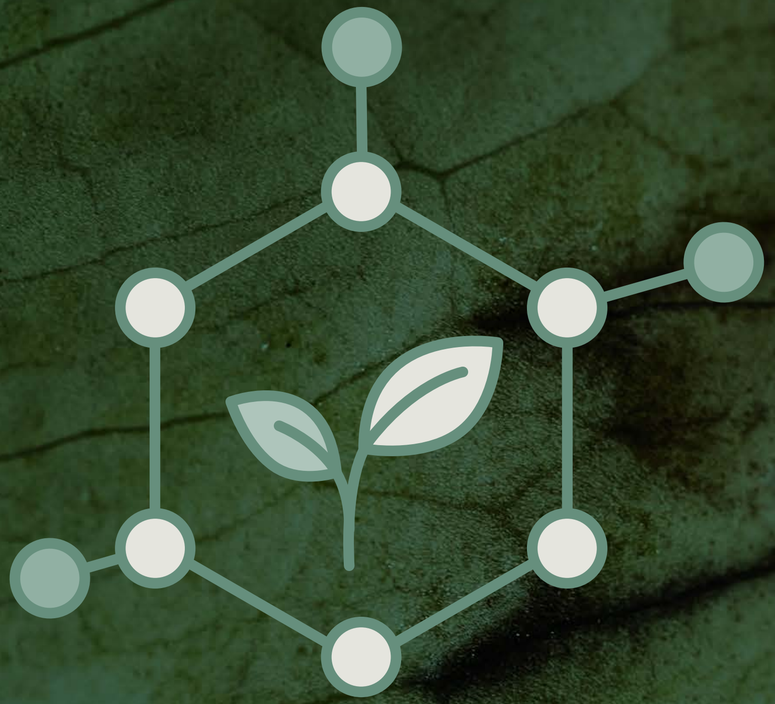
Eine Studie der Humboldt Innovation GmbH
im Auftrag des Startup Labor Schwedt

STARTUP LABOR SCHWEDT

HUMBOLDT INNOVATION
CONNECTING SCIENCE AND SOCIETY

GRÜNE CHEMIE ALS POTENZIELLES INNOVATIONS-FELD DES INDUSTRIE-STANDORTES SCHWEDT



Impressum

Stand: Januar 2025

HUMBOLDT-INNOVATION GmbH
Ziegelstraße 30
10117 Berlin

Tel.: +49 (30) 2093 70752
Fax: +49 (30) 2093 70779
E-Mail: info@humboldt-innovation.de
Web: www.humboldt-innovation.de

Geschäftsführer:
Volker Hofmann
Projektverantwortlicher:
Dr. Bruno Gomes Guimarães
bruno.gomes.guimaraes@humboldt-innovation.de

Startup Labor Schwedt
Kuhheide 33
16303 Schwedt/Oder

E-Mail: www.startuplabor-schwedt.de
Web: info@startuplabor-schwedt.de
Tel.: +49 3334657497

Erstellung der Studie durch:

HUMBOLDT INNOVATION
CONNECTING SCIENCE AND SOCIETY

Ein Projekt der:

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

LAND BRANDENBURG
Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur

eXIST
Existenzgründungen aus der Wissenschaft

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary **4**
1. Einleitung **6**
2. Einführung in die Grüne Chemie **9**
3. Innovationspotenziale **15**
3.1 Geschäftsmodelle 17
3.2 Schlüsseltechnolgien 18
4. Anwendungspotenziale **27**
4.1 Clusters und Clusterentwicklung 28
4.2 Industriestandort Schwedt 29
4.3 Anwendungspotenziale 33
5. Innovationsökosysteme **36**
5.1 Rolle der Gründungsbereitschaft 37
5.2 Rolle der Innovationsökosysteme 40
6. Voraussetzungen **46**
6.1 Profil 47
6.2 Technologie 48
6.3 Standortwechsel 50
6.4 Skalierungsbedürfnisse 52
6.5 Laborbedürfnisse 55
6.6 Weitere Anforderungen 56
7. Handlungsempfehlungen **57**
7.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse 58
7.2 Handlungsdimensionen 60
Schlusswort **64**
Impressum **65**

Executive Summary

Hintergrund

- Angesichs der Klimakrise und der großen Verantwortung der chemischen Industrie dazu bietet die Grüne Chemie enorme wirtschaftliche und ökologische Chancen für die Transformation der Branche — und der Industriestandort Schwedt könnte ein Innovationshub in diesem Bereich werden, wenn es seine Potenziale erkennt und entfaltet.

Innovationspotenziale der Grünen Chemie

- Die Grüne Chemie und ihre 12 Prinzipien werden durch verschiedene Geschäftsmodelle und Schlüsseltechnologien in der Praxis umgesetzt, aber die Technologien, die für die Transformation der Industrie benötigt werden, existieren oft noch nicht. Die meisten Innovationen müssen noch erfunden werden, was eine gewisse Unsicherheit mit sich bringt.
- Schlüsseltechnologien der Grünen Chemie, die ggf. sinnvoll für Schwedt sind, sind Prozesse mit flüssigen oder gasförmigen Medien, die hohe Produktmengen erlauben: Biokraftstoffe, chemische Speichermöglichkeiten, chemische Agrartechnologie, Wasseraufbereitung, Kunststoff & Polymere, und Katalyse & Recycling.

Anwendungspotenziale in Schwedt

- Schwedt hat mehrere wesentliche strategische Vorteile, die den Standort optimal positionieren, um eine führende Rolle bei der nachhaltigen Transformation der Chemiebranche zu übernehmen:

- Technisch-industrielle Infrastruktur
- Logistische Infrastruktur
- Geographische Lage
- Technisch versierte Belegschaft
- Biogene Kohlenstoffquellen
- Erneuerbare Energie
- Wasserstoffstrategie

- Unter Berücksichtigung dieser strategischen Vorteile und anderer Merkmale des Industriestandorts scheinen zwei Schlüsseltechnologien

Innovationsökosysteme

- Wissen über Unterstützungsangebote und Role-Models sowie eine lebendige Startup-Community sind entscheidend, um Chemie-Studierende zur Unternehmensgründung zu motivieren und dadurch disruptive Innovationen, die für die Transformation der Branche notwendig sind, auf den Markt zu bringen.
- Die Analyse der Ökosysteme für Grüne Chemie in Deutschland zeigt einen erheblichen Mangel an Laborinfrastruktur für spätere Phasen der Technologieentwicklung (Skalierung und Pilotierung) und eine unzureichende finanzielle Unterstützung für Startup-Teams durch die Hubs.
- Neben der geografischen Nähe positionieren die infrastrukturelle Unterstützungskapazität, das Gründungs- bzw. Innovationspotenzial, und die Spitzenforschung das Ökosystem in Berlin (greenCHEM) strategisch für den Schwedter Cluster.

Voraussetzungen

- Startups zeigen eine hohe Bereitschaft, für die Skalierung ihrer Produktion umzuziehen, wobei robuste logistische Verbindungen, erschwinglicher Wohnraum, öffentliche Verkehrsmittel, Abfallmanagement-Dienste und der Zugang zu Forschungseinrichtungen als besonders wichtige Kriterien für die Standortwahl erachtet werden; zudem würden sie überdachte Gebäude und technische sowie analytische Unterstützung für ihre Pilotanlagen benötigen.
- Die Innovationen der befragten Startups weisen eine große technologische Breite auf, wodurch die infrastrukturellen und laborbezogenen Voraussetzungen für die Skalierungsphase stark variieren; Flexibilität und Variabilität sind entscheidend, um diese Vielfalt bedienen zu können.

Handlungsempfehlungen

1. Kollaborative Perspektive

1.1 Das Startup Labor Schwedt sollte sich im Innovationsfeld Grüne Chemie auf die späteren Phasen (TRL 5-8) fokussieren und dabei einen kollaborativen Ansatz in der Art wählen, als dass mit den diversen Innovationsökosystemen gemeinsam an der Stärkung der Gründungsbereitschaft durch Sensibilisierungsmaßnahmen in sehr frühen Phasen zusammengearbeitet wird.

1.2 Die Zusammenarbeit mit dem Berliner Ökosystem greenCHEM sollte zu einer strategischen Partnerschaft mit dem Ziel ausgebaut werden, das international führende Innovationsökosystem für Grüne Chemie zu schaffen und

internationale Startups in die Region zu ziehen. Dabei sollten sich die Berliner Partner auf die frühen Technologieentwicklungsstufen sowie auf F&E-Einheiten von Unternehmen fokussieren. Die Partner in Schwedt fokussieren sich dagegen auf Scale-ups und die sich anschließende Produktion.

1.3 Das Startup Labor Schwedt sollte die Partnerschaft unterstützende Maßnahmen ergreifen und in die Umsetzung bringen.

2. Infrastruktur

2.1 Schwedt sollte sowohl das DemoHub als auch das Reallabor am Standort realisieren, um die infrastrukturellen Voraussetzungen für Ansiedlungen in späteren Phasen (TRL 5-8) zu schaffen. Wird ein Service-orientierter Ansatz verfolgt, kann strategischer Vorteil aufgebaut werden.

2.2 Schwedt sollte zusätzliche Investitionsmittel für solche Infrastrukturen einplanen, die die Bereitstellung CO_2-neutraler Medien ermöglichen.

2.3 Schwedt sollte zusätzliche Laborflächen für die sich ansiedelnden Unternehmen schaffen. Bei der baulichen Umsetzung ist darauf zu achten, eine maximale Flexibilität ermöglichen zu können.

3. Governance

3.1 Der Betrieb beider Infrastrukturen sollte von einer staatlichen Betriebsgesellschaft übernommen werden, so dass die Entscheidung, welche Technologien in den Infrastrukturen erprobt werden, unvoreingenommen, d.h. technologieoffen getroffen wird.

3.2 Die staatlichen Akteure sollten eine Anschubfinanzierung für die Betriebsgesellschaft stellen, um den Aufbau eines langfristig tragfähigen Geschäftsmodells zu ermöglichen und damit die Transformation des Industriestandortes unterstützen.

4. Politik

4.1 Die Politik muss sich aktiv in den Transformationsprozess einbringen, mutige Entscheidungen treffen und die Zeit investieren, die komplexen Zusammenhänge einer breiten Öffentlichkeit zu erklären und glaubhaft zu vertreten.

4.2 Es sollte geprüft werden, ob Lücken in Förderprogrammen bzgl. der Erprobung von Technologien in Infrastrukturen wie dem DemoHub und dem Reallabor bestehen. Sollten solche Förderlücken bestehen, sollten sie durch zusätzliche Förderprogramme gezielt bis zur Fertigstellung der Infrastrukturen geschlossen werden. Hierbei gilt es die Landes-, Bundes- und EU-Ebene einzubeziehen.

4.3 Die Zusammenarbeit und Integration von polnischen Akteuren in Grenznähe sollte zeitnah und gezielt angegangen werden.

4.4 Die politischen Vertreter*innen sollten Druck auf die Hochschullandschaft in Brandenburg, Berlin und auf Bundesebene in der Art erhöhen, als dass Technologietransfer im Allgemeinen und in der Chemie im Speziellen von Dringlichkeit für die Transformations- und Innovationsfähigkeit der Bundesrepublik Deutschland ist. Dabei sollte die einzigartige Situation (Import-Beschränkungen und Unterstützung durch das BMWK) am Standort Schwedt genutzt werden.

5. Zivilgesellschaft

5.1 Die Menschen in Berlin und in Schwedt sollten eine Kultur praktizieren, die Offenheit gegenüber der jeweils anderen Sichtweise vorlebt, Unsicherheiten ebenso wie Rückfragen zulässt und somit einen Nährboden für Innovationen bereitet. Der Mut, die notwendige Transformation gemeinsam anzupacken, sowie die dafür erforderliche Komplementarität sollten stets im Vordergrund stehen.

1 Einleitung

Das Jahr 2024 markiert ein besorgniserregendes Ereignis: Nach Daten von Copernicus – dem Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Union – wurde die globale Durchschnittstemperatur erstmals um mehr als 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau überschritten.[1] Diese Daten unterstreichen die Dringlichkeit globaler Anstrengungen, den menschgemachten Klimawandel zu begrenzen und die Ziele des Pariser Klimaabkommens einzuhalten. Doch trotz dieser Warnsignale steigt die weltweite Förderung fossiler Rohstoffe an. Nach dem vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen veröffentlichten „Production Gap Report 2023“ planen Regierungen, im Jahr 2030 mehr als doppelt so viele fossile Rohstoffe – Erdöl, Erdgas und Kohle – zu fördern, als es mit einer Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5°C vereinbar wäre.[2] Diese Entwicklungen zeigen, wie weit die Realität von den Klimazielen entfernt ist.

In diesem Kontext spielt die chemische Industrie eine entscheidende Rolle. Mit 4% der weltweit 59 Milliarden Tonnen an CO2-Äquivalenten (CO2eq) ist sie nicht nur eine der größten industriellen Verursacher von Treibhausgasemissionen.[3] Vielmehr kommt dieser Branche eine Schlüsselrolle zu – allein aufgrund ihrer Größe. So macht sie mit einem Umsatz von 4,7 Billionen US-Dollar ca. 4% der weltweiten Wirtschaftsleistung aus und beschäftigt über 15 Millionen Menschen. Von entscheidenderer Bedeutung ist jedoch, dass chemische Produkte in nahezu allen Produkten des alltäglichen Lebens Anwendung finden — 96% aller hergestellten, physischen Waren hängen von chemischen Produkten ab.[4]

[1] The 2024 Annual Climate Summary: „Global Climate Highlights 2024“, 10. Januar 2025, online: https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024. Zugriff: 19.01.2025.
[2] SEI, Climate Analytics, E3G, IISD, and UNEP. (2023). The Production Gap: Phasing down or phasing up? Top fossil fuel producers plan even more extraction despite climate promises. Stockholm Environment Institute, Climate Analytics, E3G, International Institute for Sustainable Development and United Nations Environment Programme. https://doi.org/10.51414/sei2023.050
[3] Systemiq. (2021): “Planet Positive Chemicals: The future of petrochemicals”, online: https://www.systemiq.earth
[4] Systemiq. (2021): “Planet Positive Chemicals: The future of petrochemicals”, online: https://www.systemiq.earth

11 MIO

POTENZIELLE DIREKTE NEUE ARBEITSPLÄTZE IN EINER TRANSFORMIERTEN CHEMIEINDUSTRIE

Damit wird deutlich: Nur wenn es gelingt, das Wirtschaftsmodell der chemischen Industrie in ein nachhaltiges Modell zu transformieren, wird es für große Teile der Weltwirtschaft möglich sein, Nachhaltigkeit ihrer Produkte zu erreichen.

Der „Planet Positive Chemicals Report“ zeigt das enorme wirtschaftliche und klimapolitische Potential dieser Transformation auf. So kann das jährliche Produktionsvolumen bis 2050 um das 2,5-fache gesteigert und 11 Millionen direkte neue Arbeitsplätze in einer transformierten Chemieindustrie geschaffen werden. Auch der Übergang zu Netto-Null-Emissionen in anderen Branchen wird durch solch eine Chemieindustrie ermöglicht, wobei sie selbst als „Kohlenstoffsenke“ fungieren kann. Durch die Verwendung nachwachsender Kohlenstoffquellen können bis 2050 jährlich 500 Millionen Tonnen CO2 absorbiert werden.[5] Um dieses Potenzial jedoch zu heben, sind zwei wesentliche Voraussetzungen erforderlich: (1) Innovationen und (2) Investitionen.

Als eine der führenden Forschungs- und Wirtschaftsnationen in der Chemie trägt Deutschland hierbei entsprechend eine zentrale Verantwortung. Gleichzeitig bietet diese Transformation aufgrund der Voraussetzungen einzigartige Chancen für Deutschland, Vorreiter und damit Profiteur in der Entwicklung und Umsetzung des Innovationsfeldes der „Grünen Chemie“ zu sein. Elementare Ermöglichungsfunktion spielen hierbei Startups, die Ihren Ursprung oft in der Wissenschaft haben – sogenannte wissenschaftsbasierte Ausgründungen. Als wirtschaftliche Akteure sind sie fähig, sowohl das Disruptionspotenzial als auch die zeitlichen Anforderungen der Transformation bewältigen zu können.

INNOVATIONEN

INVESTITIONEN

[5] Systemiq. (2021): “Planet Positive Chemicals: The future of petrochemicals”, online: https://www.systemiq.earth

Die vorliegende Studie fokussiert sich auf die Region Schwedt in Brandenburg. Als traditionsreiche Industrieregion steht sie einerseits vor besonderen Herausforderungen und hat aufgrund von Standortfaktoren andererseits einzigartige Chancen. Ziel der Studie ist es, die Innovationspotenziale der „Grünen Chemie“ spezifisch für die Region zu evaluieren und dabei folgende Fragen ins Zentrum der Evaluierung zu stellen:

1.

WIE KANN DER STANDORT SCHWEDT VON DEM INNOVATIONSFELD „GRÜNE CHEMIE“ PROFITIEREN?

2.

WAS MUSS KONKRET GETAN WERDEN, UM DIE BESTEHENDEN POTENTIALE DER REGION ZU HEBEN?

3.

WELCHE ROLLE SPIELT DIE INFRASTRUKTUR FÜR DIE ERFOLGREICHE ETABLIERUNG GRÜNER CHEMIE IN DER REGION?

Um diese Ziele zu erreichen, wird zunächst das Innovationsfeld der „Grünen Chemie“ anhand von praktischen Beispielen näher erläutert. Im darauffolgenden Kapitel werden anhand von Schlüsseltechnologien einerseits sowie Geschäftsmodellen andererseits Transformationsherausforderungen und -potenziale beschrieben. Besonderer Augenmerk wird dabei auch auf stoffliche Kreisläufe gelegt. Aufbauend auf den vorherigen Ausführungen werden schließlich in Kapitel 4 die Anknüpfung- und Anwendungspotentiale am Standort Schwedt anhand von zwei für die Region zentralen Technologiebereichen der Grünen Chemie herausgearbeitet. In Kapitel 5 werden relevante Innovationsökosysteme im Themenfeld in Deutschland vorgestellt und miteinander verglichen. Ebenfalls werden die Potentiale von wissenschaftsbasierten Ausgründungen im Themenfeld aufgezeigt und in Relation zur aktuellen Anzahl von Ausgründungen gestellt, so dass der aktuelle kritische Flaschenhals für Innovationen deutlich wird. In Kapitel 6 werden schließlich die Ergebnisse der empirischen Befragung präsentiert, die sowohl technisch-infrastrukturelle als auch wirtschaftliche Voraussetzungen für Ansiedelungen von Startups im Themenfeld untersucht hat. Den Abschluss in Kapitel 7 bilden schließlich Handlungsempfehlungen in Form von umsetzbaren Maßnahmen.

2 Einführung in die Grüne Chemie

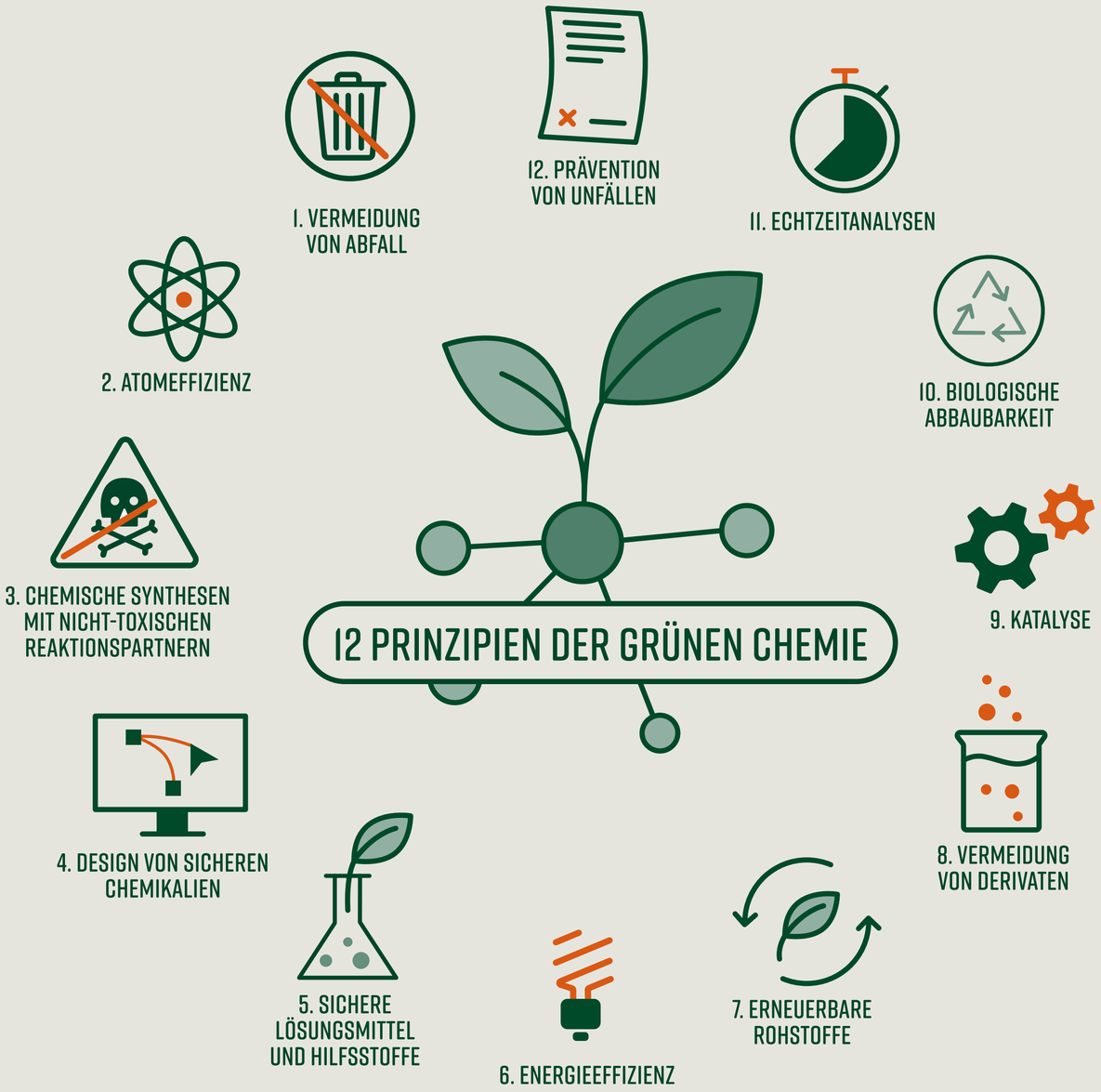
Im folgenden Kapitel werden die **12 Prinzipien der Grünen Chemie** erklärt und anhand von praktischen Beispielen greifbar gemacht. Dabei ist herauszustellen, dass diese Prinzipien den Chemikerinnen und Chemikern Handlungsoptionen in Form von Prinzipien bereitstellen, wie sie nachhaltige Produkte entwickeln können. Denn während das **„WARUM?“** (Warum brauchen wir Nachhaltigkeit?) und das **„WAS?“** (Was müssen wird tun?) bei der Mehrzahl geklärt ist, ist das **„WIE“** (Wie schaffen wir das?) unklar. Genau hier setzen die 12 Prinzipien der Grünen Chemie an.

Die 12 Prinzipien der Grünen Chemie zeigen auf, wie zukünftige chemische und biotechnologische Produkte gestaltet und bestehende Produktionen schrittweise umgestellt werden können. Definiert wurde das Konzept der „Grünen Chemie“ 1998 als „Das Design von chemischen Produkten und Prozessen, die umweltfreundlicher sind, negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt reduzieren und insgesamt nachhaltiger gestaltet sind“. [6, 7]

Diese 12 Prinzipien bieten eine klare Orientierung für die Bewertung und Entwicklung von Materialien, Produkten, Prozessen und Systemen, die einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung von Klimaneutralität und Umweltverträglichkeit leisten können. Sie bilden einen umfassenden Leitfaden für eine nachhaltige Transformation der chemischen Industrie. Im Folgenden werden die einzelnen Prinzipien und Beispiele für deren konkrete Anwendungen detaillierter erläutert.

DER DEUTSCHEN CO_2-EMISSIONEN STAMMEN AUS DER CHEMIE-BRANCHE

[6] Anastas, P. T. & Warner, J. C. Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press: New York, 1998 doi:10.1093/OSO/9780198506980.001.0001.
[7] Anastas & Warner (1998).


12 PRINZIPIEN DER GRÜNEN CHEMIE
1. VERMEIDUNG VON ABFALL
2. ATOMEFFIZIENZ
3. CHEMISCHE SYNTHESEN MIT NICHT-TOXISCHEN REAKTIONSPARTNERN
4. DESIGN VON SICHEREN CHEMIKALIEN
5. SICHERE LÖSUNGSMITTEL UND HILFSSTOFFE
6. ENERGIEEFFIZIENZ
7. ERNEUERBARE ROHSTOFFE
8. VERMEIDUNG VON DERIVATEN
9. KATALYSE
10. BIOLOGISCHE ABBAUBARKEIT
11. ECHTZEITANALYSEN
12. PRÄVENTION VON UNFÄLLEN

1. VERMEIDUNG VON ABFALL

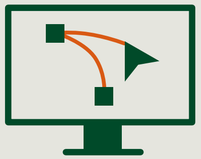
Vermeidung von Abfall ist effizienter als dessen Behandlung oder Entsorgung nach der Entstehung. Daher sind in der grünen Chemie Techniken und Prozessoptimierungen wichtig, um Emissionen und Abfallströme möglichst erst gar nicht entstehen zu lassen. Ein Indikator ist der sogenannte E-Faktor, welcher ein Verhältnis von produziertem Müll zu produziertem gewünschten Produkt bildet.
Ein Beispiel ist die Aufreinigung von Ethanol als Lösungsmittel. Hier wird eine spezielle Art der Destillation eingesetzt, um Ethanol-Wasser-Gemische zu trennen. Durch Hinzufügen eines dritten Stoffes wird die durch die einfache Destillation nicht trennbare Mischung aufgebrochen, wodurch eine Trennung und somit reines Ethanol erhalten wird.[8]

2. ATOMEFFIZIENZ

Zukünftig durchgeführte Synthesen sollten so gestaltet sein, dass die eingesetzten Materialien möglichst preisgünstig und nachhaltig gewonnen werden können, sowie das sie möglichst vollständig in das Endprodukt umgesetzt werden. Durch atom-ökonomische Synthesen wird somit weniger Abfall produziert.
Ein Beispiel hierfür ist die Herstellung von Aspirin. Sie erfolgt durch eine chemische Reaktion zwischen Salicylsäure und Essigsäureanhydrid:
Salicylsäure + Essigsäureanhydrid
→ Aspirin + Essigsäure
In dieser Reaktion werden alle Atome der Ausgangsstoffe in die Endprodukte überführt. Es entsteht kein bedeutender Abfall, da Essigsäure als Nebenprodukt nützlich ist und in anderen Prozessen wiederverwendet werden kann.[9]

3. CHEMISCHE SYNTHESE MIT NICHT-TOXISCHEN REAKTIONSPARTNERN

Wo immer es möglich ist, sollen produzierte Chemikalien keine oder nur eine geringe Toxizität für Mensch und Umwelt aufweisen. Wohingegen früher gewünschten die Eigenschaften beziehungsweise Eigenschaften der Produkte allein entscheidend war, soll nun der Fokus auf dem Gesamtprozess und damit auch auf allen beteiligten Chemikalien liegen.
Ein früher besonders gefährlicher Prozess war die Synthese von Ethylenoxid, einem wichtigen Grundbaustein der chemischen Industrie — zum Beispiel für die Herstellung von PET (Polyethylenterephthalat). Die Gefährlichkeit resultierte aus der Verwendung von giftigem Chlor in der Produktion. Heute jedoch wird Ethylenoxid sicherer und effizienter aus Ethen und direkt verfügbarem Luftsauerstoff hergestellt. Dieses moderne Verfahren reduziert nicht nur die Gefahren, sondern ist auch ein Beispiel dafür, wie Innovationen die chemische Industrie nachhaltiger und sicherer machen können, insbesondere im Sinne des dritten Prinzips der grünen Chemie.



4. DESIGN VON SICHEREREN CHEMIKALIEN UND PRODUKTEN

Dieses Prinzip zielt darauf ab, Chemikalien und Produkte so zu gestalten, dass sie ihre gewünschte Funktion erfüllen und gleichzeitig möglichst untoxisch für Mensch und Umwelt sind. Dies schließt die Minimierung gesundheitlicher Risiken und die Verbesserung der biologischen Abbaubarkeit ein, um die Auswirkungen während ihrer gesamten Lebensdauer zu reduzieren. Während das 3. Prinzip die Vermeidung toxischer Ausgangsstoffe und Reaktionspartner während der Herstellung in den Fokus nimmt, fokussiert das 4. Prinzip das chemische Design von Endprodukten, die sicherer und umweltfreundlicher in ihrer Anwendung sein sollen.
Aufgrund seiner akuten Toxizität wird Post-Gelb (Cadmiumsulfid) seit den 80er-Jahren nicht mehr industriell als Pigment für Lacke in Europa verwendet. Man verwendet stattdessen das ungiftige und besser deckende Wismut-Vanadat und verschiedene gelbe organische Pigmente.

[8] Gil, I.D. et al. Separation of Ethanol and Water by Extractive Distillation with Salt and Solvent as Entrainer: Process Simulation. Brazilian Journal of Chemical Engineering, vol. 25, no. 1, pp. 207-215, Jan.-Mar. 208.

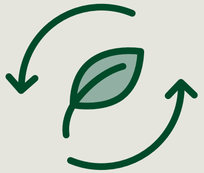
[9] Markus Kohler. Herstellung von Aspirin, GRIN Verlag: München, 2001. https://www.grin.com/document/103834

5. SICHERE LÖSEMITTEL UND HILFSSTOFFE

Das 5. Prinzip der Grünen Chemie fordert den Einsatz sicherer, umweltfreundlicher Lösemittel und Hilfsstoffe (z.B. Trennmittel in der Aufarbeitung von Produkten) oder – wenn möglich – deren Vermeidung. Ziel ist es, gesundheitliche Risiken zu minimieren, Abfall zu reduzieren und die Umweltbelastung zu verringern. Bevorzugt werden alternative Medien wie Wasser, Superkritisches CO_2 oder lösungsmittelfreie Prozesse. Die Verwendung von Hilfsstoffen (Lösungsmittel, Trennmittel in der Aufbereitung usw.) sollte nach Möglichkeit überflüssig oder vollständig wiederverwendbar sein.
Ein Beispiel ist die Verwendung von Wasser als Lösemittel anstelle von organischen Lösungsmitteln wie Benzol oder Dichlormethan. Wasser ist ungiftig, sicher und umweltfreundlich, wodurch gesundheitliche Risiken und Umweltbelastungen deutlich reduziert werden. So können z.B. heute Lösungsmittellacke durch wasserbasiert Lacke häufig gleichwertig ersetzt werden.

6. ENERGIEEFFIZIENZ

Dieses Prinzip zielt darauf ab, chemische Prozesse möglichst energieeffizient zu gestalten. Dies umfasst die Minimierung des Energieverbrauchs durch niedrige Temperaturen und idealerweise Umgebungsdruck. Auf diese Weise können Kosten gesenkt und Umweltbelastungen durch Energieerzeugung verringert werden. Als Beispiele gelten einerseits verbesserte Isolationen und andererseits die Nutzung von im Produktionsprozess anfallender Abwärme. Besonders innovativ ist die Verwendung von Mikrowellenstrahlung. So kann in der chemischen Synthese des pharmazeutischen Wirkstoffes „Ibuprofen“ energiearme Mikrowellenstrahlung eingesetzt werden, wodurch die Reaktionszeit deutlich verkürzt, die Temperaturkontrolle verbessert und insgesamt die Energieeffizienz erhöht wird.



7. ERNEUERBARE ROHSTOFFE

Das 7. Prinzip der Grünen Chemie fordert den Einsatz erneuerbarer Rohstoffe anstelle fossiler Ressourcen. Chemikalien und Materialien sollen aus nachwachsenden Quellen wie Pflanzen, Algen oder landwirtschaftlichen Abfällen gewonnen werden. Dies verringert die Abhängigkeit von endlichen Ressourcen, reduziert CO_2-Emissionen und fördert nachhaltige Produktionsprozesse.
Ein prominentes Beispiel ist die Verwendung von Polymilchsäure (PLA) als vielseitig einsetzbarer Ausgangsstoff für Biokunststoffe anstatt von den klassischen erdölbasierenden Bausteinen für die Kunststoffherstellung. Aus Maisstärke wird Milchzucker und daraus Milchsäure (LA) hergestellt. Dieser Grundbaustein wird anschließend polymerisiert, sodass viele Milchsäuremoleküle ein langes Polymer, die Polymilchsäure (PLA), bilden. Die Rohstoffquelle ist Mais, anstatt Erdöl, und erfüllt somit das Kriterium der erneuerbaren Biomasse.

8. VERMEIDUNG VON DERIVATEN

Das 8. Prinzip fordert die Reduzierung unnötiger Derivate, also chemischer Modifikationen mit Schutzgruppen. Diese dienen nur zur Vermeidung unerwünschter Nebenreaktionen, erfordern jedoch zusätzliche Schritte und Chemikalien und haben keinen direkten Nutzen für das Endprodukt. Ihre Vermeidung spart Rohstoffe, Energie und reduziert Abfall, was umweltfreundlichere Reaktionen fördert.
Ein Beispiel ist die Herstellung von Sorbitol aus Glukose, die ohne Schutzgruppen auskommt. Sorbitol wird als Zuckeraustauschstoff in Lebensmitteln, Kosmetika und Pharmazeutika genutzt. Die Umwandlung von Glukose zu Sorbitol erfolgt durch eine katalytische Hydrierung, bei der Wasserstoff (H_2) in Gegenwart eines Metallkatalysators direkt, d.h. ohne Verwendung von Schutzgruppen und ohne Bildung von Zwischenderivaten in das gewünschte Zielprodukt Sorbitol umgewandelt wird.der Grünen Chemie innerhalb einer chemischen Reaktion zum Einsatz kommen.

9. KATALYSE

Das 9. Prinzip betont die Nutzung von Katalysatoren, die bereits in etwa 90% aller industriellen chemischen Prozesse eingesetzt werden. Katalysatoren beschleunigen Reaktionen, ermöglichen mildere Bedingungen (z. B. niedrigere Temperaturen) und reduzieren den Energieverbrauch sowie das Entstehen von Nebenprodukten – werden aber selbst während der Reaktion nicht verbraucht. In der Industrie sind Katalysen essenziell, da sie Ressourcen schonen und Abfall minimieren. Katalyse trägt somit erheblich zur Effizienz und Nachhaltigkeit bei.
Ein Beispiel davon ist die Herstellung von grünem Wasserstoff durch photo-katalytische Wasserspaltung. Das heißt, man verwendet Sonnenlicht, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufzuspalten. Entscheidend ist hierbei der verwendete Katalysator, der diese Traumreaktion erst möglich macht. Das Berliner Exzellenzcluster namens „UniSysCat“ erforscht diverse Katalysatoren, die Sonnenenergie nutzen, nicht nur für die Wasserspaltung. Ein Ziel von UniSysCat ist es, katalytische Prozesse zu entwickeln, die Sonnenlicht als erneuerbare Energiequelle nutzen.

10. BIOLOGISCHE ABBAUBARKEIT

Nach diesem Prinzip sollen Produkte so entworfen werden, dass sie nach ihrem Gebrauch in harmlose Abbauprodukte zerfallen, d.h. durch biologische Prozesse gespalten werden können. Die Einhaltung dieses Prinzips ist elementar, damit Produkte keine langfristigen Umweltbelastungen darstellen und sich eben nicht langfristig in Böden, Gewässern und Lebewesen anreichern.
Mit der Entwicklung von biologisch abbaubaren Kunstoffen auf Basis von biobasierten Polymeren wird ein großes Problem unserer Zeit[11] angegangen. Ein prominentes Beispiel ist der vollkommen bioabbaubare Kunststoff auf Basis von Abfällen aus der Agrainsustrie des Hamburger Startups „traceless“. Auch die bereits erwähnte Polymilchsäure (PLA) ist ein bereits weit verbreitetes Anwendungsbeispiel.

11. ECHTZEIT-ANALYSEN

Das 11. Prinzip fordert die Entwicklung und Anwendung von Echtzeitüberwachung und -analysen, um chemische Reaktionsprozesse schon während ihrer Durchführung anhand von Echtzeitdaten (z.B. Temperatur, Druck, Reinheit) zu überwachen. Ziel ist es, potenzielle Gefahren oder ineffiziente Bedingungen frühzeitig erkennen und entsprechend schon während der Reaktion gegensteuern zu können. Auf diese Weise können Abfälle minimiert und die Sicherheit erhöht werden.
Ein innovatives Beispiel für dieses Prinzip kommt vom Berliner Startup LIQUIDLOOP. Aus Forschungsarbeiten im Umfeld von UniSysCat entstanden, hat LIQUIDLOOP Messsysteme erschaffen – die sogenannte „Differenzielle Elektrochemische Massenspektrometrie (DEMS)“ – mit deren Hilfe die Echtzeitüberwachung von elektrochemischen Reaktionen ermöglicht wird. Besonders nützlich sind diese Systeme bei Prozessen wie der CO_2-Reduktion.

12. PRÄVENTION VON UNFÄLLEN

Dieses Prinzip zielt darauf ab, Unfälle durch die Verwendung sicherer Chemikalien, Verfahren und Bedingungen zu verhindern. Entsprechend sollen Einsatzstoffe verwendet werden, die nicht-explosiv, nicht-entzündlich und ungiftig sind. Die Wahl der Substanzen sowie der Prozessbedingungen soll so gestaltet werden, dass das Potential für chemische Unfälle – in Form von Austritt, Explosionen oder Feuern –minimiert wird.
Ein Beispiel ist die Umstellung von Batch-Prozessen auf kontinuierliche Reaktionsführung. In Batch-Prozessen wird die gesamte Menge der Ausgangsstoffe in einem großen chemischen Reaktor zur Reaktion gebracht. In kontinuierlichen Prozessen dagegen werden die Ausgangsstoffe konstant, d.h. über die Zeit verteilt zusammengeführt geführt und die sich bildenden Produkte kontinuierlich entfernt. In der kontinuierlichen Reaktionsführung lassen sich gefährliche Stoffmengen minimieren, wodurch das Risiko von Überhitzung, Druckaufbau oder unkontrollierten Reaktionen reduziert und so die Sicherheit erhöht wird.

[10] Technology Roadmap (2013): “Energy and GHG reductions in the chemical industry via catalytic processes”, online: https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/IndustrialCatalysis/Chemical_Roadmap_2013_Final_WEB-called_by-dechema-original_page-136220-original_site-dechema_eV-view_image-1.pdf

[11] https://www.unep.org/plastic-pollution

Diese **12 Prinzipien der Grünen Chemie** wurden seit Ihrer Formulierung im Jahre 1998 durch konkrete Beispiele immer weiter ausgeschärft. Darüber hinaus wurden sie in der Zwischenzeit auch auf die Ingenieurwissenschaften und angrenzende Disziplinen ausgeweitet. Eine wesentliche Entwicklung ist dabei auch, dass die Quantifizierung der Nachhaltigkeitswirkung durch verschiedenste Indikatoren immer differenzierter untersucht wird. Mittlerweile existieren eine Vielzahl an relevanten technischen Parametern und Variablen (z.B. Ausbeute, Preis, Sicherheit, Reaktionsbedingungen und Aufarbeitung) die in solche Untersuchungen strukturiert einbezogen werden.[12, 13]

Ein wichtiger Bestandteil der Transformation hin zu nachhaltigen Materialien ist die industrielle Biotechnologie. Diese Teildisziplin der Biotechnologie befasst sich mit der industriellen Nutzung biologischer Systeme, wie Mikroorganismen und Enzymen, um umweltfreundliche Prozesse und Produkte zu entwickeln. Im Gegensatz zu klassischen chemischen Prozessen, welche aktuell zu einem Großteil auf fossilen Ressourcen basieren, orientiert sich die Biotechnologie and Prozessen aus der Natur, die Herstellung von Chemikalien, Produkten und Energie aus regenerierbaren Rohstoffen vorlebt. Dies trägt nicht nur zur Reduktion von Treibhausgasemissionen bei, sondern minimiert auch den Einsatz schädlicher Chemikalien und Abfallprodukte. Die Anwendung der weißen Biotechnologie reicht von der Produktion von Biokraftstoffen über die Synthese von Biopolymeren bis hin zur Entwicklung von umweltverträglichen Lösungsmitteln und Reinigungsmitteln. Im Gegensatz zu rein chemischen Ansätzen besteht der Nachteil von biotechnologischen Ansätzen in der geringen Raum-Zeit-Ausbeute. Das heißt, die Volumina und Zeiträume, die für eine gewünschte Menage an Produkt benötigt werden, stehen in einem Verhältnis, das nicht zu ökonomisch umsetzbaren Produktions- und Produktkosten führt. Entscheidend ist hier die Entwicklung neuer Katalysatoren, die dieses Verhältnis entsprechend verbessern. An dieser Stelle setzt das Berliner Exzellenzcluster „UniSysCat“ an. Hier arbeiten Forscher und Forscherinnen mit großem Erfolg daran, neue und innovative Katalysator-Systeme zu entwickeln. Dabei ist der zentrale Ansatz, biologische und chemische Katalysator-Systeme zusammenzuführen.

DIE WESENTLICHE HERAUSFORDERUNG DER BIOTECHNOLOGIE IST DER HOHE PLATZ- UND ZEITBEDARF. DIE GRÜNE CHEMIE SUCHT DAS OPTIMUM AUS EFFIZIENZ UND NACHHALTIGKEIT.

[12] Shi, M. et al., Overview of sixteen green analytical chemistry metrics for evaluation of the greenness of analytical methods, Trends in Analytical Chemistry, 2023, 166, 117211.
[13] Sheldon, R., Metrics of Green Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future, ACS Sustainable Chem. Eng., 2018, 6, 32-48.

3 Innovationspotenziale der grünen Chemie

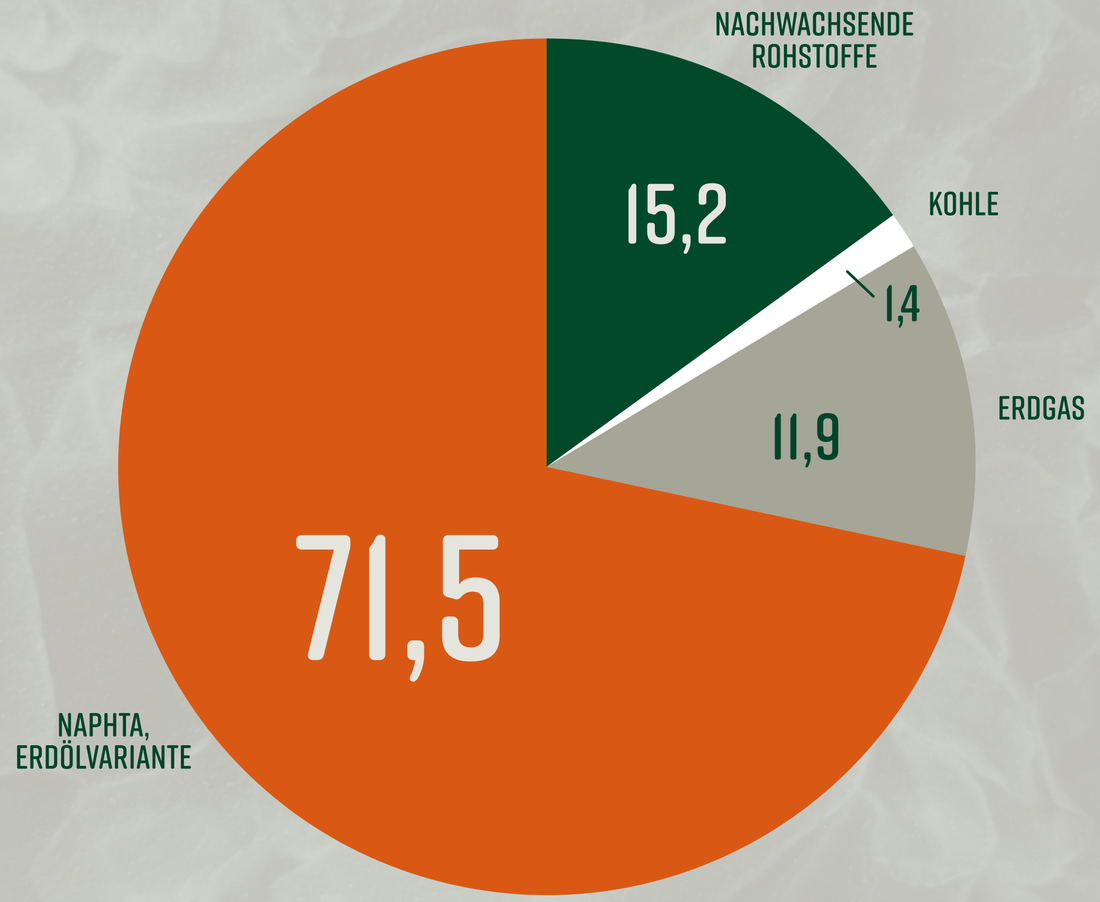
Die 12 Prinzipien der Grünen Chemie bieten die zentralen Leitlinien, um die Industrie sowie die Entwicklung von Technologien und Materialien so zu gestalten, dass sie den geringstmöglichen Einfluss auf die Umwelt, die Menschen und den Planeten haben. Wie diese Prinzipien in der Praxis umgesetzt werden, steht im Mittelpunkt dieses Kapitels. Hier werden Geschäftsmodelle und Schlüsseltechnologien dargestellt, ebenso wie die Herausforderungen und Potenziale ihrer Implementierung.

In diesem Zusammenhang lohnt es sich, den Ausführungen von Prof. John Warner, Mitbegründer der Grünen Chemie, Beachtung zu schenken. Seiner Einschätzung nach besteht eine der zentralen Herausforderungen bei der Transformation der Chemiebranche darin, dass:

> **die benötigten Technologien oft noch nicht existieren. [...] Die wissenschaftliche Grundlage ist noch nicht ausreichend entwickelt. Wenn eine nachhaltige Technologie nicht erfolgreich ist, liegt dies nicht immer an systemischer Ablehnung, sondern häufig daran, dass die Technologie noch nicht ausgereift ist.**[14]

Dies bedeutet, dass einige der Innovationen, die mit den hier vorgestellten Schlüsseltechnologien verbunden sind, wahrscheinlich scheitern werden, während andere erfolgreich sein könnten. Dies ist ein erwartbarer Prozess und sollte nicht als Anlass gesehen werden, sich von der Grünen Chemie abzuwenden. Vielmehr verdeutlicht es, dass solche Innovationen Zeit benötigen, erhebliche Investitionen erfordern und auf technische sowie infrastrukturelle Unterstützung angewiesen sind, um ihre Entwicklung zu beschleunigen.

ABBILDUNG 1:
ROHSTOFFEINSATZ DER CHEMIE BRANCHE BEI EINEM GESAMTEINSATZ VON 16,4 MIO. TONNEN, STAND 2022 (ZAHLEN IN PROZENT)[19]



[14] Warner, John. Bridging Innovation and Education: John Warner on Closing the Green Chemistry Skills Gap. Change Chemistry, Boston, 16. Jan. 2025. https://member.changechemistry.org/news/bridging-innovation-and-education-john-warner-on-closing-the-green-chemistry-skills-gap Zugriff: 22.01.2025.

Um die Dimension der Herausforderung zu verstehen, die mit dem Ziel verbunden ist, die chemische Industrie in Deutschland zu transformieren, genügt ein Blick auf einige wesentliche Daten. Mit einem Umsatz von ungefähr 260 Mrd. € ist die chemische Industrie der drittgrößte Industriesektor Deutschlands, und sie trägt zu knapp einem Drittel in Europa zum Umsatz bei.[15] Der Einsatz synthetischer Chemikalien hat sich dabei seit den 1950er Jahren verfünfzigfacht.[16] Damit spielt die Chemieindustrie eine Schlüsselrolle innerhalb der industriellen Wertschöpfungskette, basierend jedoch auf fossilem Verbrauch (~85 % der Rohstoffe sind fossil, hoher Energieverbrauch, hohe Abfallproduktion) und hoher CO2-Emission (~40 Mio. t CO2-Äquivalente pro Jahr, was ~10 % der gesamtdeutschen CO2-Emissionen entspricht[17,18]). Daher steht die gesamte Branche auf dem Prüfstand und benötigt zwingend innovative Technologien, um die gemeinsam vereinbarten Nachhaltigkeitsziele, festgehalten in den nachhaltigen Entwicklungszielen zu erreichen.

Parallel zu diesem aktuellen Szenario der Chemiebranche hat die Bundesrepublik Deutschland sich zum Ziel gesetzt, bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen.[20] Insbesondere bezogen auf die zunehmende Ressourcenknappheit kombiniert mit der immensen Abfallproduktion der Industrie ist es wichtig, dass Produkte zukünftig in einer Kreislaufwirtschaft produziert werden. Die Nachfrage nach klimafreundlichen, grünen und letztendlich nachhaltigen Produkten wächst stetig.[21] Dies zu Grunde gelegt lassen sich die folgenden Anforderungen an die Produkte der Zukunft ableiten (siehe Kasten).

Die Grüne Chemie kann viel zur Erreichung dieser Anforderungen beitragen. Das vorliegende Kapitel beschäftigt sich dabei mit Alternativen für eine technologische Umsetzung dieses Themenfeldes. In den folgenden Abschnitten werden einige Geschäftsmodelle und Schlüsseltechnologien in einem breiten Spektrum von Anwendungen beschrieben werden, die von der Organisation der Vereinten Nationen für industrielle Entwicklung (UNIDO) gesammelt wurden, als Beispiele von Technologien der Grünen Chemie und Technik, die „derzeit kommerziell verfügbar sind oder kurz davor stehen, kommerziell verfügbar zu werden“.[22] Nicht alle werden aber dargestellt. Aufgrund der Gegebenheiten am untersuchten Standort Schwedt liegt der Fokus auf der Produktion großer Mengen und auf Synthesen und Prozessen mit flüssigen Medien. Die Schlüsseltechnologien wurden dabei unter Berücksichtigung von den 12 Prinzipien der Grünen Chemie, Standortevaluierung und Zukunftsfähigkeit der Technologie ausgewählt. Alle Technologien verbindet, dass sie sich zu Ziel setzen, alle oben definierten Anforderungen zu erfüllen.

Anforderungen an Produkte der Zukunft

- → Fossilfreie Produktion von Energie und Materialen mit nachhaltigen Einsatzstoffen
- → Produktion ohne Nahrungsmittelkonkurrenz
- → Produziert ohne den Einsatz toxischer Substanzen
- → Gute biologischen Abbaubarkeit der Produkte
- → Kreislauffähiges Design von Produktion und Produkten
- → Erhalt/Verbesserung der Produktionsperformance im Vergleich zum klassischen Verfahren
- → Erhalt/Verringerung der Produktionskosten
- → Hohe Energieeffizienz des Produktionsprozesses

[15] Statista Research Department, 2024; https://de.statista.com/themen/1092/chemieindustrie/#topicOverview
[16] TechSciResearch, Trends in Green Chemistry, 2022
[17] https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung
[18] https://libmod.de/factsheet-chemie-industrie-klima/
[19] Destatis, BAFA, FNR, VCI, Stand 2022.
[20] https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/20231004-klimaschutzprogramm-der-bundesregierung.html
[21] https://fastercapital.com/de/inhalt/Umweltfaktoren-und-Marktnachfrage--Der-Aufstieg-umweltfreundlicher-Produkte.html?form=MG0AV3; https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte/gruene-produkte-marktzahlen; https://www.bayika.de/de/aktuelles/meldungen/2024-01-29_RICS-Nachfrage-nach-gruenen-und-nachhaltigen-Immobilien-waechst.php
[22] UNIDO. List of Green Chemistry Technologies. Green Chemistry Toolkit, UNIDO, 2020. https://greenchemistry-toolkit.org/list-of-technologies-green-chemistry-toolkit/ Zugriff: 04.12.2024.

3.1 Geschäftsmodelle

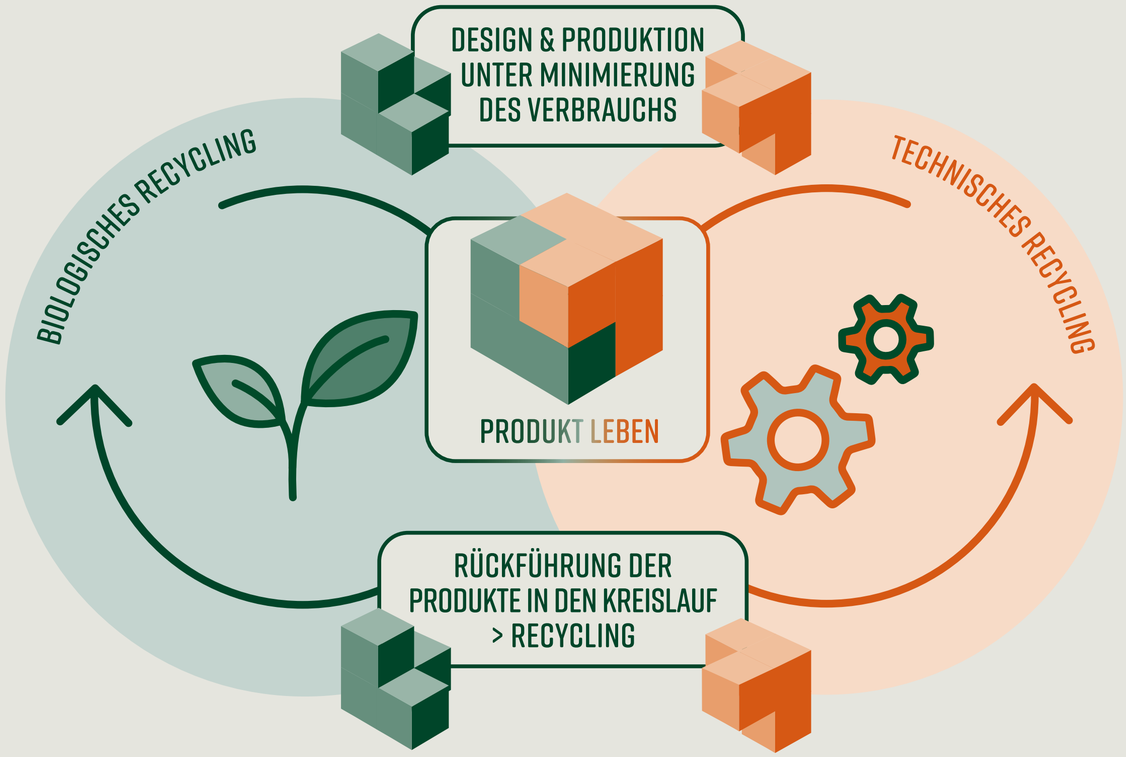
Mit den Ansätzen **Cradle to Cradle** und **Chemical Leasing** werden zwei Geschäftsmodelle beleuchtet, die Einsatzstoffe und Produkte mit maximaler Effizienz nutzen und recyceln. Cradle to Cradle (sinngemäß „vom Ursprung zum Ursprung“) beschreibt das Modell einer konsequenten Kreislaufwirtschaft.

Entwickelt Ende der 90er Jahren sind Cradle-to-Cradle Produkte solche, die entweder als „biologische Nährstoffe in biologischen Kreisläufen oder als technische Rohstoffe kontinuierlich in Kreisläufen gehalten werden können“.[24] Dabei ist vorausgesetzt, dass für die Produktion erneuerbare Energien zum Einsatz kommen, nur harmlose Stoffe eingesetzt werden und der Abfall vollständig als Ressource in den Kreislauf integriert wird. Nach eigenen Angaben existieren über 34.000 zertifizierte Cradle-to-Cradle Produkte, wobei hierbei vier unterschiedliche Zertifizierungsstufen unterscheiden werden.[25]

Chemical Leasing (ChL) ist ein von der UNIDO entwickeltes Geschäftsmodell, durch das Anreize geschaffen werden, den Verbrauch von Chemikalien nachhaltig zu gestalten und Innovationen zu fördern.[26] Anders als bei den herkömmlichen Preismodellen liegt der Fokus beim ChL nicht auf der Menge verkaufter Chemikalien, sondern auf deren Funktion und Leistung. Hersteller bleiben beim ChL Eigentümer der Chemikalien und berechnen ihre Nutzung anhand von mit Kunden festgelegten Leistungseinheiten, die die jeweilige Chemie in der spezifischen Anwendung erbringt. Ein einfaches Beispiel sind Reinigungsmittel, bei denen die Leistung über die „gereinigte Fläche in m²“ vergütet wird – und eben nicht über „verkaufte Menge Reinigungsmittel in kg“.

Hieraus entsteht ein wirtschaftlicher Anreiz, innovative und leistungsfähigere Lösungen zu entwickeln. Investitionen in Forschung und Entwicklung lohnen sich mit dem Ziel, Chemikalien langlebiger und effektiver zu gestalten. Gleichzeitig profitieren Anwender von maßgeschneiderten Anwendungen, die den Chemikalienverbrauch und die Kosten senken. Durch die enge Zusammenarbeit aller Akteure wird nicht nur die Ressourcenschonung gefördert, sondern auch ein nachhaltiger Übergang zur Kreislaufwirtschaft unterstützt. Chemical Leasing hilft also als Geschäftsmodell dabei, technologische Fortschritte und ökologische Innovationen voranzutreiben.

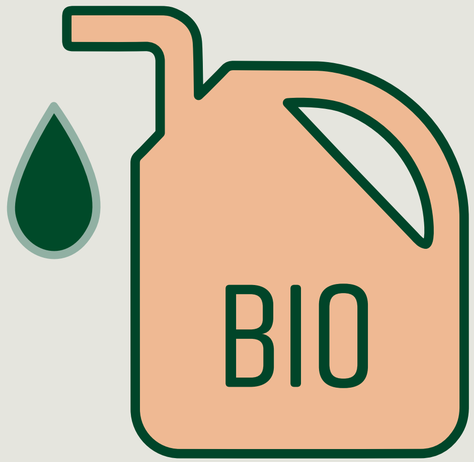
ABBILDUNG 2:
KREISLAUF-GESCHÄFTSMODELLE CRADLE TO CRADLE (GESTALTUNG DES LEBENSZYKLUS VON PRODUKTEN) UND CHEMICAL LEASING (OPTIMIERUNG DER NUTZUNG VON CHEMIKALIEN)[23]



[23] Statista Research Department, 2024; https://de.statista.com/themen/1092/chemieindustrie/#topicOverview
[24] TechSciResearch, Trends in Green Chemistry, 2022
[25] https://changemakingnow.com/cradle-to-cradle/cradle-to-cradle-certified/, Zugriff: 21.01.2025.
[26] https://www.unido.org/our-focus-safeguarding-environment-resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/chemical-leasing

3.2 Schlüsseltechnolgien

Trotz Geschäftsmodellen, die ihre Prinzipien anwenden, konzentriert sich die Grüne Chemie nach wie vor überwiegend auf nachhaltige Materialien, Produkte und Prozesse. Im Laufe der Jahre wurden zahlreiche Technologien entwickelt, die direkt mit einem oder mehreren ihrer 12 Prinzipien in Verbindung stehen. Die UNIDO identifiziert mindestens 17 solcher Schlüsseltechnologien der Grünen Chemie, von denen hier sechs vorgestellt werden: Biokraftstoffe, chemische Speichermöglichkeiten, chemische Agrartechnologie, Wasseraufbereitung, Kunststoffe & Polymere, und Katalyse & Recycling.[27] Diese wurden unter Berücksichtigung der spezifischen Ausrichtung Schwedts ausgewählt, das sich auf die Produktion und Synthese großer Mengen unter Einsatz flüssiger Ausgangsstoffe spezialisiert hat. Wie bereits zuvor erwähnt, verfolgen alle diese Technologiefelder das Ziel, die Anforderungen an die Produkte der Zukunft zu erfüllen.



1) Biokraftstoffe

Während immer mehr Elektrofahrzeuge im Regionalverkehr und LKW-Fernverkehr eingesetzt werden, benötigen Langstreckenflüge und der Schiffsverkehr aufgrund des größeren Energiebedarfs einerseits und weil lange Strecken ohne Unterbrechung zurückgelegt werden müssen andererseits andere, nachhaltige Alternativen zu fossilen Brennstoffen. Heutige Batterien sind noch zu groß und zu schwer, bieten daher – ebenso wie Wasserstoff – noch nicht die notwendige Energiedichte. Daraus ergibt sich der Bedarf nach nachhaltigen Kraftstoffen aus nachhaltigen Materialien. Hier gibt es zwei große Rubriken: Biokraftstoffe, die auf Biomasse als Rohstoff basieren, und E-Fuels, die auf nachhaltigen Chemikalienressoucen basieren. Bei den Biokraftstoffen wird zwischen 1., 2. Und 3. Generation unterschieden.[28]

Die drei Generationen von Biokraftstoffen unterscheiden sich hauptsächlich in ihrer Rohstoffbasis und ihrem Einfluss auf Umwelt und Nahrungsmittelproduktion.[29] Biokraftstoffe der ersten Generation werden aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen hergestellt, was zu Konflikten mit der Lebensmittelproduktion führen kann. Die zweite Generation basiert auf lignozellulosehaltigen Rohstoffen wie Holz, Stroh oder Reststoffen der Landwirtschaft, wodurch sie die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion vermeidet, jedoch technisch anspruchsvollere Verfahren erfordert.[30] Die dritte Generation nutzt Algen oder andere Mikroorganismen als Rohstoffe, die hohe Erträge erzielen, wenig landwirtschaftliche Fläche benötigen und potenziell CO_2-neutral sind, allerdings noch in der Entwicklung stehen und derzeit hohe Produktionskosten aufweisen.[31] Unabhängig von der Generation erfüllen diese Biokraftstoffe damit primär den Anspruch auf Fossilfreiheit und ein kreislauffähiges Design. Sowohl in Cradle to Cradle als auch Chemical Leasing Geschäftsmodellen könnten sie zu einer nachhaltigen Herstellung und Verwendung beitragen.

[27] Für die weiteren Technologien siehe UNIDO (2020).
[28] https://erneuerbare-energien-aktuell.de/bioenergie/biokraftstoffe-im-uberblick-vor-und-nachteile-herstellung-co/ Zugriff: 20.09.2024
[29] Jacob-Lopes, Eduardo (ed.) et al. 3rd Generation Biofuels: Disruptive Technologies to Enable Commercial Production. Cambridge, MA: Elsevier, 2022.
[30] Deshavath, N. N.; Veeranki, V. D.; Goud, V. V. Chapter 1 – Lignocellulosic feedstocks for the production of bioethanol: availability, structure, and composition. In: Rai, Mahendra; Ingle, Avinash P. Sustainable Bioenergy: Advances and Impacts. Amsterdam: Elsevier, 2019. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817654-2.00001-0
[31] Moreira Neto, João et al. Chapter 10 – Third generation biofuels: an overview. In: Rai, Mahendra; Ingle, Avinash P. Sustainable Bioenergy: Advances and Impacts. Amsterdam: Elsevier, 2019. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817654-2.00010-1

Biokraftstoffe können neben den drei Generationen auch nach der Art des produzierten Kraftstoffs eingeteilt werden. Die Haupttypen sind:

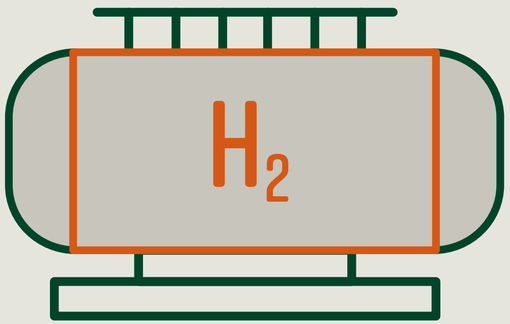
I. Biodiesel: Ersatzstoff für Dieselkraftstoffe, hergestellt aus gebrauchten Pflanzenölen und tierischen Fetten.
II. HVO (Hydrotreated Vegetable Oil): Ein weiterer Ersatzstoff für Diesel, der durch Hydrierung von Pflanzenölen gewonnen wird.
III. Bioethanol: Gewonnen aus Stärke und Zucker mithilfe von Hefen (ähnlich der Weinherstellung), wobei die Zuckerquelle auch pflanzliche Reststoffe wie Lignocellulose umfassen kann. Bioethanol wird häufig Benzin beigemischt.
IV. Biogas: Produziert durch anaerobe Vergärung fast aller pflanzlichen und tierischen Rohstoffe zu Methan und CO_2. Pflanzliche Reststoffe mit hohem Ligningehalt (z. B. Holz, Stroh) müssen vorbehandelt werden. Biogas wird vor allem in Blockheizkraftwerken und als aufbereitetes Biomethan (CNG) genutzt.
V. E-Fuels hingegen sind synthetische Kraftstoffe, die durch chemische Prozesse auf Basis erneuerbarer Energien hergestellt werden. Ausgangsstoffe sind immer CO2 und Wasserstoff, der meistens aus Wasser gewonnen wird. Wasser und CO2 liegen jedoch beide im energetischen Minimum und weswegen es einen hohen Energieeintrag bei der Produktion fordert.

Diese Klassifikation verdeutlicht die vielfältigen Ansätze zur Herstellung nachhaltiger Kraftstoffe, die auf unterschiedlichen Rohstoffen und Produktionsverfahren basieren. Sie unterstreicht das enorme Innovationspotenzial in diesem Bereich, das zahlreiche Start-ups motiviert, diesen Markt durch bahnbrechende Technologien zu revolutionieren. Das Startup Spark e-Fuels beispielsweise hat eine Technologie für Sustainable Aviation Fuels (SAF) entwickelt, die es ermöglicht aus CO2, Wasserstoff und grüner Energie aus Solar- oder Windkraft synthetische Kraftstoffe zu machen. Ein anderes Startup, Carbon Farming Germany, hat im Jahr 2024 einen Biokraftstoff entwickelt, der laut ihrer Aussagen CO2-negativ ist. Der Kraftstoff entsteht durch die innovative Kopplung von Biogasproduktion mit dem Speichern von Kohlenstoff in Pflanzenkohle.[32]

Eine bedeutende Entwicklung der letzten Jahre im Bereich der Biokraftstoffe ist Kohlenstoffabscheidung für deren Produktion. Durch Carbon Capture and Utilization (CCU) Techniken kann CO2 als Kohlenstoffquelle für Kraftstoffe genutzt werden.[33] Dabei kann das CO2 direkt aus Abgasströmen großtechnischer Anlagen entfernt und verwendet werden. Je höher die CO2-Konzentration ist, desto einfacher ist die Abscheidung.[34] Durch den stetigen Zusatz von Biokraftstoffen kann so eine Transformation im Fernverkehr via Flugzeug oder Schiff gelingen.

Potenzielle zukünftige Entwicklungen liegen hier vor allem im Bereich von Biokraftstoffen der zweiten und dritten Generation. Wichtig an dieser Stelle ist die „ReFuelEU Aviation-Initiative“, die eine zentrale Maßnahme der Europäischen Union zur Förderung der Nutzung von SAF im Luftverkehr darstellt. Nach einem Stufenplan werden Kraftstofflieferanten verpflichtet, den Anteil von SAF im Flugkraftstoff schrittweise zu erhöhen. Sie gilt es, bis 2050 einen Mindestanteil von 70 % SAF zu erreichen. Der technologische Fortschritt und die staatliche Unterstützung weisen auf einen vielversprechenden Bereich hin, der viel Potenzial für Innovationen birgt.

[32] Carbon Faming Germany, https://carbonfarming.earth/ Zugriff: 21.10.2024
[33] Koytsoumpa et al., J. of Supercrit. Fl, Vol. 132, pp. 3-16, 2018. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.07.029
[34] Vogt, E.T.C., Weckhuysen, B.M. The refinery of the future. Nature, Vol. 629, pp. 295–306, 2024. https://doi.org/10.1038/s41586-024-07322-2



2) Chemische Speichermöglichkeiten

Unterschiedliche Methoden der Energiegewinnung im Bereich erneuerbarer Energien basieren vor allem auf der Nutzung von Wind, Sonne, Biogas und Wasserkraft. Dabei sind nicht alle Energiequellen uneingeschränkt steuerbar, so dass ein kurzzeitiger Ausgleich der systemimmanenten Schwankungen mit Batteriespeichern sinnvoll erscheint.

Für die in Batterien essenziellen Elektroden (unterteilt in Kathoden und Anoden) werden heute zum Teil kritische Materialien, wie z.B. Cobalt und Lithium eingesetzt. Dabei spielen nicht nur deren Endlichkeit als Ressource eine Rolle, sondern auch der Einfluss auf Menschen und Umwelt beim hoch-risikoreichem Abbau dieser Materialen, oft auch unter dem Einsatz toxischer Chemikalien.[35]

Im Bereich der chemischen Energiespeicherung eröffnen sich zahlreiche Innovationspotenziale. Insbesondere fortschrittliche Recyclingverfahren spielen eine zentrale Rolle, um wertvolle Ressourcen effizienter zu nutzen und die Umweltbelastung zu reduzieren. Ebenso bieten neue Herstellungsprozesse für Kathodenmaterialien große Chancen, die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Energiespeichern zu verbessern. hierbei in verschiedenen Möglichkeiten denkbar.

Darüber hinaus sind Untersuchungen zu verschiedenen Ionen, die ebenfalls essenzieller Teil einer Batterie sind, von entscheidender Bedeutung, um neue Materialien und chemische Reaktionen für Energiespeicher zu erforschen und deren Effizienz und Kapazität zu steigern. Für langzeitige Energiespeicherungen werden zur Zeit chemische Verbindungen bevorzugt, deren energetisches Potential in der chemischen Reaktion mit anderen chemischen Verbindungen liegt (Wasserstoff, Methan, Ammoniak). Das Innovationspotenzial liegt bei diesen Methoden vor allem in energieeffizienten Prozessen.

Aktuell arbeiten verschiedene Startups an diesen Themen, bspw. am Recycling (Betteries[36] aus Berlin und Voltfang[37] aus Aachen) oder auch an Alternativmaterial zur klassischen Lithium/Cobalt Batterie, wie beispielsweise Natrium-Batterien.[38] Ein anderes Beispiel ist der Preisträger des DBU-Umweltpreises aus 2024 Thomas Speidel. Er hat innovative, batteriegepufferte Hochleistungssysteme wie die ChargeBox und ChargePost entwickelt, welche schnelles Laden von Elektrofahrzeugen innerhalb weniger Minuten ermöglichen. Diese Systeme entlasten das Stromnetz, speichern erneuerbare Energien und bieten flexible Einsatzmöglichkeiten – von städtischen Ballungsräumen bis hin zu abgelegenen Orten.[39]

[35] Staude, Linda. Der hohe Preis für Elektroautos und Smartphones : Kobaltabbau im Kongo. Deutschlandfunk, 25.07.2019. https://www.deutschlandfunk.de/kobaltabbau-im-kongo-der-hohe-preis-fuer-elektroautos-und-100.html Zugriff: 20.10.2024
[36] Carbon Faming Germany, https://carbonfarming.earth/ Zugriff: 21.10.2024
[37] Voltfang, https://voltfang.de/ Zugriff: 21.10.2024
[38] Bedrock Materials https://bedrock.inc/ Zugriff: 21.10.2024
[39] DBU https://www.dbu.de/news/deutscher-umweltpreis-fuer-praxis-pioniere/

3) Chemische Agrartechnologie

Ein zentrales Feld der Grünen Chemie ist die chemische Agrartechnologie, deren Ziel es ist, chemische Anwendungen in der Landwirtschaft effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten. Zu den Hauptanwendungen zählen die Ertragssteigerung durch Düngemittel, die Bekämpfung von Unkraut mit Herbiziden sowie der Schutz von Pflanzen vor Schädlingen durch Pestizide. Angesichts der fundamentalen Bedeutung der Lebensmittelproduktion für die Menschen gehören chemische Produkte in der Landwirtschaft zu den weltweit am häufigsten hergestellten Chemikalien. Dies führt jedoch zu erheblichen ökologischen Herausforderungen, da sie erheblichen Einfluss auf Böden, Gewässer und die Biodiversität haben. Neben dieser direkten Umweltbelastung machen die Herstellung und Anwendung von Düngemitteln, Herbiziden und Pestiziden allein etwa 2 % der gesamten Treibhausgasemissionen aus.[40] Der Einsatz umweltfreundlicherer Technologien und Verfahren wird daher als Schlüssel angesehen, um die Landwirtschaft nachhaltiger zu gestalten und gleichzeitig die globalen Ernährungsbedürfnisse zu sichern.

Die Innovationspotenziale der Grünen Chemie im Bereich der Agrartechnologie liegen vor allem in der Minimierung ihrer umweltschädlichen Eigenschaften wie mangelnder biologischer Abbaubarkeit, hoher Toxizität und energieintensiver Produktionsprozesse. Wichtige Ansätze umfassen die Entwicklung umweltverträglicher und nachhaltiger Pflanzenschutzmittel, die Herstellung von grünem Ammoniak – einem essenziellen Ausgangsstoff für Düngemittel, dessen konventionelle Produktion zu den energieintensivsten chemischen Prozessen zählt[41] – sowie die Etablierung biotechnologischer Verfahren zur Entwicklung neuer, umweltfreundlicher Produkte. Diese Maßnahmen tragen dazu bei, die ökologische Belastung der Landwirtschaft zu reduzieren und deren Nachhaltigkeit langfristig zu fördern

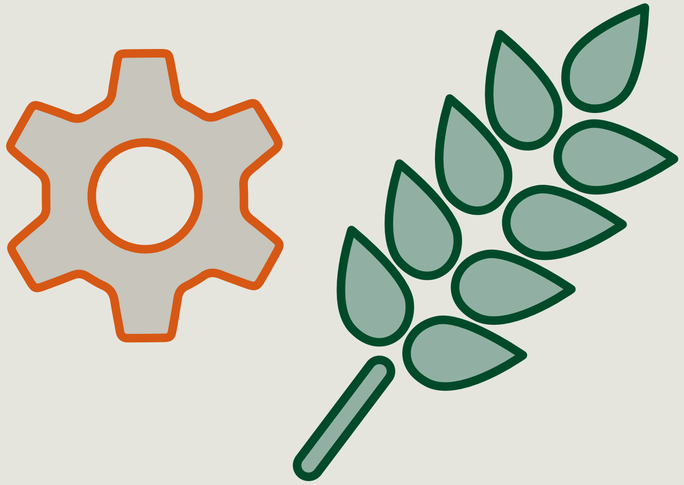
Aufgrund der politischen Ziele der Bundesregierung, chemisch-synthetischen Pflanzenschutz zu reduzieren, sind Chemical Leasing Geschäftsmodelle, die sich mit der Reduktion des Einsatzes der wirksamen Komponente beschäftigen sehr aktuell.[42] In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass nur 57 % der eingesetzten Düngemittel von den Pflanzen aufgenommen werden.[43] Ein Start-up mit einer Innovation in diesem Bereich ist Acqua-Yield, dessen Nano-Flüssigkeitstechnik das Potenzial hat, die Effizienz der Düngemittelaufnahme zu steigern und somit die Entstehung von Abfällen zu verringern.[44]

Im Bereich der Pestizide und Herbizide streben das Startup NanoScoping danach, Innovationen voranzutreiben, indem sie biologisch abbaubare und effizientere Agrochemikalien als herkömmliche Produkte anbieten. Die von ihnen entwickelte Agrotechnologie nutzt organische Nanopartikelsysteme, die durch ihre Nanomaßstab eine höhere Wirksamkeit ermöglichen, indem sie die Verteilung der Wirkstoffe im Wasser erleichtern, eine verlängerte Freisetzung gewährleisten und die Penetration in Zielstrukturen wie Haut, Fell, Haare oder Blätter maximieren, während die Produktion umweltfreundlich und ohne den Einsatz toxischer Lösungsmittel erfolgt.[45]

[40] HLPE, 2012. Food security and climate change. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome 2012. https://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/publications/hlpe-3 Zugriff: 26.01.2025.
[41] Wang et al., Energy Environ. Sci., 2021, 14, 1535-2548; DOI: 10.1039/D0EE03808C
[42] https://www.wochenblatt-dlv.de/feld-stall/pflanzenbau/so-sparen-landwirte-pflanzenschutzmittel-spot-spray-technik-576256 Zugriff: 21.10.2024
[43] https://www.systemiq.earth/systems/circular-materials/planet-positive-chemicals/[41] Wang et al., Energy Environ. Sci., 2021, 14, 1535-2548; DOI: 10.1039/D0EE03808C
[44] Aqua Yield https://www.nano-yield.com/AquaYield. Zugriff: 29.01.2025.
[45] NanoScoping https://www.nanoscoping.com.br/en/technology/ Zugriff: 27.01.2025.

Darüber hinaus gibt es auch Innovationen in der Agrartechnologie, die ohne den Einsatz neuer Chemikalien auskommen. In Zusammenarbeit des bayrischen Landwirtschaftsministeriums wurde die Spot-Spray Technik beispielweise entwickelt, die unter Einsatz von KI (Bilderkennungsverfahren) und Robotik den Einsatz von Pflanzenschutzmittel um bis zu 50 % reduzieren kann.[46] Ein weiteres Beispiel für solche Innovationen ist der Einsatz von Elektrizität als Werkzeug zur Bekämpfung von Unkraut, wie es Zasso[47] und Crop.Zone nutzen. Letzteres Startup mit Sitz in Aachen hat eine Technologie entwickelt, die den Einsatz einer Chemikalie, die mit den Anforderungen des ökologischen Landbaus kompatibel ist und keine Nebenwirkung auf die Umwelt hat, mit Elektrizität kombiniert, um Unkraut zu bekämpfen.[48]

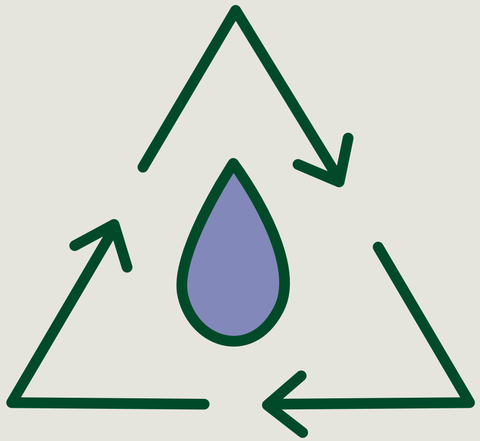
Die sozioökonomische Relevanz dieses Sektors macht die Agrartechnologie zu einem äußerst vielversprechenden Bereich der Grünen Chemie. Die Vielzahl an möglichen Ansätzen zur Bewältigung der Herausforderungen im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft eröffnet zudem zahlreiche Chancen für technologische Entwicklungen, deren Innovationspotenziale entfalten werden müssen.



[46] Göttl, Markus. So sparen Landwirte Pflanzenschutzmittel ein: Die Spot-Spray-Technik. Wochenblatt, München, Mittwoch, 27.03.2024. https://www.wochenblatt-dlv.de/feld-stall/pflanzenbau/so-sparen-landwirte-pflanzenschutzmittel-spot-spray-technik-576256 Zugriff: 06.01.2025.

[47] Zasoo https://zasso.com/de/startseite/. Zugriff: 26.01.2025

[48] Crop.Zone https://crop.zone/ Zugriff: 27.01.2025.



4) Wasseraufbereitung

Die Wasseraufbereitung spielt eine Schlüsselrolle in der Sicherstellung einer nachhaltigen und umweltfreundlichen chemischen Industrie. Sie gewährleistet nicht nur die Bereitstellung von sauberem Trinkwasser und die Behandlung von Abwässern zur Reduktion von Umweltbelastungen, sondern bietet auch großes Innovationspotenzial für eine effizientere Ressourcennutzung. Fortschrittliche Technologien wie die Nanofiltration und Membranverfahren ermöglichen eine präzisere Entfernung von Schadstoffen wie Mikroplastik, Schwermetallen und pharmazeutischen Rückständen.[49] Gleichzeitig reduzieren sie den Energie- und Ressourcenverbrauch und tragen dazu bei, die Kosten der Wasseraufbereitung zu senken.[50] Ein Beispiel solcher Technologien ist das Startup Porelio in Berlin, deren Innovation ermöglicht erstmals die skalierbare Herstellung von funktionalisierten geordneten mesoporösen Silikaten (FOMS) – einer bahnbrechenden Klasse von Adsorptionsmitteln mit herausragender Fähigkeit zur Aufnahme und Speicherung unerwünschter Chemikalien.[51]

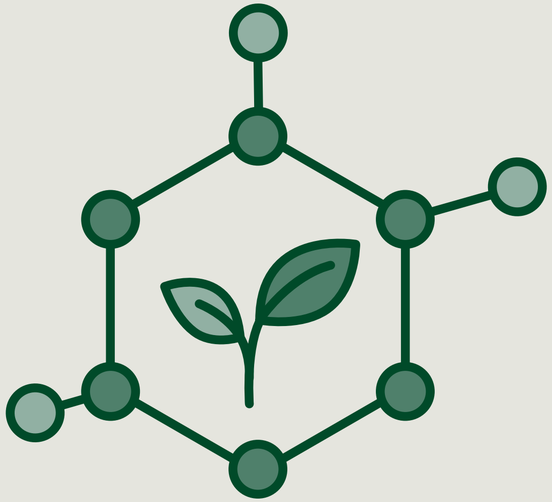
Ein weiterer bedeutender Innovationsbereich ist die Rückgewinnung von Ressourcen aus Abwässern, etwa durch den Einsatz biologischer Verfahren, bei denen Mikroorganismen nicht nur Schadstoffe abbauen, sondern auch wertvolle Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor für den Wiedereinsatz in der Landwirtschaft extrahieren können.[52] Solche Verfahren sind besonders wichtig für die Förderung einer Kreislaufwirtschaft, die Abfälle minimiert und Rohstoffe effizient wiederverwendet. Darüber hinaus könnten dezentrale Wasseraufbereitungssysteme, die in ressourcenarmen Regionen oder abgelegenen Gebieten eingesetzt werden, dazu beitragen, die globale Wasserversorgung sicherzustellen und soziale Ungleichheiten in der Wasserverfügbarkeit zu verringern. Ein Bespiel des Innovationspotenzials in diesem Bereich der Wasseraufbereitung ist das Startup ChemFinity Technologies, die spezialisierte Sorptionsmittel und Membranen entwickelten.[53] Ihre Materialien können gezielt angepasst werden, um kritische Metalle, darunter Platin-Gruppen-Metalle, selektiv aus hydrometallurgischen Abfallströmen zurückzugewinnen.

[49] Ahmad, Nor N. R. et al. Nanofiltration membrane processes for water recycling, reuse and product recovery within various industries: A review. Journal of Water Process Engineering, vol. 45, Feb. 2022. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102478
[50] Voigt, Ingolf et al. Membranen für die Trenntechnik: Anwendungspotenziale für Deutschland. Positionspapier. Frankfurt a.M.: DECHEMA, Jan. 2022.
[51] Porelio https://www.porelio.com/. Zugriff: 15.01.2025.
[52] Ahmad et al (2022).
[53] ChemFinity Technologies https://chemfinitytech.com/ Zugriff: 29.01.2025.

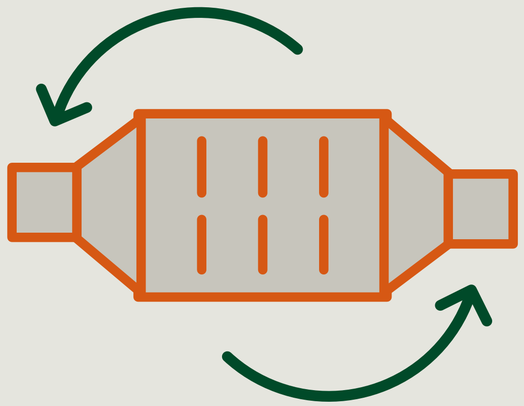
5) Kunststoffe und Polymere

Einer der wichtigsten Werkstoffe für zukünftige Innovationen sind polymerbasierte Kunststoffe für die Verwendung in den Bereichen Verpackungen, Bauwesen, Medizintechnik und Elektronik. Innovationspotenziale bestehen insbesondere in der Weiterentwicklung biobasierter Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen, die eine nachhaltige Alternative zu erdölbasierten Kunststoffen darstellen. Sie können schon heute ohne den Einsatz von fossilen Rohstoffen, zum Beispiel aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden und finden bereits breite Anwendung als Verpackungsmaterial, in elektronischen Bauteilen und in der Automobilindustrie.[54] Diese Kunststoffe aus nachhaltig gewonnenen, erneuerbaren Ressourcen können zu einer effizienten Ressourcennutzung beitragen, indem sie Wirtschaftswachstum und Verbrauch endlicher Ressourcen entkoppeln. Darüber hinaus kann es zur Reduzierung der gesamten Treibhausgasemissionen beitragen, da erneuerbare Ressourcen in der Lage sind, CO2 aus der Atmosphäre zu binden und es während des gesamten Produktlebenszyklus, einschließlich des Lebensendes, zu speichern und so den CO2-Fußabdruck des Endprodukts zu verringern. Der Anteil von biobasierten Kunstoffen beträgt aktuell jedoch nur 0.5 % der rund 400 Millionen Tonnen der weltweiten jährlichen Kunststoffproduktion.[55]

Ein weiteres zentrales Forschungsfeld ist das Recycling im Sinne der Kreislaufwirtschaft, mit dem Ziel, Kunststoffe in ihre Monomere zu zerlegen und wiederzuverwenden. Darüber hinaus spielt die Entwicklung biologisch abbaubarer Polymere eine entscheidende Rolle, um die Umweltbelastung durch Kunststoffabfälle zu reduzieren. Diese haben den Vorteil, dass auch bei unzureichendem Abfall- und Abwassermanagement die Kunststoffe nicht als Mikroplastik in Tieren und der Natur zurückbleiben. Die Optimierung von Polymerisationsprozessen durch innovative Katalysatoren trägt dazu bei, diese effizienter und umweltfreundlicher zu gestalten. Schließlich bietet die Funktionalisierung und gezielte Anpassung von Polymeren die Möglichkeit, spezifische Eigenschaften zu integrieren, um deren Leistung und Anwendbarkeit in verschiedenen Einsatzbereichen zu verbessern. Diverse Startups arbeiten weltweit in diesem Bereich an den oben genannten verschiedenen Innovationsthemen, bspw. beschäftigt sich Traceless mit der Herstellung von Kunstoffen aus Nebenströmen der Stärkeindustrie.[56] oder das Biokunststoff Startup Lignin Industries mit Lignin-Anwendungen.[57]



[54] okele et al., Waste Management & Research 2017, 35(2), 132-140; DOI:10.1177/0734242X16683272
[55] Bioplastics Market Development Update 2023, Europeabioplastics, https://docs.european-bioplastics.org/publications/market_data/2023/EUBP_Market_Data_Report_2023.pdf Zugriff: 29.08.2024
[56] Traceless https://www.traceless.eu/materials Zugriff: 21.10.2024
[57] Lignin Industries https://www.lignin.se Zugriff: 21.10.2024



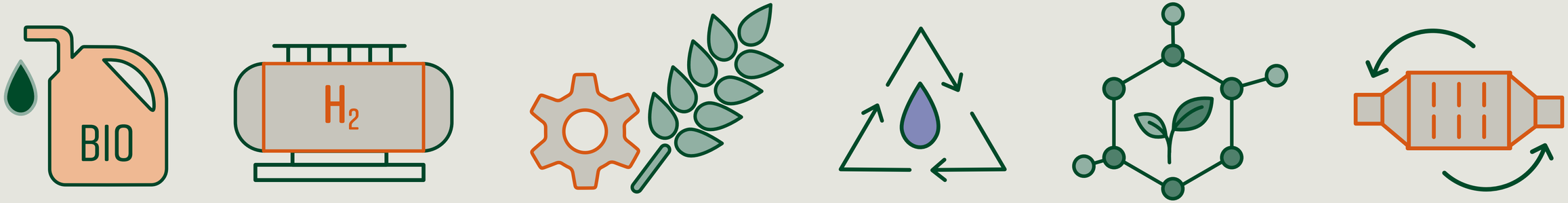
6) Katalyse und Recycling

Eine alleinige Umstellung auf erneuerbare Energien und deren Speicherung ist nicht ausreichend für eine grüne Transformation. Daher konzentriert sich ein großer Bereich der aktuellen Entwicklungen und potenziellen Innovationen auf die Minimierung des ökologischen Fußabdrucks durch eine effiziente Reaktionsführung und bestmögliche Verwendung aller Einsatzstoffe, sowie auch des Recyclings der Endprodukte sowohl im industriellen als auch im kommerziellen Sektor. Dabei gibt es verschiedenste konzeptionelle Lösungen, die eine effizientere Reaktionsführung ermöglichen. Hierfür werden bessere Isolationsmaterialien für Wärmeleitungen, neuartige und effektivere Katalysatoren, nachhaltige Rohstoffe und moderne Methoden benötigt. In der chemischen Industrie stellen katalysierte Reaktion mit ungefähr 90 % den größten Anteil aller chemischen Prozesse und stehen daher für einen Schlüsselbestandteil einer grünen Transformation.[58] Über Katalysatoren können chemische Prozesse effizienter gestaltet werden und durch die Entwicklung von neuen und verbesserten Katalysatoren auch neue nachhaltigere und umweltfreundlichere Syntheserouten gedacht werden. Für eine nachhaltige Route der grünen Methanol-Herstellung entwickelte das Startup C1 Chemicals neue Katalysatoren und Prozesse, welche eine um ein vielfaches effizientere Syntheseroute verspricht.[59] Maßgeblich für eine effektive Katalyse ist allerdings auch die Wiederverwendung der Katalysatoren. Daher spielt die Reduktion der Abfälle eine ebenso große Rolle.

Innovationspotenziale für die Zukunft liegen daher auch in der Weiterentwicklung des chemischen Recyclings, um eine größere Bandbreite von Materialien effizient und wirtschaftlich zu recyceln, die eine nachhaltige Nutzung und Wiederverwertung von Rohstoffen in der chemischen Industrie fördern. Neben atmosphärischem CO_2 und biogenen Quellen stellt insbesondere das Recycling von Kunststoffströmen eine der zentralen Kohlenstoffquellen der fossil-freien Zukunft dar.[60] Beispielsweise hat Cyclize, ein Spin-off der Universität Stuttgart, eine Technologie entwickelt, um die chemische Industrie zu defossilisieren, indem gemischte Kunststoffabfälle als Rohstoffe zur Herstellung von Synthesegas genutzt werden – einem essenziellen Ausgangsstoff für die Produktion von Chemikalien, Kunststoffen, Methanolund E-Fuels.[61] Durch den Einsatz eines neuartigen plasma-basierten Verfahrens kann Synthesegas aus Abfallmaterialien statt aus fossilem Erdgas gewonnen werden, wodurch eine zirkuläre Kohlenstoffwirtschaft ermöglicht.[62]

[58] https://www.products.pcc.eu/de/blog/katalysatoren-in-der-chemie-was-sind-sie-welche-arten-von-katalysatoren-gibt-es/Zugriff: 29.08.2024
[59] C1 Chemicals https://www.carbon.one/de Zugriff 21.10.2024
[60] Renewable Carbon Initiative https://renewable-carbon-initiative.com/renewable-carbon/. Zugriff: 29.01.2025
[61] Cyclize https://cyclize.de/. Zugriff: 29.10.2025.
[62] Ravichandran, Vigneshwar. German startup Cyclize secures €4.75M to defossilise the chemical industry using plastic waste; here's how. Silicon Canals, 22 Feb. 2024. https://siliconcanals.com/german-cyclize-secures-4-75m/ Zugriff: 29.01.2025.

Diese Schlüsseltechnologien der Grünen Chemie bieten ein erhebliches Innovationspotenzial für Schwedt. Die Integration von Carbon Capture and Utilization (CCU) mit langfristigen Energiespeicherlösungen im Rahmen des Power-to-Fuel-Konzepts, zum Beispiel, ermöglicht eine nachhaltige Kraftstoff- und Chemieproduktion, indem erneuerbare Energie effizient gespeichert und genutzt wird. Besonders vielversprechend ist die mögliche Anbindung an bestehende Raffinerie- oder Papierherstellungsprozesse, wodurch Synergien zwischen verschiedenen Industriezweigen entstehen. Dies könnte neue Marktchancen eröffnen und die regionale Wirtschaft stärken, während gleichzeitig die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen reduziert wird. Weitere bedeutende Innovationsfelder liegen in der chemischen Agrartechnologie und dem Kunststoffrecycling. In Zusammenarbeit mit der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde und der lokalen Landwirtschaft ergeben sich Transferpotenziale für nachhaltige agrarchemische Anwendungen zum Beispiel. Gleichzeitig bietet das in Schwedt ansässige Papierrecyclingunternehmen LEIPA Group ideale Bedingungen für Start-ups im Bereich der Polymerforschung: nicht für das Papierrecycling nutzbare Abfälle könnten durch Aufreinigung und Hydrolyse als Rohstoffe für chemische und biotechnologische Prozesse weiterverwendet werden. Durch diese Kreislaufwirtschaftsansätze stärkt Schwedt seine Position als Innovationsstandort für nachhaltige Chemie, insbesondere für Start-ups im Cradle-to-Cradle-Bereich, die von der bestehenden Infrastruktur und der industriellen Anbindung profitieren können. Die Innovationspotenziale der Grünen Chemie und Chancen für den Standort sind vielfältig, doch um besser zu verstehen, welche Schlüsseltechnologien in der Region angewendet werden könnten, ist es entscheidend, die spezifischen Merkmale von Schwedt und seine strategischen Vorteile zu identifizieren — ein zentrales Thema des folgenden Kapitels.

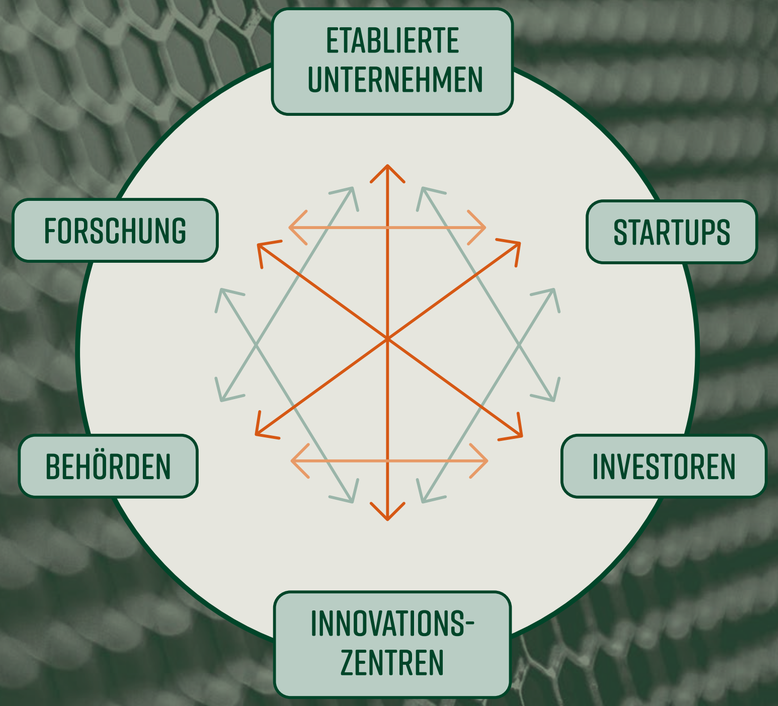


4 Anwendungspotenziale

Aufbauend auf den vorherigen Ausführungen werden in diesem Kapitel die Anknüpfung- und Anwendungspotentiale am Standort Schwedt herausgearbeitet. Hierbei werden etablierte Industrieunternehmen am Standort ebenso wie die Ansiedelungsmöglichkeiten inklusive neuer Geschäftsmodelle untersucht.

Zu diesem Zweck gliedert sich das Kapitel in drei Abschnitte. Im ersten wird eine kurze Einführung in die Kategorisierung von wirtschaftlich-industriellen Clustern nach ihrer Dynamik und ihren Entwicklungsmöglichkeiten gegeben. Im zweiten Abschnitt wird der Industriestandort Schwedt entsprechend eingeordnet und das Verständnis geschärft, welche Alternativen für die Weiterentwicklung des Cluster sind. Der letzte Abschnitt schließlich wählt einige der in Kapitel 3 genannten Geschäftsmodelle und Technologien der Grünen Chemie nach ihrem Anknüpfung- und Anwendungspotenziale am Standort Schwedt aus.

ABBILDUNG 3:
AKTEURE EINES INNOVATIVEN WIRTSCHAFTLICH-INDUSTRIELLEN CLUSTERS UND DEREN BEZIEHUNGEN



4.1 Clusters und Clusterentwicklung

Um zu verstehen, in welchem Stand der Standort Schwedt sich befindet und welche Alternativen es für seine Weiterentwicklung gibt, muss man verstehen, was die grundlegenden Merkmale von wirtschaftlich-industriellen Clustern sind, wie sie je nach ihrer Dynamik klassifiziert werden können und welche Möglichkeiten für ihre Entwicklung bestehen.

Cluster sind im einfachsten Sinne definiert als „eine geografisch nahe gelegene Gruppe von miteinander verbundenen Unternehmen und assoziierten Einrichtungen in einem bestimmten Bereich, die durch Gemeinsamkeiten und Komplementaritäten verbunden sind.“[63] Daraus leitet Karafili drei grundlegende Merkmale eines Clusters ab:

1.
DIE RÄUMLICHE NÄHE

2.
DIE INTERAKTION ZWISCHEN DEN AKTEUREN

3.
DIE FÄHIGKEIT, SICH WEITERZUENTWICKELN UND ZU INNOVIEREN[64]

Administrative Gebietseinteilungen spielen keine Rolle — die geografische Reichweite von Clustern reicht von einer Stadt bis zu einem grenzüberschreitenden Netz von Wirtschafts- und Handelsbeziehungen, das nicht durch politische Barrieren begrenzt ist.[65] Bei den Akteuren eines Clusters handelt es sich in erster Linie um Unternehmen — von transnationalen Konzernen bis hin zu Familiengeschäften und Start-ups, von Dienstleistern bis hin zu verarbeitenden Gewerben und Konsumgüterindustrie —, aber auch um Behörden, Finanz- und Forschungsinstitute, Universitäten und andere relevante Stakeholder wie Innovationszentren und Einrichtungen, die den Dialog zwischen den Akteuren des Clusters erleichtern sollen.[66]

Diese Cluster lassen sich in drei Kategorien einteilen: unreife Cluster, die noch nicht ihr volles Potenzial entfaltet haben, ausgewachsene Cluster, die dynamisch sind und Innovation fördern, sowie Cluster im Wandel, die an Dynamismus verlieren.[67] Die Letzteren können entweder einen fortschreitenden Niedergang erleben oder sich positiv weiterentwickeln, indem sie eine „Renaissance“ durchlaufen oder neue Industrien entdecken, die ihnen neuen Dynamismus verleihen und sie als Innovationsplattformen neu gestalten.[68] Der folgende Abschnitt setzt sich damit auseinander, wie der Standort Schwedt in dieses Analyseframework eingeordnet werden kann.

[63] Porter, M. Clusters and Competition: New Agendas for Companies, Governments, and Institutions. Harvard Business School Working Paper, No. 98-080, 1998, S. 4, freie Übersetzung.
[64] Karafili, E. Economic Clusters and Regional Competitiveness. In: Cluster Dynamics in Transition Economies. Springer Briefs in Geography: Cham, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69842-3_1 Zugriff: 20.11.2024.
[65] Diese Merkmale gelten auch für ähnliche Konzepte wie „Plattformen“, „wirtschaftliche Ökosysteme“ und „Industrieparks“ (siehe Karafili 2021). Dies macht eine harte Unterscheidung zwischen den Begriffen überflüssig und erleichtert die Anwendung des Konzepts auf den Fall von Schwedt.
[66] Porter 1998; Karafili, 2021.
[67] Christensen, T.; Lämmer-Gamp, T.; Köcker, G. M. Let’s make a perfect cluster policy and cluster programme. Berlin/Copenhagen, 2012. https://vdivde-it.de/en/publication/lets-make-perfect-cluster-policy-and-cluster-programme Zugriff: 13.11.2024
[68] Christensen, Lämmer-Gamp, Köcker, 2012.

4.2 Industriestandort Schwedt

Der Industriestandort Schwedt an der Oder ist einer der bedeutendsten Wirtschaftsstandorte im Nordosten Deutschlands, geprägt durch seine starke Rolle in der chemischen und papierverarbeitenden Industrie. Die Stadt beheimatet große Unternehmen wie die **PCK-Raffinerie**, eine der wichtigsten Raffinerien Deutschlands, sowie den Papierhersteller **Leipa**, der auf die Verarbeitung von Recyclingpapier spezialisiert ist. Der Industriestandort Schwedt umfasst etwa 160 Hektar Industrieflächen, die im Besitz der PCK-Raffinerie und Leipa sind. Dank seiner Lage nahe der polnischen Grenze und seiner Anbindung an Verkehrswege wie die Oder-Wasserstraße und die Bahn hat Schwedt eine strategisch günstige Position, die für die Versorgung nationaler und internationaler Märkte vorteilhaft ist.

Neben der PCK und Leipa sind weitere Unternehmen aus der Chemiebranche Teil dieses Clusters. So betreibt **VERBIO** in Schwedt die Herstellung und Raffinierung von Biokraftstoffen und deren Derivaten, während **BALANCE** eine von der **GASAG** gekaufte Biogasanlage besitzt, die Biogas aus landwirtschaftlichen Produkten, wie Mais, Gras, Zuckerrübe, Getreidenschrot und Feuchtmais, erzeugt. Weitere erwähnenswerte Unternehmen sind Butting (Behälter- und Rohrleitungsbau), **VELIND Aerosol** (Aerosol- und Flüssig-Produkten für Reinigung und Pflege), die Preuss Gruppe durch die Märkische Montagerealisierung und Metallverarbeitung GmbH (industriellen Rohrleitungs- und Stahlbau) und **HPS Schwedt** (Premiumholz-und Industriepellets). Zusätzlich zur Industrie ist zu erwähnen, dass die Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde und deren Startup Labor Schwedt ein wichtiger Akteur im Innovationsnetzwerk der Region.

Neben den lokalen Akteuren, die im Cluster vertreten sind, ist zu beachten, dass auf Landes- und Bundesebene verschiedene Politikmaßnahmen ergriffen wurden, um regionale Netzwerke, die Unternehmen, Forschungseinrichtungen und andere Akteure verschiedener strategischen Wirtschaftsbereiche zusammenzubringen.[69] Das Land Brandenburg hat, zum Beispiel, Clusters für Nachhaltige Produktion, Kunststoffe & Chemie, und Leichtbau errichtet, von den der Schwedter Cluster ein wesentlicher Bestandteil ist.[70] Mit anderen Worten: Der Industriestandort Schwedt ist Teil von breiteren Netzwerken, die das Innovationspotenzial des Clusters verstärken können.

Industriestandort Schwedt und Umgebung

[69] Köcker, G. Clusters in Germany. Berlin, Feb. 2009.
[70] Obwohl der Begriff „Cluster“ auch für diese Politiken verwendet wird, muss zwischen dem Cluster als wirtschaftsgeografischem Phänomen und einer bewussten, organisierten Aktion zur Ankurbelung der Wirtschaft an einem bestimmten Standort unterschieden werden. Siehe Köcker (2009) für eine tiefere Auseinandersetzung mit der Problematik.

Der Schwedter Cluster ist mit der petrochemischen Industrie, der Herstellung von erdöl- und bio-basierten Kraftstoffen, und landwirtschaftlichen Nebenprodukten eng verbunden. Dies lässt sich an der Hauptstoffströme des Standortes erkennen. Zu den wesentlichen Stoffströmen der Region zählen landwirtschaftliche Reststoffe wie Stroh, Gärreste aus regionalen Biogasanlagen (etwa einige zehntausend Tonnen pro Jahr) sowie landwirtschaftliche Erzeugnisse aus der Uckermark. CO_2 wird in erheblichem Umfang produziert, unter anderem durch Fermentationsanlagen von Verbio und BALANCE (ehem. GASAG) (rund 100.000 Tonnen pro Jahr aus Ethanol-Fermentation), sowie durch die Verbrennungsprozesse in den Kraftwerken von PCK und Leipa. Weitere Stoffströme umfassen Altpapier (1,1 Millionen Tonnen pro Jahr bei Leipa), Faserrejecte und Verpackungskunststoffe (ca. 60.000 Tonnen pro Jahr). Zusätzliche Ressourcen könnten aus benachbarten Regionen in Mecklenburg-Vorpommern und Polen bezogen werden.

Anhand dieser Daten kann man also sagen, dass Schwedt über ein etabliertes Cluster mit einem noch nicht entfalteten Innovationspotenzial verfügt, zumal die Einführung von Biokraftstoffen erst vor kurzem erfolgte. Politische Ereignisse haben sich jedoch direkt auf einen der wichtigsten Knotenpunkte in der Wertschöpfungskette der Region ausgewirkt: Der Einmarsch Russlands in der Ukraine hat zu einer Reihe von Sanktionen der Europäischen Union geführt, darunter ein Embargo gegen den Import von russischem Erdöl. Diese schwierige wirtschaftliche Lage hat die Stadt Schwedt und den Landkreis Uckermark dazu veranlasst, nach Lösungen zu suchen, die über den bloßen Austausch von Rohstofflieferanten hinausgehen: Sie möchten den Weg für eine nachhaltige und klimaneutrale regionale Wirtschaft ebnen — und das in kurzer Zeit.

Angesichts dieser wirtschaftlichen und politischen Herausforderungen kann der Industriestandort Schwedt als ein Cluster im Wandel betrachtet werden. Ob dieser Wandel zu einem Zusammenbruch, einer Renaissance oder der Entdeckung einer neuen Industrie führen wird, bleibt abzuwarten. Die Transformation des Clusters hängt vor allem von den Unternehmen vor Ort und der Schaffung von Rahmenbedingungen durch die Politik ab, die sie vorantreiben. Die Region hat mehrere wesentliche strategische Vorteile, die öffentliche und private Initiativen in Richtung Grüne Chemie lenken können:

1. TECHNISCH-INDUSTRIELLE INFRASTRUKTUR

Angesichts der Vielzahl von Unternehmen und industriellen Aktivitäten in Schwedt lässt sich feststellen, dass eines der zentralen Alleinstellungsmerkmale der Stadt ihre technisch-industrielle Infrastruktur ist. Der Aufbau einer solchen Infrastruktur stellt in der Regel eine kosten- und zeitintensive Aufgabe dar. Die Verfügbarkeit einer leistungsfähigen Infrastruktur zählt zu den zentralen Erfolgsfaktoren bei der Einführung neuer Technologien. Schwedt verfügt über umfangreiche Infrastruktur, die eine sichere und flexible Rohstoffversorgung und flexible Möglichkeiten von Produktion und Transport von Industrieprodukten erlaubt. Selbst in Bereichen, in denen infrastrukturelle Anpassungen erforderlich wären, könnten diese aufgrund der bestehenden Rahmenbedingungen vergleichsweise schnell und effizient umgesetzt werden. Die robuste Ausgangsbasis von Schwedt eignet sich dann ideal für einige Anforderungen der Grünen Chemie, wie zum Beispiel die Versorgung von erneuerbarer Energie und die Medien-Versorgung und -Entsorgung in großen Mengen.

2. LOGISTISCHE INFRASTRUKTUR

Die logistische Infrastruktur Schwedts bietet einen entscheidenden strategischen Vorteil für die wirtschaftliche Entwicklung and Transformation des Clusters. Der Industriestandort ist durch ein gut ausgebautes Netz aus Bahn-, Wasserstraßen- und Autobahnverbindungen optimal an nationale und internationale Märkte angebunden. Diese multimodalen Transportoptionen machen Schwedt zu einem attraktiven Standort für Unternehmen, die auf eine belastbare und vielseitige Logistikanbindung angewiesen sind – ein entscheidender Faktor in einer globalisierten Wirtschaft, die zunehmend auf Effizienz und Nachhaltigkeit setzt.

3. GEOGRAPHISCHE LAGE

Neben der günstigen logistischen Infrastruktur ist die geographische Lage des Clusters auch strategisch vorteilhaft. Die Stadt Schwedt liegt strategisch günstig an der Verbindungsachse zwischen den beiden Großräumen Berlin und Stettin mit ihren enormen wissenschaftlichen Potenzialen. Unmittelbar an der deutsch-polnischen Grenze, Schwedt bildet somit eine Brücke zwischen den Märkten Westeuropas und Osteuropas. Diese zentrale Position ermöglicht nicht nur den effizienten grenzüberschreitenden Waren- und Wissensaustausch, sondern erleichtert auch die Zusammenarbeit mit internationalen Partnern. Ergänzend wird am Aufbau des InnovationsCampus Schwedt gearbeitet. In Summe verfügen Unternehmen in Schwedt damit über Zugang zu einem breiten Netzwerk von Forschungseinrichtungen, Experten und internationalen Partnern, was die Entwicklung neuer Technologien und Innovationen unterstützt.

4. TECHNISCHE VERSIERTE BELEGSCHAFT

Neben Infrastruktur, Logistik und geographischer Lage kommt ein weiterer entscheidender Standortvorteil hinzu: das Vorhandensein technisch qualifizierter Fachkräfte. In einer Zeit, in der der Fachkräftemangel zu den drängendsten Herausforderungen der deutschen Wirtschaft zählt, sticht Schwedt dadurch hervor, dass es bereits über eine gut ausgebildete Belegschaft verfügt. Diese Fachkräfte sind nicht nur mit der bestehenden industriellen Umgebung vertraut, sondern könnten auch flexibel auf neue Anforderungen in der Transformation zur nachhaltigen Chemie reagieren.

5. BIOGENE KOHLENSTOFFQUELLEN

Die Verfügbarkeit biogener Kohlenstoffquellen stellt einen bedeutenden strategischen Vorteil für Schwedt dar, insbesondere im Kontext der Transformation hin zu einer nachhaltigen Chemieindustrie. Ein entscheidender Aspekt ist dabei die Nutzung regionaler Ressourcen. Durch die Nähe zu land- und forstwirtschaftlichen Ressourcen sowie die bestehende Infrastruktur zur Verarbeitung biogener Rohstoffe kann Schwedt eine Schlüsselrolle bei der Bereitstellung von erneuerbaren Kohlenstoffquellen übernehmen. Um hierbei nicht in Konkurrenz mit der Lebensmittelindustrie zu gehen, kann sich hier besonders auf die Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen fokussiert werden, darunter Stroh, Gärreste aus Biogasanlagen sowie Reste aus der Lebensmittelproduktion, die aktuell nicht weiter verwendet werden. Diese Ressourcen ermöglichen es Unternehmen vor Ort, fossile Rohstoffe durch nachhaltige Alternativen zu ersetzen und somit innovative Technologien und Produkte im Bereich der Grünen Chemie zu entwickeln. Zusätzlich stärkt die regionale Versorgung mit biogenen Rohstoffen die Resilienz der Wertschöpfungsketten und reduziert Abhängigkeiten von globalen Märkten.

6. ERNEUERBARE ENERGIE

Die Verfügbarkeit und Nutzung erneuerbarer Energiequellen stellt einen zentralen Wettbewerbsvorteil für Schwedt dar, insbesondere in Zeiten steigender Energiepreise und strenger Klimaschutzauflagen. Die Region verfügt im Überschuss über erneuerbare Energiequellen wie Wind- und Solarenergie sowie die Möglichkeit, regionale Biomassepotenziale zu nutzen. Dadurch kann Schwedt eine stabile und nachhaltige Energieversorgung für Industrie und Wirtschaft gewährleisten. Dies schafft nicht nur Kosteneffizienz und Planungssicherheit für ansässige Unternehmen, sondern unterstützt auch deren Transformation hin zu klimaneutralen Produktionsprozessen.

7. WASSERSTOFF-STRATEGIE

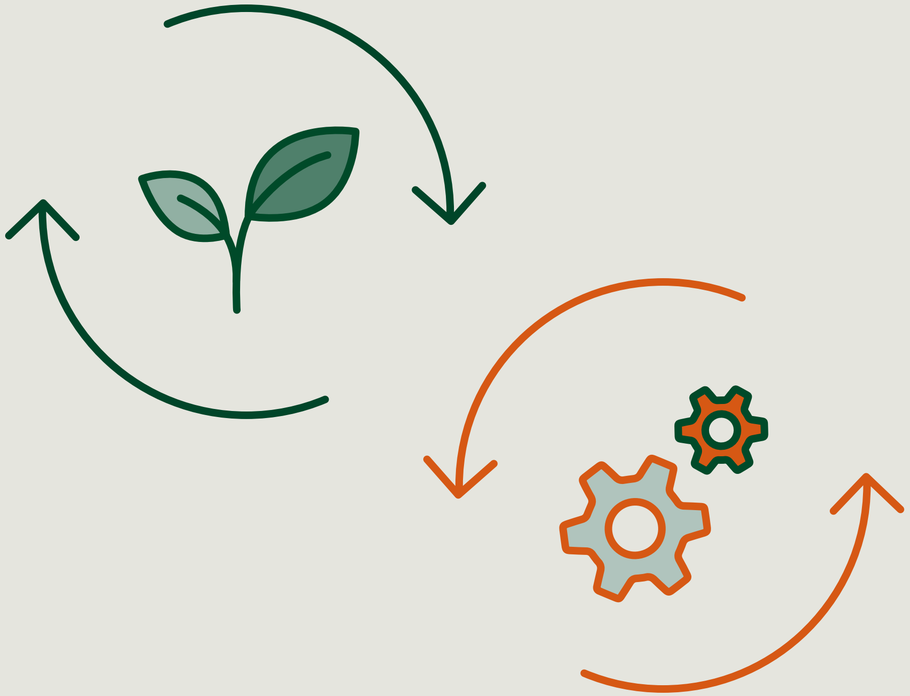
Schwedt gilt als zentraler Knotenpunkt in der H2-Strategie Deutschlands[71], insbesondere durch die PCK-Raffinerie und das Transformationsprojekt HyPE+.[72] Ziel des Kontenpunkts Schwedt ist es, die Versorgung mit grünem Wasserstoff als zukunftsfähiger Energieträger und chemischer Rohstoff für nachhaltige Produkte in Ostdeutschland langfristig zu sichern. Grüner Wasserstoff ist ein strategischer Vorteil für Schwedt, da er als klimaneutraler Energieträger die Dekarbonisierung industrieller Prozesse ermöglicht und die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts in einer zunehmend auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Wirtschaft stärkt. Durch die vorhandene Infrastruktur und die Nähe zu erneuerbaren Energiequellen kann Schwedt zudem als regionaler Hub für die Produktion und Verteilung von grünem Wasserstoff dienen, was Investitionen und technologische Innovationen fördern kann.

Die sieben identifizierten strategischen Vorteile Schwedts positionieren den Standort optimal, um eine führende Rolle bei der nachhaltigen Transformation der chemischen Industrie zu übernehmen. Zusätzlich zeigt sich, dass lokale Akteure diesen Wandel bereits aktiv vorantreiben. Das im Dezember verabschiedete Zukunftskonzept „Schwedt/Oder 2030+“ setzt klare Prioritäten auf Nachhaltigkeit und Innovation, wodurch Schwedt zu einem attraktiven Standort für Unternehmen wird, die auf grüne Technologien spezialisiert sind.[73] Daneben ist auch die regionale Kreislaufwirtschaft, Basis des Geschäftmodells von LEIPA, besonders vielversprechend, da die Stadt Schwedt im Frühjahr 2024 ein Konsortium aus Fraunhofer IEG, Fraunhofer ISI und der EEB Enerko GmbH mit der Durchführung einer »Regionalen Stoffstromanalyse und Prüfung der Machbarkeit des Ausbaus der Medientrassen und der Etablierung von FuE-Strukturen am Standort Schwedt/Oder« beauftragt hat. Dies wird Unternehmen im Bereich der Grünen Chemie unterstützen können, u.a. durch Informationen zu regionalen Rohstoffen und Abfallprodukten. Im folgenden Abschnitt werden jedoch ausgewählte Technologien der Grünen Chemie vorgestellt, die unter Berücksichtigung dieser Besonderheiten des Industriestandortes angewendet werden und Schwedt Richtung einer nachhaltigeren Zukunft führen könnten.

[71] https://www.bmwk.de/Navigation/DE/Wasserstoff/wasserstoffstrategie.html
[72] https://h2-news.de/wirtschaft-unternehmen/gruener-wasserstoff-statt-oel-raffinerie-schwedt-legt-transformationsplan-vor/
[73] https://platzfuermorgen.de/

4.3 Anwendungspotenziale

Anwendungspotenziale für die Grüne Chemie begründen sich vor allem auf die Schwerpunktsetzung der Themen Nachhaltigkeit und Innovation, die von Unternehmen und Politik in Schwedt gelegt werden. Insbesondere im Kraftstoff-Sektor für Fernverkehr und im Bereich Kunststoff-Entwicklung spielt Wasserstoff eine wichtige Rolle. Daher bietet es sich an, sich im Folgenden insbesondere auf Anwendungspotenziale in den Bereichen Biokraftstoffe, E-Fuels und nachhaltige Kunststoffe zu konzentrieren. Sie stehen dabei stellvertretend für viele Möglichkeiten, wie z.B. chemische Speichertechnologien oder nachhaltige Spezialitätenchemikalien. Dabei steht die Dringlichkeit, nachhaltige Lösungen für diese Herausforderungen zu finden besonders im Mittelpunkt der technologischen Innovation. Diese beiden Schlüsseltechnologien können nicht nur zur Reduzierung von Umweltbelastungen beitragen, sondern auch neue wirtschaftliche Möglichkeiten eröffnen. Der Standort Schwedt eignet sich dabei aufgrund seiner vorher beschriebenen Infrastruktur besonders und es ergeben sich vielversprechende Synergien. Die Grüne Chemie kann dabei ein verbindendes Glied für die vorliegenden Industriezweige sein, und dazu führen, dass Stoffströme miteinander in eine Wertschöpfungskette verwoben werden.



A. Biokraftstoffe

Grüne Transformationen für alternative Rohstoffe für Raffinerien fehlen ebenso wie neue Möglichkeiten der CO2-Reduktion. Hier sehen wir große Potentiale in Transfermöglichkeiten für neue Ideen und Anbindungen an die ortsansässige Wirtschaft. Die Produktion von Biokraftstoffen am Industriestandort Schwedt bietet vielversprechende Perspektiven zur Förderung von Unternehmen mit nachhaltigen und klimafreundlichen Technologien und Energie. Vor allem die Pionierarbeit von Unternehmen wie VERBIO, die auf die Herstellung von Biokraftstoffen aus landwirtschaftlichen Roh- und Reststoffen spezialisiert sind, zeigt bereits das Potenzial dieser Technologie. Schwedt könnte als Modellregion für die Implementierung innovativer Biokraftstofftechnologien dienen, die nicht nur die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen reduzieren, sondern auch die lokale Wirtschaft ankurbeln. Dabei bietet auch die ansässige Raffinerie, das Potential durch strategische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen, wie zum Beispiel vorhandenen Pflanzenölen, den Raffinerieprozess zu verändern Von den Landwirtschaftlichen Reststoffströmen (vgl. Punkt 5 der strategischen Vorteile) sind die lignocellulosehaltigen Reststoffe besonders vielversprechend. Die werden bisher nur unzureichend verwertet und könnten in modernsten Fermentationsprozessen zu Bioethanol und Biodiesel verarbeitet werden. Ein solches Vorgehen fördert nicht nur die Kreislaufwirtschaft, sondern verringert auch die Transportkosten und die damit verbundenen CO_2-Emissionen.

Darüber hinaus könnte Schwedt als Standort für die Entwicklung und Implementierung neuartiger Technologien zur Umwandlung von Algen und organischen Abfällen in Biokraftstoffe dienen. Forschungsprojekte, die sich mit der effizienten Nutzung dieser Ressourcen befassen, könnten in Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen der Region initiiert werden, wie beispielhaft im Forschungsprojekt DEMA (Direct Ethanol from MicroAlgae)[74] und bisher ungenutzte Freiflächen nutzbar machen. Die Implementierung von Biogasanlagen, die direkt an landwirtschaftliche Betriebe angebunden sind, kann eine zuverlässige Quelle für Biokraftstoffe schaffen und gleichzeitig die Entsorgungskosten für landwirtschaftliche Abfälle minimieren, sowie Infrastruktur und vorhandene Prozesstechnologie am Standort nutzen.

Um frühzeitig Diversifizierung zu fördern und potenzielle Risiken für die Region durch innovative Ansätze zu minimieren, bietet es sich an, das volle Spektrum an Kraftstoffen in den Fokus zu nehmen. Denn eines ist klar: Unterschiedliche Anwendungen erfordern unterschiedliche Lösungen. So haben batteriebetriebene Fahrzeuge im Bereich der PKWs klare Vorteile gegenüber Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen (e-Fuels). Im Flugverkehr hingegen sind aufgrund der hohen benötigten Energiedichte ausschließlich e-Fuels als nachhaltige Alternative realistisch.[75]

Die Region verfügt über hervorragende Voraussetzungen, um in diesem Bereich führend zu sein. Das für die Herstellung von e-Fuels benötigte CO_2 ist am Standort in großen Mengen vorhanden: Rund 100.000 Tonnen pro Jahr könnten allein aus der Methanaufbereitung der Biogas- und Fermentationsanlage als Rohstoff genutzt werden. Dadurch wird ein bestehender Abfallstrom effizient in Wert gesetzt, um die Kohlenstoffdioxidbilanz auf ein Minimum zu senken.

Neben den natürlichen Ressourcen darf eine weitere, entscheidende Stärke der Region nicht übersehen werden: die ansässigen Fachkräfte. Gerade im Bereich der Kraftstoffe gibt es zahlreiche Regularien und technische Anforderungen, die von geschultem und zertifiziertem Personal umgesetzt werden müssen. Durch die Transformation von klassischer Chemie hin zur grünen Chemie bleibt dieses Know-how erhalten. Statt einer Abwanderung in andere Branchen wird die Region für zukunftsweisende Technologien attraktiver – mit einer Magnetwirkung auf weitere Fachkräfte (vgl. Punkt 7 der strategischen Vorteile).

Die Diversität der verschiedenen Kraftstoffe und ihrer Zielgruppen verhindert Konkurrenz zwischen Unternehmen und ermöglicht eine optimale Nutzung von Ressourcen und Abfallströmen. So entsteht ein nachhaltiges, innovatives und wettbewerbsfähiges regionales Ökosystem, das langfristig wirtschaftlichen Erfolg und ökologische Verantwortung verbindet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Erweiterung auf alternative Kraftstoffe in Schwedt ein integraler Bestandteil einer nachhaltigen regionalen Wirtschaft sein kann. Die Schaffung neuer Arbeitsplätze, die Verbesserung der Energieautarkie und die Stärkung der regionalen Wertschöpfung sind nur einige der Vorteile, die mit dieser Entwicklung einhergehen. Mit der richtigen Unterstützung könnte Schwedt als ein führendes Zentrum für die Herstellung und Nutzung von alternativen Kraftstoffen in Deutschland etabliert werden.

[74] https://cordis.europa.eu/article/id/36026-turning-algae-into-fuel/de Zugriff: 03.11.24
[75] D. Priester, I. Krossing, „Elektromobilität und synthetische Kraftstoffe“, Nachrichten aus der Chemie, 2021, Vol. 69, p. 36-40, DOI: 10.1002/nadc.20214110513

B. Nachhaltige Kunststoffe

Die Herausforderung der Plastikmüllproblematik erfordert innovative Ansätze in der Kunststoffproduktion, und Schwedt könnte hier aufgrund vielfältiger verfügbarer nachhaltiger Rohstoffe eine Schlüsselrolle einnehmen (vgl. Punkt 5 der strategischen Vorteile). Die bestehenden Unternehmen im Cluster, insbesondere LEIPA Group, könnten ihr Fachwissen in der Papierverarbeitung nutzen, um in Kooperation mit Startups biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe zu entwickeln. Dabei können zu kurze Papierfasern für die Papierherstellung, die aktuell verbrannt werden, als möglicher Ausgangstoff verwendet werden. Dies würde nicht nur zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks der Region beitragen, sondern auch neue Geschäftsfelder erschließen.

Weiterer interessante Rohstoffquellen für biobasierte Kunststoffe, die in großen Menge in der Region Schwedt als Reststoffe anfallen,, sind Stärke, landwirtschaftliche Abfälle, Milchsäure aus Gärprozessen oder Zellulose aus den Papierrecyclingabfällen. Diese Materialien bieten nicht nur eine nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Kunststoffen, sondern können auch in bestehenden Produktionsprozessen integriert werden. Schwedt könnte sich hier als innovativer Standort positionieren, der Materialien nahezu restfrei verwendet und Rohstoffe aus der nächsten Umgebung einsetzt. Eine Erforschung und Skalierung der Herstellungsverfahren wären hier genauso möglich.

Darüber hinaus wäre die Implementierung von Recyclingtechnologien für Kunststoffe ein weiterer Schritt. Anfallende Kunststoffe am Standort Schwedt könnten dann in einen internen stofflichen Kreislauf integriert werden. Die Entwicklung geschlossener Kreislaufsysteme, bei denen Abfälle aus der Kunststoffproduktion oder aus der Verpackungsindustrie direkt wiederverwendet werden, könnte Schwedt zu einem Vorreiter in der Kreislaufwirtschaft machen. Durch die Implementierung von Sortieranlagen und modernen Recyclingverfahren könnte der Standort nicht nur die Menge an Abfall reduzieren, sondern auch wertvolle Rohstoffe zurückgewinnen, die in die Produktion neuer Kunststoffe einfließen. Für eine Umsetzung von Materialien wie für die Kunststoff- und Polymerproduktion benötigt, stehen wie oben bereit erwähnt große Mengen CO2 direkt zur Verfügung. Entwicklungen zeigen, dass die Verbindung von Recycling und Kunststoffinnovation nicht nur die Abfallproblematik angeht, sondern auch neue wirtschaftliche Perspektiven eröffnet.

Die politische Unterstützung in Form von Förderprogrammen und der Schaffung eines geeigneten regulatorischen Rahmens sind entscheidend, um die Forschung und Entwicklung in diesem Bereich voranzutreiben. Die Einführung von Anreizsystemen für Unternehmen, die in nachhaltige Kunststofftechnologien investieren, könnte die Transformation der Industrie beschleunigen und gleichzeitig einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten.

Insgesamt könnte die Förderung der nachhaltigen Kunststoffproduktion in Schwedt nicht nur zur Minderung der Umweltauswirkungen beitragen, sondern auch eine innovative Wirtschaft stärken, die in der Lage ist, den Herausforderungen der Zukunft zu begegnen. Dies würde nicht nur ökologische Vorteile bringen, sondern auch neue wirtschaftliche Chancen für die Region schaffen und die Wettbewerbsfähigkeit auf dem internationalen Markt steigern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Standort Schwedt aufgrund seiner vielfältigen Anbindungsmöglichkeiten ein großes Potential für grüne Schlüsseltechnologien bietet. Grüne Technologien sind entscheidend, um umweltfreundliche Lösungen zu entwickeln und gleichzeitig neue wirtschaftliche Chancen zu schaffen. Die strategische Nutzung regionaler Ressourcen, wie landwirtschaftliche Reststoffe für die Biokraftstoffproduktion, kann die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen verringern und die lokale Wirtschaft stärken. Die vorhandene Raffinerie hat das Potenzial, ihre Prozesse durch die Integration nachwachsender Rohstoffe zu defossilisieren und somit einen wertvollen Beitrag zur nachhaltigen Energieproduktion zu leisten. Im Bereich der nachhaltigen Kunststoffe kann Schwedt seine Stärken in der Papierverarbeitung nutzen, um biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe zu entwickeln. Durch die Entwicklung geschlossener Rohstoffsysteme kann der Standort nicht nur Abfälle reduzieren, sondern auch wertvolle Rohstoffe zurückgewinnen. Politische Unterstützung und Anreizsysteme sind dabei entscheidend, um Innovationen voranzutreiben und die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Zusammengefasst hat Schwedt das Potenzial, als Vorreiter in der Grünen Chemie zu fungieren und eine nachhaltige, wirtschaftlich starke Zukunft zu gestalten.

5 Innovationsökosysteme

Das nachfolgende Kapitel beleuchtet das Thema Ausgründungen spezifisch für den Bereich Chemie in Deutschland. Die Wichtigkeit dieser Perspektive für das Innovationsfeld der Grünen Chemie leitet sich aus der 1995 von Clayton M. Christensen formulierten Theorie der disruptiven Innovationen ab.[76] Zunächst verdeutlicht diese Theorie, dass die für die Transformation der chemischen Industrie benötigten Innovationen oftmals disruptiv wirken, d.h. sie werden die bestehenden Branchenstrukturen grundlegend verändern und aufbrechen. Des Weiteren leistet diese Theorie die wichtige empirische Erkenntnis, dass disruptive Innovationen in der überwiegenden Mehrzahl von neu entstehenden Unternehmen — Startups — und eben nicht von etablierten Unternehmen stammen.

Um das Gründungsgeschehen im Bereich Chemie in Deutschland zu beleuchten wird in Abschnitt 5.1 zunächst das Gründungsverhalten auf individueller Ebene anhand von aktuellen Studienergebnissen betrachtet. Aus dieser Betrachtung werden Einflussfaktoren verdeutlicht, die das Gründungsverhalten von Chemiestudierenden beeinflussen. Der sich anschließende Abschnitt 5.2 beleuchtet die Rolle von Innovationsökosystemen, die den Übergang von Ergebnissen akademischer Grundlagenforschung in die unternehmerische Anwendung ermöglichen. Die hierzu durchgeführte Sekundärdatenanalyse vergleicht insgesamt acht chemiespezifische Innovationsökosysteme in Deutschland anhand ausgewählter Kriterien. In beiden Abschnitten werden Rückschlüsse für die Transformation des Industriestandortes Schwedt gezogen.

[76] Joseph L. Bower, Clayton M. Christensen. Disruptive Technologies: Catching the Wave. Harvard Business Review, Januar/Februar 1995.

5.1 Rolle der Gründungsbereitschaft

In Deutschland studieren etwa 17.000 Chemiestudenten bei rund 1.000 Professoren.[77] Dabei werden zwischen 175 bis 250 Unternehmensgründungen in der chemischen Industrie pro Jahr verzeichnet.[78] Legt man qualitative Analysen an diese Anzahl an Unternehmensgründungen, so reduziert sich diese Anzahl auf nur 25 bis 35 Unternehmen, die mit wirklich innovativen, aus der Grundlagenforschung stammenden Technologien ausgründen.[79]

Mit Hilfe der sogenannten „Total early-stage Entrepreneurial Activity“ — kurz TEA Rate — lässt sich das theoretische Gründungspotenzial im Vergleich zu anderen Studiengängen ermitteln. Dabei beschreibt die TEA Rate die Quote von Menschen, die sich im Alter von 18 bis 64 Jahren in frühen Phasen der Unternehmensgründung oder -führung befinden. Entsprechend spiegelt diese Rate den Mut und das Interesse wider, Unternehmertum zu wagen. Eine aktuelle Studie zum Gründungspotential in der Chemie zeigt, dass die Zahl der tatsächlichen Gründungen (175-250 Unternehmensgründungen) im Vergleich zur theoretisch möglichen Anzahl um 54% niedriger ist.[80] Anders ausgedrückt: die Anzahl an Gründungen in der Chemie könnte doppelt so hoch bei bis zu 500 Unternehmensgründungen pro Jahr liegen, wenn die Gründungsbereitschaft (d.h. die TEA Rate) in der Chemie die Größenordnung des Durchschnitts aller anderen Studiengänge aufweisen würde. Legt man die aktuelle Anzahl von innovativen Ausgründungen zugrunde, so besteht hier sogar das 10-fache Potential.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen erfolgte im Jahr 2023 eine tiefergehende Studie zu den Ursachen der geringen TEA Raten in der Chemie. Die Studie vergleicht das Gründungsverhalten in Deutschland und Polen. Anhand von insgesamt 811 Teilnehmer*innen wurden deutliche Unterschiede im Gründungsverhalten zwischen den Ländern aufgezeigt. Dabei verdeutlichen die Ergebnisse signifikante Unterschiede in Bereichen wie subjektive Norm, Grundlagenwissen, Wahrnehmungen, Absichten und Motive sowie Barrieren im Zusammenhang mit der kulturellen Prägung der Studenten. Die Stichprobe der deutschen Chemiestudenten zeigte signifikante Effekte auf das Gründungsverhalten (Walther, Haubold, & Dobrucka, 2024). Die Wesentlichen sind:

Effekte auf das Gründungsverhalten Studierender

→ Positiver Einfluss auf das Gründungsverhalten durch Gründer im persönlichen Umfeld (subjektive Norm)
→ Positiver Einfluss auf das Gründungsverhalten durch die Motive:
1. persönliche Unabhängigkeit
2. finanzielle Unabhängigkeit
→ Negativer Einfluss auf das Gründungsverhalten durch die Barrieren:
1. fehlende Unterstützung aus dem Umfeld
2. bürokratischer Aufwand

[77] Destatis, 2021 & Gesellschaft deutscher Chemiker, 2022.
[78] Walther S. (2023). Analysis of the potential of chemical business foundations in Germany. International Journal of Entrepreneurship, 27(2),1-4.
[79] Haubold, Stephan; Calhanoglu, Buket. Gründungsgeschehen: Strukturanalyse. Nachrichten aus der Chemie, Vol. 70, pp. 34-36, 2022. Doi: 10.1002/nadc.20224119176.
[80] Walther, Sebastian; Dobrucka, Renata; Haubold, Stephan. Analysis of the potential of chemical business foundations in Germany. International Journal of Entrepreneurship, vol. 7, n. 2, pp. 1-4, 2023.

Zwischen deutschen und polnischen Studierenden lassen sich in Bezug auf generelle Ansichten zur Autonomie und Ideenrealisierung keine eindeutigen Unterschiede feststellen. Beide Gruppen erachten zudem Barrieren in der wirtschaftlichen Gesamtsituation und im Kapitalmangel. Eine zentrale Erkenntnis aus der Studie ist das begrenzte Wissen der Studierenden über Unterstützungsangebote: Abhängig von den spezifisch am jeweiligen Standort vorherrschenden Angeboten — etwa Vorlesungen, Projekte oder Transfereinrichtungen — sind 16,3 % bis 67,5 % der Studierenden beider Gruppen nicht über die Unterstützungsmöglichkeiten ihrer Institution informiert. Das bedeutet, dass teilweise mehr als die Hälfte der Studierenden die Unterstützungsangebote ihrer Institution nicht kennt. Hier setzen die Empfehlungen der Autoren der Studie an, die verpflichtende Kurse und Workshops zu Themen wie „Innovation & Entrepreneurship“ vorschlagen und die Bedeutung von Sensibilisierung und Mentoring zur Überwindung solcher Hindernisse klar hervorheben.[81]

Betrachtet man die Studienergebnisse noch detaillierter, so variiert die Gründungsbereitschaft bei Chemiestudierenden je nach Subgruppe stark. Die in der nachfolgenden Abbildung 4 dargestellten TEA Raten bieten eine quantitative Grundlage, um diese Variationen zu veranschaulichen und um tiefere Einblicke in die dynamischen Zusammenhänge zwischen individuellen Motiven, Barrieren und dem Gründungsverhalten zu geben.

Der Vergleich der Gründungsbereitschaft nach Geschlechtern zeigt, dass männliche Studenten fast die dreifache Gründungsbereitschaft aufweisen wie ihre Kommilitoninnen. Dieses chemiespezifische Ergebnis muss um allgemeine Studienergebnisse ergänzt werden, die das Gründungsverhalten zwischen Männern und Frauen analysieren.[82] Diese Studien zeigen u.a., dass Frauen eine geringere Risikobereitschaft aufweisen als Männer und sich oftmals bzgl. ihrer Fähigkeiten unterschätzen. Wichtig dabei ist auch, dass die Gründungsmotive von Frauen häufiger Gemeinwohlorientiert sind, während Männer des Öfteren aus rein finanziellen Motiven gründen. In diesem Zusammenhang sind die chemiespezifischen Studienergebnisse von besonderer Relevanz, nach denen die höchste TEA Rate bei weiblichen Studierenden mit Migrationshintergrund festgestellt wurde. Für das Innovationsfeld der Grünen Chemie lässt sich daher festhalten, dass weibliche Chemiestudenten aktiv angesprochen und weibliche Role-Models in Form von erfolgreichen Gründerinnen in eigenen Veranstaltungen vorgestellt werden sollten. Hierbei sind Formate empfehlenswert, die aktiv interkulturelle Offenheit vorleben.

ABBILDUNG 4: TEA RATEN VON CHEMIESTUDIERENDEN NACH SUBGRUPPEN

[81] Walther, Sebastian et al. Chempreneurs: Understanding Motivations, Barriers and Intentions in two selected European countries. Procedia Computer Science, Vol. 232, pp. 1513–1528, 2024. DOI: 10.1016/j.procs.2024.01.149.

[82] Gründerschmiede. Männer vs. Frauen beim Thema: Unternehmensgründung, Gründerschmiede, 2023. https://gruenderschmiede.org/maenner-frauen-unterschiede-in-der-unternehmensgruendung/ Zugriff: 22.12.2024.

Auffällig und zugleich bemerkenswert sind die Unterschiede in den TEA Raten nach dem Bildungsniveau. So fällt die TEA Rate von Bachelor- zu Masterstudierenden hin ab. Zwar nur leicht von 10,6 auf 10,1. Alarmierend ist jedoch der signifikante Abfall der TEA Rate auf 5,9 bei Doktorand*innen (PhD/Dr.). Dieser Abfall ist aus zwei Gründen besonders problematisch. Zum einen aufgrund der Tatsache, dass ca. 80% aller Studierenden nach dem Abschluss des Chemiestudiums eine Promotion anfangen. Zum anderen aufgrund der Tatsache, dass Ausgründungen in der Chemie auf Ergebnissen der Grundlagenforschung basieren. In diesem Zusammenhang müssen auch die TEA Raten vor (6,3) und nach (8,5) der Teilnahme an Entrepreneurship-Kursen hervorgehoben werden. So erscheint es ratsam, diese positive Wirkung von Entrepreneurship Education im Rahmen von Doktorand*innen Programmen zu integrieren.

Das Wissen über Förderprogramme, unterstützende Strukturen und inspirierende Role-Models sind nach der Studie entscheidend, um Studierende der Chemie zum Schritt in Richtung Unternehmensgründung zu motivieren — und entsprechend vergleichbare TEA Raten anderer Studiengängen zu erzielen. Eine lebendige Startup-Community kann dabei eine zentrale Rolle spielen, da sie Anlaufpunkt ist, Orientierung gibt, Motivation entfacht, internationale Talente anzieht und weitere Gründungsinteressierte inspiriert. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt deutschlandweit deutliche Unterschiede in der Ansiedlung von Startups als Ausgangspunkt von Innovationsökosysteme, welche das Thema des nachfolgenden Abschnitts sind.

TABELLE I:
ÜBERSICHT DES PROZENTUALEN ANTEILS ALLER DEUTSCHEN STARTUPS PRO BUNDESLAND UND PROZENTUALER ANTEIL ALLER GRÜNEN DEUTSCHEN STARTUPS PRO BUNDESLAND

BUNDESLAND	% ALLER DEUTSCHEN STARTUPS[83]	% ALLER GRÜNEN DEUTSCHEN STARTUPS[84]
NORDRHEIN-WESTFALEN	19,0	20
BERLIN	18,8	17
BAYERN	16,8	12
BADEN-WÜRTTEMBERG	12,5	11
HAMBURG	6,8	6
HESSEN	6,4	7
NIEDERSACHSEN	5,1	9
SACHSEN	4,7	3
RHEINLAND-PFALZ	1,9	2
BRANDENBURG	1,8	1
SCHLESWIG-HOLSTEIN	1,3	3
THÜRINGEN	1,2	1
SAARLAND	1,1	1
BREMEN	1,0	3
SACHSEN-ANHALT	0,8	1
MECKLENBURG-VORPOMMERN	0,7	1

Tabelle sortiert nach prozentualem Anteil aller deutschen Startups (absteigend).

[83] https://startupverband.de/fileadmin/startupverband/mediaarchiv/research/dsm/Deutscher_Startup_Monitor_2024.pdf
[84] https://startupverband.de/fileadmin/startupverband/mediaarchiv/research/green_startup_monitor/Green_Startup_Monitor_2024.pdf

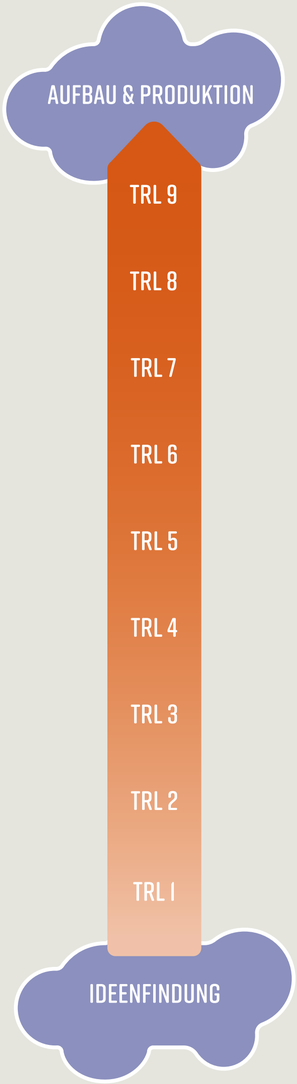
5.2 Rolle der Innovationsökosysteme

Die zunehmende Bedeutung von Startups hat dazu geführt, dass mittlerweile eine Vielzahl an Unterstützungsangeboten existiert. Das Institut für Innovation und Technik kam im Jahr 2018 auf über 1.100 Angebote allein in Deutschland.[85] Um die Innovationsökosysteme im Innovationsfeld der Grünen Chemie sinnvoll analysieren zu können, werden zunächst die dafür notwendigen Konzepte vorgestellt.

Zunächst gilt es Startup-Inkubatoren und Startup-Acceleratoren zu unterscheiden. Inkubatoren sind darauf ausgelegt, Teams in der Phase vor der Unternehmensgründung zu unterstützen. In dieser sehr frühen Phase ihrer Entwicklung werden die angehenden Unternehmer:innen mit Schulungen und Mentoren-Programmen sowie mit der Bereitstellung entsprechender Infrastruktur dabei unterstützt, ihre Ideen zu konkretisieren und die Technologien in Richtung Markt weiterzuentwickeln. Neben der Teamentwicklung gilt es, tragfähige Geschäftsmodelle unter früher Einbeziehung von potenziellen Kunden aufzubauen. Acceleratoren hingegen richten sich an bereits gegründete, also fortgeschrittene Teams. Sie sind also „Beschleuniger“, die spezifische Problemstellungen je nach Reifegrad der frisch gegründeten Unternehmen unterstützen.

Der Entwicklungsprozess von einer Idee zu einem Unternehmen mit tragfähigem Geschäftsmodell ist nicht nur langwierig, sondern auch multidimensional. Daher haben sich Reifegradmodelle entwickelt, anhand derer die Entwicklungen der verschiedenen Dimensionen bewerten werden können. Das wohl bekannteste und mittlerweile weit etablierte Reifegradmodell bzgl. der Dimension „Technologie“ ist das der Technology Readiness Levels (TRL). Selbiges wurde von der NASA in den 1970ern eingeführt, um die technologische Reife von Raumfahrttechnologien zu bewerten und deren Entwicklungsstand systematisch einzuordnen.[86] Übertragen auf chemische Technologien bewertet TRL, wie weit eine Technologie von der Grundlagenforschung bis zur Marktreife fortgeschritten ist. Die TRL-Skala reicht dabei von 0 bis 9. TRL 0 bezeichnet die Grundlagenforschung, in der meist noch keine konkreten Anwendungsideen existieren. Erst wenn Forscher eine Idee formulieren, wie man aus den Ergebnissen der Grundlagenforschung eine konkrete Anwendung ableitet, wird der Übergang zu TRL 1 vollzogen. Auf TRL 1 beginnt die theoretische Konzeptualisierung, die oft grundlegende Prinzipien oder Hypothesen beschreibt. In TRL 2 und 3 liegt der Fokus auf angewandter Entwicklung und dem ersten Prototypenaufbau, wobei erste Tests durchgeführt werden, um die Machbarkeit einer Technologie zu überprüfen. In den Phasen TRL 4 und 5 wird verstärkt darauf Wert gelegt, Prototypen in kontrollierten Umgebungen zu entwickeln und deren Effizienz sowie Leistung zu validieren. Sobald eine Technologie TRL 6 erreicht, erfolgt die erste Validierung in relevanten, d.h. industriellen Umgebungen, was eine entscheidende Voraussetzung für den Übergang zur praktischen Anwendung darstellt. In TRL 7 bis 9 wird die Technologie schließlich skaliert und vollständig in die industrielle Praxis integriert, wobei die Leistung in realen Anwendungen getestet wird.

ABBILDUNG 5: TRL-REIFEGRAD-MODELL



[85] https://www.iit-berlin.de/projekt/trends-in-der-unterstuetzungslandschaft-von-start-ups-in-deutschland-inkubatoren-akzeleratoren-und-andere/
[86] Héder, Mihály. From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. The Innovation Journal, Vol. 2, No. 2, article 3, Aug. 2017.

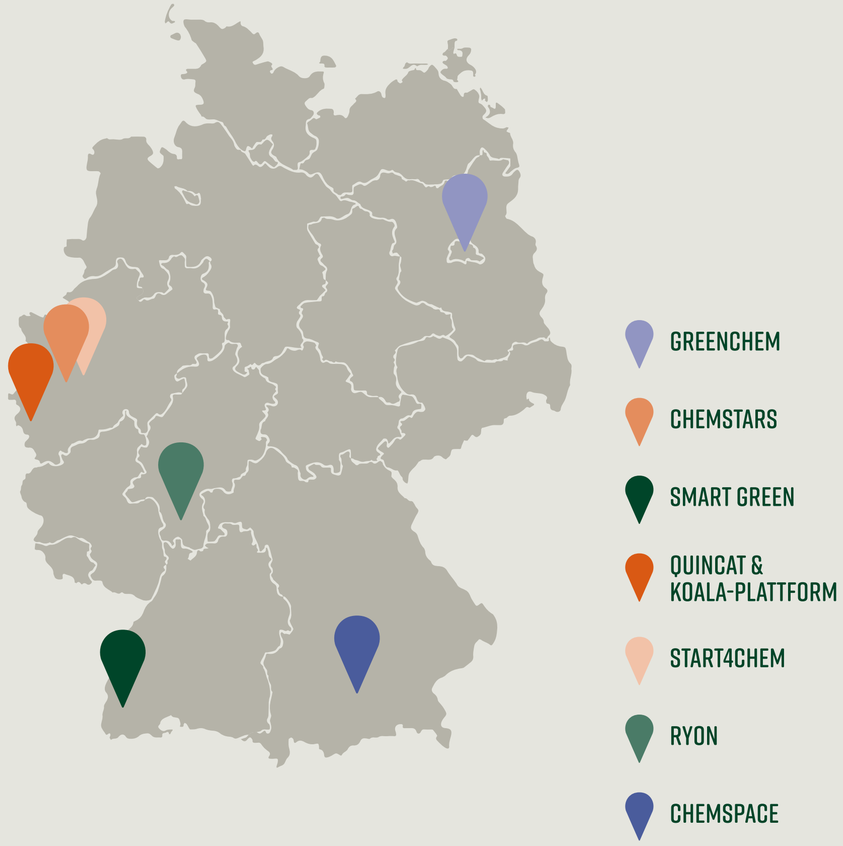
Verknüpft man diese TRL-Logik mit den für die Chemie so charakteristischen und kapitalintensiven Infrastrukturanforderungen, so ergibt sich die in der nachfolgenden Tabelle 2 dargestellte Einteilung in vier Stufen. Während in den frühen Phasen von TRL 1-4 Laborumgebungen für technische Versuchsaufbauten in kleinen Maßstäben notwendig sind, erfordern die TRL Stufen 5-6 bereits größere Versuchsaufbauten. In den sich anschließenden TRL Stufen 7-8 benötigt man bereits industrielle Umgebungen für Pilotierungsanlagen bzw. ein Technikum. TRL 9 stelle schließlich die großtechnische Produktion dar.[87]

TABELLE 2: KORRESPONDENZ ZWISCHEN PRODUKTIONSSTUFE, REAKTIONSVOLUMEN, PRODUKTMASSE UND TRL

STUFE	REAKTIONSVOLUME	PRODUKTMASSE	TRL
PRODUKTION	> 1.000 L	> 100 KG	9
PILOTIERUNG	~ 1.000 L	~ 100 KG	8 7
UPSCALING	~ 10 L	~ 1 KG	6 5
VALIDIERUNG	~ 0,5 L	~ 10 G	4 3 2 1

[87] Für eine tiefere Auseinandersetzung mit der Anwendung der TRL-Skala in der chemischen Industrie siehe: Buchner, Georg; Stepputat; Zimmermann, Arno; Schomäcker, Reinhard. Specifying Technology Readiness Levels (TRL) for the Chemical Industry. Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 58, No. 17, 2019. 10.1021/acs.iecr.8b05693.

ABBILDUNG 6:
STANDORTE DEUTSCHER INNOVATIONSÖKOSYSTEME FÜR GRÜNE CHEMIE[88]



Vor diesem Hintergrund wurden in Deutschland in einem ersten Schritt insgesamt acht relevante Innovationsökosysteme mit dem Fokus auf grüne Chemie identifiziert (siehe Abbildung 6 – Die Deutschlandkarte).

In einem zweiten Schritt wurden die ausgewählten Ökosysteme anhand folgender Kriterien evaluiert. Die Ergebnisse sind folgend dargestellt.

1. ENTWICKLUNGSPHASE
Teams werden vor und/oder nach der Startup-Gründung unterstützt?

2. LABORE / QUALITÄT
Für welche TRL Stufen sind die Labore ausgelegt (abgeleitet vom Reaktionsvolumen)?

3. LABORE / KAPAZITÄT
Wie viele chemische Abzüge stehen zur Verfügung?

4. GESCHÄFTSMODELL
Müssen die Teams Miete zahlen?

5. EIGENTÜMER
Handelt es sich um eine staatliche Einrichtung?

6. FOKUS
Gibt es einen thematischen Fokus?

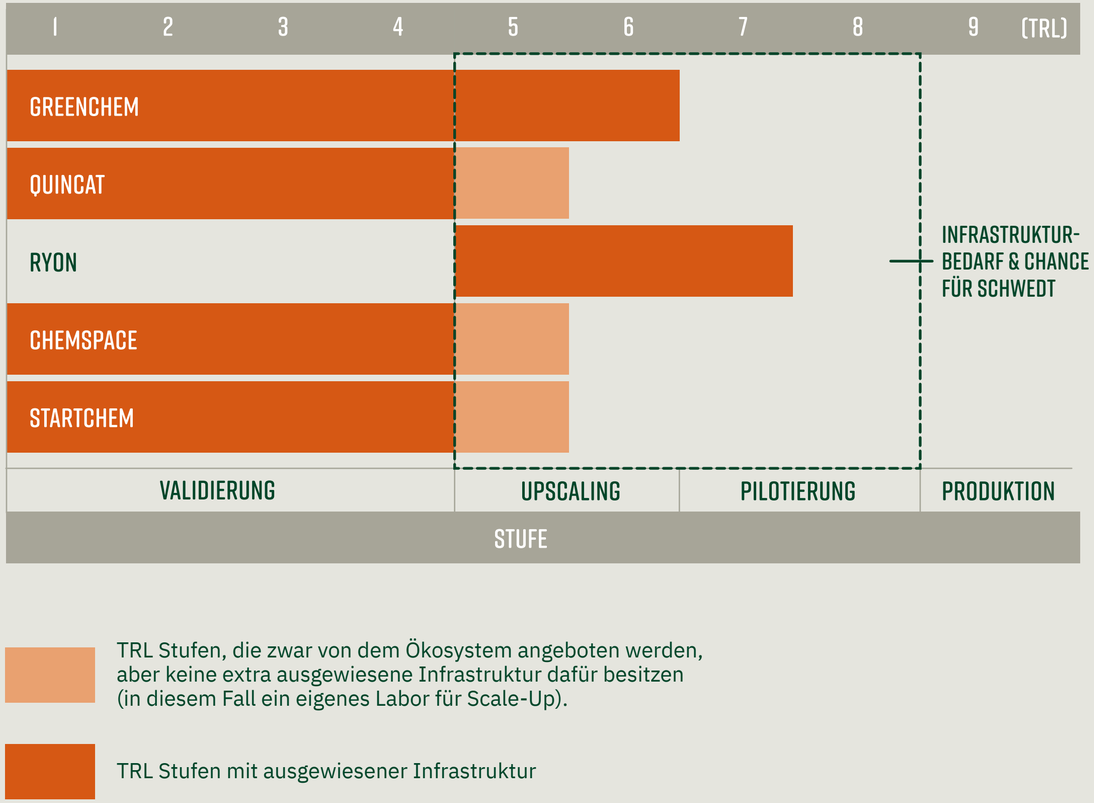
[88] Karte erstellt auf Basis einer Vorlage von presentationgo.com

Die Evaluation der Ökosysteme für Grüne Chemie in Deutschland zeigt eine vielfältige Verteilung von Unterstützungsangeboten für Start-ups, sowohl vor als auch nach ihrer Gründung. Allerdings weist die Analyse auf einen erheblichen Mangel an Laborinfrastruktur hin, insbesondere in den höheren TRL Stufen. Während die Unterstützung von TRL 1 bis 5 durch Einrichtungen wie greenCHEM, QuinCAT, ChemSPACE und Start4Chem gut abgedeckt ist, gibt es bei TRL 6 und höher deutliche Lücken. Derzeit bietet lediglich greenCHEM Unterstützung bis TRL 6 und ryon bis TRL 7, während für TRL 8 keine Infrastruktur vorhanden ist. Dies stellt eine bedeutende Chance für Schwedt dar, sich als Hub für die höheren TRLs sowie gegebenenfalls für die Endproduktion (TRL 9) zu positionieren, wie Abbildung 7 veranschaulicht.

Ein weiterer zentraler Punkt ist die unzureichende finanzielle Unterstützung für Start-up-Teams. Nur zwei Ökosysteme, greenCHEM und SMART GREEN, bieten ihren Teams finanzielle Mittel an. Auch mit der bevorstehenden Eröffnung der Chemical Invention Factory[89] als Teil des greenCHEM-Ökosystems zeigt Berlin das größte Potenzial, sowohl aufgrund der Kapazitäten bzgl. der Laborinfrastruktur als auch aufgrund der eigenen finanziellen Förderung von innovativen Ausgründungsteams.

Die geplante Erweiterung der Laborkapazitäten in den kommenden Jahren — 39 neue Laborabzüge in Berlin bis 2027 und 27 in Darmstadt bis 2026 — zeigt, dass wichtige Schritte unternommen werden, um Infrastruktur für die Grüne Chemie auszubauen. Dennoch bleibt die Schaffung von Angeboten für höhere TRLs eine zentrale Aufgabe. Mit gezielter Investition und strategischer Planung könnte der Schwedter Cluster nicht nur seine Innovationskraft stärken, sondern auch eine Vorreiterrolle bei der Unterstützung von Startups in späteren TRLs übernehmen.

ABBILDUNG 7:
VERFÜGBARE LABORINFRASTRUKTUR IN AUSGEWÄHLTEN CHEMIE-ÖKOSYSTEMEN NACH AUSGELEGTEN TRL STUFEN



[89] Pressemitteilung Technische Universität Berlin „Chemical Invention Factory“ wird auf dem Campus Charlottenburg der TU Berlin gebaut“, Berlin, 25.03.2025. https://www.tu.berlin/ueber-die-tu-berlin/profil/pressemitteilungen/chemical-invention-factory-wird-auf-dem-campus-charlottenburg-der-tu-berlin-gebaut Zugriff: 24.01.2025

TABELLE 3: SPEZIFIKATIONEN DER DEUTSCHEN CHEMIETRANSFERÖKOSYSTEME

TRL STUFEN SIND DEFINIERT ÜBER REAKTIONSVOLUMEN:
TRL = 1 -4: ~ 0.5 L, TRL = 5 – 6: ~10 L, TRL = 7 – 8: 1.000 L, TRL = 9: >1.000 L

	GREENCHEM	QUINCAT	KOALA-PLATTFORM	RYON[90]	GRÜNHOF FREIBURGG (SMART GREEN ACCELERATOR)[91,92]	CHEMSTARS	CHEMSPACE	START4CHEM
PHASE	VOR GRÜNDUNG	VOR GRÜNDUNG	VOR GRÜNDUNG	VOR UND NACH GRÜNDUNG	NACH GRÜNDUNG	VOR UND NACH GRÜNDUNG	VOR GRÜNDUNG	
ANZAHL CHEM. ABZÜGE (BEGEHBAR)	4 (0) AB 2027: 39 (4)	15 (3)	0	6 (0) AB 2026 28 (12)	0	11 (0) NUR MIT TUMBEZUG	0	8 (4) LABOR NUR FÜR RUB AUS-GRÜNDUNGEN ZUR VERFÜGUNG
LABOR AUSGELEGT FÜR TRL	1-4 & 5-6	1-5	-	5 - 7	-	-	1-5	1-5
MIETE FÜR TEAMS	NEIN	NEIN	-	JA	JA	-	AB GRÜNDUNG MIETE AN TUM	NEIN
FINANZIELLE UNTERSTÜTZUNG DER TEAMS	JA	NEIN	NEIN	NEIN	JA[93]	-	NEIN	NEIN
STAATLICH / PRIVAT GEFÜHRT	STAATLICH	STAATLICH	STAATLICH	PRIVAT	PRIVAT	GMBH	GGMBH	STAATLICH
FOKUS	GRÜNE CHEMIE	NACHHALTIGE CHEMIE	NEIN	NEIN	GREEN ENERGY, GREEN INDUSTRY, GREEN MOBILITY, GREEN BUILDING, GREEN PACKAGING	ALLES WAS MIT CHEMISCHER INDUSTRIE IN KONTAKT KOMMT	NEIN	NEIN

[90] https://www.ryon.de/angebot/start-ups/infrastruktur
[91] https://gruenhof.org/en/
[92] https://smartgreen-accelerator.de/
[93] https://smartgreen-accelerator.de/programme/pre-seed/

Ungeachtet der Infrastruktur sind die Menschen der wohl wichtigste Faktor für ein erfolgreiches Innovationsökosystem, die aus Ergebnissen der Grundlagenforschung erfolgreiche Unternehmen gestalten. Daher ist die Anzahl der im Einzugsgebiet eines Innovationsökosystems Studierenden ein guter Indikator für die Leistungsfähigkeit und für das Innovationspotential desselben. Die nachfolgende Tabelle 4 vergleicht die Studierendenzahlen der untersuchten Ökosysteme. Es wird deutlich, dass Berlin mit großem Abstand die meisten Studierenden im Themenfeld aufweist. Diese Tatsache unterstreicht das enorme Gründungspotenzial der Hauptstadtregion im Innovationsfeld Chemie. Zusammen mit der vorhandenen oder im Bau befindlichen Infrastruktur stellt diese Tatsache einen strategischen Vorteil für die Region Schwedt heraus, der sich aus der geografischen Nähe ergibt. Durch die komplementären Stärken des Schwedter Clusters und des greenCHEM-Ökosystems entsteht ein synergetisches Potenzial, das Innovationen und Startups in der Grünen Chemie signifikant vorantreiben kann.

Chemieausgründungen gehören zum Bereich der Deep-Tech und sind entsprechend auf wegweisenden Forschungsergebnissen angewiesen. Für den Erfolg solcher Start-ups ist daher exzellente Forschung im Chemiebereich ein weiterer Erfolgsfaktor. Ein wichtiger Indikator für Forschungsqualität sind die Exzellenzcluster der Exzellenzstrategie von Bund und Ländern. In Deutschland gibt es zwei Chemie-Exzellenzcluster: UniSysCat in Berlin und RESOLV in Bochum, die Spitzenforschung betreiben und eine zentrale Rolle für Innovationen und Gründungen spielen.[95]

Folglich sticht Berlin als Standort für Innovation und Unternehmertum in der Chemie durch drei zentrale Aspekte hervor: Erstens bieten die exzellenten Laborkapazitäten eine breite Abdeckung der TRL-Stufen, ideal für Forschung und Entwicklung. Mit der Nähe zu Schwedt, wo ein Reallabor und ein Demonstrationshub entstehen könnten, eröffnet sich zudem erhebliches Potenzial für Innovationen mit Infrastruktur über TRL Stufe von 1-8 in sinnvoller räumlicher Nähe. Sowohl das RealLabor, als auch der DemoHub, würden die bisher ungedeckten Bedarfe der Startups als Infrastruktur für die TRL Stufen 5-8 decken. Hierbei würde das RealLabor standardisiertes Equipment bieten und der DemoHub Platz für First-of-a-Kind (FOAK) Anlagen und nicht-standardisiertes Equipment (vgl. Kapitel 6). Zweitens ermöglicht die hohe Zahl von 1.817 Chemiestudierenden in Berlin ein enormes Nachwuchspotenzial für Gründungen. Drittens sichert Spitzenforschung wie der Exzellenzcluster UniSysCat Berlins Position als führendes Zentrum für chemische Innovationen und den Transfer in die Praxis.

TABELLE 4: ANZAHL DER STUDIERENDEN IN CHEMIE UND CHEMIEINGENIEURWESEN DER STANDORTE DER IN TABELLE 3 BESCHRIEBENEN ÖKOSYSTEME

Chemstars ist ein bundesweit digital operierendes Ökosystem. Die Standorte sind nach Studierendenzahlen absteigend sortiert.

STANDORT	ANZAHL VON STUDIERENDEN[94]
BERLIN (GREENCHEM)	1.817
MÜNCHEN (CHEMSPACE)	1.758
DÜSSELDORF (CHEMSTARS)	1.276
AACHEN (QUINCAT, KOALA-PLATTFORM)	967
DARMSTADT (RYON)	495
FREIBURG (SMART GREEN ACCELERATOR)	423
BOCHUM (START4CHEM)	393

[94] Statistik der Chemiestudiengänge, Gesellschaft deutscher Chemiker, 2023, https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Ausbildung_und_Karriere/Karriere/Statistik/2023_Statistik_gesamt_web.pdf
[95] https://gepris.dfg.de/gepris/programmlisten?language=de#PROGRAMM=Exzellenzcluster%20%28ExStra%29

6 Voraussetzungen

Infrastruktur ist der Schlüssel zur Förderung von Innovationen im Bereich der grünen Chemie und stellt gleichzeitig einen der wichtigsten Wettbewerbsvorteile des Industriestandorts Schwedt dar. Der Aufbau neuer Infrastruktur ist nicht nur kostspielig, sondern auch ein zeitaufwändiges Unterfangen. Daher ist Schwedt für dieses zukunftsweisende Feld gut positioniert, da ein klarer Bedarf an Einrichtungen besteht, die auf die Skalierungsphase von Startups im Bereich der grünen Chemie ausgerichtet sind.

Doch was bedeutet es genau, dass eine Infrastruktur „geeignet“ für ein Feld mit so vielen unterschiedlichen technologischen Anwendungen ist? Mit dieser Frage im Hinterkopf wurden Deep-Tech-Startups — insbesondere aus dem Bereich der Grünen Chemie — aus Deutschland und anderen Ländern aufgefordert, an einer Umfrage zu ihren Skalierungsbedürfnissen teilzunehmen, insbesondere die, die derzeit gerade vor dieser Entscheidung stehen. Ziel war es, die Anforderungen an ihre Skalierungsprozesse zu ermitteln, um einen Einblick zu erhalten, wie die Infrastruktur in Schwedt gestaltet werden könnte, um sie so reibungslos wie möglich anzusiedeln. Ihre Antworten ergänzen die vorangegangenen Kapitel, da sie eine empirische Perspektive auf diese Bedürfnisse bieten und eine konzeptionelle Vorstellung davon ermöglichen, wie Schwedt als Hotspot für die Skalierung von Innovationen der grünen Chemie aussehen könnte.

29
STARTUPS

80%
GEGR. AB 2021

96,6%
ERWARTEN
> 5 JAHRE IM GESCHÄFT
ZU BLEIBEN

Obwohl die teilnehmenden Startup-Teams viele detaillierte Informationen lieferten, gibt es zwei wesentliche Einschränkungen, die bei der Analyse der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. Erstens: Sollte das Schwedter Cluster auf die genannten Anforderungen reagieren, muss berücksichtigt werden, dass die Mehrheit der teilnehmenden Teams vermutlich bereits skaliert hat und die Phase des Upscalings hinter sich gelassen hat, wenn die angepasste lokale Infrastruktur einsatzbereit ist. Es ist daher geboten, nicht ausschließlich auf diese spezifischen Teams und Technologien zu setzen. Der eigentliche Wert der Ergebnisse liegt darin, ein besseres Verständnis dafür zu gewinnen, wohin sich die Innovationen in der Grünen Chemie entwickeln und welche Mengen und Größenordnungen bei der Gestaltung von Einrichtungen für diese Technologien berücksichtigt werden müssen.

Die zweite Einschränkung betrifft die Genauigkeit der Antworten. Wie im folgenden Abschnitt dargestellt wird, befinden sich die meisten teilnehmenden Teams in einem frühen Stadium ihres Startups. Das bedeutet, dass sie möglicherweise noch nicht über genügend Erfahrung und technisches Know-how verfügen, um genaue Schätzungen zu ihren zukünftigen Skalierungsbedürfnissen abzugeben. Daher könnten einige Ergebnisse aufgrund der Profile unpräzise sein. Nichtsdestotrotz sind ihre Antworten weiterhin äußerst wertvoll, da sie eine hilfreiche Orientierung für die Gestaltung zukünftiger Einrichtungen für Startups im Bereich der Grünen Chemie bieten.

6.1 Profil

Von Juni bis Ende August 2024 wurde die Umfrage über den Bedarf an Scale-up von Deep-Tech-Start-ups durchgeführt. Insgesamt 29 Startup-Teams nahmen daran teil. Bei fast 80% der Befragten handelt es sich um Teams, die ab 2021 etabliert wurden, d. h. sie befinden sich in einem frühen Entwicklungsstadium. Sie sind auch fast gleichmäßig zwischen nicht gegründeten (51,7%) und bereits gegründeten (48,3%) Start-ups aufgeteilt. Letztere wurden ebenfalls mehrheitlich (ca. 70%) im Jahr 2021 und danach gegründet. Etwas mehr als ¾ aller Befragten haben kleine Teams, die aus 1 bis 5 Personen bestehen. Was wir also über das Profil der Befragten sagen können, ist: Es handelt sich um eher neue Teams, die ab 2021 gegründet wurden, mit wenigen Mitgliedern (1-5), die sich gleichmäßig auf gegründete und nicht gegründete Teams verteilen.

57% von ihnen haben länger als drei Monate an Inkubations- oder Accelerator-Programmen teilgenommen, was zeigt, dass die anderen 43% entweder nichts von der Existenz solcher Initiativen wussten oder deren Angebot für unzureichend hielten. Dennoch wurden 33 verschiedene Initiativen zur Unterstützung von Startups genannt, wobei die Berliner Science & Startups, greenCHEM und das Innovation Network for Advanced Materials (INAM) mit jeweils drei Nennungen an der Spitze liegen.[96] 19 Befragte gaben an, dass sie bereits über einen Standort für ihre Scale-up-Einrichtungen nachgedacht haben, und 17 von ihnen (ca. 89%) würden sich für einen Verbleib in Deutschland entscheiden.

Eine wichtige Erkenntnis aus dem Profil der Startups ist, dass eine deutliche Mehrheit (96,6%) von ihnen erwartet oder erwägt, in den nächsten fünf Jahren im Geschäft zu bleiben. Dies zeigt, dass sie bereit sind, ihre Unternehmen und Innovationen voranzutreiben. Dies deutet darauf hin, dass es eine neue Generation von Unternehmer*innen gibt, die Vertrauen in ihre Innovationen haben und es vorziehen, in Deutschland zu bleiben, um ihre Geschäfte zu betreiben. Gleichzeitig lässt sich aus diesen Ergebnissen auch ableiten, dass die Teams nicht die Absicht haben, ihre Patente und Technologien an große Unternehmen zu verkaufen. Mit anderen Worten: Die Start-ups wollen sich tatsächlich auf eigenen Füßen auf dem Markt etablieren.

[96] Andere erwähnte Hubs bzw. Programme: 1.5 Ventures, Air Miners, Axel, BMW Respond, Carbon2Value, Chemovator, Chemstars, Circular Together, ClimateKIC, Creative Destruction Lab, Design Factory, Elemental Excellerator, Entrepreneur First, EXIST Gründerstipendium, Founder Institute, High-Tech.NRW, Imagine 2030, Impact Factory, Impact Hub Berlin, Ocean Accelerator Rostock, Plug & Play, Potsdam Transfer, Rockstart, Scale4Climate, Smart Green Accelerator, Sustainable Aerolab, Unreasonable Group, Venture for Climate Tech, WEF Tech Pioneers, Xpreneurs.

6.2 Technologie

Doch um welche Art von Innovationen handelt es sich?[97] Sie sind hauptsächlich in den Bereichen Chemie (80 %) und Advanced Materials (65 %) tätig.[98] Biotechnologie (31%) und Energie (27%) sind ebenfalls einige wichtige Tätigkeitsbereiche. Auf die Frage, auf welche der 12 Prinzipien der Grünen Chemie ihre Technologien sich beziehen, nannten die Befragten alle 12 Prinzipien, vor allem aber die Prinzipien 3 (65%), 1 (58%), 6 (58%) und 7 (50%), wie die untenstehende Grafik darstellt. Ein Drittel der Start-up-Teams stützt sich bei der Produktion auf Biomasse als Rohstoffbasis. Es ist auch erwähnenswert, dass 73% der befragten Startup-Teams ein Patent bereits besitzen.

ABBILDUNG 9: WAS IST DIE ROHSTOFFBASIS FÜR DIE TECHNOLOGIE IHRES START-UPS IN PROZENT?

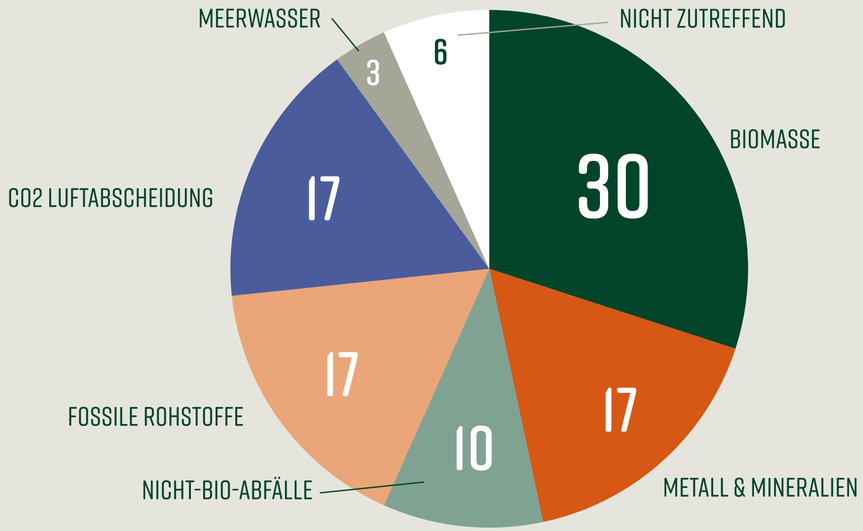
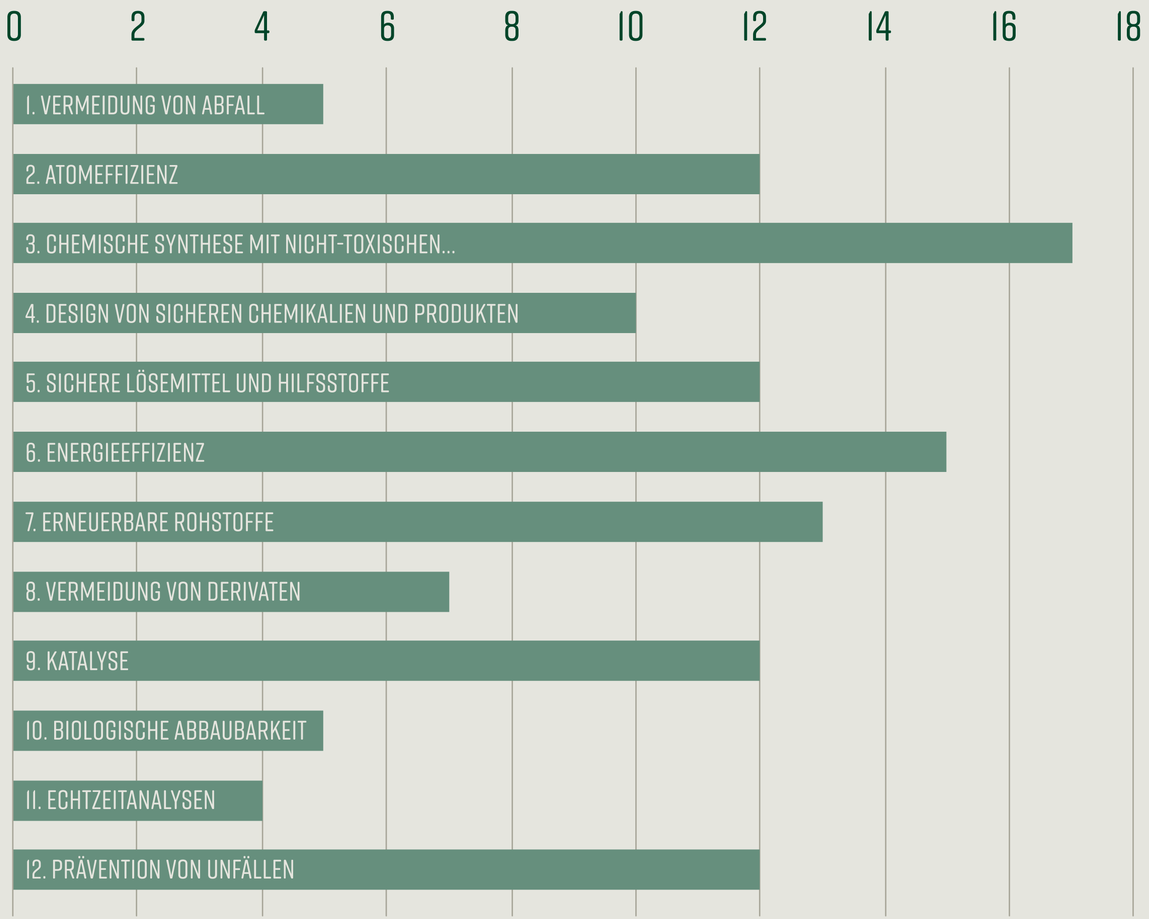


ABBILDUNG 9: WELCHES DER PRINZIPIEN DER GRÜNEN CHEMIE TRIFFT AUF DIE INNOVATION IHRES START-UPS ZU?



[97] Für diesen Abschnitt haben wir Teams ausgeschlossen, die nicht beabsichtigen, in den nächsten fünf Jahren tätig zu werden und/oder nicht im Deep Tech Bereich hauptsächlich tätig sind, so dass wir 26 Befragte haben.
[98] Nicht ausschließende Antworten.

Was ihre Beziehung zur Industrie betrifft, so steht die Mehrheit bereits in engem Kontakt mit der Industrie, entweder für Kooperationen (31%) oder Pilotprojekte (27%). 44% der Startups befinden sich in den Customer Readiness Levels[99] (CRL) 5 oder 6, was bedeutet, dass sie entweder in Kontakt mit interessierten Kunden stehen oder ihren Nutzen bereits durch Partnerschaften etabliert haben.

Zum Stand ihrer technologischen Entwicklung hat die Mehrheit (46%) der Startups TRL 5 oder 6 (detaillierte Prozessentwicklung oder Pilot-Versuche) erreicht. 58% produzieren derzeit weniger als 1kg pro Jahr und alle Befragten produzieren derzeit weniger als 1.000t pro Jahr. Es wird jedoch mit einer hohen Menge abgesetzten Produkte/Materialien gerechnet: 27% schätzen, dass die endgültige Menge nach ihren Produkten bei über 100.000t pro Jahr liegen wird, und 19% gaben an, dass die Menge nach ihren Produkten zwischen 1.000 und 100.000t pro Jahr liegen wird. In den nächsten 5 Jahren ist die erwartete Menge jedoch bescheidener: 27% sind der Überzeugung, dass sie unter 1.000t pro Jahr fallen wird. Bemerkenswert ist jedoch, dass 27% schätzen, dass die Nachfrage in den nächsten fünf Jahren über 100.000t pro Jahr liegen wird.

Alles in allem zeigt das technologische Profil der Startups, die an der Umfrage teilgenommen haben, dass sie tatsächlich im Bereich der Innovationen der Grünen Chemie aktiv sind, über proprietäres Know-how verfügen und überwiegend Biomasse als Ausgangsbasis nutzen. Die meisten befinden sich in mittleren Phasen des TRL und des CRL, was bedeutet, dass sie bald ihre Produktion skalieren werden bzw. ihre FOAK[100] Anlagen im industriellen Umfeld aufbauen müssen. Bemerkenswert für Schwedt ist, dass die Mehrheit der Startups erwartet, nach der Etablierung ihrer Geschäfte große Mengen zu produzieren, was potenziell mit der vorhandenen Infrastruktur des Industriestandorts zusammenpassen könnte. Aber welche Faktoren werden ihre Entscheidung über den Standort ihrer Skalierungsanlagen beeinflussen? Dies ist das Thema des nächsten Abschnitts.

ABBILDUNG 10: WELCHES VERHÄLTNIS HAT IHR START-UP DERZEIT ZUR INDUSTRIE?
(ANGABEN IN PROZENT)

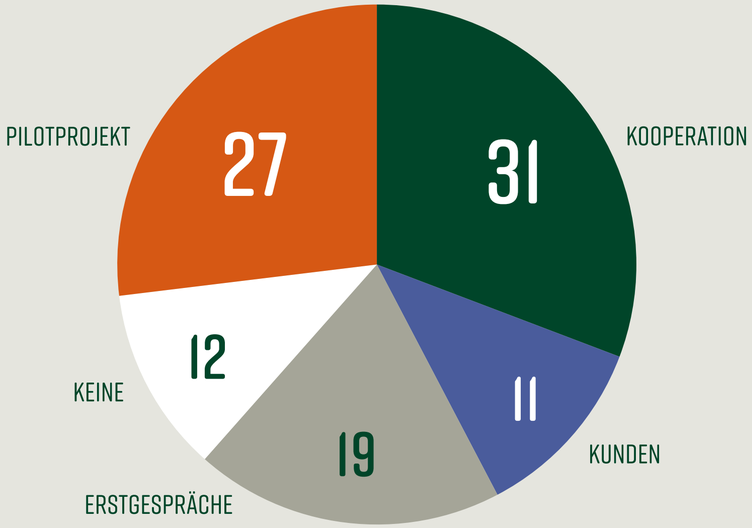
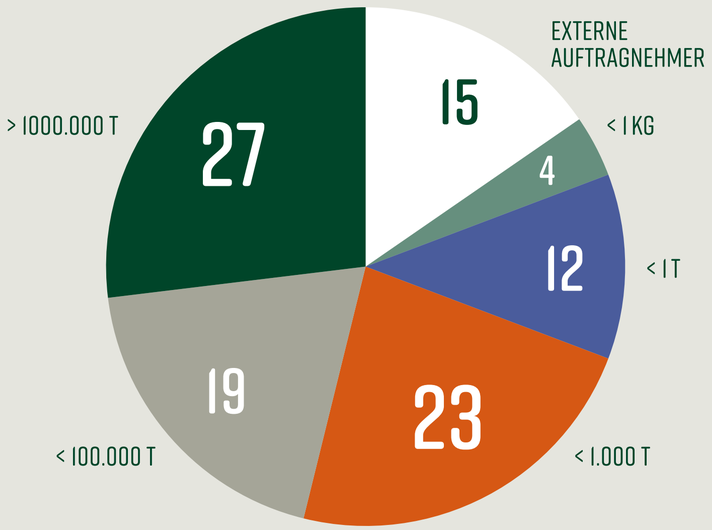


ABBILDUNG 11: WIE HOCH SCHÄTZEN SIE DIE ABGESETZTE MENGE VON IHREM PRODUKT IN BEZUG AUF DIE TONNAGE LETZTENDLICH EIN?
(ANGABEN IN PROZENT; MENGE PRO JAHR)



[99] CRL ist ein Reifegradmodell, das die Bereitschaft eines Produkts aus Sicht der Kundenakzeptanz bewertet. Es beschreibt neun Stufen, die von der ersten Hypothese zu Marktbedürfnissen (CRL 1) bis hin zu großflächigem Produktverkauf (CRL 9) reichen.
[100] "First of a kind", "erst ihrer Art".

6.3 Standortwechsel

Der dritte Teil der Umfrage befasste sich direkt mit den Bedürfnissen der Startups bei einem Standortwechsel im Rahmen des Skalierungsprozesses. Bemerkenswerterweise zeigte eine deutliche Mehrheit (ca. 61%) eine hohe Bereitschaft, an einen anderen Standort umzuziehen, wenn diese geeigneten Bedingungen für das Upscaling bietet (siehe nachstehende Grafik). Etwa der gleiche Prozentsatz antwortete, dass nur das Skalierungsteam umziehen würde — immerhin 27% würden einen Umzug des gesamten Teams an den neuen Standort in Betracht ziehen. Hinsichtlich der Anzahl der Personen, die umziehen würden, liegen alle unter 24 Teammitgliedern, wobei 50 % zwischen 1 und 5 Personen liegen.

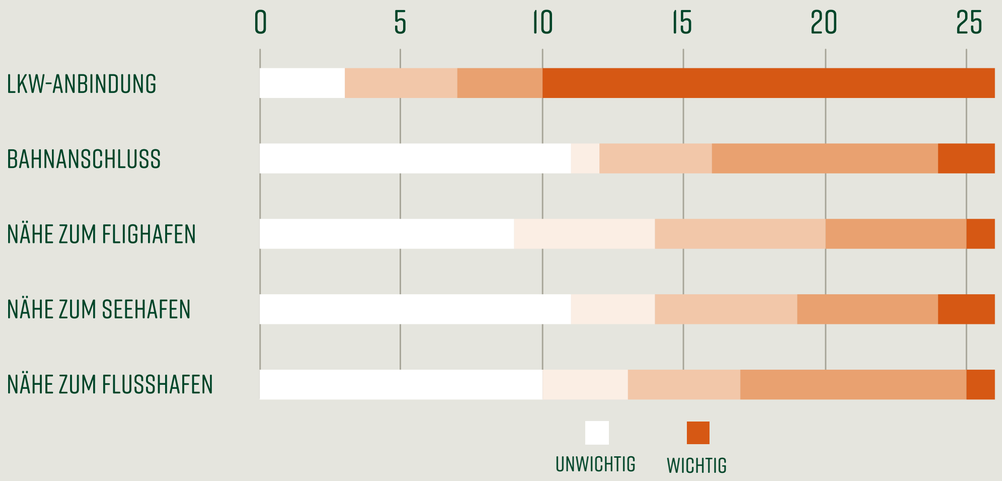
Die Start-ups wurden auch gefragt, welche Kriterien sie in Betracht ziehen würden, wenn sie ihren Standort wechseln müssten. In Bezug auf die Logistik war für 16 Teams (62%) der Lkw-Zugang das wichtigste Verkehrsmittel. Bei den anderen Verkehrsträgern gab es deutliche Unterschiede, wobei der Zugang zum Schienenverkehr und die Nähe zu Flusshäfen etwas wichtiger waren als Flug- und Seehäfen.

Bei den Faktoren der geografischen Clusterbildung ergab sich ein ähnliches Muster unterschiedlicher Ergebnisse. Die Nähe zu Forschungseinrichtungen, Zulieferern und Abfallbehandlungsdiensten wurde jedoch als entscheidender angesehen als die Nähe zu Veranstaltungsdiensten, Reinigungsdienstleistern und Reparatur- und Wartungsdiensten.

Das letzte Kriterium bzgl. eines Standortwechsels betraf die Attraktivität des Standortes selbst. Hier waren die Antworten eindeutig: Verfügbarkeit und Erschwinglichkeit von Wohnraum sowie die Anbindung an öffentliche Verkehrsmittel sind die wichtigsten Faktoren, die berücksichtigt werden. Außerdem wird die Nähe zu Seniorenwohnungen von den Befragten kaum vorausgesetzt

ABBILDUNG 12: WIE SCHÄTZEN SIE DIE BEREITSCHAFT IHRES STARTUP-TEAMS EIN, AN EINEN STANDORT UMZUZIEHEN, DER SICH PERFEKT FÜR IHR SCALE-UP EIGNET?

ABBILDUNG 13: KRITERIEN FÜR DIE UMSIEDLUNG (LOGISTIK)



Zusammenfassend scheinen die Präferenzen und Anforderungen der Startup-Teams in Bezug auf Logistik, geografische Clusterbildung und Standortattraktivität sehr günstig für den Industriestandort Schwedt zu sein. Der Standort verfügt über sehr gute industrielle Logistikkapazitäten. Schwedt ist gut an den öffentlichen Nahverkehr angebunden. Sicherlich besteht hier noch Verbesserungspotential, so dass die Attraktivität des Standortes mit einer verbesserten, d.h. schnelleren und häufigeren Bahn-Anbindung nach Berlin gesteigert werden kann. Darüber hinaus bietet das Schwedter Cluster ein umfangreiches Netzwerk von Dienstleistern mit erfahrenem, industriellem Profil im Bereich Chemie. Auch die Nähe zu erstklassigen Forschungseinrichtungen in Berlin sowie Rostock zählen zu den Standortvorteilen. Schließlich ist der Wohnungsmarkt in Schwedt im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands weniger wettbewerbsintensiv und erschwinglicher. Somit scheint der Industriestandort Schwedt die meisten von den Startups favorisierten Bedingungen erfüllen zu können. Nichtsdestotrotz muss man nun verstehen, welche sind die technischen und infrastrukturellen Anforderungen der Startups in Bezug auf ihre Skalierung.

ABBILDUNG 14: KRITERIEN FÜR DIE UMSIEDLUNG (CLUSTERBILDUNG)

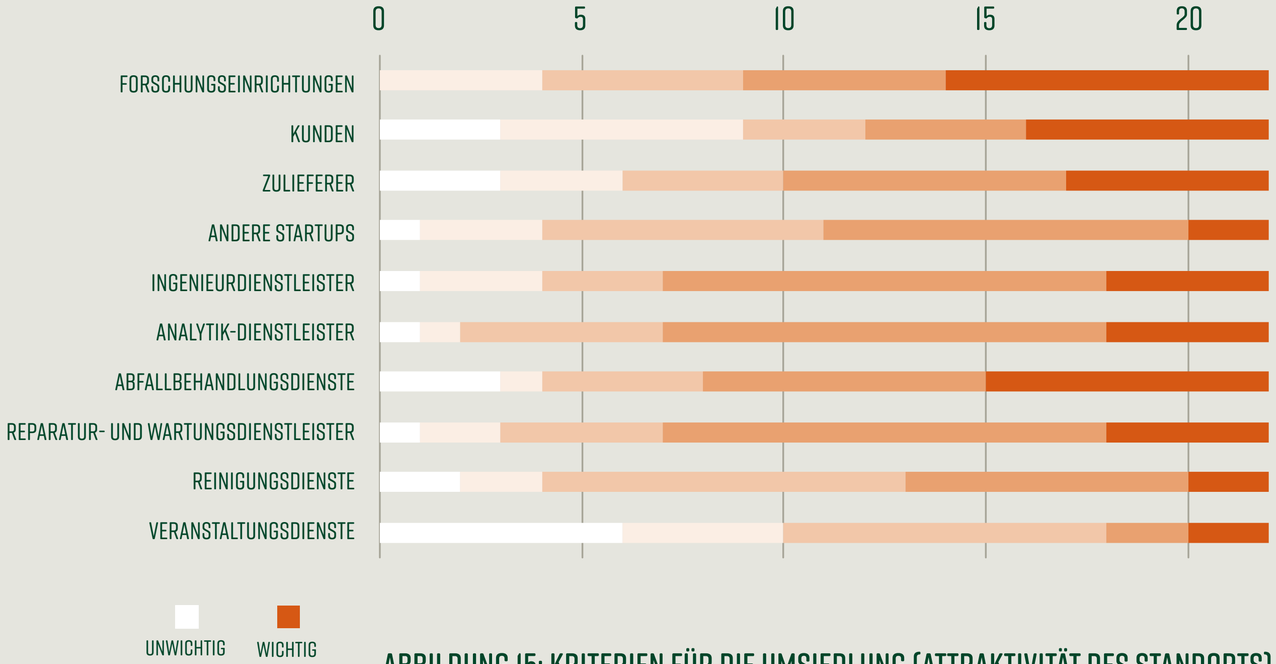
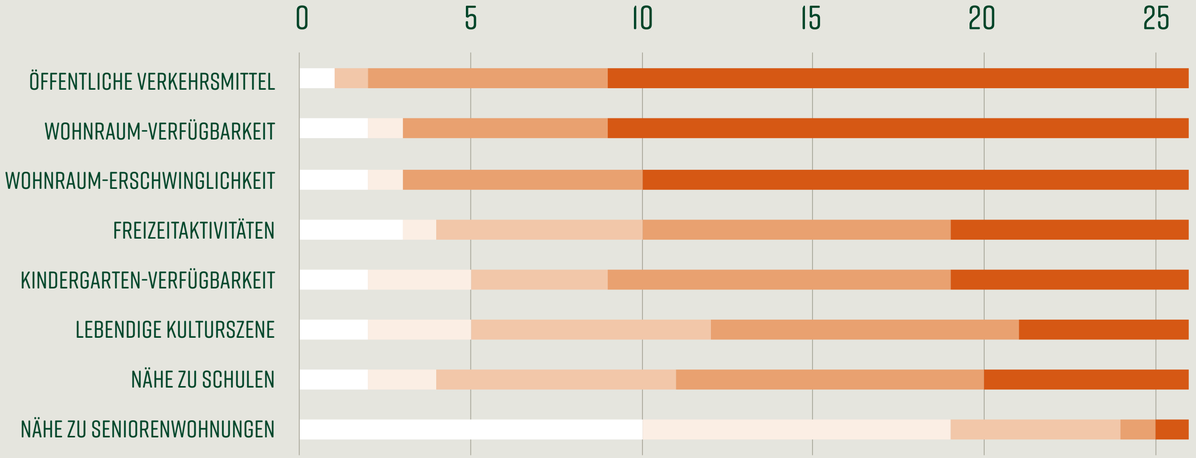


ABBILDUNG 15: KRITERIEN FÜR DIE UMSIEDLUNG (ATTRAKTIVITÄT DES STANDORTS)



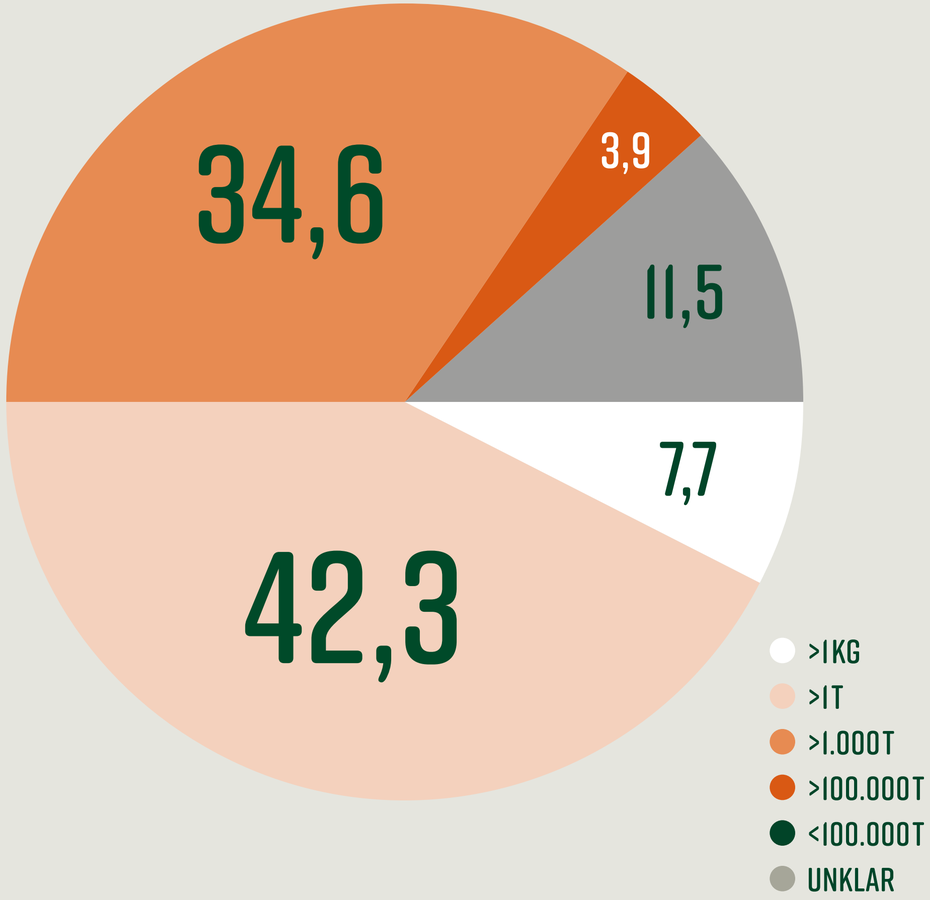
6.4 Skalierungsbedürfnisse

Auf die Frage nach technischen und infrastrukturellen Anforderungen für das Upscaling gab die Mehrheit der Start-up-Teams an, dass sie häufig technische Unterstützung (ca. 65%) und Unterstützung bei der Materialanalyse (75%) benötigen. Fast alle (ca. 96%) benötigen ein Gebäude für ihre Pilotproduktionsanlage, wie aus dem nachstehenden Diagramm hervorgeht:
Auf die Frage nach dem größten Gerät, das sie in die Pilotanlage geliefert bekommen würden, wurde als größtes Gerät eine CO2-Capture-Anlage mit den Maßen 20m x 50m x 30m genannt, die 1.000-2.000 Tonnen wiegt und auch das schwerste Gerät ist, die von den Befragten erwähnt wurde. Das zweitgrößte Gerät wurde nicht genannt, es misst jedoch 20m x 30m x 10m. Das zweitschwerste Gerät, ebenfalls nicht genannt, wiegt 50t.

In den Pilotproduktionsanlagen sollen mittlere Mengen produziert werden: 42,3% der Befragten rechnen mit einer Produktion von weniger als 1t pro Jahr, 34,6% mit weniger als 1.000t. Die Mehrheit der Start-ups (38,5%) würde für ihr Upscaling weniger als 100kg Rohmaterial pro Monat benötigen. Es ist jedoch erwähnenswert, dass 26,9% monatlich mehr als 1t benötigen.

Bei den Abfällen — flüssige, solide und Sonderabfälle — fielen die Antworten unterschiedlich aus. Bei den flüssigen Abfällen waren die Antworten sehr breit gestreut, aber eine Mehrheit von 26,9% benötigt mehr als 1.000 Liter Lagerraum für ihre flüssigen Abfälle. Für feste Abfälle benötigten 42,3% einen Lagerraum für 100 kg oder weniger. Bei den Sonderabfällen schließlich gab die Mehrheit an, dass sie entweder keinen Platz benötigen (30,8%) oder sich nicht sicher sind (23,1%), ob das überhaupt benötigt wird. Die Mehrheit derjenigen, die es benötigen, bräuchten Platz für weniger als 50kg.

ABBILDUNG 16:
WELCHE MENGEN SOLLEN IN IHREM STARTUP PRODUZIERT WERDEN?
ANGABEN IN PROZENT UND KG BZW. TONNEN PRO JAHR



Die meisten Teams benötigen keine großen Labore, Büros oder Technika. 46,2% der Befragten gaben an, dass sie 16-30m² Bürofläche benötigen; 26,9% benötigen 31-50m² für denselben Zweck. Was die Laborfläche betrifft, so benötigt eine Mehrheit von 42,3% weniger als 50 m² und weitere 38,5% benötigen 51-100m². 8,5% der Start-ups benötigen ein Technikum von 101-200m² und 46,2% benötigen weniger als 100m², wie aus der nachstehenden Grafik hervorgeht.

Was die Sicherheit anbelangt, so würden 50% der Anlagen in der ATEX-Zone 2 betrieben, was bedeutet, dass explosionsfähige Atmosphären im Normalbetrieb nicht auftreten dürften, und falls doch, dann nicht lange dauern würden.

ABBILDUNG 17: BRAUCHT IHR START-UP LAGERFLÄCHEN ODER WÜRDEN FREILUFT-EINRICHTUNGEN FÜR DAS PILOT-PROGRAMM AUSREICHEN?

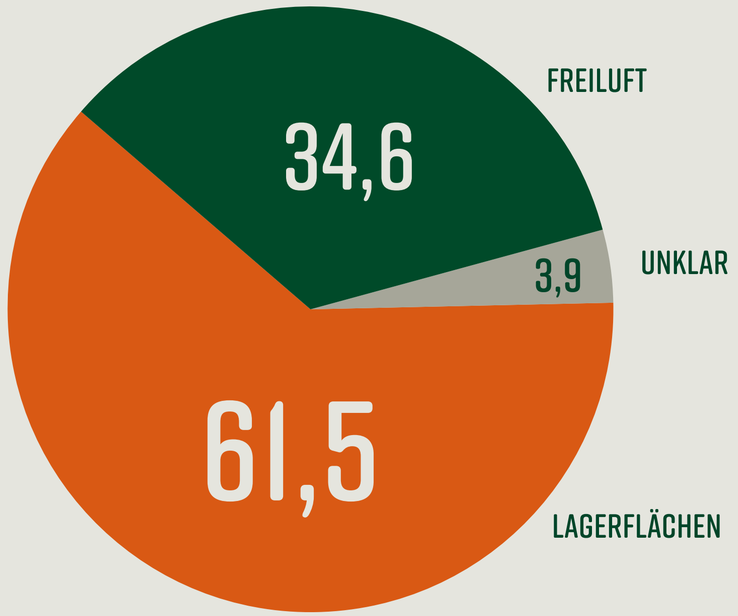
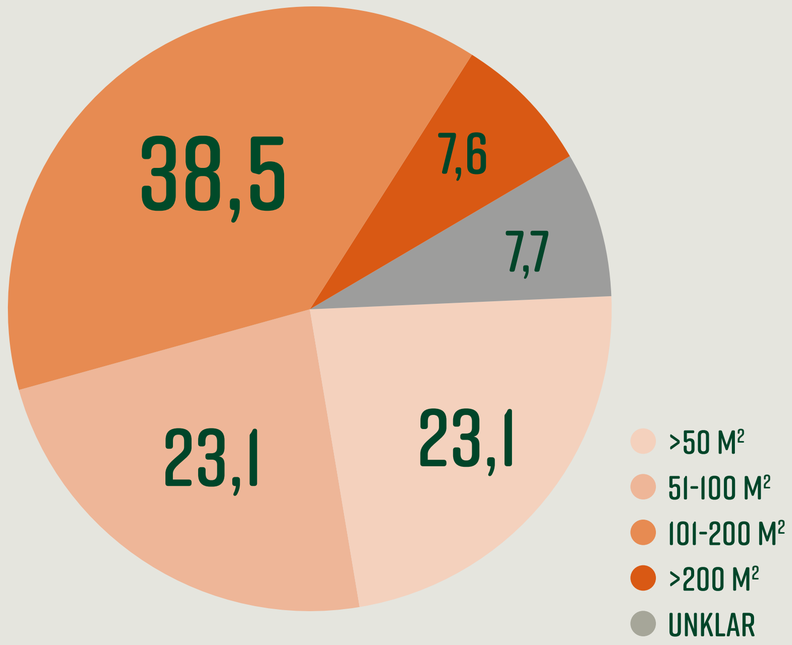
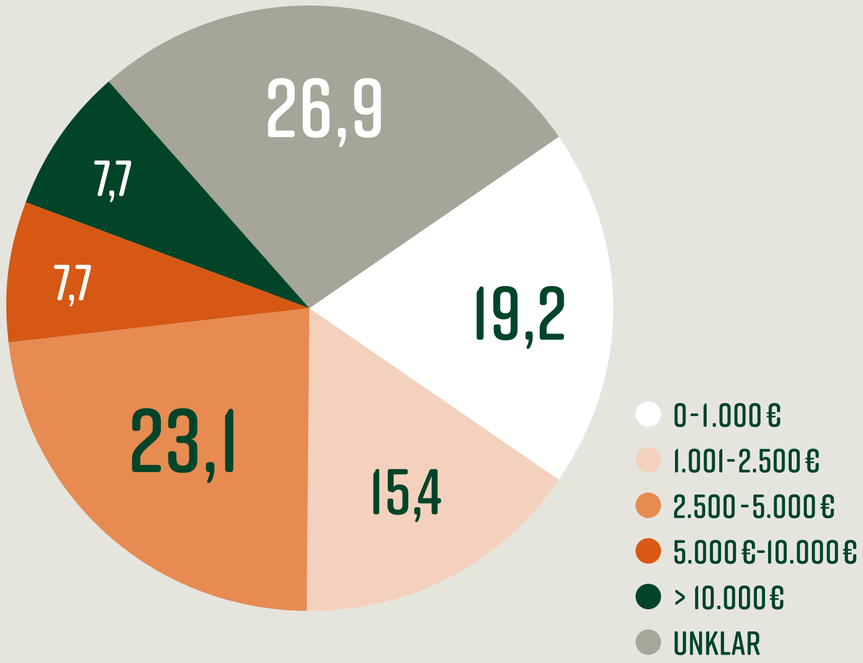


ABBILDUNG 18: WIEVIEL LABORFLÄCHE BENÖTIGT IHR START-UP IM PILOT-PROGRAMM?



Es gab keine eindeutige Antwort auf die Frage, wie viel die Start-ups bereit wären, für die Anmietung von Büro-, Labor- und Technikumsflächen zu zahlen. Eine Mehrheit von 26,9% gab an, dass sie nicht sicher seien, wie viel sie bereit wären auszugeben.

ABBILDUNG 19: WIEVIEL WÄRE IHR STARTUP BEREIT, MONATLICH FÜR BÜRO UND LABORFLÄCHEN SOWIE TECHNIKUMSFLÄCHEN AUSZUGEBEN?



Aus diesen Antworten lässt sich ein Profil an technischen und infrastrukturellen Bedürfnissen für die Skalierungsbedürfnisse von Startups ableiten. Sie benötigen sowohl gut angebundene Einrichtungen mit einfachem Zugang zu technischen Dienstleistungen und die Nähe von Forschungseinrichtungen, wie im vorherigen Abschnitt gezeigt. Darüber hinaus werden Gebäude für ein Technikum benötigt, die eine mittelgroße Produktion mit einer Kapazität zur Verarbeitung von bis zu 1 Tonne Rohmaterial pro Monat unterstützen können, einschließlich einer angemessenen mittelgroßen Infrastruktur zur Abfalllagerung. Die Startups schätzen, dass das Technikum zwischen 100 und 200m² umfassen sollte, ergänzt durch Büroräume von bis zu 50m² und Laborflächen von bis zu 100m², meist ohne spezielle ATEX-Anforderungen. Solche Voraussetzungen sind definitiv im Bereich des Möglichen für die Umsetzung am Industriestandort Schwedt. Allerdings ist anzumerken, dass, wie zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, die meisten Befragten sich noch in einer frühen Entwicklungsphase befinden. Das bedeutet, dass ihre Schätzungen und das daraus abgeleitete Gesamtbild mit Vorsicht betrachtet werden sollten, da sie möglicherweise ungenau sind und/oder die Startups bei der Beantwortung der Umfrage unsicher waren. Diese Erinnerung ist auch für den nächsten Abschnitt von Bedeutung, der sich mit den spezifischen Laboranforderungen der Startups befasst.

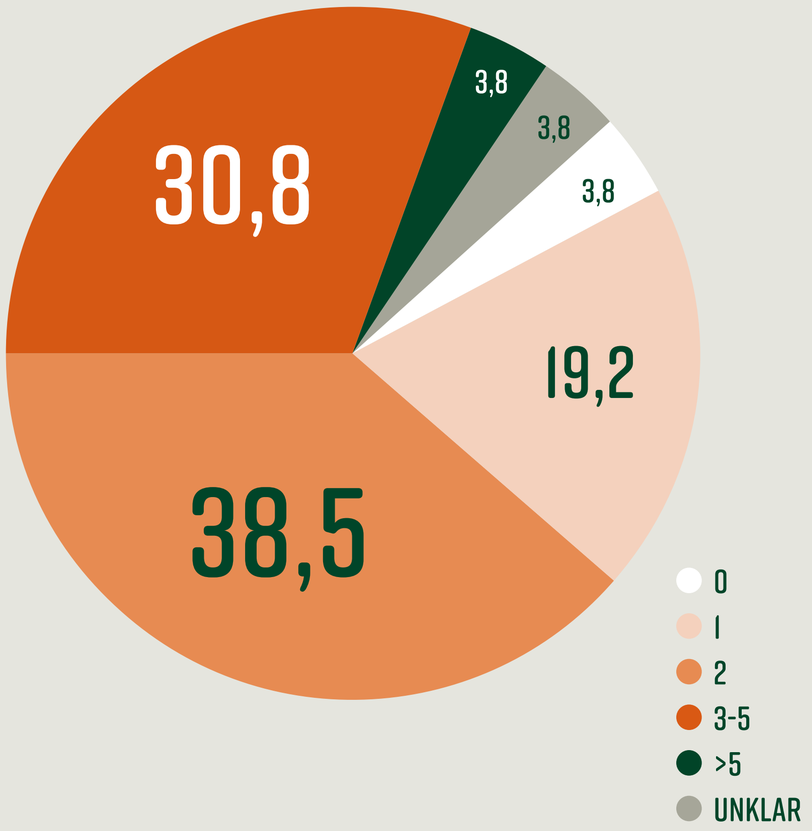
6.5 Laborbedürfnisse

Auf die Frage, wie ein dazugehöriges Labor aussehen sollte, verlangen 19,2 % der teilnehmenden Startups eine S1-Biosicherheits-zertifizierung. 76,9 % benötigen keine Zertifizierung.

In Bezug auf die Gasversorgung in den Laboren benötigen 27% der Teams monatlich mehr als 1.000 Liter Stickstoff, weitere 27% benötigen 10-250 Liter. 31% der Teams benötigen monatlich 10-250 Liter Argon. 12 % der Teams benötigen Helium, während 23% Wasserstoff und Sondergase brauchen. Sauerstoff wird von 19% benötigt. Synthesegas wird von nur weiteren 8% der Startup-Teams gebraucht.

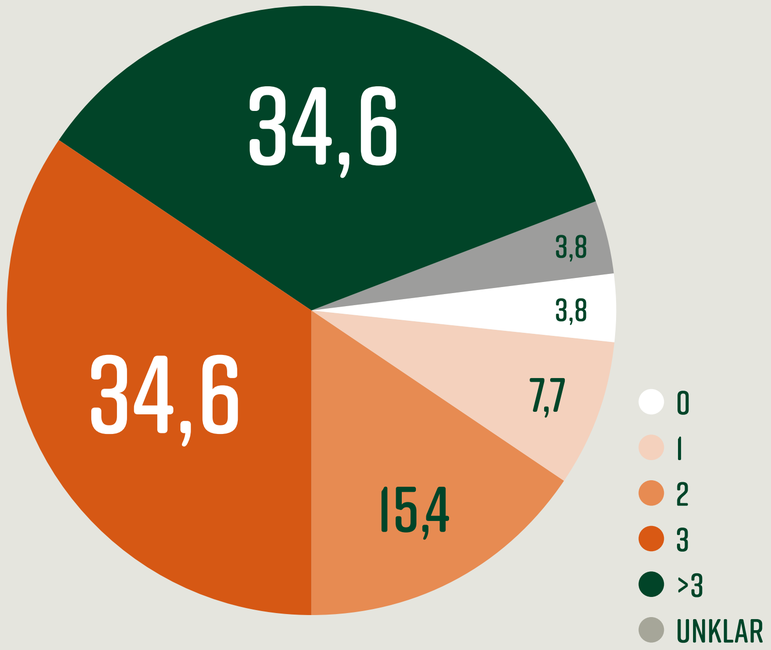
38,5% der Befragten gaben an, dass sie 2 Abzüge benötigen; weitere 30,8 % brauchen 3-5 Abzüge. Eine Mehrheit von 30,8% würde einen Lagerraum für frische Lösungsmittel von über 100 Litern benötigen. Etwa 70% der Neugründungen benötigen 3 Labortische oder mehr. Neben den üblichen Geräten wie Waagen, Öfen und Spülbecken wurden auch einige spezielle Geräte wie Reinraum, Glove-Box und Vakuumpumpen genannt. Ähnlich sieht es bei den Geräten für die Materialanalyse aus. Analytik-Geräte, die mehrfach genannt wurden sind die HPLC, NMR, UV-VIS, XRD, IR. Weniger häufig erwähnt waren die TGA, TOC, PSD und XRF-Geräte. Es könnte also gut sein, darauf vorbereitet zu sein, den Teams außergewöhnliche Geräte zur Verfügung zu stellen.

ABBILDUNG 20: WIEVIELE LABORABZÜGE BRÄUCHTE IHR STARTUP?



Die Momentaufnahme der Laboranforderungen der Startups zeigt, dass pro Team 2 bis 5 Abzüge sowie drei oder mehr Labortische benötigt werden. Der Lagerraum für frische Lösungsmittel sollte mehr als 100 Liter fassen können. Eine gute Versorgung mit Stickstoff in großen Mengen und Argon in mittleren Mengen ist erforderlich. Standard-Laborausrüstung und analytische Geräte werden benötigt, allerdings sollten diese Einrichtungen flexibel genug sein, um sich an besondere Anforderungen wie zusätzliche Analysegeräte anpassen zu können. Eine Biosicherheitszertifizierung ist nicht notwendig, da die meisten Befragten nicht im Bereich Biotechnologie tätig sind.

ABBILDUNG 21: WIEVIELE LABORTISCHE BRÄUCHTE IHR STARTUP?



6.6 Weitere Anforderungen

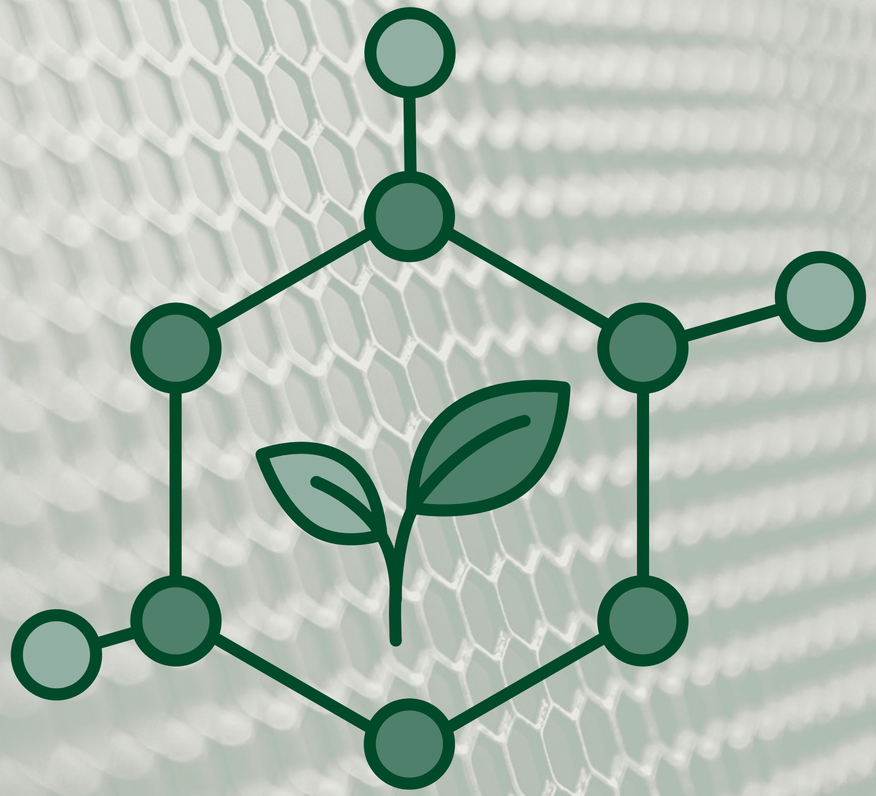
Die teilnehmenden Startups hatten auch die Möglichkeit, weitere Anforderungen aufzuschreiben, die nicht in der Umfrage genannt wurden. Es wurden mehrere Punkte artikuliert, aber es ist erwähnenswert, dass zwei von ihnen betonten, dass sie Zugang zu CO2 als Rohstoff benötigen würden. Weitere nennenswerte Wünsche waren:

Weitere Anforderungen der befragten Startups

- → Unterstützung bei der juristischen Arbeit in Bezug auf Vorschriften und Zulassungen für Pilotanlagen
- → Drehstrom 400V mit verschiedenen Stromstärken
- → Duschen, Spinde, Dekontaminations-/Auslaufsets und Lagerung von Chemikalien, die keine Lösungsmittel sind
- → Eines der Start-ups erwähnte auch, dass es zwar keine strenge Voraussetzung sei, es aber schön wäre, wenn es Möglichkeiten für mechanische Tests gäbe, zum Beispiel Vibrations-, Stoß- und Druckfestigkeit.

7 Handlungs-empfehlungen

Der Industriestandort Schwedt wird aktuell vor richtungsweisende Entscheidungen gestellt. Hintergrund sind die derzeitigen Sanktionen gegen den Import fossiler Rohstoffquellen aus Russland in Kombination mit dem globalen, mittelfristigen Trend zur Reduzierung fossiler Kohlenstoffquellen zur Abwehr des menschgemachten Klimawandels. Es gilt für die Region, die Transformation der Wertschöpfungskette sowie die aktuelle Position strategisch zu analysieren, Herausforderungen klar offenzulegen und aufbauend auf den Vorteilen des Standortes die Chancen mit dem Ziel zu nutzen, den Cluster im Einklang mit langfristigen Entwicklungen zu transformieren. Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der vorliegenden Studie, das Transformations- und Innovationspotenzial des Themas der „Grünen Chemie“ zu untersuchen. Aufbauend auf den Erkenntnissen der ersten Kapitel, die im Abschnitt 7.1 zusammengefasst werden, wird dieses Kapitel schließlich in Abschnitt 7.2 konkrete Handlungsempfehlungen anhand von fünf Handlungsbereichen präsentieren.



7.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse

1. Transformationschancen

In den ersten Kapiteln wurde deutlich, dass die Grüne Chemie voller ökonomischer Chancen steckt. Auch wenn dazu erhebliche Investitionen und Innovationsleistungen nötig sind, birgt die Transformation der chemischen Industrie mit Hilfe der Grünen Chemie enormes Potenzial, Umsätze, Arbeitsplätze und positive Nachhaltigkeitswirkung zu schaffen. Die Branche befindet sich in einer Phase der zunehmenden Klarheit, dass nachhaltige chemische Verfahren die Zukunft darstellen werden. Dabei besteht größtenteils Einigkeit darüber, welche Technologiefelder der Grünen Chemie in den kommenden Jahren von besonderer Relevanz sein werden. So werden Biokraftstoffe und nachhaltige Kunststoffe die Innovationsdynamik ebenso anführen, wie chemische Speichermöglichkeiten, Agrartechnologie, Wasseraufbereitung, Katalyse und Recycling.

2. Technologische Unsicherheit

Gleichzeit gilt es hervorzuheben, dass große Unklarheit darüber herrscht, welche spezifischen Technologien sich durchsetzen werden. Im Gegenteil wird die Innovationsdynamik in den kommenden Jahrzehnten durch eine Vielzahl konkurrierender Technologien in diesen Feldern sowie durch hohe Unsicherheiten gekennzeichnet sein. Es ist derzeit nicht absehbar ob und wenn ja welche technologischen Ansätze eine Dominanz erhalten werden. In einer Analogie ausgedrückt heißt dies: „Der genaue Weg mag ungewiss sein, aber die Richtung ist klar!“ Unternehmen und öffentliche Akteure sollten sich bewusst sein, dass innovative Unternehmen und Technologien aus der Grünen Chemie entstehen werden und es teilweise zu Disruptionen kommen wird. Dabei ist derzeit unklar, an welchen Standorten sich neu entstehende Unternehmen ansiedeln werden. Soll die Transformation des Schwedter Clusters durch Ansiedelungen genutzt werden, müssen die regionalen Akteure entsprechend günstige Rahmenbedingungen schaffen.

3. Strategische Vorteile Schwedt

Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, die hohe Kapitalintensität in der Chemie als Spezifikum hervorzuheben. Entsprechend sind alle Maßnahmen förderlich, die die mit den hohen Investitionskosten verbundenen Risiken bei der Ansiedlung neuer Technologien senken können — und Schwedt bietet viele solcher Vorteile. Um zur Analogie zurückzukehren: Wir kennen die Richtung, aber nicht den genauen Weg — und hier bietet der Industriestandort spezifische Hilfsmittel — strategische Standortvorteile — um die Reise zu beschleunigen. In Kapitel 4 wurden die nachfolgenden sieben strategischen Vorteile von Schwedt ausführlich hergeleitet:

1. **Technisch-industrielle Infrastruktur**
2. **Logistische Infrastruktur**
3. **Geografische Lage**
4. **Technisch versierte Belegschaft**
5. **Wasserstoff-Strategie**
6. **Biogene Kohlenstoffquellen**
7. **Erneuerbare Energie**

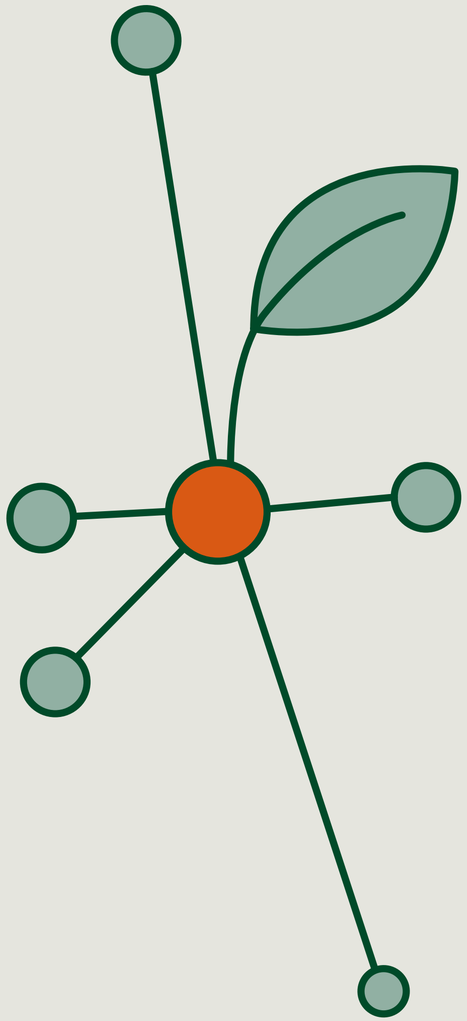
Das sind die zentralen strategischen Vorteile des Clusters, die genutzt werden sollten, um Innovationen in der Grünen Chemie an den Standort zu ziehen, so dass die Region vom Wirtschaftswachstum einerseits und Nachhaltigkeitswirkung andererseits profitiert. In diesem Zusammenhang erscheinen Biokraftstoffe sowie nachhaltige Kunststoffe als vielversprechende Technologiefelder für die Transformation des Clusters. Aufgrund der aufgezeigten Ungewissheit über die genauen technologischen Entwicklungen im Detail sollte der Cluster bewusst infrastrukturelle Flexibilität und Diversität bzgl. der Technologien zulassen und fördern.

4. Rolle von Startups

Von entscheidender Bedeutung für die Realisierung dieses Innovationspotentials der Grünen Chemie ist die Tatsache, dass insbesondere neue Unternehmen — d. h. Startups — die Entwicklung dieses Hochtechnologie-Bereichs prägen werden. Es ist bemerkenswert, dass in der aktuellen Diskussion über die Zukunft der Chemieindustrie diese Tatsache meist nicht beleuchtet wird. Und das, obwohl in unzähligen Branchen dokumentiert wurde, dass es neue Unternehmen sind, die die Triebkraft für disruptive Veränderungen bilden. An dieser Stelle müssen die aktuellen Ergebnisse zum Stand der Gründungsbereitschaft unter Chemiestudierenden aus Kapitel 5 nochmals hervorgehoben werden. So bleibt zu betonen, dass gerade in Deutschland das Potenzial für wissenschaftsbasierte Ausgründungen im Vergleich zur aktuellen Gründungsdynamik nahezu das 10-Fache beträgt. Außerdem wenn man bedenkt, dass die Infrastruktur ein entscheidender Faktor für Innovationen in der Grünen Chemie ist, besteht in Deutschland immer noch ein erheblicher Nachholbedarf bei der Bereitstellung dieser infrastrukturellen Unterstützung für Startups, insbesondere in den späteren TRLs, was auch ein Faktor sein kann, der die Anzahl von Ausgründungen in diesem Bereich jedes Jahr einschränkt.

5. Anforderungen zur Skalierung von Startups

Die durchgeführte Umfrage liefert in Kapitel 6 wichtige Ergebnisse zu den Bedürfnissen von Startups, die im Bereich der Grünen Chemie Skalierungsprojekte verfolgen, um in den kommenden fünf Jahren signifikant die Produktionsmenge zu steigern. Hervorzuheben ist die hohe Bereitschaft der Startups, für die Skalierung ihrer Produktion umzuziehen. Hierbei werden robuste logistische Verbindungen, erschwinglicher Wohnraum, öffentliche Verkehrsmittel, Abfallmanagement-Dienste und der Zugang zu Forschungseinrichtungen als besonders wichtige Kriterien für die Standortwahl erachtet. Die Ergebnisse zeigen ebenfalls, dass die den Startups zugrundeliegenden Innovationen eine große technologische Breite aufweisen. Entsprechend variieren die infrastrukturellen sowie laborbezogenen Anforderungen für die Skalierungsphase stark. Hieraus leitet sich ab, dass Flexibilität und Variabilität entscheidend sein werden, um die technologische Vielfalt der anzusiedelnden Startups bedienen zu können. Gemeinsam mit der Bereitstellung technischer und analytischer Unterstützung bietet sich an dieser Stelle eine große Chance für Schwedt, sich auf die Ansiedlung von Startups im Bereich der Grünen Chemie mit höheren TRL-Stufen zu spezialisieren.



Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Grüne Chemie ein wichtiges Innovationsfeld mit enormem wirtschaftlichem Potenzial für Schwedt darstellt. Hierbei sind Startups aufgrund des Disruptionspotenzials ein entscheidender Innovationstreiber. Doch während bereits einige Startups gegründet wurden, ist das Potenzial größtenteils noch unausgeschöpft. Dabei bestehen in Deutschland erhebliche Defizite bei der infrastrukturellen Unterstützung für Startups, insbesondere in den späteren Phasen der Technologieentwicklung. Vor dem Hintergrund der strategischen Vorteile von Schwedt erwachsen hieraus einzigartige Möglichkeiten für den Industriestandort, um die begonnene Transformation durch die Ansiedlung hochinnovativer Unternehmen mitzugestalten und wirtschaftliche Vorteile generieren. Genau hier setzt der nächste Abschnitt an, der konkrete Handlungsempfehlungen anhand von fünf Handlungsdimensionen präsentiert, wie diese Chancen genutzt werden können.

7.2 Handlungsdimensionen

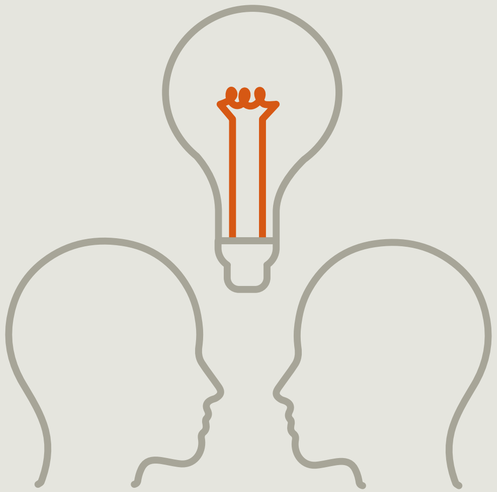
1. Kollaborative Perspektive

Deutschland ist durch eine geringe Gründungsbereitschaft bei Studierenden im Bereich Chemie gekennzeichnet. Entsprechend hoch ist das Potential, das im Vergleich zur aktuellen Anzahl auf das 10-Fache an wissenschaftsbasierten Ausgründen im Themenfeld geschätzt wird. Es ist daher nicht verwunderlich, dass diverse Innovationsökosysteme im Bereich der Chemie derzeit entstehen. Diese konzentrieren sich — auch infrastrukturell — zum Großteil auf die frühen Phasen der Technologieentwicklung, wodurch eine infrastrukturelle Lücke in den späteren Entwicklungsphasen entsteht. Hieraus leitet sich die erste Handlungsempfehlung ab:

1.1 Das Startup Labor Schwedt sollte sich im Innovationsfeld Grüne Chemie auf die späteren Phasen (TRL 5-8) fokussieren und dabei einen kollaborativen Ansatz in der Art wählen, als dass mit den diversen Innovationsökosystemen gemeinsam an der Stärkung der Gründungsbereitschaft durch Sensibilisierungsmaßnahmen in sehr frühen Phasen zusammengearbeitet wird.

Das geographisch in der Nähe liegende Berlin bietet dabei einige relevante Besonderheiten. So befindet sich zum einen ein weltweit führendes Forschungsumfeld im Themenfeld sowie die größte Anzahl an Studierenden in Deutschland. Beides führt zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Ausgründungen im Themenfeld. Darüber hinaus bietet beides einen wertvollen Talent-Pool für sich ansiedelnde Unternehmen, während geeignete Produktionskapazitäten in der Chemie fehlen. Des Weiteren verfügt die Hauptstadt über internationale Anziehungskraft, was sich u.a. in der Anzahl an Risikokapitalgebern (Venture Capital) widerspeigelt. Die Berliner Landesregierung hat dieses Potential seit längerem erkannt, investiert in entsprechende Laborkapazitäten und forciert kollaborative Ansätze wie z.B. die Berlin University Alliance und UNITE. Hieraus leitet sich die zweite Handlungsempfehlung dieser Dimension ab:

1.2 1.2 Die Zusammenarbeit mit dem Berliner Ökosystem greenCHEM sollte zu einer strategischen Partnerschaft mit dem Ziel ausgebaut werden, das international führende Innovationsökosystem für Grüne Chemie zu schaffen und internationale Startups in die Region zu ziehen. Dabei sollten sich die Berliner Partner auf die frühen Technologieentwicklungsstufen sowie auf F&E-Einheiten von Unternehmen fokussieren. Die Partner in Schwedt fokussieren sich dagegen auf Scale-ups und die sich anschließende Produktion.



Um ein führendes Innovationsökosystem in der Region erfolgreich zu etablieren, müssen diverse Faktoren zwischen den Partnern ineinandergreifen. Entsprechend sind flankierende Maßnahmen sinnvoll, welche einerseits die notwendige Glaubwürdigkeit schaffen und anderseits eine kritische Masse für das Vorhaben generieren. Hieraus leitet sich die dritte Handlungsempfehlung ab:

1.3 Das Startup Labor Schwedt sollte die Partnerschaft unterstützende Maßnahmen ergreifen und in die Umsetzung bringen.

Eine Idee hierfür ist die gemeinsame Organisation eines „Tag der Transformation“, welcher beispielsweise alle 2 Jahre durchgeführt wird. Dieser sollte entsprechend der Innovations-Pipeline gestaltet sein und dabei Vorträge, Vorstellungen und Preise beinhalten. Ein Vorschlag:

Vorschlag für den „Tag der Transformation“

Lehre
(BERLIN UNIVERSITY ALLIANCE UND HNEE)

→ **Vorträge:**
Lehrkonzepte zum Thema Entrepreneurship & Innovation

→ **Vorstellung:**
Teams studentischer Ausgründungsteams

→ **Preis:**
Beste studentische Gründungsidee

Forschung
(Z.B. MIT UNISYSCAT)

→ **Vorträge:**
Aktuelle Forschungsergebnisse mit Relevanz für Schwedt

→ **Vorstellung:**
Aktuelle wissenschaftsbasierte Ausgründungsideen

→ **Preis:**
Beste wissenschaftsbasierte Gründungsidee

Transfer
(DEUTSCHLANDWEIT)

→ **Vorträge:**
Aktuelle Transferkonzepte

→ **Vorstellung:**
Vorgründungsteams im Themenfeld

→ **Preis:**
Bestes Vorgründungsteam

Skalierung
(STARTUP LABOR SCHWEDT)

→ **Vorträge:**
Erfolgsbeispiele & Erfahrungen aus Schwedt

→ **Vorstellung:**
Gegründete Startups die sich in Schwedt ansiedeln wollen

→ **Preis:**
„Transformationspreis“ — höchste Auszeichnung zum Support bei der Ansiedelung

Corporate
(GREENCHEM)

→ **Vorträge:**
Aktuelles zum Thema Transformation und Open Innovation

→ **Vorstellung:**
Open Innovation Beispiele diverser Corporates

→ **Preis:**
Bestes Open Innovation Konzept

2. Infrastruktur

Wie die Studie in Kapitel 5 offenlegt, ist einer der kritischen Engpässe in Deutschland die Bereitstellung von technischer Infrastruktur in späten Technologie-Entwicklungsphasen (TRL 5-8). Wenn es Schwedt gelingt, diese Art von Infrastruktur zur Erprobung von Technologien in einem industriellen Umfeld — aber eben noch vor der eigentlichen Massenproduktion — Service-orientiert bereitzustellen, wird es zu einer beschleunigten Entfaltung von Innovationen im Themenfeld der Grünen Chemie kommen, von den die Region als Vorreiter entsprechend profitieren wird. Hierbei muss unterschieden werden, ob eine Technologie mit Standard-Equipment skaliert werden kann, oder ob es sich um eine sogenannte FOAK-Anlage — First Of A Kind — handelt. Hieraus leitet sich die erste Handlungsempfehlung der Infrastruktur-Dimension ab:

2.1 Schwedt sollte sowohl das DemoHub als auch das Reallabor am Standort realisieren, um die infrastrukturellen Voraussetzungen für Ansiedlungen in späteren Phasen (TRL 5-8) zu schaffen. Wird ein Service-orientierter Ansatz verfolgt, kann strategischer Vorteil aufgebaut werden.

Ein standortspezifisches Risiko besteht allerdings darin, dass aktuell eine gewisse Abhängigkeit von Medien besteht, die mit fossilen Energieträgern erzeugt wurden. Dies stellt eine potenzielle Barriere für die Ansiedlung solcher Unternehmen dar, deren Geschäftsmodell auf erneuerbaren Rohstoffen und Energieträgern beruht. Hieraus leitet sich die zweite Handlungsempfehlung ab:

2.2 Schwedt sollte zusätzliche Investitionsmittel für solche Infrastrukturen einplanen, die die Bereitstellung CO_2-neutraler Medien ermöglichen.

Die Ergebnisse der Umfrage haben gezeigt, dass zusätzlich zu den Infrastrukturen für Demonstrations-, Pilot- und Produktionsanalgen auch Laborflächen im geringen Umfang benötigt werden. Diese sollten aufgrund der Variabilität der Ergebnisse mit maximal möglicher Flexibilität geplant werden. Hinzu kommen analytische Dienstleistungsangebote, die sich die befragten Startups wünschen. Entsprechend lautet die dritte Handlungsempfehlung:

2.3 Schwedt sollte zusätzliche Laborflächen für die sich ansiedelnden Unternehmen schaffen. Bei der baulichen Umsetzung ist darauf zu achten, eine maximale Flexibilität ermöglichen zu können.

3. Governance

Sollten die Empfehlungen bzgl. der Infrastrukturen „DemoHub“ und „Reallabor“ umgesetzt werden, so stellt sich die zentrale Frage, wer die Verantwortung für den Betrieb dieser Infrastrukturen übernimmt. Hiermit gekoppelt ist die Entscheidung darüber, welche Unternehmen samt ihren Technologien sich am Standort ansiedeln dürfen. Die auszusprechende Handlungsempfehlung fußt auf zwei zentralen Argumenten. Zum einen handelt es sich sowohl beim DemoHub als auch beim Reallabor um Infrastrukturen, die zu Zwecken der Erprobung im industriellen Umfeld betrieben werden. Zum anderen werden im Innovationsfeld der Grünen Chemie solche Technologien zum Einsatz kommen, die ein gewisses Disruptionspotenzial bzgl. der bestehenden Geschäftsmodelle aufweisen. Hieraus leitet sich die erste Handlungsempfehlung der Governance-Dimension ab:

3.1 Der Betrieb beider Infrastrukturen sollte von einer staatlichen Betriebsgesellschaft übernommen werden, so dass die Entscheidung, welche Technologien in den Infrastrukturen erprobt werden, unvoreingenommen, d.h. technologieoffen getroffen wird.

Eine solche Betriebsgesellschaft sollte einen Service-orientierten Ansatz verfolgen, um auf die individuellen Erfordernisse der zu erprobenden Technologien eingehen und entsprechende Zeitvorteile generieren zu können. Hieraus lassen sich auch Einnahmen in Form von Service-Gebühren zusätzlich zu den Mieteinnahmen erzielen. Bis die Betriebsgesellschaft jedoch liquiditätsneutral und langfristig gewinnorientiert agiert, wird eine Aufbauphase finanziell zu überbrücken sein. Hierzu lautet die zweite Handlungsempfehlung:

3.2 Die staatlichen Akteure sollten eine Anschubfinanzierung für die Betriebsgesellschaft stellen, um den Aufbau eines langfristig tragfähigen Geschäftsmodells zu ermöglichen und damit die Transformation des Industriestandortes unterstützen.

4. Politik

Um die mit der Transformation des Clusters verbunden ökonomischen Chancen entfalten zu können, kommt den politischen Vertreter*innen der Region vor dem Hintergrund der bestehenden technologischen Unsicherheit einerseits und des Disruptionspotenzials andererseits eine besondere Verantwortung zu. Ihnen muss es gelingen, Mut und Zuversicht sowie den Veränderungswillen zu entfachen, damit die Transformation in der Realität gelingt. Hieraus leitet sich die erste Handlungsempfehlung ab:

4.1 Die Politik muss sich aktiv in den Transformationsprozess einbringen, mutige Entscheidungen treffen und die Zeit investieren, die komplexen Zusammenhänge einer breiten Öffentlichkeit zu erklären und glaubhaft zu vertreten.

Um ein international führendes Innovationsökosystem für Grüne Chemie zu etablieren und Schwedt als zentrale Anlaufstelle für die Erprobung von Technologien im industriellen Umfeld zu positionieren, gilt es, in einem ersten Schritt eine kritische Masse an Unternehmen an den Standort Schwedt zu ziehen. Hieraus sowie aus der Kapitalintensität des Innovationsfeldes leitet sich die zweite Handlungsempfehlung ab:

4.2 Es sollte geprüft werden, ob Lücken in Förderprogrammen bzgl. der Erprobung von Technologien in Infrastrukturen wie dem DemoHub und dem Reallabor bestehen. Sollten solche Förderlücken bestehen, sollten sie durch zusätzliche Förderprogramme gezielt bis zur Fertigstellung der Infrastrukturen geschlossen werden. Hierbei gilt es die Landes-, Bundes- und EU-Ebene einzubeziehen.

Die logistischen Anforderungen für die Verwendung biogener Kohlenstoffquellen machen den Einbezug polnischer Partner zu einer erfolgskritischen Handlungsempfehlung. Dabei lassen sich Vorteile bzgl. des Aufsetzens europäischer Förderprogramme erzielen, so dass die dritte Handlungsempfehlung lautet:

4.3 Die Zusammenarbeit und Integration von polnischen Akteuren in Grenznähe sollte zeitnah und gezielt angegangen werden.

Die geringe Gründungsbereitschaft im Themenfeld einerseits und die Wichtigkeit von Startups für die Transformation (Disruptionspotenzial) andererseits führt zu einer vierten Handlungsempfehlung in der Politik-Dimension:

4.4 Die politischen Vertreter*innen sollten Druck auf die Hochschullandschaft in Brandenburg, Berlin und auf Bundesebene in der Art erhöhen, als dass Technologietransfer im Allgemeinen und in der Chemie im Speziellen von Dringlichkeit für die Transformations- und Innovationsfähigkeit der Bundesrepublik Deutschland ist. Dabei sollte die einzigartige Situation (Import-Beschränkungen und Unterstützung durch das BMWK) am Standort Schwedt genutzt werden.

5. Zivilgesellschaft

Abschließend wird die Rolle der Bevölkerung, der Zivilgesellschaft beleuchtet. Denn auch, wenn es sich bei der Transformation um technologisch getriebene Themen handelt, so sind es doch die Menschen, die diesen Wandel ermöglichen oder verhindern können. Hierbei muss auch das Verhältnis zwischen Brandenburg und Berlin kritisch gewürdigt werden, welches oftmals nicht auf Augenhöhe wahrgenommen wird. Solch eine Augenhöhe ist jedoch von entscheidender Bedeutung für das Gelingen der empfohlenen Partnerschaft. Hieraus lässt sich folgende Handlungsempfehlung aussprechen:

5.1 Die Menschen in Berlin und in Schwedt sollten eine Kultur praktizieren, die Offenheit gegenüber der jeweils anderen Sichtweise vorlebt, Unsicherheiten ebenso wie Rückfragen zulässt und somit einen Nährboden für Innovationen bereitet. Der Mut, die notwendige Transformation gemeinsam anzupacken, sowie die dafür erforderliche Komplementarität sollten stets im Vordergrund stehen.

Schlusswort

Die Komplexität, Unsicherheit und Größenordnung der begonnenen Transformation des Industriestandortes Schwedt lassen es geboten erscheinen, zum Abschluss darauf hinzuweisen, dass die Umsetzung der Gesamtheit aller Handlungsdimensionen erfolgsentscheidend ist.

Hierbei stellen der DemoHub und das Reallabor als infrastrukturelle Maßnahmen sicherlich den größten strategischen Wettbewerbsvorteil für die Region dar. Die enormen ökonomischen Chancen sowie die Nachhaltigkeitswirkungen im Innovationsfeld der Grünen Chemie werden sich jedoch nur dann für den Standort realisieren lassen, wenn der Standort als international renommiertes Innovationsökosystem etabliert wird. Hierzu bedarf es, die ausgewogene Umsetzung der Handlungsempfehlungen aus allen Handlungsdimensionen.