft bedarf es daher zuerst einer Definition und Abgrenzung zu anderen Lösungsansätzen. Da das Modell jedoch verschiedene teils ältere Ansätze aufgreift und zusammenfasst, gestalten sich klare Abgrenzungen schwierig. Die folgende Gegenüberstellung des systemischen Ansatzes der Kreislaufwirtschaft mit dem Konzept der Industriellen Symbiose zeigt unterschiedliche Betrachtungsebenen, Zielgruppen und Herangehensweisen. Hierdurch werden Unterschiede und Anknüpfungspunkte zwischen den Konzepten sichtbar.

Kreislaufwirtschaft

Die Kreislaufwirtschaft (Zirkulare Ökonomie) ist eine Herangehensweise an Ressourceneffizienz, welche Produkte, Prozesse und Infrastruktur nutzt, um den ökonomischen Benefit von Ressourcen dadurch zu maximieren, dass diese innerhalb eines Kreislaufs verwertet werden. Dadurch soll das Entstehen von Abfallstoffen, die die Umwelt belasten, vermieden werden. Die Herangehensweise vereint somit verschiedene ältere Konzepte wie die Industrielle Ökologie/Industriesymbiosen, cradle-to-cradle, regeneratives Design, saubere Produktion, Lebenszyklusmanagement, zero-waste und ökologische Ökonomie (Cecchin et al. 2020, S. 4). Das Konzept steht somit dem – in diesem Kontext als lineares Wirtschaftsmodell bezeichneten – aktuell überwiegender Produktionsmodell, bestehend aus Ressourcengewinnung, Verarbeitung, Verwendung und Entsorgung durch Deponierung oder thermische Verwertung, entgegen (Wilts 2021, S. 7). Während die Idee einer Kreislaufwirtschaft bereits Anfang der 1990er entwickelt wurde (Ekins et al. 2019), entstanden seitdem eine Vielzahl an unterschiedlichen Definitionen in Wissenschaft und Praxis, die sich beispielsweise in ihrem Fokus auf Geschäftsmodelle, Nutzerinnen und Nutzer sowie bezüglich der Integration einzelner Dimensionen (Reduce, Reuse, Recycle, Recover) oder das Einnehmen einer systemischen Perspektive unterscheiden (Kirchherr et al. 2017). Als eine der verbreitetsten und damit den Diskurs prägenden Definitionen wird hierbei die Definition der Ellen MacArthur Foundation angesehen (Ekins et al. 2019):

“A circular economy is an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. [...] It replaces the ‘end-of-life’ concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems, and, within this, business models.”

(Ellen MacArthur Foundation 2013, S.7)

Die Kreislaufwirtschaft stellt also ein zirkuläres industrielles System dar, welches durch verschiedene Ansätze, wie das Design von Materialien, Produkten und Systemen und dazugehörigen Geschäftsmodellen darauf abzielt, Abfall und schädliche Emissionen zu vermeiden. Auf der Website des Europäischen Parlaments wird diese Definition weiter ausgeführt, indem konkrete Ansätze und die Vorteile einer Kreislaufwirtschaft genannt werden:

“Die Kreislaufwirtschaft ist ein Modell der Produktion und des Verbrauchs, bei dem bestehende Materialien und Produkte so lange wie möglich geteilt, geleast, wiederverwendet, repariert, aufgearbeitet und recycelt werden. Auf diese Weise wird der Lebenszyklus der Produkte verlängert. In der Praxis bedeutet dies, dass Abfälle auf ein Minimum re-

duziert werden. Nachdem ein Produkt das Ende seiner Lebensdauer erreicht hat, verbleiben die Ressourcen und Materialien so weit wie möglich in der Wirtschaft. Sie werden also immer wieder produktiv weiterverwendet, um weiterhin Wertschöpfung zu generieren.“
(Europäisches Parlament 2015)

Aktuell gewinnt die Idee der Kreislaufwirtschaft insbesondere auf Europäischer Ebene an Rückenwind, so wurde beispielsweise im Rahmen des Green Deals 2019 ein Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft vorgestellt. Auch bildet der Aufbau einer stärker kreislaforientierten Wirtschaft einen expliziten Teil der neuen Industriestrategie für Europa (Europäische Kommission 2020a). Die EU-Kommission bewertet die Kreislaufwirtschaft hierbei nicht nur als Möglichkeit Ressourcen und Energie einzusparen, sondern sieht insbesondere auch wirtschaftliche Vorteile:

„Die Kreislaufwirtschaft wird sich positiv auf das BIP-Wachstum und die Schaffung von Arbeitsplätzen auswirken, da die ehrgeizigen Maßnahmen zur Kreislaufwirtschaft in Europa das BIP der EU bis 2030 um weitere 0,5 % steigern und etwa 700 000 neue Arbeitsplätze schaffen können“
(Europäische Kommission 11.03.2020)

Die Idee der Kreislaufwirtschaft kann also je nach Definition als gesamtwirtschaftliches Industriesystem oder auch ein Modell der Produktion und des Verbrauchs angesehen werden, welches den Lebenszyklus von Produkten und Materialien im Fokus hat und neben Re-Use und Recycling auch auf Ressourceneffizienz setzt. Gleichzeitig werden der Kreislaufwirtschaft neben ökologischen auch ökonomische Vorteile zugesprochen.

Industrielle Symbiose

Der Begriff der Industriellen Symbiose (IS) beschreibt verschiedene Ausgestaltungen eines firmenübergreifenden Austausches von industriellen Nebenprodukten als Ressourcen für weitere (industrielle) Prozesse, welcher auf der kollaborativen Nutzung von Synergien beruht, die durch geographische Nähe entstehen und zu Wettbewerbsvorteilen führen (vgl. Chertow 2000, S. 313). Der Fokus der Industriellen Symbiose liegt somit stark auf der Nutzung von Neben- und Beiprodukten wie z.B. bei der Produktion anfallender Reststoffe, Abwärme und Abwasser. Insbesondere die Betrachtung auf lokaler Ebene wird dabei als Chance für die Weiterverarbeitung der Ressourcen angesehen. Vorteile entstehen somit, da die Nebenprodukte für den Transport an andere Verwertungsstandorte teilweise nur bedingt geeignet sind, durch diesen Qualitäts- oder Effizienzeinbußen entstehen oder sich die Weiterverarbeitung andernorts aufgrund der Transportkosten nicht wirtschaftlich gestalten würde (wie z.B. im Fall des Bezugs anfallender thermischer Energie in Form von Prozessdampf). Als bekanntestes Vorbild des Konzepts gilt hierbei insbesondere der dänische Industriepark Kalundborg, in welchem seit den 1970er Jahren ein firmenübergreifender Austausch von Stoffen stattfindet (Ehrenfeld und Gertler 1997).

Industrielle Symbiosen können unterschiedliche Ausprägungen und Entstehungshintergründe aufweisen. So werden Netzwerke mit mindestens drei Betrieben und mindestens zwei stofflichen oder energetischen Austauschbeziehungen als Industrielle Symbiosen angesehen, bilaterale Austauschbeziehungen hingegen als erste *Kernel*, die als Grundlage für weitere Symbiosen dienen können (Chertow 2007). Bei der Betrachtung verschiedener Ausprägungen zeigt sich die Bandbreite von Möglichkeiten für Industriesymbiosen. So können diese die Nutzung von Beiprodukten (By-product utilisation), die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur (Utility sharing) sowie die koordinierte Nachfrage

nach (Industrie-)Dienstleistungen (Joint provision of services) umfassen (Chertow 2007). Je nach Entstehungsgeschichte und Kontext gibt es weitere Unterteilungen in *geplante Symbiosen*, z.B. innerhalb eigens für den Austausch konzipierter Industriegebiete (Eco-Industrial Parks), *vermittelte Symbiosen*, bei denen ein zentraler externer Akteur das Konzept vor Ort vorantreibt oder andernorts bereits erprobte Lösungen repliziert, sowie *selbstorganisierte Symbiosen*, bei welchen die lokalen Unternehmen die Austauschbeziehungen eigenständig initiiert haben (Boons et al. 2017). Weiterhin zeigen Studien, dass in einigen Symbiosenetzen insbesondere große Unternehmen wie z.B. Kraftwerke als zentrale *Anker-Unternehmen* eine wichtige Rolle in der Entstehung spielen, indem diese weitere Unternehmen anziehen (Boons et al. 2017).

Während das Konzept der Industriellen Symbiose erst seit den 1990er Jahre tiefergehend diskutiert wird, ist die Idee Reststoffe lokal wiederzuverwerten nicht neu: Theoretisch begründet liegt der Begriff in der industriellen Ökologie (Industrial Ecology), welche Stoffkreisläufe in Ökosystemen als Vorbild für industrielle Prozesse betrachtet (Gößling-Reisemann und Gleich 2008). So wurde das Konzept der Industriesymbiose 1989 eingeführt und anfangs insbesondere von Ingenieuren als Lösung für Industrieabfälle betrachtet (Cecchin et al. 2020, S. 5). Es gab jedoch bereits vor Aufkommen des Konzepts und der Entstehung des Netzwerks im Industriepark Kalundborg vergleichbare Netzwerke, wie verschiedenste wirtschaftswissenschaftliche und wirtschaftsgeographische Beiträge zeigen, die auf dem Austausch von Nebenprodukten beruhende lokale Wirtschaftsbeziehungen im 19. und 20. Jahrhundert beschreiben (Desrochers und Leppälä 2010).

Bei der Industriellen Symbiose steht somit weniger das Produkt im Fokus als die im Rahmen einer Produktion entstehenden Nebenprodukte. Auch weist das Konzept durch die Berücksichtigung geographischer Nähe als eine der Grundlagen für erfolgreiche Austauschbeziehungen einen starken lokalen bzw. regionalen Bezug auf. Im Vergleich zu Produktionsnetzwerken und Lieferketten liegt der Fokus der Industriellen Symbiose auf der Etablierung von wirtschaftszweigübergreifenden Austauschbeziehungen, welche auf der spezifischen Ausgangssituation an bestimmten Standorten aufbauen können (Zusammenbringen vorhandener Reststoffe und Bedarfe) oder durch gezielte Ansiedlung (z.B. in Eco-Industrial Parks) geschaffen werden. Somit spielen insbesondere neue Kombinationen stofflicher Verbindungen eine entscheidende Rolle, weniger die Optimierung der Prozesse entlang der meist überörtlich organisierten Liefer- und Produktionskette von Produkten. Ressourceneffizienz soll hierbei weniger durch die interne Umstrukturierung von Produktionsprozessen als durch die Weiterverarbeitung der vor Ort vorliegenden Reststoffe und die Nutzung von im Produktionsprozess entstehender Energie durch benachbarte Unternehmen erreicht werden.

Industrielle Symbiose in internationaler Forschung und Praxis

Auch wenn das Konzept der Industriellen Symbiose im Vergleich zum in der jüngeren Vergangenheit zunehmend an Aufmerksamkeit gewinnenden Begriff der Kreislaufwirtschaft weniger akademisches, öffentliches und politisches Interesse erfahren hat (Cecchin et al. 2020, S. 6), so gibt es doch seit den 1990ern eine langsam aber stetig ansteigende Aufmerksamkeit für das Konzept (Chertow und Park 2016). Gründe für die geringere Verbreitung des Konzepts lassen sich nur spekulieren, so wird vermutet, dass der Begriff der Symbiose nicht niedrigschwellig genug und auch der Fokus auf Reststoffe weniger attraktiv für die allgemeine Öffentlichkeit ist; im Gegensatz hierzu steht das Modell der Kreislaufwirtschaft als plakativerer Ansatz zur Vermeidung von Ressourcenverschwendung und Reststoffen allgemein (vgl. Cecchin et al. 2020, S. 6). Betrachtet man jedoch die steigende Zahl der Publikationen zum Thema in wissenschaftlichen Publikationsdatenbanken (siehe hierzu exemplarisch Abb.1),

so wird dennoch ein steigendes akademisches Interesse am Konzept aus Sicht verschiedenster Disziplinen sichtbar.



Abbildung 1 Veröffentlichungen mit dem Stichwort „Industrial Symbiosis“ in int. wissenschaftlichen Journals¹; Quelle: Web of Science (Zugriff 13.07.2021)

Die Idee der Industriesymbiose als ursprünglich aus der Ökologie bzw. Ingenieurwissenschaft stammendem Konzept bildet somit mittlerweile den Forschungsgegenstand verschiedenster disziplinärer und interdisziplinärer Betrachtungen:

Während der Fokus aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht hierbei häufig auf Machbarkeit, Design einzelner Austauschbeziehungen (Iveroth et al. 2013) und möglichen Potentialen einzelner Ansätze und Lösungen liegt (Yazan et al. 2016; Cerceau et al. 2014), beschäftigen sich weitere Studien mit der Berechnung ökonomischen oder ökologischen Vorteilen (Sun et al. 2017; Martin und Harris 2018).

Sozial- und Organisationswissenschaftliche Publikationen zur industriellen Symbiose befassen sich vielfach mit der Entstehungsgeschichte Industrieller Symbiosen, den dahinterliegenden Netzwerk- und Organisationsstrukturen, sowie der Etablierung von tiefergehenden Klassifizierungen zum Verständnis und Einordnung verschiedener Ansätze (Domenech et al. 2019; Mortensen und Kjørnøvn 2019; Boons et al. 2017; Walls und Paquin 2015; Doménech und Davies 2011; Hewes und Lyons 2008). Auch spielt seit dem Aufkommen erster nationaler Programme wie z.B. dem National Industrial Symbiosis Programme (NISP) in Großbritannien die Analyse und Gegenüberstellung dieser eine Rolle (Laybourn und Lombardi 2007; Paquin und Howard-Grenville 2011). Gleiches gilt für die Betrachtung der Entwicklung von Eco-Industrial Parks in Asien als explizit auf industrielle Symbiosen ausgerichtete Industriestandorte (Wang et al. 2017; Wang et al. 2019; Park et al. 2016; Yu et al. 2015).

In den letzten Jahren entstanden insbesondere auch Studien zu neuen Möglichkeiten durch digitale Lösungen, beispielweise zum Matching von In- und Outputs oder zum Einsatz von Blockchain-Technologie als Grundlage für sichere, zuverlässige und transparente Austauschplattformen (Benedict et al. 2018; Fraccascia und Yazan 2018; Maqbool et al. 2019; Ponis 2021).

¹ Stichwortsuche auf „<https://www.webofscience.com>“. Berücksichtigt wurden Titel, Abstract und Stichwörter; Konferenzbeiträge ausgenommen.

Der Forschungsstand legt dabei nahe, dass häufig lokalspezifische Faktoren zur Entwicklung von Austauschbeziehungen beitragen und dass hierbei soziale Gegebenheiten wie Vertrauen oder soziale Einbettung, aber auch institutionelle Faktoren eine wichtige Rolle spielen (Mortensen und Kjørnø 2019; Boons et al. 2017; Mulrow et al. 2017; Velenturf und Jensen 2016; Deutz und Lyons 2008; Ashton und Bain 2012). Gleichzeitig bedarf es aber insbesondere auch einzelner, vernetzender und vorantreibender Akteure vor Ort (Hewes und Lyons 2008; Kokoulina et al. 2019).

Auch wenn aus wissenschaftlicher Sicht bisher keine abschließende Bewertung des Konzepts diesbezüglich erfolgt ist, zeigt sich die Industriesymbiose auch im Rahmen der Forschung zu Strukturpolitik und Regionalentwicklung als möglicher Ansatz (Gibbs et al. 2005; Gibbs und O'Neill 2017; Deutz und Gibbs 2008), insbesondere zur Gestaltung des (industriellen) Strukturwandels und im Kontext der Nachhaltigkeitstransformation regionaler Industriesysteme: Exemplarische Untersuchungen bestehender Netzwerke zeigen, dass vorhandene Symbiosen als Standortfaktoren für die Neuansiedlungen von Unternehmen dienen und somit einen Teil einer regionalen Spezialisierungsstrategie (Smart Specialisation) bilden können (Kasmi 2020, 2018). Auch zeigt in diesem Kontext das Beispiel Kalundborg, wie das soziale Kapital bestehender symbiotischer Netzwerke eine Grundlage für deren Weiterentwicklung über Jahrzehnte bilden kann (Valentine 2016): Im Industriepark Kalundborg stand in der Vergangenheit das Kohlekraftwerk im Zentrum der Symbiosen und bildete lange die Grundlage verschiedener Verbindungen innerhalb des Netzwerks. Während der Ausstieg aus der Kohleverstromung am Standort also im Vorfeld als kritisches Moment betrachtet wurde (Valentine 2016), zeigt die Entwicklung heute, dass die Umrüstung zu einem Biomassekraftwerk erfolgreich durchgeführt werden konnte. Seit 2018 ist weiterhin eine Biogasanlage Teil des Industrieparks und symbiotischen Netzwerks. So wird ersichtlich, dass auch stark von fossiler Energieerzeugung geprägte Netzwerke im Wandel bestehen und sich neuen Lösungen anpassen können.

Neben standortspezifischen, sehr lokal ausgeprägten Industriesymbiosen zeigen sich in der Praxis auch regionalere Ansätze erfolgreich. Bereits 2003 wurde in Großbritannien das National Industrial Symbiosis Programme (NISIP) eingerichtet, welches zum Ziel hatte, auf Reststoffen beruhende Wertstoffverbindungen zwischen Unternehmen in einigen Pilotregionen herzustellen und anschließend innerhalb des Vereinigten Königreichs weiter auszubauen. Im Laufe der Jahre konnten durch das Programm bis 2013 die Deponierung von 47 Mio. Tonnen Industrieabfall und damit 42 Mio. Tonnen CO₂ Emissionen vermieden werden, während gleichzeitig Kosteneinsparungen ermöglicht, neue Gewinne generiert und 10.000 Arbeitsplätze geschaffen bzw. erhalten werden konnten, wie das maßgeblich koordinierende Unternehmen auf seiner Website mitteilt (International Synergies Limited o.D.). In Abgrenzung zu lokalen Symbiosen in Industrieparks oder an bestimmten Standorten zeigte sich hierbei, dass die auf Reststoffen beruhenden stofflichen Verbindungen zwischen Unternehmen größtenteils bilateraler Art waren (Boons 2015). Zweidrittel der Verbindungen entstanden in einer Entfernung von bis zu 60 km (39,1 Meilen), wobei sich die durchschnittliche Entfernung je nach Sektor bzw. Produktkategorie teilweise deutlich unterschied (Jensen et al. 2011): So wurden insbesondere Textilien, aber auch Chemikalien über wesentlich weitere Strecken ausgetauscht. Als ein Erfolgsfaktor für regionale Symbiosen wird hierbei insbesondere die regionale Diversität der Unternehmen angesehen, da sich insbesondere hierdurch neue Möglichkeiten für Austauschbeziehungen ergaben, die innerhalb einzelner Wirtschaftszweige und Sektoren zuvor nicht beachtet wurden und erst mit der Verknüpfung unterschiedlichster Unternehmen entstehen konnten (Jensen 2016). Während der Erfolg möglicherweise auch auf nationalen Gegebenheiten beruhte, die sich andernorts abweichend gestalten können, beispielsweise hinsichtlich der vorherigen Existenz von Recyclingsystemen oder Wiederverwertungsmechanismen für bestimmte Wertstoffe, aber auch durch strengere Vorschriften

für die Deponierung von Abfällen, zeigt insbesondere der Export des Ansatzes in weitere Länder wie z.B. Kanada die Potentiale des nationalen Programms und der regionalen Herangehensweise an Industriesymbiosen.

Erfolgreiche Fallstudien und Programme und die Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen zu diesen führten zu einem verstärkten Interesse am Konzept seitens der Europäischen Kommission. So hat diese in den letzten Jahren 28 Forschungsprojekte zu Industrieller Symbiose gefördert, auch wurde 2018 im Rahmen eines Workshops des European Committee for Standardisation, aufbauend auf vorherigen Arbeiten, eine gemeinsame Definition des Konzepts erarbeitet (Sommer 2020):

„Industrial symbiosis is the use by one company or sector of underutilised resources broadly defined (including waste, by-products, residues, energy, water, logistics, capacity, expertise, equipment and materials) from another, with the result of keeping resources in productive use for longer.“

(European Committee for Standardisation in Sommer 2020: 5)

Weiterhin wurde eine Marktanalyse durchgeführt, welche mögliche Einsparungen durch die Vermeidung von Deponierungskosten auf 72,7 Milliarden Euro beziffert sowie ein weiteres Wertschöpfungspotential von 7 bis 13 Milliarden Euro² schätzt (Domenech et al. 2018). Die Vielzahl an Projekten und die daraus entstehenden Empfehlungen führten dazu, dass das Konzept der Industriesymbiose auch in den letzten Jahren auf europäischer Ebene zunehmend eine Rolle spielt (vgl. Kühn und Busch 2019, S. 46).

Aktuell bildet der Ansatz einen Bestandteil verschiedener Aktionspläne und Strategien. So wird Industrielle Symbiose im Rahmen des EU-Aktionsplans „Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden“ als ein Ansatz genannt, der im neuen Europäischen Forschungsraum „Horizont Europa“ weiter betrachtet werden soll (Europäische Kommission 2021). Das Konzept der Industriellen Symbiose ist ebenfalls Teil des „Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft“ im Zuge des EU Green Deals, welcher die „Erleichterung der Industriesymbiose durch die Entwicklung eines von der Industrie getragenen Berichterstattungs- und Zertifizierungssystems“ als eine Maßnahme nennt (Europäische Kommission 2020b). Somit bildet die Industrielle Symbiose einen Lösungsansatz der Kreislaufwirtschaft, welcher zumindest auf Europäischer Ebene zunehmend wahrgenommen und vorangetrieben wird, auch wenn er erst in den letzten Jahren stärkere akademische Aufmerksamkeit bekommen hat.

Für die Transformation des Wirtschaftssystems hin zu einer zirkulären Wirtschaft werden aus wissenschaftlicher Sicht insbesondere Richtlinien und Standards auf europäischer und nationaler Ebene als wichtigste Grundlage angesehen, aber auch Kommunen können eine Rolle bei der Förderung der Kreislaufwirtschaft einnehmen (vgl. Wilts 2021, S. 16). Während somit auf höheren politischen Ebenen insbesondere ökonomische und regulatorische Instrumente die Grundlage zur Förderung der Kreislaufwirtschaft bilden müssen, wird auf unterer politischer Ebene eher eine unterstützende Herangehensweise als zielführend angesehen, beispielsweise durch die Unterstützung, Beratung und Koordination von Unternehmen oder planerische Ansätze (Kühn und Busch 2019; Valentine 2016): Hierbei kann insbesondere auch die Industrielle Symbiose einen passenden Ansatz darstellen.

² abhängig vom gewählten Szenario.

Industriesymbiosen im bundesweiten Kontext

Obwohl auf europäischer Ebene ein wachsendes Interesse am Konzept zu verzeichnen ist (vgl. Sommer 2020), stellt die Industriesymbiose im öffentlichen Diskurs in der Bundesrepublik aktuell ein Nischenthema dar. Dennoch zeigen sich bei der genaueren Betrachtung verschiedener Sektoren und unterschiedlicher Standorte auch in Deutschland auf Nebenprodukten basierende Austauschbeziehungen zwischen lokalen Unternehmen und weitere Anknüpfungspunkte zum symbiotischem Wirtschaften.

Politik & Forschung

Analysen des Standortes Deutschlands verweisen darauf, dass der starke Fokus auf Ressourceneffizienz im Bereich der Produktion dazu führt, dass andere Konzepte - wie das der Industriesymbiosen - im öffentlichen Diskurs wenig verbreitet sind und bisher politisch kaum mitgedacht oder gefördert werden (Kühn und Busch 2019; Boons et al. 2015). Auch im akademischen Kontext spielt das Thema der Industriesymbiose in Deutschland eine untergeordnete Rolle. So gab es zwar in den letzten Jahren immer mal wieder einzelne Forschungsprojekte, die sich mit industriellen Symbiosen befasst haben, doch lassen aktuell nur 23 der insgesamt 803 im Web-of-Science gelisteten englischsprachigen Artikel zu dem Thema eine direkte Verbindung zu einer deutschen Hochschule³ erkennen.

Aufgrund der geringen Verbreitung des Konzeptes wurde Deutschland auch als Untersuchungsraum im Vergleich zu anderen europäischen Ländern bisher wenig betrachtet. So existiert laut Kühn und Busch (2019) keine umfangreiche Studie zu Industriesymbiosen in Deutschland, auch ein Blick in die im Rahmen des EU-Projekts MAESTRI erstellte „Library of Industrial Symbiosis Case Studies“ bestätigt dies: Nur einer von 46 Einträgen verweist auf ein Projekt in Deutschland (Evans et al. 2017). Zwar wurden in der Vergangenheit bereits verschiedene Fallstudien in Deutschland identifiziert und betrachtet (vgl. Massard et al. 2014; Isenmann 2014), es ist aber davon auszugehen, dass sowohl auf lokaler als auch auf regionaler Ebene weitere Netzwerke bestehen. Durch die fehlende Bekanntheit und Förderung des Konzepts auf nationaler Ebene kommt bestehenden Industriesymbiosen in Deutschland somit nur eine geringe Aufmerksamkeit zu, so dass diese im allgemeinen Nachhaltigkeitsdiskurs bisher nur bedingt berücksichtigt werden.

Industrielle Symbiosen in der Praxis

Im Rahmen des Forschungsprojekts SymbiotiQ⁴ erfolgt eine erste übergreifende Betrachtung von Industriesymbiosen innerhalb der aktuell und in Zukunft durch den kohleausstiegsbedingten Strukturwandel herausgeforderten Braunkohleregionen. Hierzu wurden verschiedene Gespräche mit Wirtschaftsförderungen und Regionalverbänden, aber auch Betreibergesellschaften von Industrie- und

³ wie z.B. Autorinnen und Autoren mit einer Kontaktadresse an einer deutschen Hochschule.

⁴ Symbiotische Gewerbegebiete: Nachhaltige Ansätze, Potentiale für die Strukturwandelregionen sowie Möglichkeiten und Grenzen der Übertragbarkeit auf nutzungsgemischte Quartiere (FKZ 3719 15 101 0).

Chemieparks geführt. Die im Folgenden dargestellten Anknüpfungspunkte und exemplarischen Symbiosen in der unternehmerischen Praxis wurden somit in den Gesprächen sowie in ergänzender Recherche identifiziert.

Insbesondere Industrieregionen und Kraftwerksstandorte weisen häufig stoffliche Synergien zwischen einzelnen Unternehmen auf, die je nach Ausprägung als Industrielle Symbiosen angesehen werden können. So finden sich an verschiedenen Braunkohlekraftwerksstandorten energieintensive Unternehmen aus der Papier- oder Zementindustrie, die Prozessdampf oder Abwärme nachfragen, welche bei der Stromerzeugung in den fossilen Kraftwerken entstehen. Wenn auch nicht in der Komplexität und Ausprägung des Beispiels Kalundborg, bestehen hier häufig noch weitere stoffliche Verbindungen: So wird die bei der fossilen Energieerzeugung entstehende Flugasche bei der Herstellung von Porenbeton genutzt, bei der Rauchgasentschwefelung der Kraftwerke entstehender (REA)-Gips findet durch die Gips- und Anhydritproduktion ebenfalls in großem Stil Verwendung durch die Bauwirtschaft:

Deutschlandweit wurden 2017 6,42. Millionen Tonnen REA-Gips in Stein- und Braunkohlekraftwerken produziert. Demgegenüber stehen 4,55 Mio. Tonnen Naturgips, die 2018 durch Bergbau in Steinbrüchen und Bergwerken gewonnen wurden.
(vgl. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2019, S. 46)

Neben diesen bilateralen Austauschverbindungen gibt es an den Standorten teilweise weitere Querverbindungen, beispielsweise zwischen der Papier- und Gipsindustrie, wo Recyclingkarton als Basis für Gipskartonplatten verarbeitet wird. Auch gibt es im Kontext der Kraftwerksstandorte weitere nichtindustrielle Sektoren, die ebenfalls Teil der Netzwerke sind, seien es Gewächshäuser oder Fischzuchten oder Fern- und Nahwärmenetze zur Beheizung von Stadtteilen und Dörfern, die von der Abwärme der Kraftwerke profitieren.

Während die Idee, Kraftwerksstandorte als Fallbeispiele für ein Konzept der ressourcenschonenden und nachhaltigen Wirtschaft zu betrachten anfänglich ungewöhnlich erscheinen mag, ist darauf zu verweisen, dass auch in Kalundborg ursprünglich ein fossiles Kraftwerk einen zentralen Bestandteil der lokalen Industriesymbiose bildete. Insbesondere im Rahmen der Umstrukturierung und des Wandels an den Kraftwerksstandorten gilt es frühzeitig zu überlegen, welche Abhängigkeiten vor Ort bestehen und welche Ansätze an den Standorten in Zukunft verfolgt werden können. So ist die REA-Gipsproduktion durch die Energiewende direkt betroffen, sei es aufgrund sinkender Einspeisemengen vor Ort oder durch den zukünftigen Ausstieg aus der fossilen Energieerzeugung vor Ort. Andere Verbindungen z.B. thermischer Art lassen sich jedoch ggf. auch bei der Umstrukturierung der Standorte berücksichtigen, z.B. durch den Umstieg auf Biomasse- oder Ersatzbrennstoffkraftwerke. So ließe sich vermeiden, dass neben den Arbeitsplätzen in der Kohlenwirtschaft weitere in von dieser stofflich oder energetisch abhängigen Betrieben wegfallen. Erfahrungen mit lokalen unternehmens- und sektorenübergreifenden Verbindungen können an diesen Standorten auch auf organisatorischer Ebene wichtige Ansätze für weitere Zukunftsbranchen darstellen, sei es die Sektorenkopplung in der Energiewirtschaft, wo es wichtig wird verschiedene Erzeugungs-, Nachfrage- und Speicherformen zu kombinieren, oder aber auch die Transformation des Wirtschaftsstandortes Deutschland hin zu einem Wasserstoffstandort, an dem verschiedenste Branchen auf Wasserstoff setzen.

Abseits der Kraftwerksstandorte werden im Rahmen industrieller Symbiosen in Deutschland insbesondere Chemieparks genannt, in welchen verschiedenste Unternehmen der chemischen Industrie in direkter Nachbarschaft produzieren und im Rahmen sogenannter Stoffverbünde auch von den Bei-

produkten der Nachbarbetriebe profitieren. Neben diesen Stoffströmen, welche aufgrund der spezifischen Produktions- und Organisationsweise sowie einem auf das Etablieren von Synergien und komplementären Produktionsprozessen abzielenden Ansiedlungsmanagement in der chemischen Industrie entstehen, spielen hier jedoch insbesondere auch weitere Ausprägungen industrieller Symbiosen eine Rolle: So bringen die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur, wie z.B. Rohrleitungen, der Abwasseraufbereitung oder auch der Energieerzeugung am Standort (Utility sharing), aber auch die gemeinsame Nachfrage nach Industriedienstleistungen, wie beispielsweise einer zentralen Werksfeuerwehr und Havarieservices oder Sicherheitsfirmen, Vorteile für die ansässigen Unternehmen (Joint provision of services).

Doch auch abseits der Kraftwerksstandorte und Chemieparks gibt es Beispiele für auf Nebenprodukten beruhende Netzwerke. Das Ende der 1990er Jahre entstandene Holzcluster Wismar zeichnet sich durch unternehmensübergreifende Synergien aus, die auf der lokalen Nutzung von Abfallstoffen- und Nebenprodukten beruhen. So werden im dortigen Sägewerk entstehende Reststoffe wie Hackschnitzel und Sägespäne zur Herstellung von OSB-Platten oder Laminat verwendet. Weitere Reststoffe aus den Produktionen dienen der Herstellung von Holz-Pellets. Insgesamt erfolgt nach Schätzung der Unternehmen vor Ort durch die kaskadierende Nutzung von jährlich 5 Mio. m³ Rohstoff eine Einsparung von 40% (Kommunikation & Wirtschaft GmbH und Industrie- und Handelskammer zu Schwerin 2017). Direkte Nachbarschaft und Rohrverbindungen zwischen den Unternehmen verringern hierbei Transportkosten und ermöglichen den direkten Austausch von Reststoffen. Weitere Synergien, insbesondere auf energetischer Ebene, sind aktuell im Entstehungsprozess. So ist der Neubau eines Biomassekraftwerks geplant, welches die im Sägewerk anfallende Rinde thermisch verwertet und somit einerseits Strom, andererseits aber auch Wärme erzeugt, die beispielsweise in den Trocknungsanlagen der Unternehmen vor Ort genutzt werden soll (Haike Werfel 2019). Das Beispiel des Holzclusters in Wismar zeigt exemplarisch, dass sich neben altindustriellen Regionen und Kraftwerksstandorten insbesondere auch Standorte für Symbiosen eignen, an denen biologische Ressourcen verarbeitet werden. Somit gewinnt das Konzept insbesondere vor dem Hintergrund des zunehmenden Fokus auf die Bioökonomie weiter an Relevanz.⁵ Weiterhin wird ersichtlich, wie auch durch die Neuansiedlung von komplementären Produktionsprozessen in jungen Industriegebieten Grundlagen für Industriesymbiosen entstehen können. Auch bildet ein bestehendes Netzwerk vor Ort die Grundlage dazu, dass neben zuvor erfolgreich umgesetzten stofflichen Verbindungen auch nach weiteren Ansätzen und Lösungen (hier thermischer Art) gesucht wird, wie es auch von Valentine (2016) im Fall von Kalundborg beschrieben wird.

Die verschiedenen Beispiele verdeutlichen, dass standortspezifische und betriebsübergreifende Lösungen wie diese, auch wenn sie verschiedene organisatorische und rechtliche Herausforderungen mit sich bringen, kein rein theoretisches Konstrukt sind, sondern bereits in der Praxis erprobt. Zwar bedarf es vor Ort einer passenden Gemengelage, um Stoffströme vernetzen zu können, dennoch lassen sich auch für heterogene Industrie- und Gewerbegebiete Erkenntnisse aus der Berücksichtigung des Konzepts gewinnen. So beruhen Symbiosen in den eher monostrukturellen Chemieparks nicht allein auf Stoffen, sondern auch auf der gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur oder der koordinierten Beauftragung von Dienstleistungen. Lösungen, die sich auch an heterogeneren Standorten implementieren lassen und Vorteile für Unternehmen am Standort, aber auch darüber hinaus bringen

⁵ Eine Lebenszyklusanalyse verschiedener Szenarien einer holzbasierten symbiotischen Bioökonomie, welche mögliche Kombinationen aus Holzwirtschaft und Chemie in Mitteldeutschland identifiziert, nennt beispielsweise eine Reduzierung der produktionsbedingten Umweltauswirkungen von 25-130% (Hildebrandt et al. 2019).

können. So lassen sich durch den gemeinsamen Bezug von Dienstleistungen wirtschaftliche Vorteile erzielen, gleichzeitig verhelfen der gemeinsame Betrieb oder die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur (beispielsweise in Form betriebsübergreifend genutzter Parkpaletten) dazu ineffiziente Parallellösungen zu vermeiden und Flächen einzusparen. Auch die Betrachtung von Abwärme als Output verschiedener Produktions- oder Dienstleistungsbetriebe ist in diesem Kontext interessant. So bedarf es nicht zwangsläufig eines fossilen Kraftwerks, um benachbarte Betriebe oder Stadtteile mit thermischer Energie zu versorgen oder zumindest zu einer Versorgung beizutragen. Hier ist exemplarisch die Firma Manner in Wien zu nennen, welche am Standort in einem Nutzungsgemischten Gründerzeitviertel Abwärme aus der Produktion in das lokale Fernwärmenetz einspeist (Bathen et al. 2019, S. 92). Neben klassischen Produktionsprozessen, in denen Abwärme entsteht, ergeben sich hier auch durch die zunehmende Digitalisierung neue Möglichkeiten für Symbiosen, beispielsweise durch die Abwärmenutzung von Rechenzentren: So wird mit der „Wind Cloud“ in Schleswig-Holstein eine Algenproduktion mit der Abwärme eines Rechenzentrums betrieben (Niemann 2021). Ein weiteres Beispiel ist das Rechenzentrum der VW-Finance in Braunschweig, welches zur Beheizung eines Wohnviertels mit 400 Wohnungen beiträgt (Müller und Ostler 2019). Auch wenn diese bilateralen Austauschbeziehungen (Kernel) nicht unbedingt mit komplexen symbiotischen Netzwerken vergleichbar sind, zeigen sie jedoch auf, wie die Betrachtung von Beiprodukten und Reststoffen als Ressourcen dazu dienen kann, neue wirtschaftszweig- und sektorenübergreifende Lösungen zu finden.

Wie bereits oben benannt, existiert keine Übersicht über industrielle Symbiosen in Deutschland und auch die geringe Verbreitung von Begriff und Konzept hindert daran, die Möglichkeiten und bereits bestehende Fallstudien vollständig zu erfassen. So bietet beispielsweise auch die Nahrungsmittelindustrie starke Anknüpfungspunkte zum Konzept, wenn es um die Verwertung von Reststoffen geht. Die Betrachtung bestehender industrieller Wirtschaftsstrukturen zeigt jedoch, dass auch hierzulande lokale, auf Nebenprodukten beruhende Verbindungen existieren. Die zuvor genannten Beispiele sollen einen ersten Eindruck vermitteln, was es dennoch bereits in Deutschland für tragfähige Lösungen gibt, die auch ohne die konkrete Einbettung in Forschungsprojekte entstehen oder historisch wachsen konnten. Die stärkere Berücksichtigung des Konzepts bietet daher Chancen dazu, Erkenntnisse auch auf andere Regionen zu übertragen, das Thema der Kreislaufwirtschaft auch abseits von Produktlebenszyklen und am Standort selbst weiterzudenken und Potentiale lokaler Gemengelagen identifizieren zu können. Im folgenden Ausblick werden die zuvor identifizierten Potentiale und mögliche Anknüpfungspunkte für eine regionale Strukturpolitik abschließend dargestellt.

Ausblick

Auf europäischer Ebene gewinnt das Thema der Kreislaufwirtschaft zunehmend an Bedeutung, sei es mit dem Ziel der strategischen Autonomie Europas im Rahmen der neuen Industriestrategie oder im Rahmen des Europäischen Green Deals. Um von den seitens der Europäischen Union prognostizierten Wertschöpfungsvorteilen profitieren zu können und gleichzeitig den Erhalt von Arbeitsplätzen im Industriesektor zu sichern, bedarf es neben regulatorischen Lösungen auch Ansätzen in den betroffenen Regionen. Industriesymbiosen bieten hierbei ein Konzept, welches sich einerseits stark an der vorhandenen Gemengelage und dem Zusammenbringen von Bestehendem orientiert, und sich andererseits durch den Fokus auf Nebenprodukte dazu eignet, ergänzend zu weiteren Maßnahmen - z.B. der Ressourceneffizienz oder des Produktdesigns - mitgedacht zu werden. In Ergänzung zu den auf europäischer und nationaler Ebene umzusetzenden Regulationen und Anreizen für die Kreislauf-

wirtschaft bieten lokale oder regionale Ansätze wie dieser somit Regionen und Kommunen die Möglichkeit, die Transformation zu einem ressourcensparenden Wirtschaftssystem voranzutreiben und gleichzeitig auch den Strukturwandel vor Ort aktiv mitzugestalten.

Insbesondere im Hinblick auf die Industrielle Symbiose zeigt sich in Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern noch Bedarf an Forschung und politischer Unterstützung für das Konzept. Die exemplarische Betrachtung zeigt jedoch, dass es an verschiedenen Stellen bereits Erfahrungen und Praxisbeispiele gibt, auf denen aufgebaut werden kann. So bilden insbesondere bestehende Beziehungen in Chemie- und Industrieparks hilfreiche Blaupausen. Bestehende Netzwerke vor Ort können weiterhin eine geeignete Ausgangssituation für die Transformation am Standort selbst sein.

Das Konzept der Industriellen Symbiose eignet sich somit für eine Transformation altindustrieller Standorte wie z.B. Kraftwerksstandorte oder Industrieregionen, in denen bestehende Netzwerke und stoffliche Verbindungen auch eine Grundlage für eine zielgerichtete Ansiedlungsstrategie bilden können. Hier bieten sich Möglichkeiten im Rahmen einer regionalen Strukturpolitik gestalterisch, koordinierend oder unterstützend anzusetzen. Parallele Entwicklungen an den Standorten bieten hierbei Anknüpfungspunkte, an denen Symbiosen ansetzen können, seien es die Auswirkungen einer zunehmenden Digitalisierung (insbes. das Aufkommen von Rechenzentren), Ansätze der Bioökonomie oder aber auch die Energiewende mit zunehmend dezentraler Strom- und Wärmeerzeugung oder Ansätzen der Sektorenkopplung. Gleichzeitig bietet das Konzept auch Lösungsansätze dafür, klassische heterogene Gewerbegebiete zukunftsfester zu gestalten. So zeigen die Fallbeispiele, dass erfolgreiche Symbiosen nicht ausschließlich auf stofflichen oder energetischen Verbindungen, sondern auch auf der gemeinsamen Beschaffung von Dienstleistungen oder Nutzung gemeinsamer Infrastruktur beruhen können. Dort, wo für stoffliche oder energetische Austauschbeziehungen keine passende Gemengelage vorliegt, können beispielsweise unternehmensübergreifende Angebote einen weichen Standortfaktor bilden und gleichzeitig zur Einsparung von Flächen und Ressourcen beitragen.



Literaturverzeichnis

- Ashton, Weslyne S.; Bain, Ariana C. (2012): Assessing the "Short Mental Distance" in Eco-Industrial Networks. In: *Journal of Industrial Ecology* 16 (1), S. 70–82. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00453.x.
- Bathen, Annette; Bunse, Jan; Gärtner, Stefan; Meyer, Kerstin; Lindner, Alexandra; Schambelon, Sophia et al. (2019): Handbuch Urbane Produktion. Bochum. Online verfügbar unter https://www.nachhaltige-zukunftsstadt.de/downloads/Handbuch-Urbane-Produktion_2019_Web.pdf, zuletzt geprüft am 10.06.2021.
- Benedict, Martin; Kosmol, Linda; Esswein, Werner (2018): Designing Industrial Symbiosis Platforms - from Platform Ecosystems to Industrial Ecosystems. In: Twenty-Second Pacific Asia Conference on Information Systems. Conference: Pacis Asia Conference on Information Systems. Yokohama, Japan.
- Bioökonomierat (o. J.): Was ist Bioökonomie? Online verfügbar unter <https://biooekonomierat.de/biooekonomie/>, zuletzt geprüft am 20.07.2021.
- Boons, Frank; Chertow, Marian; Park, Jooyoung; Spekkink, Wouter; Shi, Han (2017): Industrial Symbiosis Dynamics and the Problem of Equivalence: Proposal for a Comparative Framework. In: *Journal of Industrial Ecology* 21 (4), S. 938–952. DOI: 10.1111/jiec.12468.
- Boons, Frank; Spekkink, Wouter; Isenmann, Ralf; Baas, Leenard (2015): Comparing industrial symbiosis in Europe: Towards a conceptual framework and research methodology. In: Pauline Deutz (Hg.): *International perspectives on industrial ecology*. Cheltenham: Elgar (Studies on the social dimensions of industrial ecology).
- Bové, Anne-Titia; Swartz, Steven (2016): Starting at the source: Sustainability in supply chains. McKinsey Global Institute. Online verfügbar unter McKinsey Global Institute, zuletzt aktualisiert am 11.11.2016, zuletzt geprüft am 15.07.2021.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2019): Deutschland – Rohstoffsituation 2018. Hannover. Online verfügbar unter https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2018.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt geprüft am 19.07.2021.
- Cecchin, Andrea; Salomone, Roberta; Deutz, Pauline; Raggi, Andrea; Cutaia, Laura (2020): Relating Industrial Symbiosis and Circular Economy to the Sustainable Development Debate. In: Roberta Salomone, Andrea Cecchin, Pauline Deutz, Andrea Raggi und Laura Cutaia (Hg.): *Industrial Symbiosis for the Circular Economy*. Cham: Springer International Publishing (Strategies for Sustainability), S. 1–25.
- Cerceau, Juliette; Mat, Nicolas; Junqua, Guillaume; Lin, Liming; Laforest, Valérie; Gonzalez, Catherine (2014): Implementing industrial ecology in port cities: international overview of case studies and cross-case analysis. In: *Journal of Cleaner Production* 74, S. 1–16. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.03.050.
- Chertow, Marian; Park, Jooyoung (2016): Scholarship and Practice in Industrial Symbiosis: 1989–2014. In: Roland Clift und Angela Druckman (Hg.): *Taking Stock of Industrial Ecology*, Bd. 18. Cham: Springer International Publishing, S. 87–116.
- Chertow, Marian R. (2000): Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. In: *Annu. Rev. Energy. Environ.* 25 (1), S. 313–337. DOI: 10.1146/annurev.energy.25.1.313.
- Chertow, Marian R. (2007): "Uncovering" Industrial Symbiosis. In: *Journal of Industrial Ecology* 11 (1), S. 11–30. DOI: 10.1162/jiec.2007.1110.
- Desrochers, Pierre; Leppälä, Samuli (2010): Industrial Symbiosis: Old Wine in Recycled Bottles? Some Perspective from the History of Economic and Geographical Thought. In: *International Regional Science Review* 33 (3), S. 338–361. DOI: 10.1177/0160017610375441.
- Deutz, Pauline; Gibbs, David (2008): Industrial Ecology and Regional Development: Eco-Industrial Development as Cluster Policy. In: *Regional Studies* 42 (10), S. 1313–1328. DOI: 10.1080/00343400802195121.
- Deutz, Pauline; Lyons, Donald I. (2008): Editorial: Industrial Symbiosis – An Environmental Perspective on Regional Development. In: *Regional Studies* 42 (10), S. 1295–1298. DOI: 10.1080/00343400802382190.
- Domenech, Teresa; Bleischwitz, Raimund; Doranova, Asel; Panayotopoulos, Dimitris; Roman, Laura (2019): Mapping Industrial Symbiosis Development in Europe_ typologies of networks, characteristics, performance and contribution to the Circular Economy. In: *Resources, Conservation and Recycling* 141, S. 76–98. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.09.016.
- Domenech, Teresa; Doranova, Asel; Smith, M. (2018): Cooperation fostering industrial symbiosis market potential, good practice and policy actions. Final report. European Commission. Brussels. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/174996c9-3947-11e8-b5fe-01aa75ed71a1/language-en>, zuletzt geprüft am 15.01.2020.
- Doménech, Teresa; Davies, Michael (2011): The role of Embeddedness in Industrial Symbiosis Networks: Phases in the Evolution of Industrial Symbiosis Networks. In: *Bus. Strat. Env.* 20 (5), S. 281–296. DOI: 10.1002/bse.695.
- Ehrenfeld, John; Gertler, Nicholas (1997): Industrial Ecology in Practice: The Evolution of Interdependence at Kalundborg. In: *Journal of Industrial Ecology* 1 (1), S. 67–79. DOI: 10.1162/jiec.1997.1.1.67.
- Ekins, Paul; Doménech, Teresa; Drummond, Paul; Bleischwitz, Raimund; Hughes, Nick; Lotti, Lorenzo (2019): The Circular Economy: What, Why, How and Where. Background paper for an OECD/EC Workshop on 5 July 2019 within the workshop series "Managing environmental and energy transitions for regions and cities". OECD; European Commission. Paris. Online verfügbar unter <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/Ekins-2019-Circular-Economy-What-Why-How-Where.pdf>, zuletzt geprüft am 14.07.2021.
- Ellen MacArthur Foundation (2013): Towards The Circular Economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. Vol. 1. Online verfügbar unter <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>, zuletzt geprüft am 20.07.2021.

- Europäische Kommission (2020a): Eine neue Industriestrategie für Europa. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102&from=EN>, zuletzt geprüft am 20.07.2021.
- Europäische Kommission (11.03.2020): Änderung unserer Produktions- und Verbrauchsmuster: neuer Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft ebnet Weg zu klimaneutraler und wettbewerbsfähiger Wirtschaft mit mündigen Verbrauchern. Brüssel. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/de/ip_20_420/IP_20_420_DE.pdf, zuletzt geprüft am 16.07.2021.
- Europäische Kommission (2020b): Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Brüssel.
- Europäische Kommission (2021): Auf dem Weg zu einem gesunden Planeten für alle. EU-Aktionsplan: „Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden“. Brüssel. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a1c34a56-b314-11eb-8aca-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 15.07.2021.
- Europäisches Parlament (2015): Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile. Online verfügbar unter <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile>, zuletzt aktualisiert am 07.01.2021, zuletzt geprüft am 20.07.2021.
- Evans, Michaela; Herrmann, Jens; Hilbert, Josef (2021): Bioökonomie: Potenziale im Rheinischen Revier - Wissen und Bildung. Studie im Auftrag der Strukturwandelinitiative BioökonomieREVIER. Institut Arbeit und Technik.
- Evans, Stephen; Benedetti, Miriam; Holgado Granados, Maria (2017): Library of Industrial Symbiosis case studies and linked exchanges [Dataset]. Unter Mitarbeit von Apollo - University of Cambridge Repository und Stephen Evans.
- Fraccascia, Luca; Yazan, Devrim Murat (2018): The role of online information-sharing platforms on the performance of industrial symbiosis networks. In: *Resources, Conservation and Recycling* 136, S. 473–485. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.03.009.
- Gibbs, David; Deutz, Pauline; Proctor, Amy (2005): Industrial ecology and eco-industrial development: A potential paradigm for local and regional development? In: *Regional Studies* 39 (2), S. 171–183. DOI: 10.1080/003434005200059959.
- Gibbs, David; O'Neill, Kirstie (2017): Future green economies and regional development: a research agenda. In: *Regional Studies* 51 (1), S. 161–173. DOI: 10.1080/00343404.2016.1255719.
- Gößling-Reisemann, Stefan; Gleich, Arnim von (2008): Industrial Ecology – Einleitung. In: Arnim von Gleich und Stefan Gößling-Reisemann (Hg.): *Industrial Ecology*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, S. 9–18.
- Haike Werfel (2019): Wismar Pellets will Biomassekraftwerk bauen. In: *Ostsee Zeitung*, 07.02.2019. Online verfügbar unter <https://www.ostsee-zeitung.de/Mecklenburg/Wismar/Wismar-Pellets-will-Biomassekraftwerk-bauen>, zuletzt geprüft am 19.07.2021.
- Henry, Marvin; Schraven, Daan; Bocken, Nancy; Frenken, Koen; Hekkert, Marko; Kirchherr, Julian (2021): The battle of the buzzwords: A comparative review of the circular economy and the sharing economy concepts. In: *Environmental Innovation and Societal Transitions* 38, S. 1–21. DOI: 10.1016/j.eist.2020.10.008.
- Hewes, Anne K.; Lyons, Donald I. (2008): The Humanistic Side of Eco-Industrial Parks: Champions and the Role of Trust. In: *Regional Studies* 42 (10), S. 1329–1342. DOI: 10.1080/00343400701654079.
- Hildebrandt, Jakob; O'Keeffe, Sinéad; Bezama, Alberto; Thrän, Daniela (2019): Revealing the Environmental Advantages of Industrial Symbiosis in Wood-Based Bioeconomy Networks: An Assessment From a Life Cycle Perspective. In: *Journal of Industrial Ecology* 23 (4), S. 808–822. DOI: 10.1111/jiec.12818.
- International Synergies Limited (o.D.): National Industrial Symbiosis Programme (NISP). Birmingham. Online verfügbar unter <http://www.international-synergies.com/projects/national-industrial-symbiosis-programme/>, zuletzt geprüft am 15.07.2021.
- Ißenmann, Ralf (2014): Industriesymbiosen. In: *ÖW* 29 (3), S. 28. DOI: 10.14512/OEW290328.
- Iveroth, Sofie Pandis; Johansson, Stefan; Brandt, Nils (2013): The potential of the infrastructural system of Hammarby Sjöstad in Stockholm, Sweden. In: *Energy Policy* 59, S. 716–726. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.04.027.
- Jensen, Paul D. (2016): The role of geospatial industrial diversity in the facilitation of regional industrial symbiosis. In: *Resources, Conservation and Recycling* 107, S. 92–103. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.11.018.
- Jensen, Paul D.; Basson, Lauren; Hellawell, Emma E.; Bailey, Malcolm R.; Leach, Matthew (2011): Quantifying 'geographic proximity': Experiences from the United Kingdom's National Industrial Symbiosis Programme. In: *Resources, Conservation and Recycling* 55 (7), S. 703–712. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.02.003.
- Kasmi, Fedoua (2018): The "Eco-innovative" Milieu: Industrial Ecology and Diversification of Territorial Economy. In: Dimitri Uzunidis (Hg.): *Collective Innovation Processes*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, S. 131–157.
- Kasmi, Fedoua (2020): Industrial Symbiosis and Territorial Development: The Cross-Fertilization of Proximity Dynamics and the Role of Information and Knowledge Flows. In: *J Knowl Econ* 17 (3), S. 46. DOI: 10.1007/s13132-020-00631-7.
- Kirchherr, Julian; Reike, Denise; Hekkert, Marko (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In: *Resources, Conservation and Recycling* 127, S. 221–232. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
- Kokoulina, Liudmila; Ermolaeva, Liubov; Patala, Samuli; Ritala, Paavo (2019): Championing processes and the emergence of industrial symbiosis. In: *Regional Studies* 53 (4), S. 528–539. DOI: 10.1080/00343404.2018.1473568.
- Kommunikation & Wirtschaft GmbH; Industrie- und Handelskammer zu Schwerin (Hg.) (2017): *Industriestandort mit Zukunft - Westmecklenburg. Industrial Location with a Future - West Mecklenburg*. Oldenburg. Online verfügbar

- unter <https://www.ihkzuschwerin.de/share/flipping-book/3904016/flippingbook.pdf>, zuletzt geprüft am 19.07.2021.
- Kühn, Svenja; Busch, Timo (2019): Industrielle Symbiose. Eine Defizitanalyse für den Standort Deutschland. In: *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht (ZFU)* (42), S. 33–68.
- Laybourn, Peter; Lombardi, D. Rachel (2007): The Role of Audited Benefits in Industrial Symbiosis: The U.K. National Industrial Symbiosis Programme. In: *Measurement and Control* 40 (8), S. 244–247. DOI: 10.1177/002029400704000809.
- Maqbool, Amtul; Mendez Alva, Francisco; van Eetvelde, Greet (2019): An Assessment of European Information Technology Tools to Support Industrial Symbiosis. In: *Sustainability* 11 (1), S. 131. DOI: 10.3390/su11010131.
- Martin, Michael; Harris, Steve (2018): Prospecting the sustainability implications of an emerging industrial symbiosis network. In: *Resources, Conservation and Recycling* 138, S. 246–256. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.07.026.
- Massard, Guillaume; Jacquat, Olivier; Zürcher, Daniel (2014): International survey on eco-innovation parks. Learning from experiences on the spatial dimension of eco-innovation. Hg. v. Federal Office for the Environment (FOEN) und ERA-NET ECO-INNOVERA. Bern. Online verfügbar unter www.bafu.admin.ch/uw-1402-e, zuletzt geprüft am 14.07.2021.
- Mortensen, Lucia; Kørnø, Lone (2019): Critical factors for industrial symbiosis emergence process. In: *Journal of Cleaner Production* 212, S. 56–69. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.222.
- Müller, Dietmar; Ostler, Ulrike (2019): RZ-Abwärme versorgt 400 Wohnungen. Würdig für den Deutschen Rechenzentrumspreis? In: *Datacenter Insider*, 04.05.2019. Online verfügbar unter <https://www.datacenter-insider.de/rz-abwaerme-versorgt-400-wohnungen-a-816813/>, zuletzt geprüft am 19.07.2021.
- Mulrow, John S.; Derrible, Sybil; Ashton, Wesleyne S.; Chopra, Shauhrat S. (2017): Industrial Symbiosis at the Facility Scale. In: *Journal of Industrial Ecology* 21 (3), S. 559–571. DOI: 10.1111/jiec.12592.
- Niemann, Anna-Lena (2021): Grünes Rechenzentrum - Von Megabytes und Mikroalgen. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung Online*, 21.02.2021. Online verfügbar unter <https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/digital/gruenes-rechenzentrum-windcloud-laesst-algen-co2-bindet-17198206.html>, zuletzt geprüft am 10.06.2021.
- Paquin, Raymond L.; Howard-Grenville, Jennifer A. (2011): Facilitating Regional Industrial Symbiosis: Network Growth in the UK's National Industrial Symbiosis Programme. In: Frank Boons und Jennifer A. Howard-Grenville (Hg.): *The social embeddedness of industrial ecology*. Paperback ed. Cheltenham: Elgar.
- Park, Jun Mo; Park, Joo Young; Park, Hung-Suck (2016): A review of the National Eco-Industrial Park Development Program in Korea: progress and achievements in the first phase, 2005–2010. In: *Journal of Cleaner Production* 114, S. 33–44. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.115.
- Ponis, Stavros T. (2021): Industrial Symbiosis Networks in Greece: Utilising the Power of Blockchain-based B2B Marketplaces. In: *The JBBA* 4 (1), S. 1–7. DOI: 10.31585/jbba-4-1-(4)2021.
- Sommer, Klaus H. (2020): Study and portfolio review of the projects on industrial symbiosis in DG Research and Innovation. Findings and recommendations: independent expert report. Hg. v. European Commission. Luxembourg.
- Sun, Lu; Li, Hong; Dong, Liang; Fang, Kai; Ren, Jingzheng; Geng, Yong et al. (2017): Eco-benefits assessment on urban industrial symbiosis based on material flows analysis and energy evaluation approach: A case of Liuzhou city, China. In: *Resources, Conservation and Recycling* 119, S. 78–88. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.06.007.
- Valentine, Scott Victor (2016): Kalundborg Symbiosis: fostering progressive innovation in environmental networks. In: *Journal of Cleaner Production* 118, S. 65–77. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.01.061.
- Velenturf, Anne P.M.; Jensen, Paul D. (2016): Promoting Industrial Symbiosis: Using the Concept of Proximity to Explore Social Network Development. In: *Journal of Industrial Ecology* 20 (4), S. 700–709. DOI: 10.1111/jiec.12315.
- Walls, Judith L.; Paquin, Raymond L. (2015): Organizational Perspectives of Industrial Symbiosis. In: *Organization & Environment* 28 (1), S. 32–53. DOI: 10.1177/1086026615575333.
- Wang, Qiaozhi; Deutz, Pauline; Chen, Yong (2017): Building institutional capacity for industrial symbiosis development: A case study of an industrial symbiosis coordination network in China. In: *Journal of Cleaner Production* 142, S. 1571–1582. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.146.
- Wang, Yuanping; Ren, Hong; Dong, Liang; Park, Hung-Suck; Zhang, Yuepeng; Xu, Yanwei (2019): Smart solutions shape for sustainable low-carbon future: A review on smart cities and industrial parks in China. In: *Technological Forecasting and Social Change* 144, S. 103–117. DOI: 10.1016/j.techfore.2019.04.014.
- Wilts, Henning (2021): Zirkuläre Wertschöpfung. Aufbruch in die Kreislaufwirtschaft. Friedrich-Ebert-Stiftung (FES). Bonn (Wiso Diskurs, 15/2021).
- Yazan, Devrim Murat; Romano, Vincenzo Alessio; Albino, Vito (2016): The design of industrial symbiosis: an input-output approach. In: *Journal of Cleaner Production* 129, S. 537–547. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.03.160.
- Yu, Fei; Han, Feng; Cui, Zhaojie (2015): Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. In: *Journal of Cleaner Production* 87, S. 339–347. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.058.

Autor:

Marius Beckamp ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsschwerpunkt Raumkapital am Institut Arbeit und Technik.

Kontakt:

beckamp@iat.eu

Forschung Aktuell 2021-08

ISSN 1866 – 0835

Institut Arbeit und Technik der Westfälischen Hochschule Gelsenkirchen – Bocholt – Recklinghausen

Redaktionsschluss: 30.07.2021

<https://www.iat.eu/publikationen/forschung-aktuell.html>

Redaktion

Claudia Braczko

Tel.: 0209 - 1707 176

Institut Arbeit und Technik

Fax: 0209 - 1707 110

Munscheidstr. 14

E-Mail: braczko@iat.eu

45886 Gelsenkirchen

IAT im Internet: <http://www.iat.eu>

