



Kreislaufwirtschaft und Remanufacturing



Altes neu denken –
KI-gestützte Inspek-
tion für nachhaltiges
Remanufacturing

6

Von OEE zu OSEE: Wie
sich Kennzahlensys-
teme für Produktion
und Instandhaltung
nachhaltiger...

16

Kreislaufwirtschaft
Warum jetzt Kreislauf-
wirtschaft und nicht
später.

27

Save-the-date
WING Forum 2025

Industrie-Standort Österreich: **Drama oder Hoffnung?**

Get-Together

12. Juni 2025, 18 Uhr

Accenture, Schottenring 16, 1010 Wien

WING Forum

13. Juni 2025, 9–14 Uhr

Österreichische Post, Rochusplatz 1, 1030 Wien

Weitere Informationen und Anmeldung
unter www.wing-online.at

Kreislaufwirtschaft und Remanufacturing



**Dipl.-Ing. Dr.
Selim Erol**

**Leiter Institut für
Industrial Engineering
und Management der
FH Wiener Neustadt**

Liebe Leserinnen und Leser,

die nicht ganz neue Idee einer kreislaufforientierten Wirtschaft ist ein Wirtschaftsmodell, bei dem Produkte und ihre Bestandteile so lange wie möglich genutzt werden. Ziel ist dabei, die Minimierung der nicht nachhaltigen Entnahme von natürlichen und insbesondere nicht-erneuerbaren Ressourcen aus der Natur. Produkte aus nicht-erneuerbaren Materialien sollen so lange wie möglich und wiederholt genutzt werden (Maintain and Reuse), wenn sie beschädigt oder defekt sind - repariert werden (Repair) oder reproduziert werden (Remanufacture). Das Entsorgen und klassische Recycling ist dabei möglichst zu vermeiden. Diese vier Rs der Kreislaufwirtschaft stellen somit eine Abkehr vom traditionellen, linearen Wirtschaftsmodell dar, das auf einem Muster aus Nehmen, Herstellen, Verkaufen, Konsumieren und Wegwerfen basiert.

Im Rahmen von vielen Gesprächen und Projekten mit produzierenden Unternehmen habe ich dabei feststellen müssen, dass diese vielfach Schwierigkeiten damit haben ihre Produkte und Dienstleistungen an den Möglichkeiten eines kreislaufforientierten Geschäftsmodells auszurichten. Zweifelsohne ist die Kreislaufwirtschaft primär ein volkswirtschaftliches Konzept und funktioniert nur dann, wenn die gesetzlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ein solches Konzept auch betriebswirtschaftlich rechtfertigen. Erfreulicherweise zeigen viele nationale und internationale politische Initiativen in diesem Bereich, dass an Rahmenbedingungen gearbeitet wird. Dass es betriebswirtschaftlich funktionieren kann, zeigen bereits praktische Beispiele und Pioniere der Kreislaufwirtschaft. Wie immer bei großen Transformationen wird es Pioniere und Follower geben. Letztlich müssen wir irgendwo beginnen und uns im ureigensten unternehmerischen Geiste auch etwas trauen, um dieses vielversprechende Konzept einer ressourcenschonenden Wirtschaftsweise Realität werden zu lassen.

Remanufacturing im Kontext der Kreislaufwirtschaft stellt hier ein pragmatisches Konzept für produzierende Unternehmen dar, bei dem Unternehmen ihre eigenen Produkte zurücknehmen und diese als Ganzes oder Komponenten davon wieder in neuwertige oder neue Produkte umwandeln. Der Kunde selbst bekommt ein „neues“ Produkt und muss nicht notwendigerweise wissen, dass

dieses aus „alten“ Komponenten besteht. Die Entwicklung einer klassischen Produktion zu einer Remanufacturing-fähigen Produktion bedingt Prozessänderungen, wo sowohl technische als auch organisatorische Aspekte berücksichtigt werden müssen. Prozesse wie die Demontage, Inspektion, Reinigung, Reparatur und Remontage von zurückgenommenen Produkten sind in vielen Unternehmen neuartige Prozesse für die noch keine geeigneten Strukturen existieren. Kooperation mit Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen können hier zu zeitnahen und nachhaltigen Innovationen führen.

In den Top-Thema Beiträgen dieses Heftes wollen wir über aktuelle Aktivitäten im Bereich der Kreislaufwirtschaft und des Remanufacturing berichten, die an und um die Fachhochschule Wiener Neustadt sowie an der TU Wien stattfinden. Wir wollen Ihnen damit gedankliche Impulse geben, falls sie sich auf dem Weg der Transformation befinden oder entsprechende Projekte vor sich haben.

Im ersten Beitrag von Roman Hörbe und Gabòr Princz von der FH Wiener Neustadt wird das Remanufacturing-Anwendungsfeld Bauteil-Inspektion vorgestellt, Potentiale der Anwendung Künstlicher Intelligenz diskutiert und die Wichtigkeit der Daten-Integration in der Gesamtlogik des Wiederaufbereitungsprozesses betont. Der Beitrag von Christopher Karl und Alice Grano, ebenfalls FH Wiener Neustadt, bespricht ein wichtiges und oft vernachlässigtes Handlungsfeld in der Kreislaufwirtschaft – der Re-Logistik – am Beispiel der Möbelbranche. Methoden der Simulation von Re-Logistik-Netzwerken werden hier als wesentliches Mittel gesehen, um ökonomisch und ökologisch nachhaltige Szenarien zu entwickeln. In ihrem Beitrag zu einer erweiterten OEE Berechnungsmethode erörtern Theresa Madreiter und Fazel Ansari von der TU Wien die Notwendigkeit der Berücksichtigung von ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsfaktoren, um die operative Effizienz und damit Ressourceneffizienz – ein zentrales Ziel der Kreislaufwirtschaft – nachhaltig und umfassend im Unternehmen zu verankern. Christian Schimper (FH Wiener Neustadt) stellt im Anschluss das Josef Ressel Zentrum für Verwertungsstrategien für Textilien vor. Dieses erforscht gemeinsam mit Unternehmen an neuartigen Strategien und Technologien zur chemischen und biotechnischen Wiederaufbereitung von Textilien – ein Schwerpunkt in der europäischen und österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie. Letztlich weist Gregor Gluttig (Inloop GmbH) auf die Bedeutung von zirkulären Geschäftsmodellen hin. Er erklärt die Potentiale von As-a-Service-Geschäftsmodellen und Herausforderungen für Unternehmen, die sich aus einer Transformation zu solchen Modellen ergeben.

Ich glaube ich sage nicht zu viel, wenn ich behaupte, dass Wirtschaftsingenieur*innen in der Transformation der Industrie zur Kreislaufwirtschaft eine führende Rolle spielen werden. Verlangt doch genau diese Transformation eine interdisziplinäre Herangehensweise und unternehmerisches Denken – zwei Eigenschaften, die uns Wirtschaftsingenieur*innen besonders auszeichnet. In diesem Sinne wünsche ich eine vergnügliche Lektüre dieser Ausgabe von WING business.

Ihr Selim Erol



Top-Thema: Kreislaufwirtschaft und Remanufacturing

Gábor Princz, Roman Hörbe

Altes neu denken – KI-gestützte Inspektion für nachhaltiges Remanufacturing

6

Christopher Karl, Alice Grano

Simulation als Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung in der Gestaltung zirkulärer Supply Chains
Am Beispiel der österreichischen Möbelbranche

11

Theresa Madreiter, Fazel Ansari

Von OEE zu OSEE: Wie sich Kennzahlensysteme für Produktion und Instandhaltung nachhaltiger gestalten lassen

16

Christian Schimper

ReSTex: Josef Ressel Zentrum für Verwertungsstrategien für Textilien

20

Gregor Gluttig

Geschäftsmodelle im Wandel: Circular Economy als Erfolgsstrategie

24

Martin Tschandl, Wolfgang Lattacher, Erich Schwarz, Christine Lichem-Herzog, Franz Haas

Kreislaufwirtschaft

Warum jetzt Kreislaufwirtschaft und nicht später.

27

Inhaltsverzeichnis

EDITORIAL	Kreislaufwirtschaft und Remanufacturing	3
WING-REGIONAL	<i>Martin Atassi, Georg Thuswaldner</i> WING goes DEEEP	32
UNINACHRICHTEN	<i>Atieh Karbasi</i> Enhancing operator's AI Skills for smart and lean manufacturing	33
IMPRESSUM	Impressum	34



Foto: © Adobe Stock

Gábor Princz, Roman Hörbe

Altes neu denken – KI-gestützte Inspektion für nachhaltiges Remanufacturing

Der steigende Rohstoffverbrauch erfordert neue Ansätze, um die vorhandenen Ressourcen zu schonen. Remanufacturing, also die Wiederaufbereitung von gebrauchten Produkten, bietet einen vielversprechenden Ansatz, um wertvolle Ressourcen lange im Umlauf zu halten. Durch Remanufacturing ergeben sich allerdings eine Reihe weiterer Herausforderungen, beispielsweise die Bestimmung von Materialien und deren Zustand. Künstliche Intelligenz (KI) spielt hierbei eine Schlüsselrolle, um diese Herausforderungen zu adressieren. Studien zeigen hierbei, dass auch kostengünstige Hardware für KI-Anwendungen genutzt werden kann, um die Einstiegsbarrieren für Unternehmen zu senken. Künstliche Intelligenz spielt zudem eine zentrale Rolle in der automatisierten Demontage, Qualitätskontrolle und vorausschauenden Wartung. Die Integration von KI-gestützten Verfahren hat großes Potential langfristig die Kosten für Unternehmen zu senken und diese wettbewerbsfähig zu halten.

Der stark steigende Verbrauch an natürlichen Rohstoffen ist eine der großen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Zwischen 1990 und 2017 hat sich der weltweite Material-Fußabdruck mehr als verdoppelt. Eine Ursache ist unsere – einer Einbahn gleichenden – Wirtschaftsweise. Rohstoffe werden der Natur entnommen, diese werden verarbeitet und im Wert gesteigert und landen nach der Nutzung schließlich als Müll in Wasser, Luft und Boden [1]. Remanufacturing (deutsch: Refabrikation) bedeutet, dass gebrauchte Geräte identifiziert, inspiziert und zerlegt werden. Die Komponenten werden gereinigt und aufgearbeitet um daraus neue Produkte herzustellen. Verglichen mit einer Neuproduktion wird deutlich weniger Material

verbraucht, der Energieaufwand ist geringer, die Qualität ist aber gleichwertig mit der ursprünglichen Ware, teilweise sogar besser.

Das Zitat von Walter R. Stahel – „Die Waren von heute sind die Ressourcen von morgen zu den Rohstoffpreisen von gestern“ – unterstreicht das Potenzial, das in der Wiederverwendung von Produkten liegt [2]. Remanufacturing erfordert jedoch ein umfassendes Umdenken in Unternehmen, bei Verbrauchern und in Branchen, da es sich nicht allein um Recycling oder sporadische Wiederverwendung handelt. Auch die Circular Economy Foundation schätzt das Potential von Remanufacturing in Europa auf 30 Milliarden Euro [3]. Auf operativer, taktischer und stra-

tetischer Ebene eines Unternehmens ergeben sich zahlreiche Detailfragen, die systematisch adressiert werden müssen.

KI im Blick – Präzise Bauteilerkennung in Sekunden

Im Zentrum des Remanufacturing-Prozesses steht die Demontage [4]. Vor der Wiederaufbereitung eines Bauteils oder eines kompletten Produkts ist es notwendig, das Produkt zu zerlegen, um alle Komponenten zu prüfen, erneut zusammensetzen oder auszutauschen. Traditionell erfolgt diese Demontage häufig manuell, da die Bauteile unterschiedlich verschlissen sind und individuelle Entscheidungen hinsichtlich der Nutzbarkeit getroffen werden müssen.

Eine zunehmende Automatisierung in diesem Bereich ist jedoch festzustellen, um einerseits schneller die Demontage durchzuführen und andererseits auch die demontierten Produkte zu überprüfen sowie in den Kreislauf wieder zurückzuführen [5]. Mensch-Roboter-gestützte (human-robot-collaborated) Demontagesysteme, die mit Bildverarbeitung und künstlicher Intelligenz mit menschlichen Interaktionen kombiniert werden, optimieren beispielsweise das Lösen komplexer Schraubverbindungen oder das Entfernen von Gehäusen [6]. Der gezielte Einsatz von Sensoren und maschinellen Lernverfahren ermöglicht es, den optimalen Ansatzpunkt zu identifizieren und funktionsfähige Komponenten zu schonen [7].

Dies bedingt jedoch eine effiziente und effektive Identifikation von Produkten, besonders für Firmen mit einer hohen Variantenvielfalt. Je besser der Prozess der Identifizierung von Materialien abläuft, desto besser laufen auch die nachfolgenden Prozesse der Aufbereitung ab [8]. Um die Effizienz und Effektivität der Identifikation von Materialien zu steigern werden auch zunehmend Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) angewendet, welche das Potential haben herkömmliche direkte Identifikationsmethoden bezüglich Genauigkeit zu übertreffen. Gleichzeitig müssen diese Methoden aber auch kostengünstig in der Anschaffung bzw. im Betrieb sein.

Vielversprechende Ansätze konnten wir dazu in einem vom FFG geförderten Projekt IntelliProPS entwickeln. Hier wurden die Möglichkeiten der präzisen Identifikation von Materialien mittels einer Kombination von Near Infrared (NIR) Sensoren und Support Vector Machines (SVM) untersucht. Dabei wurde ein Demonstrator entwickelt, bei dem Daten (Lichtspektren) von einem Near Infrared (NIR) Sensor durch die SVM analysiert verarbeitet werden, um in Echtzeit das Material zu identifizieren und die Informationen an eine Siemens S7-1500 SPS weiterzuleiten. Das Modell selbst wurde auf einem Raspberry Pi 3B implementiert, einem kostengünstigen Einplatinencomputer. Dabei konnten in 20 Versuchen pro Material alle Materialien

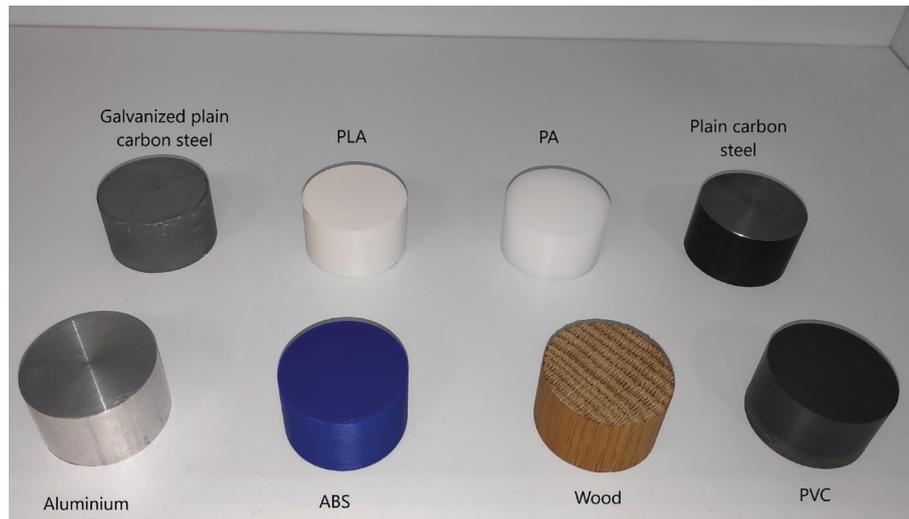


Abbildung 1: Bauteile zur Materialidentifikation

mit einer Genauigkeit von 100 % identifiziert werden, mit Ausnahme von Aluminium und PLA (95 %) [9]. Die untersuchten Materialien sind in Abbildung 1 ersichtlich.

Im Bereich der Qualitätskontrolle kommen Verfahren wie die Objekterkennung zum Einsatz [10]. Kameras und Sensoren erfassen die demontierten Bauteile, während KI-basierte Bilderkennung potenzielle Schäden oder Verschleißerscheinungen wie Risse, Verformungen oder Oberflächenfehler identifiziert [11]. Im Vergleich zu traditionellen Sichtprüfungen oder einfachen Messschablonen erreicht ein automatisiertes System ein höheres Detailniveau. Komponenten, die definierte Qualitätskriterien nicht erfüllen, werden automatisch aussortiert oder es werden geeignete Reparaturschritte vorgeschlagen [12]. Die Integration von Daten aus der vorausschauenden Instandhaltung – beispielsweise über Schwingungen oder Temperaturverläufe – unterstützt die Entscheidung, welche Teile für eine Wiederverwendung geeignet sind, und welche ersetzt werden müssen. Für einen Einsatz in industriellen Umgebungen ist es allerdings notwendig, dass die eingesetzten Methoden entsprechend robust gegen Veränderungen im Umfeld (beispielsweise variierende Lichtverhältnisse) sind.

Eine Methode zur Identifikation von Bauteilen (z. B. anhand von Farbe, Konturen, ...) sind Convolutional Neural Networks (CNN). Mit einem weiteren Demonstrator im Rahmen des IntelliProPS Projektes wurde die Robustheit von CNN-basierten Algo-

rithmen unter variierenden Produktionsbedingungen getestet. Dabei kam der CNN-basierte Algorithmus YOLO (You Only Look Once) in der Version v8 zum Einsatz [13]. Hierbei wurden zwei unterschiedlich trainierte Modelle miteinander verglichen. Das erste Modell wurde bei Lichtverhältnissen von 104 Lux mit 36 Bildern trainiert, das zweite Modell wurde unter variierenden Lichtverhältnissen von 7 bis 1100 Lux mit 380 Bildern trainiert. Beide Modelle konnten erfolgreich unterschiedliche Farben unter variierenden Lichtverhältnissen erkennen, wobei das Modell mit 380 trainierten Bildern deutlich häufiger die korrekte Farbe erkennen konnte, verglichen mit dem mit 36 Bildern trainierten Modell. Auch hier stand wieder die niedrige Einstiegsbarriere für Unternehmen im Fokus, weshalb auch in diesem Prozess das Modell auf einem Raspberry Pi 3B implementiert wurde [10]. Die Hardware wurde auf einer Festo FMS50 installiert, welche eine Produktionsanlage simuliert. Abbildung 2 zeigt den Aufbau des Raspberry Pi inklusive Sensor über dem Förderband der Festo Anlage.

Mittlerweile ist bereits die Variante 5 des Raspberry Pis erhältlich, welcher nochmal deutlich leistungsfähiger ist als die Vorgängermodelle 3 und 4, was das Anwendungsfeld für einfache KI-Methoden auf Einplatinencomputer erweitert, weil nun auch anspruchsvollere Modelle einfach implementiert werden können. Methoden der künstlichen Intelligenz setzen sich vermehrt in den unterschiedlichsten Produktionsbereichen durch, da sie äußerst flexibel sind und mittler-

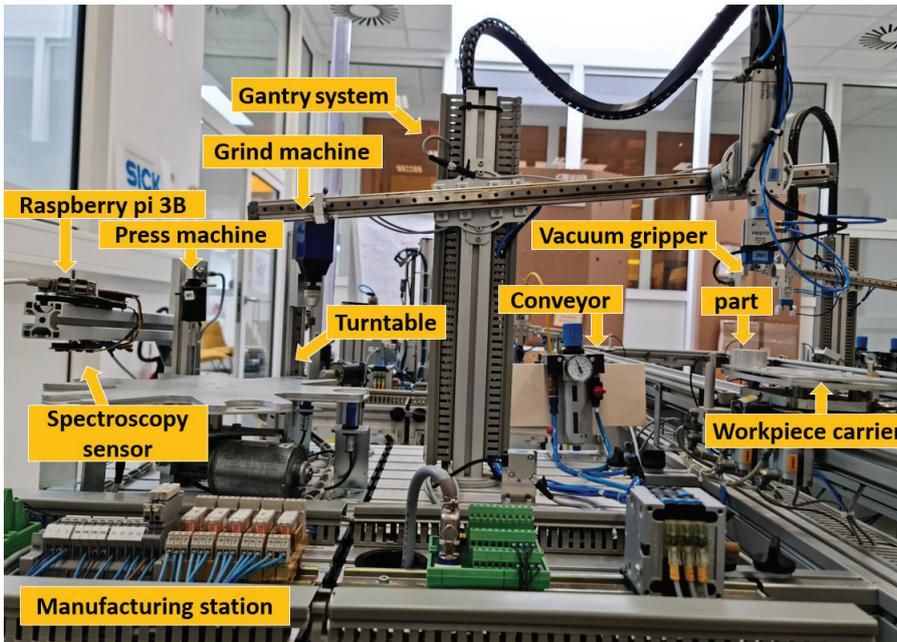


Abbildung 2: Aufbau des Raspberry Pi inklusive Sensor über dem Förderband der Festo Anlage

weile nicht mehr auf Rechenzentren angewiesen sind, sondern auch sinnvolle Modelle auf Einplatinencomputer implementiert werden können. Ein Machbarkeitsnachweis lässt sich ressourcenschonend umsetzen und erfordert nicht zwangsweise große Datenmengen um aufzuzeigen, dass sich eine Methode auch in der Praxis umsetzen lässt. So könnte beispielsweise ein Kamerasystem in Verbindung mit einem CNN-Algorithmus zur Identifikation von Materialien verwendet werden. Die bereits implementierte Hardware kann anschließend allerdings auch auf weitere Aufgabengebiete erweitert werden, wie z. B. das Zählen der einkommenden Materialien, Identifikation von Qualitätsmängeln oder Bestimmung eines Verschmutzungsgrads. Auch hier können beispielsweise CNN-Algorithmen zum Einsatz kommen.

Remanufacturing 4.0 – Die Zukunft der Wiederaufbereitung

Das Potential von künstlicher Intelligenz im Remanufacturing Prozess beschränkt sich allerdings nicht nur auf die Identifikation und Klassifizierung von Materialien. Die in der Demontage und Qualitätskontrolle gewonnenen Daten müssen in die Gesamtlogik des Wiederaufbereitungsprozesses integriert werden. Eine hohe Ausschussrate, die durch Objekterkennung bei einer bestimmten

Bauteilserie festgestellt wird, beeinflusst nicht nur unmittelbare Entscheidungen über Reparatur oder Austausch, sondern liefert auch wichtige Erkenntnisse für die zukünftige Produktionsplanung [14]. Diese Rückkopplung kann zu Anpassungen im Design (Design for Remanufacturing) führen, um eine leichtere Demontage oder eine robustere Konstruktion zu ermöglichen. Ferner kann festgestellt werden, dass robotergestützte Verfahren bei bestimmten Komponenten effizienter sind als manuelle Prozesse, während bei anderen das Fachwissen erfahrener Mitarbeiter unerlässlich bleibt [15]. Insgesamt handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess der Datenerfassung, Auswertung und Optimierung.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Integration prognostischer Verfahren. Predictive Maintenance, Prognostik und Gesundheitsmanagement erlauben eine Abschätzung der Restnutzungsdauer (Remaining Useful Life, RUL) von Komponenten [16]. Die Einbindung dieser Daten in die Produktions- und Lieferkettenplanung ist entscheidend, um die Rückführung von Produkten und Komponenten in den Fertigungsprozessen optimal zu steuern. Eine genaue Logistik- und Bestandsplanung gewährleistet, dass aufbereitete Teile zeitgerecht weiterverwendet oder verkauft werden. Ungenauer Vorhersagen kön-

nen zu überhöhten Lagerbeständen oder Engpässen führen [17]. Zwar unterstützen maschinelle Lernverfahren Aspekte wie Anomalieerkennung, Objektklassifizierung oder RUL-Berechnungen, die vollständige Integration dieser Verfahren in den Produktionsablauf erfordert jedoch weiterhin intensive Forschung und Entwicklung. In dem kürzlich gestarteten Forschungsprojekt ReMAIntAIIn adressieren wir gemeinsam mit dem Forschungsbereich Produktions- und Instandhaltungsmanagement der TU Wien genau diese Fragestellungen.

Aus einer Studie aus dem Jahr 2023, welche unter verschiedenen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) im Osten Österreichs durchgeführt wurde, ging hervor, dass Methoden der künstlichen Intelligenz viele relevante Problemstellungen von Produktionsbetrieben bereits adressieren, auch wenn nicht alle Themengebiete zu diesem Zeitpunkt ausreichend thematisiert sind. Viele KMUs sind allerdings noch zögerlich, in die Technologie Zeit und Ressourcen zu investieren. Ein besonders hohes Misstrauen herrscht gegenüber Algorithmen, welche Aufgabengebiete bearbeiten, die für erfahrene Experten herausfordernd sind [17]. Es ist jedoch absehbar, dass Methoden der künstlichen Intelligenz in Zukunft vermehrt in Produktionsunternehmen eingesetzt werden, um spezifische Aufgabenstellungen in Produktionsumgebungen zu adressieren. Vor allem angesichts der Tatsache, dass in einem Großteil der deutschen Unternehmen Investitionen im Bereich maschinelles Lernen und künstlicher Intelligenz steigen, auch vor dem Hintergrund von negativen wirtschaftlichen Entwicklungen [18].

Die systematische Verbindung automatisierter Demontage, KI-gestützter Qualitätskontrolle und der Integration von Mitarbeiterwissen ermöglicht die praktische Umsetzung von Stahels Konzept. Produkte durchlaufen nicht länger einen linearen Lebenszyklus von Produktion, Nutzung und Entsorgung, sondern werden in den Kreislauf zurückgeführt und in modifizierter Form wiederverwendet. Dies führt zu einer effizienteren Ressourcennutzung, Kostenreduktionen und kann durch dezentrale Wiederaufbereitung lokale Arbeitsplätze

schaffen. Gleichzeitig eröffnet sich die Möglichkeit, neue Märkte auf Basis flexibler Prozesse und eines verantwortungsvollen Umgangs mit Ressourcen zu erschließen.

References

- [1] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, "Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft: Die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie," Wien, 2022. Accessed: Feb. 5, 2025. [Online]. Available: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/Kreislaufwirtschaft/strategie.html
- [2] T. Marzi and M. Renner, *Das Weltbild der Circular Economy und Bioökonomie : Vorbild Natur?* (2024). Berlin, Heidelberg, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Springer Spektrum.
- [3] L. Sierra-Fontalvo, J. Polo-Cardozo, H. Maury-Ramírez, and J. A. Mesa, "Diagnosing remanufacture potential at product-component level: A disassemblability and integrity approach," *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 205, 2024, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.107529.
- [4] Priyono A., Ijomah W., and Bititci U., "Disassembly for remanufacturing: A systematic literature review, new model development and future research needs," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 9, no. 4, pp. 899–932, 2016, doi: 10.3926/jiem.2053.
- [5] G. Princz, M. Shaloo, and S. Erol, "A literature review on the prediction and monitoring of assembly and disassembly processes in discrete make-to-order production in SMEs with machine vision technologies," in *Proceedings of the 2023 10th International Conference on Industrial Engineering and Applications*, pp. 318–327.
- [6] J. Xiao and K. Huang, "A comprehensive review on human–robot collaboration remanufacturing towards uncertain and dynamic disassembly," *Manufacturing Rev.*, vol. 11, p. 17, 2024, doi: 10.1051/mfreview/2024015.
- [7] M.-L. Lee, X. Liang, B. Hu, G. Onel, S. Behdad, and M. Zheng, "A Review of Prospects and Opportunities in Disassembly With Human–Robot Collaboration," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 146, no. 2, p. 20902, 2023, doi: 10.1115/1.4063992.
- [8] J. C. Arbeláez-Estrada et al., "A Systematic Literature Review of Waste Identification in Automatic Separation Systems," *Recycling*, vol. 8, no. 6, 2023. doi: 10.3390/recycling8060086. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2313-4321/8/6/86>
- [9] Masoud Shaloo and Gábor Princz, "Real-Time Material Identification Using Light Spectroscopy and Support Vector Machine (SVM)," 2184–2809, 2023, doi: 10.5220/0012254400003543.
- [10] M. Shaloo, G. Princz, and S. Erol, "Real-Time Color Detection for Automated Production Lines Using CNN-Based Machine Learning," in *Towards a Smart, Resilient and Sustainable Industry*, Cham, Y. Borgianni, D. T. Matt, M. Molinaro, and G. Orzes, Eds., 2023, pp. 167–181.
- [11] C. Chen, T. Wang, D. Li, and J. Hong, "Repetitive assembly action recognition based on object detection and pose estimation," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 55, pp. 325–333, 2020. doi: 10.1016/j.jmsy.2020.04.018. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612520300625>
- [12] S. P. Leo Kumar, "Knowledge-based expert system in manufacturing planning: state-of-the-art review," *International Journal of Production Research*, vol. 57, 15–16, pp. 4766–4790, 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1424372.
- [13] R. Varghese and S. M., "YOLOv8: A Novel Object Detection Algorithm with Enhanced Performance and Robustness," in *2024 International Conference on Advances in Data Engineering and Intelligent Computing Systems (ADICS)*, 2024, pp. 1–6, doi: 10.1109/ADICS58448.2024.10533619.
- [14] S. L. Soh, S. K. Ong, and A. Nee, "Design for Disassembly for Remanufacturing: Methodology and Technology," *Procedia CIRP*, vol. 15, pp. 407–412, 2014. doi: 10.1016/j.procir.2014.06.053. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004764>
- [15] F. Goli, Y. Wang, and M. Saadat, "Perspective of self-learning robotics for disassembly automation," in *2022 27th International Conference on Automation and Computing (ICAC)*, 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICAC55051.2022.9911085.
- [16] Z. Kang, C. Catal, and B. Tekinerdogan, "Remaining Useful Life (RUL) Prediction of Equipment in Production Lines Using Artificial Neural Networks," *Sensors*, vol. 21, no. 3, 2021. doi: 10.3390/s21030932. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/3/932>
- [17] Roman Hörbe and Selim Erol, "Artificial Intelligence in planning and control tasks: a study of potential use cases and perceived challenges in Austrian make-to-order companies," *Procedia CIRP*, vol. 130, pp. 232–237, 2024. doi: 10.1016/j.procir.2024.10.081. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827124012344>
- [18] IDG Research Service, "Studie Machine Learning 2021," 2021. Accessed: Feb. 5, 2025. [Online]. Available: <https://www.lufthansa-industry-solutions.com/de-de/studien/idg-studie-machine-learning-2021>

Autoren:

Gábor Princz, B.Eng., M.Eng., hat Schiffbauingenieurwesen studiert und kommt aus dem Bereich der Hydrodynamik.

Er ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industrial Engineering und Management und leitet das institutseigene FactoryLab. Dort wird ein flexibles Fertigungssystem mithilfe der FESTO FMS50 Didaktikanlage simuliert, die aus sechs unterschiedlichen Stationen besteht. Jede dieser Stationen ist mit verschiedenen Aktoren und Sensoren ausgestattet, sodass unterschiedliche Algorithmen für die Forschung und Lehre entwickelt und getestet werden können. Seine Forschung konzentriert sich auf den Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Produktionsplanung und -steuerung, insbesondere in den Bereichen Predictive Maintenance sowie Prognostics and Health Management. Ein besonderer Fokus liegt

darauf, wie multivariate Daten genutzt werden können, um nachhaltige Vorhersagen für Reparaturaufträge zu treffen. In der Lehre ist er in den Fächern Simulation und Optimierung sowie Condition Monitoring und Predictive Maintenance tätig.

Roman Hörbe, BSc, MSc ist Lehrender und Forscher an der Fachhoch-

schule Wiener Neustadt am Institut für Industrial Engineering und Management. Nach dem erfolgreichen Abschluss seines Wirtschaftsingenieur Studiums an der Fachhochschule Wiener Neustadt hat er in der Bahnindustrie als strategischer Einkäufer gearbeitet und anschließend mehrere Jahre als Supply Chain Manager in der Luft- und Raumfahrtindustrie.

Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der künstlichen Intelligenz, besonders in den Bereichen Qualitätsmanagement sowie Produktionsplanung- und -steuerung. In der Lehre ist er in den Bereichen Prozessmanagement, Qualitätsmanagement, Produktionsplanung und -steuerung sowie im Bereich der Automatisierung tätig.



**Gábor Princz,
B.Eng., M.Eng.**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Industrial Engineering und Manager und Leiter des institutseigenen FactoryLab



**Roman Hörbe, BSc,
MSc**

Lehrender und Forscher an der Fachhochschule Wiener Neustadt am Institut für Industrial Engineering und Management

SCC A great way to work

We help companies build, grow and evolve their SAP solution.

scc.at/career



Foto: © Adobe Stock, AI generiert

Christopher Karl, Alice Grano

Simulation als Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung in der Gestaltung zirkulärer Lieferketten

Am Beispiel der österreichischen Möbelbranche

Circular Supply Chains (CSC), insbesondere in der österreichischen Möbelindustrie, stehen derzeit vor wirtschaftlichen und finanziellen, logistischen, rechtlichen und regulatorischen, technologischen sowie gesellschaftlichen und kulturellen Herausforderungen. Simulationstechniken wie System Dynamics, Discrete Event Simulation und Agent-Based Simulation bieten hier datenbasierte Entscheidungsgrundlagen für strategische und operative Verbesserungsmaßnahmen.

Einleitung

Die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in Supply Chains stellt einen Paradigmenwechsel dar, der darauf abzielt, lineare Produktions- und Distributionsmodelle durch geschlossene Wertschöpfungskreisläufe zu ersetzen. Durch die konsequente Reduzierung von Abfallströmen und die Maximierung der Wiederverwendung von Materialien kann eine höhere ökologische und ökonomische Effizienz erreicht werden [1]. Dies führt zu erheblichen Veränderungen in der Konfiguration von Lieferketten, indem traditionelle Lieferprozesse durch Rückführungs-, Recycling- und Wiederaufbereitungsmechanismen ergänzt werden [2].

Ein zentrales Ziel zirkulärer Lieferketten ist es demnach, den Rohstoffverbrauch zu minimieren, indem Produkte so gestaltet werden,

dass sie nach ihrer Nutzungsdauer wieder in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden können [3]. Unternehmen stehen dabei vor der Herausforderung, bestehende Geschäftsmodelle zu transformieren und neue Partnerschaften innerhalb der Wertschöpfungskette zu etablieren, um geschlossene Materialströme zu ermöglichen [1]. Neben ökologischen Vorteilen wie der Reduktion von CO₂-Emissionen und der Minimierung von Deponieabfällen ergeben sich auch ökonomische Chancen [4]. Unternehmen, die auf zirkuläres Lieferkettenmanagement setzen, profitieren von einer geringeren Abhängigkeit von Rohstoffmärkten und möglichen Kosteneinsparungen durch eine effizientere Ressourcennutzung [5]. Gleichzeitig entstehen aber Herausforderungen bei der Anpassung logistischer Prozesse, insbesondere bei der Koordination von Rückfüh-

rungsströmen und der Sicherstellung einer gleichbleibenden Produktqualität aus Recyclingmaterialien [3].

In der neuen Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte (ESPR, (EU) 2024/1781) sind Möbel als hochrelevante Produktgruppe eingestuft worden. Die Dringlichkeit zirkulärer Geschäftspraktiken in der österreichischen Möbelbranche zeigt sich nicht nur in der steigenden Materialnachfrage, sondern auch in der enormen Abfallmenge des Jahres 2022 von ca. 140.000 Tonnen, die durch die Möbelerntorgung per Sperrmüll entsteht [6]. Speziell in Österreich stellt die Möbelbranche einen bedeutenden Wirtschaftszweig dar, der sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene eine zentrale Rolle spielt. Im Jahr 2023 belief sich der Wert der in Österreich produzierten Möbel auf rund 2,8 Mrd. Euro, wie in Abbildung 1 ersichtlich wird [7].

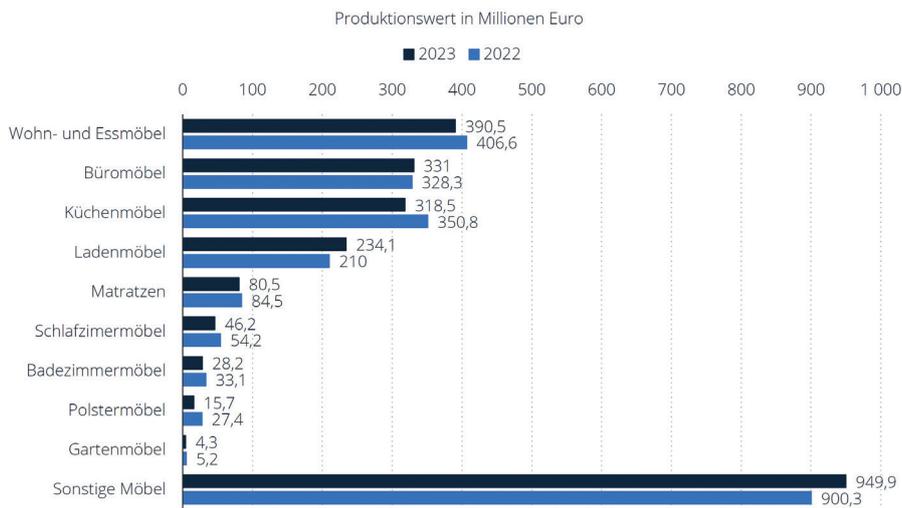


Abbildung 1: Produktion der österreichischen Möbelindustrie nach Segmenten bis 2023 [7]

In Österreich existieren bereits Initiativen, die auf Kreislaufwirtschaft setzen, wie etwa Reoffice und das Carla Depot, die sich auf die Wiederverwendung oder das Refurbishment von Büromöbeln konzentrieren. Dennoch fehlen flächendeckende wirtschaftliche Anreize und eine effiziente Logistik zur Umsetzung einer umfassenden Kreislaufstrategie. Zudem stellt die vorherrschende Unsicherheit bei der Auslegung neuer Lieferketten und Kooperationsformen einen Problembereich dar, da Konsequenzen und Risiken einer solchen Umstellung schwer zu prognostizieren sind [8].

Eine Hilfestellung bei der Auslegung und Bewertung neuer CSC kann der Einsatz von Simulationstechnologien sein, die eine datenbasierte Entscheidungsgrundlage ermöglichen [9]. Im Folgenden werden daher die vorherrschenden Problembereiche einer CSC am Beispiel der Möbelindustrie hervorgehoben und im Speziellen Simulation als Methode zur Bewertung von Logistikszenerien thematisiert.

Herausforderungen und Problembereiche einer CSC

Die Implementierung einer CSC im Möbelbereich ist ein vielversprechender Ansatz zur Förderung der Ressourceneffizienz und der Abfallvermeidung. Allerdings birgt dieser Transformationsprozess mehrere Herausforderungen auf verschiedenen Ebenen der Lieferkette. Die Hauptproblembereiche lassen sich in fünf Kategorien unterteilen und werden

in Abbildung 2 veranschaulicht. Eine detaillierte Analyse dieser Bereiche ist essenziell, um gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Zirkularität zu entwickeln [10].

1. Wirtschaftliche und finanzielle Herausforderungen

Ein zentrales Hindernis für die Implementierung einer CSC ist die wirtschaftliche Rentabilität von Kreislaufmodellen. Unternehmen stehen vor hohen Anfangsinvestitionen, insbesondere für die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, die Implementierung zirkulärer Designprinzipien und den Aufbau von Rücknahmesystemen [11]. Zudem sind die Stückkosten für Reparatur oder Refurbishment oft höher als jene für die Herstellung neuer Möbel, was die wirtschaftliche Attraktivität derartiger Maßnahmen mindert [1]. Weitere Probleme sind die Unsicherheit über die Rückflüsse von gebrauchten Möbeln, da die Verfügbarkeit und Qualität der zurückgeführten Produkte stark variieren kann [2], sowie die Verfügbarkeit eines geeigneten Absatzmarktes, auf dem man die Produkte zumindest kostendeckend anbieten kann. Diese Faktoren führen zu

ren dazu, dass Unternehmen zirkuläre Geschäftsmodelle nur zögerlich oder in begrenztem Umfang umsetzen.

2. Logistische Herausforderungen

Die Logistik stellt eine der größten Herausforderungen für eine funktionierende CSC im Möbelsektor dar. Die Rückführung von Möbeln aus Haushalten und Unternehmen erfordert eine komplexe Infrastruktur für Sammlung, Transport und Lagerung. Besonders problematisch sind die mangelnde Standardisierung von Möbelkomponenten, wodurch die Zerlegung und Wiederverwertung erschwert wird [3], sowie die großen zu transportierenden und zu lagernden Volumina. Hinzu kommt, dass der Transport gebrauchter Möbel oft ineffizient ist, da beschädigte oder nicht wiederverwertbare Teile aussortiert werden müssen, was zusätzliche Kosten verursacht [4]. Eine digitale Vernetzung von Käufer und Verkäufer von wiederverwendbaren Möbeln wäre nötig, um dieser Herausforderung zu begegnen, jedoch fehlt es derzeit an flächendeckenden Lösungen [5].

3. Rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen

Die regulatorischen Rahmenbedingungen für zirkuläre Geschäftsmodelle im Möbelsektor sind oft un-

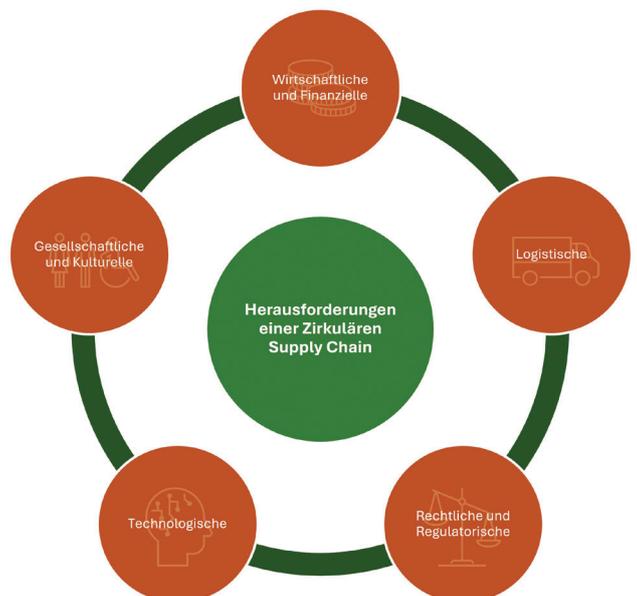


Abbildung 2: Herausforderungen und Problembereiche einer CSC

zureichend oder widersprüchlich. Während einige Länder Vorschriften zur Förderung von Recycling- und Wiederverwendungsmaßnahmen eingeführt haben, fehlt es vielerorts an klaren Regelungen zur Herstellerverantwortung oder finanziellen Anreizen für Unternehmen, die in Kreislaufwirtschaft investieren [10]. Die Ökodesign-Verordnung der EU stellt zwar einen wichtigen Schritt dar, erfordert jedoch umfangreiche Anpassungen der Produktionsprozesse und Materialien [8]. Die Umsetzung solcher Richtlinien kann für kleinere und mittelständische Unternehmen in Österreich mit begrenzten Ressourcen daher eine erhebliche Belastung darstellen [1]. Andererseits scheitern sinnvolle und im Ausland bereits verbreitete Ansätze, wie z.B. eine verpflichtende Quote von refurbished Möbeln für Großunternehmen, an der bereits erwähnten fehlenden Infrastruktur, da die Unternehmen bei der Beschaffung vermutlich Schwierigkeiten hätten, die entsprechenden Anbieter zu identifizieren.

4. Technologische Einschränkungen

Ein weiteres kritisches Problemfeld ist die technologische Umsetzung zirkulärer Prozesse in der Möbelindustrie. Viele Möbelstücke sind nicht für eine einfache Demontage oder Wiederverwertung konzipiert, was den Wiedereinsatz von Materialien erheblich erschwert [11]. Zudem fehlen standardisierte Verfahren zur Bewertung der Qualität von zurückgeführten Möbeln, was wiederum die Entscheidungsfindung für Wiederverwendung oder Recycling verkompliziert [4]. Fortschritte in der digitalen Technologie, insbesondere Blockchain und IoT, könnten zur besseren Rückverfolgbarkeit und Optimierung von Kreislaufprozessen beitragen, sind jedoch bislang kaum in der Möbelbranche implementiert [2].

5. Gesellschaftliche und kulturelle Akzeptanzprobleme

Ein oft unterschätztes Hindernis für eine funktionierende CSC im Möbelsektor ist die Verbraucherakzeptanz. Gebrauchte Möbel haben häufig ein negatives Image und werden mit minderer Qualität oder mangelnder Hy-

giene assoziiert [11]. Zudem bevorzugen viele Konsumenten Möbelrends und kurzfristige Designänderungen („fast furniture“), was zu einer geringen Nachfrage nach langlebigen oder wiederverwendbaren Möbelstücken führt [5]. Leasing- oder Mietmodelle für Möbel werden in einigen Märkten noch nicht ausreichend angenommen, da Verbraucher häufig den Besitz einem Nutzungsmodell vorziehen. Um die Akzeptanz nachhaltiger Konsummodelle zu steigern, sind gezielte Marketingstrategien und Sensibilisierungskampagnen erforderlich [8].

Vorteile von Simulation in der Systemanalyse und Entscheidungsfindung

Diese unterschiedlichen Herausforderungen zeigen, wie vielschichtig und komplex die Auslegung funktionierender zirkulärer Lieferketten in der Möbelbranche ist. Dennoch ist Planbarkeit für Unternehmen von zentraler Bedeutung, wenn es darauf ankommt, Investitionsentscheidungen oder den Umstieg auf neue Geschäftsmodelle zu evaluieren.

Sollten direkte Experimente zur Auslegung und Bewertung einer CSC zu kostspielig oder unmöglich sein, bietet Simulation wesentliche Instrumente für die Analyse dieser komplexen Systeme. Durch die Abbildung realer Prozesse in einem Modell wird eine strukturierte Untersuchung des Systemverhaltens unter verschiedenen Bedingungen ermöglicht. Die Fähigkeit, unterschiedliche Szenarien zu testen, unterstützt die Entscheidungsfindung und ermöglicht die Optimierung von Prozessen, bevor Änderungen in der realen Welt implementiert werden. Sie kann indes eine detaillierte Betrachtung zeitabhängiger Zustandsänderungen erlauben und erleichtert somit das Verständnis komplexer Kausalitäten innerhalb eines Systems. Ein weiterer zentraler Vorteil der Simulation liegt in ihrer Flexibilität. Sie kann auf verschiedenen Abstraktionsebenen angewandt werden – von makroskopischen strategischen Entscheidungen bis hin zu detaillierten mikroskopischen Modellen einzelner Systemkomponenten [12]. Im Folgenden werden drei Simulationsarten vorgestellt und näher auf

ihre Anwendungsmöglichkeiten eingegangen.

Simulation als Werkzeug zur Auslegung und Bewertung zirkulärer Lieferketten

Unterschiedliche Simulationsansätze können einzeln oder auf integrierte Weise eingesetzt werden, um die unterschiedlichen Herausforderungen in einer CSC besser zu verstehen und somit effizientere Lieferketten auszulegen. Dies wird im Folgenden am Beispiel der angesprochenen logistischen Herausforderungen sowie unterschiedlicher logistischer Szenarien näher erläutert.

System Dynamics (SD) dient der Analyse dynamischer Systeme mit Rückkopplungsschleifen, wobei die Modelle auf Stocks (Lagerbestände), Flows (Flüsse) und Feedback-Schleifen basieren, um kausale Zusammenhänge zwischen verschiedenen Systemkomponenten darzustellen. Diese Methode ist besonders geeignet für die Modellierung von Systemen, in denen Aggregationen und langfristige Entwicklungen im Fokus stehen. Somit eignet sich SD besonders für Simulationen, in denen einzelne Akteure weniger im Vordergrund stehen, sondern vielmehr das Zusammenspiel globaler Variablen [12]. Am Beispiel zirkulärer Lieferketten in der Möbelbranche könnte SD also eingesetzt werden, um unternehmensrelevante Fragestellungen wie z.B. die langfristigen Auswirkungen von Rücknahme- und Lagerstrategien zu untersuchen, aber auch um den Einfluss regulatorischer Maßnahmen auf eine CSC und damit verbundene Rückkopplungseffekte zu analysieren. Die Simulation des Systemverhaltens in Folge von Fördermaßnahmen und steuerlichen Anreizen würde ebenso eine wichtige Entscheidungsgrundlage bieten, die insbesondere für die öffentliche Hand von Relevanz sein könnte.

Discrete Event Modeling (DE) ist eine Methode zur Modellierung von Systemen, in denen ereignisgetriebene Prozesse eine zentrale Rolle spielen. Ein System wird dabei als eine Sequenz von Ereignissen dargestellt, die bestimmte Zustandsänderungen hervorrufen. DE-Modelle sind besonders geeignet für Prozesse mit

klar definierten Ablaufstrukturen und Wartezeiten, wie beispielsweise in Fertigungsprozessen oder Logistiksystemen [12]. Im Rahmen der Auslegung und Bewertung zirkulärer Lieferketten ist DE insbesondere zur Gestaltung und Verbesserung operativer Prozesse zu empfehlen. So können beispielsweise lieferkettenübergreifende Engpässe identifiziert und Strategien für eine effizientere Möbelverarbeitung im Rahmen von Remanufacturing oder Reparatur entwickelt werden. Transportsimulationen helfen hierbei Leerfahrten zu minimieren, Be- und Entladezeiten zu reduzieren und optimale Routen für die Sammlung und Verteilung gebrauchter Möbel zu ermitteln. Aufgrund der erforderlichen Neuauslegung von Transport-, Umschlag- und Lagerprozessen in einer zirkulären Lieferkette kann DE also ein wertvolles Instrument sein, um passende Alternativen zu evaluieren, nicht zuletzt auf Basis unterschiedlicher mengenbasierter Logistikszenerarien sowie unterschiedlicher Rücknahmequoten.

Agent-Based Modeling (AB) ist eine Simulationsmethode, die sich durch die Modellierung individueller autonomer Agenten auszeichnet. Jeder Agent handelt basierend auf einer Menge von Regeln und kann mit anderen Agenten sowie seiner Umgebung interagieren. Dadurch entstehen emergente Phänomene, die durch Aggregation der individuellen Entscheidungen hervorgerufen werden. AB kann zur Repräsentation individueller Akteure und deren Interaktionen genutzt werden [12]. So können beispielsweise Detailmodelle zentraler Lager- oder Umschlagpunkte in der Lieferkette entwickelt und passende Verteil- oder Kommissionierstrategien analysiert werden. Mit Fokus auf Beschaffung bzw. Vertrieb könnte sich zudem untersuchen lassen, wie z.B. digitale Plattformen den Austausch zwischen Käufern und Verkäufern beeinflussen.

Abschließend sei zu erwähnen, dass ein hybrider Simulationsansatz die makroökonomische Perspektive von SD, die prozessspezifische Optimierung von DE und die adaptive Modellierung individueller Akteure durch AB vereinen kann. Dies ermöglicht eine datenbasierte Entscheidungsfindung, die eine nachhaltige,

wirtschaftliche und effiziente Rückführung und Wiederverwertung von Möbeln in einer CSC unterstützt. Das Institut für Industrial Engineering und Management erarbeitet aktuell in zwei Forschungsprojekten die notwendigen Grundlagen in Bezug auf die nachhaltige Gestaltung kreislaufwirtschaftlicher Logistikkonzepte für die Möbelindustrie. Das Projekt RefurMo erhebt in einer umfassenden Studie die Herausforderungen in Bezug auf die Re-Logistik von Möbeln. Im Projekt LogiMateR werden Simulationsmethoden eingesetzt, um verschiedene logistische Szenarien für die Re-Logistik von Matratzen und zirkuläre Geschäftsmodelle gemeinsam mit wichtigen Stakeholdern im Kreislauf zu bewerten.

Literatur

- [1] M. Geissdoerfer, S. N. Morioka, M. M. de Carvalho und S. Evans, "Business models and supply chains for the circular economy," *Journal of Cleaner Production*, Jg. 190, S. 712–721, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.159.
- [2] R. González-Sánchez, D. Settembre-Blundo, A. M. Ferrari und F. E. García-Muñia, "Main Dimensions in the Building of the Circular Supply Chain: A Literature Review," *Sustainability*, Jg. 12, Nr. 6, S. 2459, 2020, doi: 10.3390/su12062459.
- [3] M. Farooque, A. Zhang, M. Thüerer, T. Qu und D. Huisingh, "Circular supply chain management: A definition and structured literature review," *Journal of Cleaner Production*, Jg. 228, S. 882–900, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.303.
- [4] S. M. Ayati, E. Shekarian, J. Majava und B. V. Wæhrens, "Toward a circular supply chain: Understanding barriers from the perspective of recovery approaches," *Journal of Cleaner Production*, Jg. 359, S. 131775, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131775.
- [5] G. Malhotra, "Impact of circular economy practices on supply chain capability, flexibility and sustainable supply chain performance," *IJLM*, Jg. 35, Nr. 5, S. 1500–1521, 2024, doi: 10.1108/IJLM-01-2023-0019.
- [6] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobi-

lität, Innovation und Technologie (BMK). "Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich, Statusbericht 2024: Statusbericht 2024 für das Referenzjahr 2022." Zugriff am: 11. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:7119f610-1180-4337-8837-f5c45e73b4b5/BAWP_Statusbericht_2024.pdf

[7] Die Österreichische Möbelindustrie. "Wert der Produktion der österreichischen Möbelindustrie nach Segmenten in den Jahren 2022 und 2023 (in Millionen Euro)." Zugriff am: 11. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/283896/umfrage/produktion-der-oesterreichischen-moebelindustrie-nach-segmenten/>

[8] H. Pattermann und S. Stosic, "Erkenntnisbericht Zirkuläre Büromöbel," 2024.

[9] F. Charnley, D. Tiwari, W. Hutabarat, M. Moreno, O. Okorie und A. Tiwari, "Simulation to Enable a Data-Driven Circular Economy," *Sustainability*, Jg. 11, Nr. 12, S. 3379, 2019, doi: 10.3390/su11123379.

[10] X. Pei, M. Italia und M. Mellazzini, "Enhancing Circular Economy Practices in the Furniture Industry through Circular Design Strategies," *Sustainability*, Jg. 16, Nr. 15, S. 6544, 2024, doi: 10.3390/su16156544.

[11] S. Hashemi Farahmand und N. Rahimiaghdas, "Circular Economy and Business Transformation in European Furniture Industry," *ICB-MECONF*, Jg. 1, Nr. 1, S. 1–15, 2024, doi: 10.33422/icbmeconf.v1i1.207.

[12] A. Borshchev und A. Filippov, "From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools," 2004.

AutorInnen:

Christopher Karl BSc MSc ist Lektor und Forscher am Institut für Industrial Engineering und Management der Fachhochschule Wiener Neustadt (FHWN). Während seines Master-Studiums des Wirtschaftsingenieurs an der FHWN sammelte er in seiner Tätigkeit als Strategischer Projektmanager bei einem führenden Hersteller von Polymerprodukten umfangreiche Erfahrungen im Projekt- und Nachhaltigkeitsmanagement. Dort

verantwortete er die Koordination von Produktionsprozessoptimierungen für strategisch wichtige und innovative Produkte und war federführend bei der Erstellung eines globalen Climate Transition Plans zur Erreichung der CO₂-Neutralität. Heute gibt er sein Praxiswissen an angehende Wirtschaftsingenieure weiter und unterstützt Forschungsprojekte mit den Schwerpunkten Güterverkehrsmanagement, Zirkularität und künstliche Intelligenz in

der Produktionsplanung und -steuerung.

Alice Grano BA MA BSc MSc ist ausgebildete Wirtschaftsingenieurin und wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Industrial Engineering und Management der FH Wiener Neustadt. Nach mehreren Jahren Berufserfahrung in den Bereichen Logistik und Supply Chain Management, sowohl in der Privatwirtschaft als auch im akademischen Bereich,

arbeitet sie derzeit in verschiedenen Forschungsprojekten zu Themen der nachhaltigen Logistik und Kreislaufwirtschaft und gibt diese Inhalte in entsprechenden Lehrveranstaltungen an Studierende weiter. Mit diesen Themen beschäftigt sich auch ihr Dissertationsprojekt, das sie im Rahmen eines Doktoratsstudiums an der WU Wien durchführt und sich mit der Auslegung und Bewertung zirkulärer Supply Chains in der Matratzenbranche beschäftigt.



Christopher Karl
BSc MSc

Lektor und Forscher
am Institut für Industrial
Engineering und
Management der Fach-
hochschule Wiener
Neustadt



Alice Grano BA MA
BSc MSc

Wirtschaftsingenieuerin
und wissenschaftliche
Mitarbeiterin am
Institut für Industrial
Engineering und
Management der FH
Wiener Neustadt



Foto: © erstellt mit DALL-E (OpenAI)

Theresa Madreiter, Fazel Ansari

Von OEE zu OSEE: Wie sich Kennzahlensysteme für Produktion und Instandhaltung nachhaltiger gestalten lassen

Die Overall Sustainable Equipment Effectiveness (OSEE) erweitert die klassische Overall Equipment Effectiveness (OEE) um ökologische und soziale Nachhaltigkeitsaspekte. Während die OEE traditionell Effizienz anhand von Verfügbarkeit, Leistung und Qualität bewertet, ergänzt die OSEE dieses Konzept um ökologische und soziale Faktoren, um eine umfassendere Bewertung von Produktions- und Instandhaltungsprozessen zu ermöglichen. Ein wichtiger Bestandteil der OSEE ist die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Faktoren. Diese können sich gegenseitig beeinflussen und erfordern eine ganzheitliche Herangehensweise, um sowohl Synergien zu nutzen als auch potenzielle Zielkonflikte zu berücksichtigen. Die OSEE bietet Unternehmen eine praxisnahe Methode, um nachhaltige Maßnahmen messbar zu machen und gezielt in den operativen Alltag zu integrieren. Damit trägt sie zur Entwicklung einer effizienten, ressourcenschonenden und sozial verantwortlichen Produktion bei.

Einleitung

Nachhaltigkeit ist längst kein Modewort mehr, sondern ein zentraler Faktor wirtschaftlicher Entscheidungsprozesse. Die Europäische Kommission verfolgt mit dem European Green Deal das Ziel, bis 2050 Netto-Null-Treibhausgasemissionen zu erreichen [1]. Auch Unternehmen setzen zunehmend auf nachhaltiges Handeln und erkennen nicht nur die ökologische Verantwortung, sondern auch die wirtschaftliche Notwendigkeit sowie den potenziellen Wettbewerbsvorteil, den nachhaltige Strategien mit sich bringen [2]. Dabei geht es längst nicht mehr nur um Umwelt- und Klimaschutz. Soziale Aspekte wie faire Arbeitsbedingungen,

Mitarbeiterzufriedenheit und eine gesunde sowie sichere Arbeitskultur werden immer wichtiger und rücken verstärkt in den Fokus nachhaltiger Unternehmensstrategien. Unternehmen stehen vor der Herausforderung, ökologische und soziale Verantwortung mit wirtschaftlicher Effizienz zu verbinden, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben.

Doch zwischen Absicht und Umsetzung klafft eine große Lücke: Laut einer aktuellen PwC-Studie sehen sich nur 49 % der europäischen Produktionsunternehmen ausreichend vorbereitet, um ihre Produktion tatsächlich nachhaltig umzugestalten [3]. Dies zeigt, dass Nachhaltigkeitsstrategien häufig auf Managementebene existieren, aber nicht in den operativen Ab-

läufen verankert sind. Besonders in der Industrie dominieren auf operativer Ebene Produktivitätskennzahlen wie die Overall Equipment Effectiveness (OEE) [4]. Diese Kennzahl misst die Effizienz von Produktionsanlagen anhand von Verfügbarkeit, Leistung und Qualität. Sie vernachlässigt jedoch ökologische und soziale Aspekte, die für eine nachhaltige Transformation von Produktionsprozessen zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Die Twin Transformation, also die parallele Digitalisierung und nachhaltige Neuausrichtung industrieller Prozesse, macht eine ganzheitliche Betrachtung wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Faktoren unverzichtbar [1]. Wissenschaftliche Untersuchungen betonen, dass Nach-

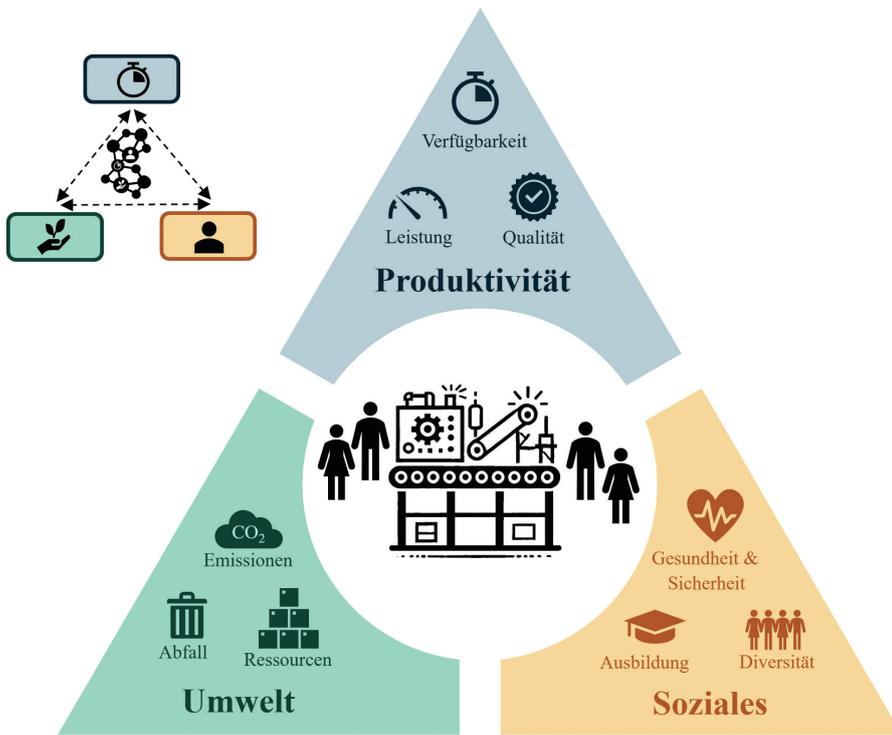


Abbildung 1: Operative Nachhaltigkeitsfaktoren der OSEE

haltigkeit nur dann effektiv umgesetzt werden kann, wenn sie durch messbare Indikatoren unterstützt wird [5, 6]. Bestehende Produktivitätskennzahlen wie die OEE sollten daher nicht nur wirtschaftliche Leistungsfaktoren abbilden, sondern auch Umwelt- und Sozialkriterien integrieren, um gezielt nachhaltige Verbesserungen voranzutreiben [7].

Die Overall Equipment Effectiveness und ihre Grenzen

Die Overall Equipment Effectiveness (OEE) ist eine etablierte Kennzahl zur Bewertung der Effizienz von Produktionsanlagen im Vergleich zu gängigen Industriestandards. Sie wurde in den 1980er Jahren von Nakajima (1988) im Rahmen des Total Productive Maintenance (TPM) eingeführt und dient der Messung von Verlusten in den Bereichen Verfügbarkeit, Leistung und Qualität [8].

Seit ihrer Einführung wurde die OEE vielfach weiterentwickelt, etwa zu Overall Factory Effectiveness, Overall Asset Effectiveness oder Total Equipment Effectiveness [4]. Diese Varianten unterstreichen die Bedeutung der OEE als Benchmark für Betriebsabläufe, berücksichtigen jedoch weder ökologische noch soziale Nachhaltigkeitsaspekte.

Zwar existieren alternative Indikatorensysteme, doch sie sind oft aufwendig in der Implementierung und greifen selten auf bereits etablierte Metriken zurück. Erste Erweiterungen der OEE, die Nachhaltigkeitsaspekte integrieren, konzentrieren sich überwiegend auf Umweltfaktoren, während soziale Aspekte weitgehend unberücksichtigt bleiben. Eine umfassende Betrachtung nachhaltiger Produktions- und Instandhaltungsprozesse fehlt bislang.

Von der OEE zur OSEE – Eine nachhaltige Erweiterung

Die Erweiterung der klassischen Overall Equipment Effectiveness (OEE) zur Overall Sustainable Equipment Effectiveness (OSEE) verfolgt das

Ziel, eine etablierte Kennzahl, um ökologische und soziale Faktoren zu ergänzen und so deren Einfluss auf Produktivität und Effizienz in der Produktion sichtbar zu machen [9]. Während die OEE bisher ausschließlich Verfügbarkeit, Leistung und Qualität als Effizienzkriterien betrachtete, erweitert die OSEE dieses Konzept um Nachhaltigkeitsaspekte wie etwa Ressourceneffizienz, Emissionen sowie Arbeitssicherheit und Mitarbeiterzufriedenheit (siehe Abbildung 1).

Anstatt ein völlig neues Kennzahlensystem zu schaffen, baut die OSEE auf der bestehenden OEE-Struktur auf und ergänzt diese gezielt um messbare Nachhaltigkeitsindikatoren, die eine direkte Steuerung und Integration von Nachhaltigkeit in den operativen Produktions- und Instandhaltungsalltag ermöglichen.

Nach dem Modell von León-Soriano et al. [10] lässt sich auch Nachhaltigkeit in Unternehmen auf drei Ebenen verankern (siehe Abbildung 2):

- **Strategische Ebene:** Langfristige Unternehmensziele und Richtlinien, etwa Klimaschutzmaßnahmen oder soziale Standards.
- **Taktische Ebene:** Umsetzung dieser Vorgaben in bereichsspezifische Programme und Maßnahmen.
- **Operative Ebene:** Direkt beeinflussbare Faktoren innerhalb der Produktions- und Instandhaltungsprozesse.

Die OSEE setzt gezielt auf der operativen Ebene an, wo ökologische und soziale Faktoren wie Ressourceneffizienz, Recyclingquoten, Emissionseffizienz und das Management gefährlicher Abfälle unmittelbar beeinflusst werden können. Ebenso werden so-

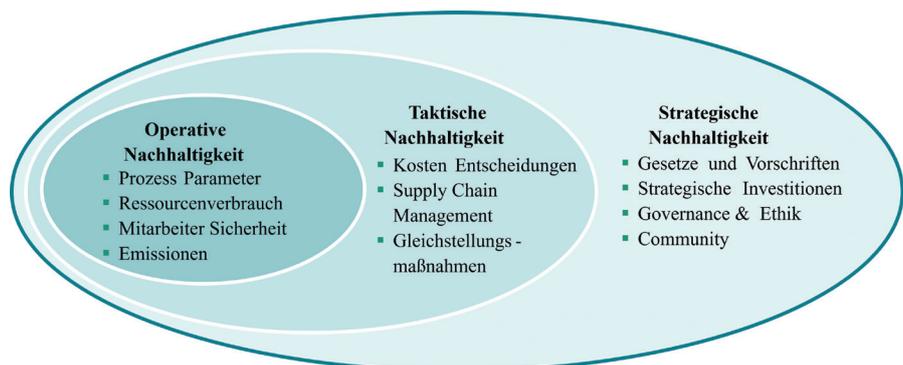


Abbildung 2: Operative, Taktische und Strategische Nachhaltigkeit [9]

ziale Aspekte wie Arbeitssicherheit, Krankenstand, Mitarbeiterzufriedenheit, Diversität und Weiterbildung berücksichtigt.

Während das Grundprinzip der OEE erhalten bleibt und weiterhin die Effizienz anhand von Verfügbarkeit, Leistung und Qualität bewertet, ermöglicht die Integration operativer Nachhaltigkeitsfaktoren eine umfassendere Bewertung und Steuerung nachhaltiger Produktions- und Instandhaltungsstrategien.

Die mathematische Darstellung der OSEE zeigt, dass sich die Nachhaltigkeitskomponente als Multiplikationsfaktor zur klassischen OEE einfügt. Dies kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned}
 OSEE &= OEE \times Sustainability \text{ (ökologisch, sozial)} \\
 OEE &= \text{Verfügbarkeit} * \text{Leistung} * \text{Qualität} \\
 S(\text{ökologisch, sozial}) &= S(\text{ökologisch}) * S(\text{sozial}) \\
 S(\text{ökologisch, sozial}) &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S(\ddot{o})_i * \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S(s)_j \\
 S(\ddot{o})_i & \dots \text{Ökologische Nachhaltigkeits Indikatoren} \\
 S(s)_j & \dots \text{Soziale Nachhaltigkeits Indikatoren}
 \end{aligned}$$

Dabei stehen $S(\ddot{o})_i$ für die ökologischen Nachhaltigkeitsindikatoren und $S(s)_j$ für die sozialen Nachhaltigkeitsindikatoren. Mit dieser methodischen Erweiterung wird Nachhaltigkeit nicht nur auf strategischer Ebene verankert, sondern gezielt im operativen Alltag integriert.

Wechselwirkungen zwischen wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Indikatoren

Die Einführung der OSEE ermöglicht eine detaillierte Analyse operativer Nachhaltigkeit. Für eine ganzheitliche und wirkungsvolle Optimierung ist es jedoch entscheidend, nicht nur einzelne Nachhaltigkeitsaspekte zu betrachten, sondern auch deren Wechselwirkungen mit wirtschaftlichen Faktoren zu berücksichtigen. Diese Zusammenhänge sind oft komplex und lassen sich nicht immer direkt quantifizieren, haben jedoch erheblichen Einfluss auf betriebliche Entscheidungen und langfristige Nachhaltigkeitsstrategien.

In der Praxis zeigt sich, dass wirtschaftliche, ökologische und soziale Faktoren eng miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig beeinflussen. Eine höhere Energieeffizienz re-

duziert nicht nur Betriebskosten und Emissionen, sondern kann auch die Lebensdauer von Anlagen verlängern und damit ungeplante Stillstände minimieren [11]. Gleichzeitig kann die Umstellung auf energieeffiziente Maschinen mit hohen Investitionskosten verbunden sein, was kurzfristig die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt. Ähnliche Zielkonflikte finden sich im Bereich der sozialen Nachhaltigkeit: Verbesserte Arbeitsbedingungen, verstärkte Sicherheitsmaßnahmen oder Weiterbildungsprogramme können langfristig die Produktivität und Mitarbeiterbindung erhöhen, erfordern jedoch zunächst finanzielle und organisatorische Ressourcen [12].

Auch aus der Perspektive der OEE-Logik zeigt sich, dass die Reduzierung von Produktivitätsverlusten oft mit einer Verbesserung ökologischer und sozialer Nachhaltigkeitsfaktoren einhergeht. Die Eliminierung gefährlicher Stoffe oder Gase aus Produktionsprozessen senkt Gesundheitsrisiken für Mitarbeitende und verbessert zugleich die ökologische Nachhaltigkeit [12]. Ressourcenschonende Produktionsstrategien tragen ebenfalls zur Verlängerung der Anlagennutzungsdauer bei, wodurch sowohl Material- als auch Energiekosten gesenkt werden [13, 14].

Abbildung 3 skizziert einige dieser Wechselwirkungen innerhalb der OSEE und verdeutlicht, dass eine integrierte Betrachtung aller relevanten Faktoren entscheidend ist, um eine ganzheitliche Verbesserung der operativen Nachhaltigkeit zu ermöglichen.

Fazit und Ausblick

Das vorgestellte OSEE-Konzept schließt eine entscheidende Lücke in der umfassenden Bewertung der operativen Nachhaltigkeit. Indem es die etablierte OEE um ökologische und soziale Dimensionen erweitert, fördert es eine praxisnahe Integration der Nachhaltigkeit in Produktion und Instandhaltung. Diese Integration bringt einige Vorteile mit sich, da sie die täg-

lichen Abläufe gezielt an übergeordneten Nachhaltigkeitszielen ausrichtet. Gleichzeitig erhöht sich aber auch die Komplexität: Verbesserungen in einem Bereich können unbeabsichtigte Folgen in einem anderen haben, was ein tieferes Verständnis der wechselseitigen Abhängigkeiten erforderlich macht. Zukünftige Forschung wird sich auf die Quantifizierung dieser Wechselwirkungen und die Gewichtung der Nachhaltigkeitsindikatoren konzentrieren. Ziel ist es, Unternehmen fundierte Werkzeuge bereitzustellen, um nachhaltige Entscheidungen operativ umzusetzen

Umfrage

Ihre Meinung zählt! Nehmen Sie an unserer kurzen Umfrage teil, um das OSEE-Konzept weiterzuentwickeln. Die Umfrage dauert nur wenige Minuten. Scannen Sie dazu einfach den QR-Code, um direkt teilzunehmen. Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

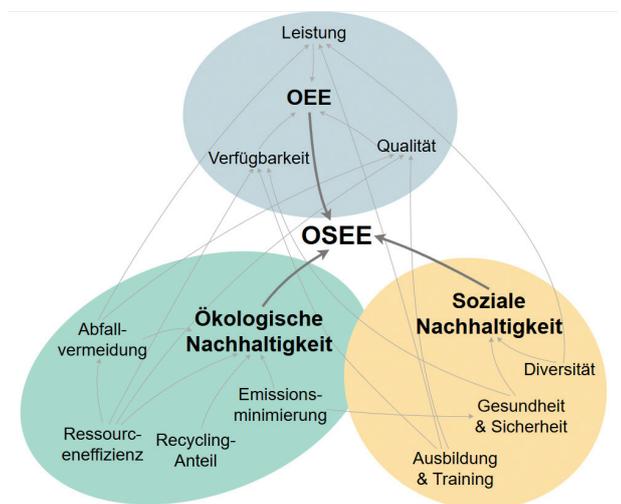


Abbildung 3: Wechselwirkungen zwischen ökonomischen, ökologischen und sozialen Faktoren in der OSEE

References

- [1] European Commission, The European Green Deal.
- [2] S. Laari, J. Töyli, and L. Ojala, "Supply chain perspective on competitive strategies and green supply chain management strategies," *Journal of Cleaner Production*, vol. 141, pp. 1303–1315, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.114.
- [3] PricewaterhouseCoopers, EU Green Deal Survey. [Online]. Available: <https://www.pwc.com/gx/en/services/tax/publications/are-europes-businesses-ready-for-the-eu-green-deal.html> (accessed: Oct. 24 2022).
- [4] P. Muchiri and L. Pintelon, "Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion," *International Journal of Production Research*, vol. 46, no. 13, pp. 3517–3535, 2008, doi: 10.1080/00207540601142645.
- [5] C. Fan, J. D. Carrell, and H.-C. Zhang, "An investigation of indicators for measuring sustainable manufacturing," in *Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, Arlington, VA, USA, 2010, pp. 1–5.
- [6] A. Trianni, E. Cagno, A. Neri, and M. Howard, "Measuring industrial sustainability performance: Empirical evidence from Italian and German manufacturing small and medium enterprises," *Journal of Cleaner Production*, vol. 229, pp. 1355–1376, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.076.
- [7] M. Z. Hauschild, S. Kara, and I. Røpke, "Absolute sustainability: Challenges to life cycle engineering," *CIRP Annals*, vol. 69, no. 2, pp. 533–553, 2020, doi: 10.1016/j.cirp.2020.05.004.
- [8] S. Nakajima, *Introduction to TPM: total productive maintenance*. Productivity Press, 1988.
- [9] T. Madreiter and F. Ansari, "From OEE to OSEE: How to reinforce Production and Maintenance Management Indicator Systems for Sustainability?," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 58, no. 8, pp. 204–209, 2024, doi: 10.1016/j.ifacol.2024.08.121.
- [10] R. León Soriano, M. Jesús Muñoz Torres, and R. Chalmeta Rosaleñ, "Methodology for sustainability strategic planning and management," *Industrial Management & Data Systems*, vol. 110, no. 2, pp. 249–268, 2010, doi: 10.1108/02635571011020331.
- [11] W. H. Wan Mahmood, I. Abdullah, and M. H. F. Md Fauadi, "Translating OEE Measure into Manufacturing Sustainability," *AMM*, vol. 761, pp. 555–559, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.761.555.
- [12] R. Henao and W. Sarache, "Sustainable performance in manufacturing operations: The cumulative approach vs. trade-offs approach," *International Journal of Production Economics*, vol. 244, p. 108385, 2022, doi: 10.1016/j.ijpe.2021.108385.
- [13] M. Marinelli, "A DfX-based approach for incorporating sustainability in infrastructure project planning," *BEPAM*, vol. 12, no. 1, pp. 20–37, 2022, doi: 10.1108/BEPAM-05-2020-0083.
- [14] S. A. Wadood, M. S. Sadiq Jajja, K. A. Chatha, and S. Farooq, "Lean, sustainability and the triple bottom line performance: a systems perspective-based empirical examination," *IJPPM*, vol. 72, no. 6, pp. 1719–1739, 2023, doi: 10.1108/IJPPM-06-2021-0347.

AutorIn:

Dipl.-Ing. Theresa Madreiter ist Senior Scientist bei Fraunhofer Austria, promoviert an der TU Wien und lehrt am Institut für Managementwissenschaften der TU Wien. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt auf datengetriebener Nachhaltigkeit in der Produktion und Instandhaltung. Bei Fraunhofer Austria leitet sie Forschungsprojekte und ist als Forschungs Koordinatorin tätig. Zuvor absolvierte sie das Studium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau an der TU Wien sowie ein Erweiterungsstudium im Bereich digitale Kompetenzen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Fazel Ansari, ist Professor für datengetriebenes Instandhaltungsmanagement und Leiter des Forschungsbereichs „Produktions- und Instandhaltungsmanagement“ an der TU Wien. Er ist Mitglied des Board of Management sowie Leitung Leuchtturmthemen bei Fraunhofer Austria Research GmbH. Zuvor absolvierte Prof. Ansari sein Studium in Mechatronik an der Universität Siegen, promovierte zum Doktor der Informatik an der Universität Siegen und habilitierte im Fachgebiet Industrial Engineering an der TU Wien.



Dipl.-Ing.

Theresa Madreiter

Senior Scientist, Forschungsgruppe Intelligente Instandhaltung und Produktentwicklung, Fraunhofer Austria Research GmbH



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Fazel Ansari

Leiter des Forschungsbereichs Produktions- und Instandhaltungsmanagement, Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften, TU Wien



Fotos: ©Fachhochschule Wiener Neustadt

Christian Schimper

ReSTex: Josef Ressel Zentrum für Verwertungsstrategien für Textilien

Das Josef-Ressel-Zentrum (JRZ) für Verwertungsstrategien für Textilien (ReSTex) befasst sich mit einer der Eckpfeiler des europäischen Green Deals zur Erreichung einer nachhaltigen Gesellschaft und Bioökonomie: dem Textilrecycling. Der Fokus liegt auf der Etablierung von zirkulären Systemen für Textilien und der Trennung von Gemischen aus Baumwolle und Polyester. Das JRZ ReSTex ist an der Fachhochschule Wiener Neustadt am Biotech Campus Tulln angesiedelt und wird von der Christian Doppler Forschungsgesellschaft (CDG) gefördert. Als wissenschaftlichen Partner sind die Universität für Bodenkultur Wien (BOKU University) und die Technische Universität Wien beteiligt. Die Industriepartner sind EREMA Engineering Recycling Maschinen und Anlagen GmbH und Starlinger & Co Gesellschaft m.b.H., die globale Anbieter von Maschinen für das Recycling von synthetischen Materialien wie PET sind, sowie Salesianer Miettext GmbH, Österreichs führender Anbieter für Miettextilien. Als innovative Recyclingstrategien für Textilien sind sowohl biotechnologische als auch chemische Prozesse angedacht, um ein geschlossenes Kreislaufsystem zu etablieren. Weitere Forschungsaspekte sind die Erarbeitung von Design-Empfehlungen für das Recycling, basierend auf Lebenszyklusanalysen, und der Entwicklung einer KI-gestützten Datenbank mit Spektraldaten von Baumwoll- und Polyester-Mischgeweben in verschiedenen Verhältnissen.

Background

Etwa 65 % der weltweiten Faserproduktion basieren auf synthetischen, erdölbasierten Fasern, zusätzliche 6 % entfallen auf synthetische Zellulosefasern wie Viskose oder Lyocell [1]. Polyethylenterephthalat (PET)-Fasern machen dabei rund 52 % der Faserherstellung aus und stellen 84 % der gesamten synthetischen Fasern dar [2]. Baumwollfasern machen etwa 23 % der produzierten Fasern aus. Zusammen repräsentieren Baumwolle und PET rund drei Viertel der globalen Faserproduktion.

Textilien verursachen weltweit mehr als 92 Millionen Tonnen Abfall jährlich [3]. Zahlen aus Deutschland zeigen, dass ca. 73 % der gebrauchten Textilien entweder thermisch verwertet oder auf Deponien entsorgt werden [4]. Der Rest umfasst Kleidung, die meist von sozio-ökonomischen Betrieben gesammelt wird und mithilfe von Sortierbetrieben zur Weiterverwendung aufgearbeitet wird: Etwa 62 % gehen in den Second-Hand-Markt inner- und außerhalb Europas, ca. 25 % werden zu Putzlappen oder Vliesstoffen verarbeitet, und 12 % sind so verschmutzt oder

von derart minderer Qualität, dass sie verbrannt werden müssen. Nur 1 % der Textilien werden nach Ergebnissen einer Studie der Ellen MacArthur Foundation [5] wieder zu neuen Textilien.

Die Europäische Union verfolgt das Ziel, Kleidung als Rohstoff im Kreislauf halten, und hat Textilien in den Europäischen Green Deal integriert. Die Abfallrahmenrichtlinie (EU) 2018/851 berücksichtigt Textilien erstmals in der europäischen Abfallwirtschaftspolitik. Der Circular Economy Action Plan [6], verabschiedet im März 2020, ist ein zen-

traler Bestandteil des Green Deals und hebt Textilien als einen Sektor mit hohem Potenzial für eine zirkuläre Wirtschaft hervor. Die Kommission definierte die „Road to 2030“ und veröffentlichte die „Strategie für nachhaltige und zirkuläre Textilien“ am 30. März 2022 [7]. Textilien sind nun als Teil des kommunalen Abfalls anerkannt, und seit 1. Januar 2025 wurde die systematische getrennte Sammlung von Textilien in den Mitgliedstaaten verbindlich eingeführt. Gemäß Artikel 11(6) der Richtlinie war die Kommission dazu verpflichtet, bis Dezember 2024 Zielvorgaben für die Wiederverwendung und das Recycling von Textilabfällen zu formulieren. Diese wurden bislang nicht festgelegt (Stand Februar 2025). Dennoch haben zahlreiche Mitgliedsstaaten bereits Maßnahmen ergriffen, um die Sammlung und das Recycling von Textilabfällen zu optimieren.

Die Vorschriften aus dem European Green Deal sehen vor, dass bis 2030 Textilprodukte auf dem EU-Markt langlebig, reparierbar und recycelbar sind. Darüber hinaus sollen sie größtenteils aus recycelten Fasern bestehen und frei von gefährlichen Substanzen sein. Bis dahin soll das Konzept der Kreislaufwirtschaft anstatt der Wegwerfmode zur Normalität werden, wobei hierfür die Produktionskapazitäten für Recycling in einem wettbewerbsfähigen, resilienten und innovativen Textilsektor aufgebaut werden müssen. In diesem Kontext übernehmen Hersteller Verantwortung entlang der gesamten Wertschöpfungskette, und werden verpflichtet, die Kosten für die Sammlung, Wiederverwendung und das Recycling von Textilabfällen zu tragen. Ein angedachter Eco-Modulationsbeitrag zielt darauf ab, die Einführung von zirkulären Ge-



schäftsmodellen und Produktkonzepten zu fördern. Er soll insbesondere Unternehmen unterstützen, die innovative Recyclingtechnologien entwickeln oder Artikel herstellen, die leichter recycelbar sind. Durch diese Maßnahme wird ein Anreiz geschaffen, nachhaltigere Lösungen auf den Markt zu bringen und somit die Umweltauswirkungen der Textilindustrie zu minimieren.

Das Josef-Ressel-Zentrum (JRZ) ReSTex wurde daher im Oktober 2023 am Biotech Campus Tulln der Fachhochschule Wiener Neustadt gegründet, um Lösungen für die Herausforderungen des Textilrecyclings in Österreich zu finden. Das Zentrum wird von der Christian Doppler Forschungsgesellschaft (CDG) gefördert und von einer starken Partnerschaft zwischen Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette und den Forschungseinrichtungen getragen. Langfristig soll es die Entwicklung und Optimierung verschiedener Textilrecyclingstrategien in Österreich ermöglichen und nationalen Unternehmen helfen, ein zirkuläres Textilökosystem zu etablieren. So wird das Zentrum Lösungen liefern, zukünftigen Herausforderungen zu begegnen und eine führende Rolle auf dem europäischen und globalen Markt einzunehmen.

Die Industriepartner des JRZ sind überwiegend material- oder technologiegetrieben und daran interessiert, einen zirkulären Prozess mit definierten Produkten und Verfahren zu entwickeln. Einer der Partner, Salesianer, liefert Post-Business-Textilien für die Prozessentwicklung und strebt an, eigene Produkte im Kreislauf zu halten. Die beiden anderen Partner, Starlinger und EREMA produzieren Maschinen für das Recycling synthetischer Materialien und möchten ihr Portfolio auf Fasertechnologie erweitern. Die partnerschaftliche Beteiligung zweier Wettbewerber an diesem Projekt unterstreicht dessen großes Potenzial. Der Markt der synthetischen Fasern ist etwa drei Mal so groß wie der der Plastikflaschen. Das JRZ bündelt die gemeinsamen Anstrengungen und generiert die notwendigen Daten zur Entwicklung und Optimierung neuer Recyclingverfahren für Rohmaterialströme aus

Baumwolle und PET. Diese Technologien dienen dabei als Modell für die erfolgreiche Transformation weiterer vergleichbarer Stoffströme.

Der Biotech Campus Tulln der Fachhochschule Wiener Neustadt ist Sitz des JRZ und befasst sich insbesondere mit der enzymatischen Trennung von Baumwoll-Polyester-Mischgeweben sowie mit Spektroskopie. Arbeiten zu zirkulärem Design wird in Zusammenarbeit mit dem Campus Wieselburg durchgeführt. Forschungspartner aus verschiedenen Universitäten unterstützen mit ihrer Expertise in spezifischen Fachbereichen: Die Universität für Bodenkultur Wien (BOKU University) beteiligt sich mit zwei Instituten: Das Institut für Umweltbiotechnologie (Department für Agrobiotechnologie, IFA-Tulln; Prof. Gübitz) unterstützt bei Enzymtechnologie und Biokunststofftechnologie, und das Institut für Chemie nachwachsender Rohstoffe (Prof. Rosenau) trägt mit umfangreichen Analysetechniken für Zellulose und der Untersuchung selektiver Quellmechanismen von Zellulose bei. Die Forschungsgruppe für Partikeltechnologie, Recyclingtechnologie und Technikbewertung der TU Wien (Senior Scientist Bartl) bringt Expertise aus früheren Projekten ein und übernimmt Aspekte der Prozessentwicklung sowie der Skalierbarkeit der entwickelten Prozesse. Alle Partner arbeiten gemeinschaftlich um ein Gesamtkonzept zu etablieren und um die beste Lösung für die Schließung eines definierten Kreislaufs im österreichischen Textilsektor zu finden.

Projektschwerpunkte

Das JRZ ReSTex ist in mehrere Forschungsbereiche gegliedert, um eine umfassende Entwicklung der Recyclingstrategien zu gewährleisten:

Design für Recycling

Dieser Bereich konzentriert sich auf die Entwicklung von recyclingfreundlichen Textildesigns, um die Materialrückgewinnung zu erleichtern. Das Ziel ist es, aktuelle Designeigenschaften zu identifizieren und solche zu optimieren, die das Recycling erleichtern, um die Komplexität



und die Kosten der Verarbeitung von Textilabfällen zu reduzieren. Zu den Hauptaufgaben gehört die Identifizierung von Merkmalen und Bewertung von Produktdesigns die das Recycling erschweren, wie zum Beispiel Mischmaterialkomponenten, Farbstoffe und nicht recycelbare Additive. Grundlegende Daten aus LCA und Lebenszykluskostenanalysen werden berechnet.

Identifizierung von Materialien

Diese Forschungsaktivitäten zielen darauf ab, eine umfassende Datenbank von Materialien zu erstellen, die in diesem Forschungsprojekt generiert werden – wobei hauptsächlich verschiedene Gehalte an Baumwolle und Polyester berücksichtigt werden. Ihre Eigenschaften werden durch spektroskopische Methoden untersucht. Zu den Aufgaben gehört das Sammeln und Analysieren von Spektraldaten mittels Nahinfrarot- (NIR), Mittel-Infrarot- (MIR) und Raman-Spektroskopie, um detaillierte Analysedaten zur Zusammensetzung aus verschiedenen Textilproben zu gewinnen.

Die so gewonnenen Daten dienen KI-Algorithmen zur Erstellung prädiktiver Modelle. Dabei soll eine robuste Datenbank aufgebaut werden, um die Sortier- und Verarbeitungseffizienz zu steigern und eine Echtzeitüberwachung des Recyclingprozesses zu ermöglichen.

Enzymatischer Abbau der Baumwolle

Der Fokus dieses Bereiches liegt auf der Optimierung der enzymatischen Entfernung von Baumwolle und der Entwicklung eines Verfahrens zur schnellen Trennung von Baumwolle und Polyester. Dies umfasst drei Hauptaktivitäten: (a) Screening und

Optimierung von Enzymformulierungen, um die effektivsten Enzymkombinationen zum Abbau der Baumwolle zu identifizieren; (b) Mechanische und chemische Vorbehandlungsmethoden zur Verbesserung der Enzymzugänglichkeit und Minimierung der Prozesszeit; und (c) das Sammeln von Daten, die für die Skalierung des enzymatischen Prozesses erforderlich sind.

Der Übergang von Labormaßstabexperimenten zu Pilotmaßstäben, der die Eignung für industrielle Anwendungen gewährleistet, erfolgt in iterativen Schritten und steht in engem Zusammenhang mit dem nächsten Forschungsbereich.

Verfahrenstechnik für die enzymatische Trennung von Textilien

Dieser Forschungsbereich, koordiniert von der TU Wien, beschäftigt sich mit den ingenieurtechnischen Aspekten der Skalierung des enzymatischen Abbaus. Verschiedene Reaktordesigns und Prozessflussdiagramme für großtechnische Operationen werden getestet, um die Leistung und Skalierbarkeit unter industriellen Bedingungen zu bewerten, und den enzymatischen Abbau mit nachgelagerten Prozessen abzustimmen. Eine nahtlose Integration mit nachgelagerten Separations- und Reinigungsstufen soll so gewährleistet und so ein kohärentes Recycling-System geschaffen werden.

Strategien für die selektive Auflösung cellulosischer Fasern

Dieser Bereich, geleitet vom Institut für Chemie nachwachsender Rohstoffe an der BOKU, übernimmt die Bereiche der Zellulosechemie und Zelluloseanalytik. Verschiedene Systeme für die effektivste Vorbehandlung der Baumwolle werden bewertet. Das umfasst analytische Methoden zur Bestimmung der Molekulargewichtsverteilung und oxidativer Schäden, die Bewertung der Anwendungsbereiche von recycelten Zellulosefasern und die Identifizierung von Nebenreaktionen.

Ansätze zur vollständigen Entfernung von Baumwoll-Rückständen, die die anschließende PET-Extrusion stören, runden diese Aktivitäten ab.

Optimierung der PET-Extrusion

Dieser Teil konzentriert sich auf die Verarbeitung der PET-Fraktion durch Extrusionsprozesse. Die Qualität des recycelten PET wird durch physikalische und chemische Eigenschaften beurteilt, um sicherzustellen, dass es den Industriestandards entspricht. Die Extrusionsparameter werden optimiert, um hochwertige PET-Granulate zu erzielen, die für die Wiederverwendung in der Textilproduktion geeignet sind.

Fazit

Das JRZ ReSTex stellt einen umfassenden Ansatz für das Textilrecycling dar, bei dem Universitäre Forschung mit Aspekten der praktischen industriellen Anwendungen kombiniert wird. Durch die Bewältigung der technischen Herausforderungen bei der Verarbeitung von Textilabfällen zielt dieses Projekt darauf ab, ein Modell für nachhaltiges Textilmanagement zu etablieren, das zu den übergeordneten Zielen des Europäischen Green Deals und der Kreislaufwirtschaft beiträgt.

Die Zusammenarbeit von akademischen und industriellen Partnern stellt sicher, dass die Ergebnisse dieses Projekts sowohl wissenschaftlich fundiert als auch kommerziell tragfähig sind, wodurch ein Baustein für die bedeutende Veränderung in der Textilwirtschaft gelegt wird.

Quellen

- [1] Bremen Cotton Report, "Forecast world fibre production," No. 05/06, Feb. 7, 2019.
- [2] C. Gschwandtner, "Outlook on Global Fiber Demand and Supply 2030," Lenzinger Berichte, vol. 97, pp. 11-19, 2022.
- [3] K. Niinimäki, G. Peters, H. Dahlbo, P. Perry, T. Rissanen, and A. Gwilt, "The environmental price of fast fashion," Nature Reviews Earth & Environment, vol. 1, no. 4, pp. 189-200, 2020.
- [4] S. Schlichter and R. Müller, "Up-cycling textile waste webinar," Jun. 21, 2022. [Online]. Available: <https://en.industryarena.com/vdma-textile->

machinery/webinar/videorecording/1373899414.

[5] Ellen MacArthur Foundation, A new textiles economy: Redesigning fashion's future, 2017. [Online]. Available: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>.

[6] The Commission to the European Parliament, A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe, COM/2020/98 final, 2020.

[7] The Commission to the European Parliament, EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles, COM/2022/141 final, 2022.

Autor

Dipl.Ing. Dipl.Ing. Dr. Christian Schimper promovierte in Cellulosechemie und ist Absolvent der Lebensmittel- und Biotechnologie an der

Universität für Bodenkultur, Wien. Sein Fokus ist nachhaltige Innovation. Als Mitbegründer von Acticell entwickelte und kommerzialisierte er neuartige Verfahren und umweltfreundliche Chemikalien für die ökologische Bleiche von Jeans.

In Zusammenarbeit mit den Marktführern für Prozesschemikalien und Maschinen ist es ihm gelungen diese Formulierungen erfolgreich in die Denim-Industrie einzuführen. Seit 2023 leitet er ein Forschungszentrum für Textilrecycling an der Fachhochschule Wiener Neustadt: das Josef Ressel Zentrum für Verwertungsstrategien für Textilien (ReSTex).

Projektdaten

Josef Ressel Centre for Recovery Strategies for Textiles, ReSTex
Biotech Campus Tulln, University of Applied Sciences Wiener Neustadt
www.fhwn.ac.at/en/research/josef-ressel-centre-restex

www.cdg.ac.at/en/research-units/labor/recovery-strategies-for-textiles
www.linkedin.com/company/jrc-restex

Das Josef Ressel Zentrum für Verwertungsstrategien für Textilien wird von der Christian Doppler Forschungsgesellschaft im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Wirtschaft sowie der Nationalstiftung für Forschung, Technologie und Entwicklung gefördert.



Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Dr. Christian Schimper
leitet das Josef Ressel Zentrum ReSTex am Biotech Campus Tulln der Fachhochschule Wiener Neustadt

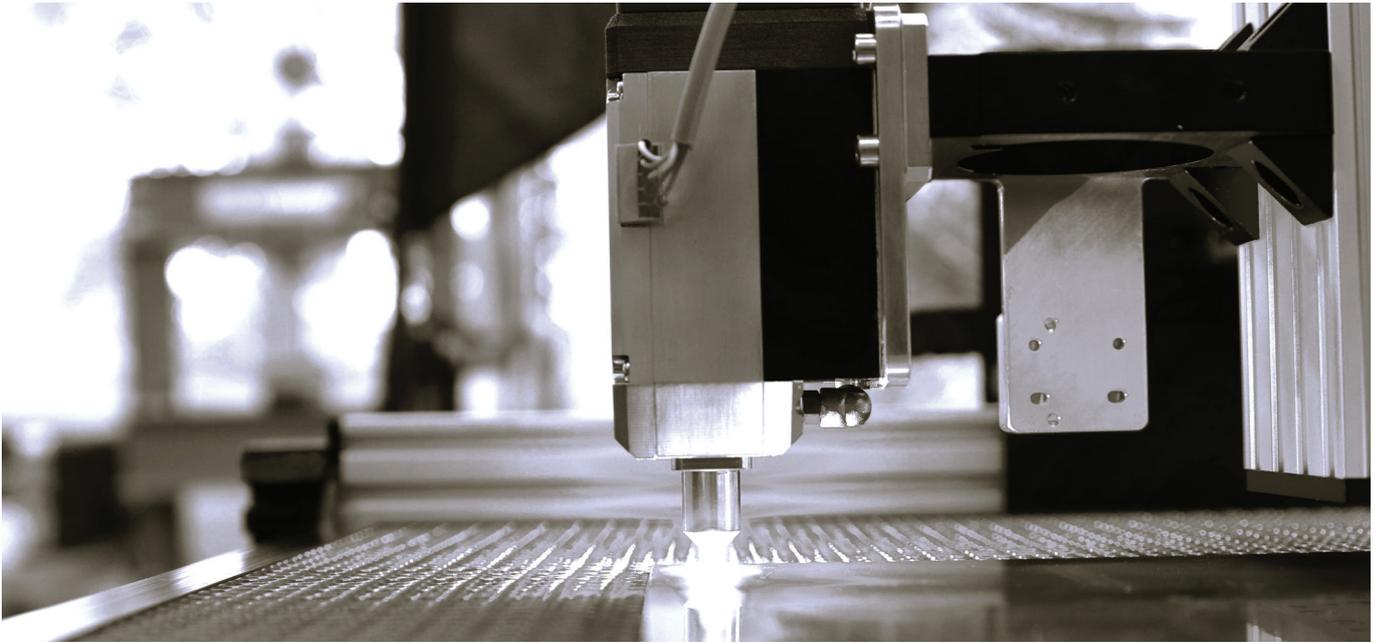


Foto: ©

Gregor Gluttig

Geschäftsmodelle im Wandel: Circular Economy als Erfolgsstrategie

Circular Business Models sind in aller Munde. Sie bieten die Möglichkeit zur langfristigen Abkehr von linearen Geschäftsmodellen. Dieser Artikel soll Antworten auf einige brennende Fragen liefern.

Was hat Kreislaufwirtschaft mit der Supply Chain zu tun?

Viele Unternehmen arbeiten an einer klimaneutralen Supply Chain, wobei diese traditionellen Lieferketten jedoch dem linearen Take-Make-Waste-Modell folgen. Die Betrachtung stoppt somit abrupt beim Kunden. Der Zugang zum Produkt geht verloren, die Geschichte endet, obwohl sie hier erst richtig an Fahrt aufnehmen sollte. Der langfristige Zugang zu hochwertigen Materialien und Komponenten der Produkte bleibt nur bei zirkulären Geschäftsmodellen gewährleistet. Durch einen zirkulären Ansatz erfolgt eine Abkehr von der linearen Betrachtung der Supply Chain hin zur kreislauffähigen Wertschöpfungskette.

Die Kreislaufwirtschaft beeinflusst daher jede Phase der Lieferkette, beginnend mit der Gewinnung von Rohstoffen bis hin zur Rückgewinnung und Wiederverwendung von Gütern.

Warum benötigen Unternehmen eine Kreislaufwirtschaftsstrategie?

Für das Unternehmen stellt die Abkehr von linearen Business-Modellen oftmals eine große Herausforderung dar. Nur wenn auch Unternehmensstrategie, Geschäftsprozesse und Führungskräfte im Einklang mit einem neuen, zirkulären Geschäftsmodell stehen, wird der kalkulierte Erfolg eintreten. Das heißt, es gilt die Kreislaufwirtschaftsstrategie in den langfristigen Unternehmenszielen zu verankern und die Menschen im Unternehmen entsprechend zu ermächtigen (z. B. durch Top-down Unternehmenskommunikation und interne Trainings).

Wie sehen typische Kreislaufwirtschaftsmodelle aus?

1. Circular Inputs

Viele Unternehmen nutzen die einfachste Form der Circular Business-Modelle bereits in Form von Abfallver-

meidung bzw. durch das Substituieren von nicht erneuerbaren Ressourcen in der Produktion mit recycelten, recyclebaren oder erneuerbaren Alternativen.

2. Resource Recovery

Ein weiterer Schritt ist die Verwendung von Sekundärrohstoffen, die durch Wiederaufbereitung und Recycling von Abfallströmen ermöglicht wird.

3. Product Lifetime Extension

Ein drittes Kreislaufwirtschaftsmodell erschließt sich in der Verlängerung des Produktlebenszyklus. Hier wird die Lebensdauer der Produkte durch Dienstleistungen wie Wartung, Reparatur oder Upgrades verlängert. Auch ein Wiederverkauf des aufbereiteten Produktes auf Sekundärmärkten zählt dazu.

4. Sharing-Plattformen und -initiativen

Sie ermöglichen eine intensivere Ressourcennutzung durch das gemein-



Abbildung 1: Typische Kreislaufwirtschaftsmodelle

samen Teilen von Produkten. Dabei werden digitale Plattformen genutzt, um die Produkte einer größtmöglichen Nutzergruppe zugänglich zu machen.

5. As-a-Service-Modelle

Sie stellen auf die Dienstleistungsorientierung ab. Nicht der Kauf des Produktes oder der Maschine steht im Vordergrund, sondern die Nutzung. Eigentümer des Produktes bleibt der Vertreter/Hersteller, sodass die Materialien und Komponenten der Produkte am Ende der Nutzungsdauer wiederverwertet werden können und bestenfalls im Kreislauf bleiben.

Deep dive: As-a-Service-Geschäftsmodelle

As-a-Service-Modelle in der Circular Economy stellen unter anderem Equipment-as-Service (z.B. im Maschinenbau oder in der Bauwirtschaft), Product-as-Service (z.B. im Werkzeug- oder Geräteverleih) oder Furniture-as-a-Service (z.B. im Möbel- und Innenausbau) dar.

Es gibt vielfache Treiber für die Einführung von As-a-Service-Geschäftsmodellen und damit für die Abkehr vom Produktverkauf hin zur Bereitstellung von Dienstleistungen:

- Time-to-Market-Perioden für neue Produkte werden immer schneller durchlaufen.
- Nutzer:innen sehen Eigentum vermehrt als Belastung und wünschen schnellen Zugang zu neuen Lösungen und Technologien.
- Nutzer:innen wollen die Verantwortung für Maschinen im Betrieb (Wartung, Instandhaltung, Reparatur) sowie für die aufwändige Entsorgung nicht mehr übernehmen.
- Der Druck auf Unternehmen zur Einführung von kreislauffähigen Produkten steigt zusätzlich durch entsprechende Regulatorik (z.B. ESRS 5 – European Sustainability Reporting Standards)

Welche Benefits ergeben As-a-Service-Modellen für bereitstellende Unternehmen als auch Nachfragende?

Vorreiter in der Kreislaufwirtschaft sein zu wollen und die damit einhergehende Erhöhung der Reputation reichen als Motivatoren für alternative Geschäftsmodelle nicht aus.

Vielmehr muss sich die Veränderung auch einnahmenseitig widerspiegeln. Die laufenden monatlichen

Einnahmen (MRR – monthly recurring revenue) stellen somit das Hauptargument für die Umstellung vom Verkauf von Produkten auf die Bereitstellung derselben inklusive eines entsprechenden Dienstleistungspackage dar.

Im Bereich von Equipment-a-Service ergeben sich für die Produktionsfirma folgende Benefits:

- Steigerung der Umsätze durch laufende Einnahmen
- Planbarkeit der Einnahmen durch langfristige Verträge
- Transparenz über den Zustand des Equipments
- Wiederverwendung der Maschinen und Teilkomponenten am Ende des Lebenszyklus
- Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards (z.B. in Zusammenhang mit CSRD)
- Enge Kund:innenbindung und Zugriff auf Nutzungsdaten

Aus der Perspektive der Nutzer:innen ergeben sich die folgenden Vorteile:

- Keine einmaligen Anschaffungskosten sondern Verteilung der Aufwände auf den Nutzungszeitraum
- Laufend neueste Produktupdates und Features
- Kosten für Wartung, Reparatur und Instandhaltung in Dienstleistungspaket enthalten
- Keine internen Ressourcen notwendig
- Entsorgungsaufwand entfällt

Welche Barrieren gibt es bei der Einführung von As-a-service-Modellen?

Die Einführung neuer Geschäftsmodelle geht mit einem Change Prozess einher. Deswegen empfiehlt es sich die Umstellung vorerst für eine bestimmte Produktlinie oder für einen selektierten Bereich – beispielweise für ein ausgewähltes Land – zu starten. Um die Akzeptanz im Unternehmen zu erhöhen, muss jedem Pilotprojekt ein entsprechendes Budget zugeordnet werden.

Unsicherheiten bestehen vor allem bei der Finanzierung der neuen Geschäftsmodelle. Der Produktverkauf

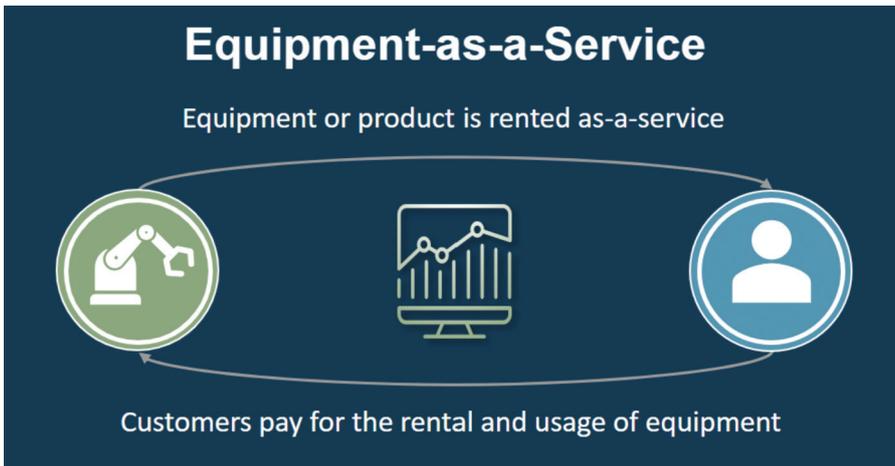


Abbildung 2: Equipment als Dienstleistung

fällt plötzlich weg, statt Cash-to-Order verlagern sich die Einnahmen nun auf mehrere Jahre. Das hat unmittelbare Auswirkung auf den Jahresabschluss. Die Finanzabteilung könnte sich daher diesen neuen Modellen widersetzen. Deswegen gilt es diese sowie die Unternehmensprüfer:innen rechtzeitig in die Prozesse miteinzubeziehen. Auch bieten Finanzierungsgesellschaften und -institute zunehmend entsprechende Finanzierungsmodelle an.

Fazit: Warum sollte mein Unternehmen auf Circular Business-Modelle umstellen?

Einerseits steigen die Erwartungen der Kunden in Hinblick auf kreislauffähige Geschäftsmodelle. Für sie steht oftmals die Dienstleistung (z.B. einer Maschine als ein As-a-Service-Modell) im Vordergrund, ohne für das Produkt die Verantwortung übernehmen zu müssen. Instandhaltung, Reparatur oder Entsorgung obliegen somit weiterhin dem Hersteller.

Andererseits zielen Regularien vermehrt auf die Kreislaufwirtschaft ab. Besonders im Rahmen der CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) sind Kreislaufwirtschaftsinitiativen der Unternehmen entspre-

chend zu berichten. Dabei beschäftigt sich der Standard ESRS* E5 eingehend mit Ressourcennutzung und Kreislaufwirtschaft.

Nicht zuletzt fließen Nachhaltigkeitsüberlegungen in die Unternehmensbewertung von Geldgebern und Investoren ein. Zirkuläre Business-Modelle fördern die positive ESG**-Bewertung von Finanzinstituten und somit die Zugänglichkeit zu vorteilhaften Finanzierungsmodellen.

*European Sustainability Reporting Standard

**ESG Environmental, Social und Governance

Autor:

Gregor Gluttig hält Vorträge zum Re-Design globaler Lieferketten und lehrt an der Wirtschaftsuniversität sowie an Fachhochschulen in den Bereichen des Risikomanagements und des nachhaltigen Supply Chain Managements. Im Circular Economy Forum Austria nimmt er die Rolle des Advisors im Bereich Circular Supply Chain Management ein. Als Geschäftsführer von inloop berät er Unternehmen ganzheitlich im Bereich der Supply Chain Strategie, Kreislaufwirtschaft, ESG, Logistik sowie Digitalisierung.





Foto: © Christina Fraueneder

Martin Tschandl, Wolfgang Lattacher, Erich Schwarz, Christine Lichem-Herzog, Franz Haas

Kreislaufwirtschaft

Warum jetzt Kreislaufwirtschaft und nicht später.

Die Implementierung der Kreislaufwirtschaft stellt einen wesentlichen Hebel zur nachhaltigen Transformation industrieller Wertschöpfungsprozesse dar. Angesichts der globalen Ressourcenknappheit und regulatorischen Anforderungen im Rahmen des Green Deals der EU sind Unternehmen gefordert, innovative Lösungen zur Umwelt- und Ressourcenschonung sowie Effizienzsteigerung zu entwickeln. Durch die frühzeitige Einführung zirkulärer Geschäftsmodelle können Unternehmen langfristige Wettbewerbsvorteile sichern, Kosten senken und regulatorische Risiken minimieren. Die wirtschaftliche Tragfähigkeit der Kreislaufwirtschaft ist somit nicht nur eine ökologische Notwendigkeit, sondern auch eine strategische Chance für Unternehmen in einem zunehmend nachhaltigkeitsorientierten Marktumfeld. Dieser Beitrag stellt die wichtigsten Themen des kürzlich von uns verfassten Praxishandbuchs zur Kreislaufwirtschaft komprimiert dar. Das Handbuch wird demnächst auf der Homepage des DIH Süd zum Download bereitstehen.

1. Von den Grenzen des linearen Wirtschaftssystems zur Kreislaufwirtschaft

Das herkömmliche Wirtschaftssystem basiert überwiegend auf dem „Take-Make-Waste“-Modell, das die Annahme unerschöpflicher Ressourcen impliziert. Dieser Ansatz führt zu einem exponentiellen Anstieg des globalen Rohstoffverbrauchs und stellt eine erhebliche Umweltbelastung dar (Blomsma et al., 2017, S. 603). Steigende Material- und Energiekosten, instabile Märkte, globale Lieferkettenprobleme und soziale Risiken sind die Folge für Unternehmen.

Die **Kreislaufwirtschaft** (Circular Economy) verfolgt das Ziel, Ressourcen effizient zu nutzen, indem sie Abfälle minimiert und Materialien

sowie Produkte in geschlossenen Kreisläufen hält. Unternehmen können dadurch vielfältige Vorteile realisieren:

- **Kosteneinsparungen:** Senkung der Material- und Produktionskosten durch effiziente Ressourcennutzung.
- **Versorgungssicherheit:** Reduzierung der Abhängigkeit von volatilen Rohstoffmärkten.
- **Risikomanagement:** Proaktive Anpassung an regulatorische Anforderungen, beispielsweise im Kontext der EU-Taxonomie und der Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD).
- **Kundengewinnung und Umsatzsteigerung:** Erfüllung der steigenden Erwartungen von In-

vestoren und Konsumenten an nachhaltige Geschäftsmodelle.

Frühzeitige Investitionen in zirkuläre Geschäftsmodelle erhöhen somit die betriebliche Resilienz, stärken die Innovationskraft und sichern langfristig die Rentabilität.

2. Die Kreislaufwirtschaft mittels „Landkarte“ überblicken...

Die Kreislaufwirtschaft orientiert sich an natürlichen Ökosystemen und verfolgt das Ziel, nachhaltige Stoffkreisläufe zu etablieren. Dabei wird zwischen zwei Hauptkreisläufen unterschieden:

- **Biologische Kreisläufe:** Abbaubare Materialien werden in die

KREISLAUFWIRTSCHAFT EIN INDUSTRIESYSTEM, DAS FÜR ERNEUERBARKEIT KONZIPIERT IST

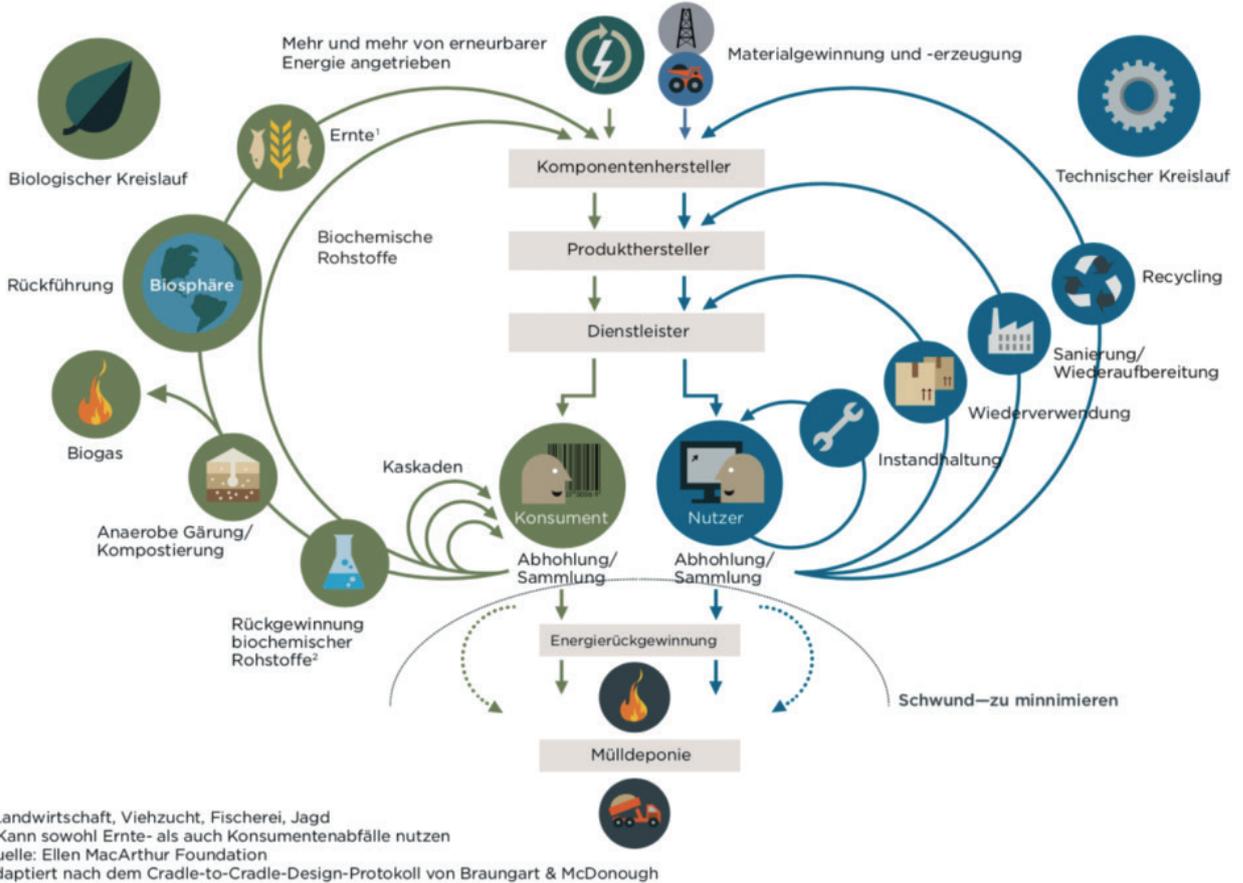


Abbildung 1: Schmetterlingsdiagramm der Kreislaufwirtschaft (Ellen MacArthur Foundation, 2013, S.24, modifiziert)

Umwelt zurückgeführt, wodurch natürliche Regenerationsprozesse gefördert werden.

- **Technische Kreisläufe:** Produkte und Materialien verbleiben so lange wie möglich im Wirtschaftskreislauf, indem sie gewartet, wiederverwendet oder recycelt werden.

Ein zentrales Modell zur Veranschaulichung dieser Prinzipien ist das Schmetterlingsdiagramm der Kreislaufwirtschaft, das die Wechselwirkungen zwischen Produktion, Konsum und Ressourcennutzung beschreibt.

3. ...und mit Strategien und konkreten Maßnahmen umsetzen

Ein erfolgreicher Übergang von einem linearen zu einem zirkulären Wirtschaftssystem erfordert tiefgreifende Anpassungen in verschiedenen Bereichen. Die **9R-** bzw. **10R-Strategie** bieten hierzu konkrete Handlungsfelder (siehe Tabelle 1 bzw. Muñoz et al., 2024, S. 401):

Neben der Anpassung der Produktgestaltung schlägt die Ellen MacArthur Foundation (2013) zusätzlich vor, Lieferketten und Geschäftsmodelle im Sinne der Kreislaufwirtschaft anzupassen.

4. Geschäftsmodelle kreislauffähig machen

Das Denken in Geschäftsmodellen unterstützt, die „Funktionsweise“ von Unternehmen besser zu verstehen und ausgehend davon systematisch Innovationen zu entwickeln. Das Geschäftsmodell beschreibt die Art und Weise, wie ein Unternehmen Wert für seine Kunden schafft, die Kunden dazu bringt, für den Wert zu bezahlen und diese Umsätze in Gewinne verwandelt (Tece 2010, S. 272). Ein Geschäftsmodell besteht aus mehreren Elementen und gibt Antworten auf folgende Fragen:

- **Nutzenversprechen:** Welchen Nutzen stiftet das Unternehmen mit seinen Produkten/Dienstleistungen den Kunden?

- **Wertschöpfungsarchitektur:** Wie werden die angebotenen Produkte und Dienstleistungen erstellt, d.h. wie sehen Inputfaktoren und Leistungserstellungsprozesse aus?
- **Kundenschnittstelle:** Wie wird die Zielgruppe in Bezug auf Kommunikation (Kanäle, Botschaften) und Distribution (Vertriebsformen) erreicht?
- **Ertragsmechanik:** Wie kann ein Teil der geschaffenen Wertschöpfung für das eigene Unternehmen lukriert werden? Kann das Unternehmen neben dem Produktverkauf auch andere Erlösquellen wie Vermietung, werbe- oder datenbasierte Ertragsgenerierung und Lizenznahmen erschließen?
- **Umweltwirkungen:** Welche positiven und negativen Effekte hat die Unternehmenstätigkeit auf die Umwelt?

Um das Geschäftsmodell nach den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft auszugestalten, gilt es, die oben genannten Elemente so zu verändern, dass die mit der Leistungserstellung

R-Strategy	Ziel der R-Strategie (Kirchherr et al., 2017, S.224; Morseletto, 2020, S.4-10)	Vorschläge für Maßnahmen
1-Refuse (vermeiden, ablehnen)	Vermeiden von Produkten oder Materialien. Betroffene Funktionen werden überflüssig, oder durch andere (nachhaltigere) Produkte erfüllt.	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung von überflüssiger Verpackung • Digitale statt physikalischer Produkte wie E-Books • Vermeidung von schädlichen, nicht erneuerbaren und/oder nicht rezyklierbaren Komponenten (z.B. Stecken statt Kleben)
2-Rethink (über-/umdenken)	Erhöhen der Nutzungsintensität von Produkten.	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionalität statt Produkte anbieten (z.B. Waschdienst statt Waschmaschinen) • Leasing- und Mietmodelle anbieten (...as a Service) • Carsharing
3-Reduce (reduzieren)	Materialverbrauch reduzieren und Prozesse effizienter gestalten.	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsprozesse effizienter gestalten durch Energie-, Wasser- und Rohstoffeinsparungen • Transportwege optimieren und Mobilität von Mitarbeiter:innen nachhaltig gestalten • Organisatorische Prozesse optimieren (z.B. durch digitale Transformation) • Leichtbauweise durch Material oder Bionic Design
4-Reuse (wiederverwenden)	Produkte, mit dem Ziel die ursprüngliche Funktion länger auszuführen, wiederverwenden.	<ul style="list-style-type: none"> • Verpackungen und Füllmaterial wiederverwenden • Alte Produkte und Komponenten für die Produktherstellung wiederverwenden • Produktrücknahmen anbieten und dadurch sekundäre Rohstoffe/Komponenten zurückgewinnen • Pfandsysteme für Mehrwegverpackungen
5-Repair (reparieren)	Defekte Bestandteile reparieren, womit Produkte mit der ursprünglichen Funktion länger verwendbar bleiben.	<ul style="list-style-type: none"> • Reparaturservices anbieten, um die Lebensdauer von Produkten zu verlängern und die Kundenbindung zu erhöhen, z.B. für Elektrogeräte • Regelmäßige Wartung und Reparatur von Anlagen
6-Refurbish (general-überholen)	Strategie „Reparatur“ erweitern, indem Produkte wieder funktionsfähig gemacht und auf den Stand der Technik gebracht werden.	<ul style="list-style-type: none"> • Veraltete Hardwarekomponenten im Produktionsbetrieb austauschen • Softwareupdates durchführen, um Anlagen auf den neuesten Stand zu bringen • Kleidung-Upcycling
7-Remanufacturing (wieder-aufbereiten)	Funktionsfähige Bestandteile von Produkten für neue funktionsgleiche Produkte verwenden.	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionsfähige Komponenten aus alten verkauften oder geleasten/gemieteten Produkten wiederverwerten • Produkte aus wiederverwerteten Komponenten anbieten, z.B. Druckerpatronen
8-Repurpose (umfunktionalisieren)	Funktionsfähige Bestandteile von Produkten für neue Produkte mit einer anderen Funktionalität verwenden.	<ul style="list-style-type: none"> • Nebenprodukte wie Verschnitte, Späne etc. weiterverwenden und zu neuen Produkten verarbeiten • Biologisch abbaubare Abfallprodukte als Dünger verwenden oder verkaufen • Upcycling von Materialien, z.B. Taschen, Schmuck
9-Recycle (wiederverwerten)	Materialien im selben oder geringerem Qualitätsgrad erhalten.	<ul style="list-style-type: none"> • Materialien zu neuen Produkten (Kunststoffflaschen zu Kleidung) • Produktionsreste recyceln für die Produkterstellung
10-Recover (Energie zurückgewinnen)	Nicht mehr in Produkten zu verwendende Materialien werden zur Energiegewinnung genutzt.	<ul style="list-style-type: none"> • Energie und Wärme aus Recoverquellen beziehen anstelle von Energiequellen aus primären Rohstoffen.

Tabella 1: Beschreibung der R-Strategien der Kreislaufwirtschaft

und -verwertung zusammenhängenden Stoffströme zirkulär verlaufen. Hierfür sind grundsätzlich die Geschäftsmodelle der wichtigsten Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette zu analysieren und zu innovieren (Frankenberger et al. 2021; Ritala et al. 2023; Takacs et al. 2020). Als erster Schritt kann jedoch mit dem eigenen Geschäftsmodell begonnen und bewusst nach Optionen zur Veränderung dieses Modells gesucht werden.

Beim **Nutzenversprechen** ist der Nutzen, den die Zirkularität den Kunden schafft, herauszuarbeiten.

Dieser kann in der gesteigerten Nachhaltigkeit, in Kosteneinsparungen und in individuelleren Produkten liegen. Nachhaltigkeit ist sowohl im B2B-Bereich im Lichte von ESG und CSR als auch im B2C-Bereich angesichts des „besseren Gewissens“ der Konsument:innen ein wesentlicher Mehrwert. Kosteneinsparungen können sich ergeben, wenn Produkte so designt sind, dass sie leicht reparierbar oder als Second Life-Produkte nutzbar sind. Weiters bieten modulare Angebote und Dienstleistungen anstatt Produkten eine zielgenauere Bedürfnisbefriedigung.

Bei der **Wertschöpfungsarchitektur** gilt es, die Inputfaktoren und Prozesse zu innovieren. Im Bereich der Inputfaktoren sind die eingesetzten Materialien auf ihre Kreislauffähigkeit zu untersuchen und gegebenenfalls auszutauschen. Hierbei bietet sich auch ein bewusstes Suchen nach wiederverwendbaren Produktteilen und Abfallstoffen an. Bei den Prozessen stellen Materialeinsparungen, der Einsatz von Rezyklaten und die Umsetzung von Produktion-on-Demand mögliche Hebel für eine höhere Kreislauffähigkeit dar.

Bei der Ausgestaltung der **Kundenschnittstelle** muss zunächst Klarheit über die Zielgruppe(n) gewonnen werden, wobei auch bewusst nach neuen Kundengruppen gesucht werden kann, für die Kreislaufwirtschaft einen besonderen Mehrwert darstellt. Im Vertriebsbereich sind Vorkehrungen zu treffen, damit das Produkt bzw. Produktteile nach der Verwendung wieder in den Kreislauf geführt werden – dies kann durch Rückgabe- und Reparaturangebote sowie die Etablierung von Second-Life-Plattformen erfolgen. In der Kommunikationspolitik sollten einerseits die Vorteile des kreislaufwirtschaftsbasierten Leistungsangebots hervorgehoben und andererseits Informationsarbeit geleistet werden, wie die Kunden selbst zur Kreislaufwirtschaft beitragen können.

Bei der Gestaltung der **Ertragsmechanik** sollten alternative Formen zur Erlösgenerierung via Verkauf überlegt werden, welche die Kreislauffähigkeit der Leistung unterstützen. Hierzu zählen beispielsweise mietbasierte Modelle, nutzungsabhängige Preisgestaltung und Rückgabeboni. Ferner können im B2B-Bereich Ausgleichszahlungen zwischen Partnern entlang der Wertschöpfungskette erforderlich werden, um für alle Beteiligten attraktive Rahmenbedingungen zu schaffen (siehe Abbildung 2).

Hinweis: Im Digital Handbook Kreislaufwirtschaft werden viele weitere Ansätze vorgestellt, wie Geschäftsmodelle in Richtung Kreislaufwirtschaft weiterentwickelt werden können.



Abbildung 2: Das Geschäftsmodell und mögliche Ansätze für zirkuläre Innovationen (Schwarz et al. 2021, modifiziert)

5. Fallbeispiele

Zwei Beispiele aus der Luftfahrt- und Automobilindustrie zeigen, wie Kreislaufwirtschaft erfolgreich umgesetzt werden kann:

In der **Luftfahrtindustrie** ermöglicht die Zerspanung von Aluminiumstrukturen ein *Closed-Loop-Manufacturing*, bei dem der Großteil des Materials im Kreislauf gehalten wird. Hochfeste Aluminiumbauteile für Flugzeugstrukturen werden durch Fräsen aus gewalzten Platten hergestellt. Dabei entstehen bis zu 90 % Späne und Zuschnitte, die durch optimierte Rückführungsprozesse wieder vollständig in den Produktionskreislauf integriert werden. Diese geschlossene Kreislaufstrategie reduziert nicht nur den Primärressourcenbedarf, sondern steigert auch die Ressourceneffizienz, minimiert Abhängigkeiten von Rohstoffmärkten und trägt zur Reduktion von CO₂-Emissionen bei. Zudem zeigt das Beispiel, dass selbst konventionelle Fertigungstechnologien in eine Kreislaufwirtschaft eingebunden werden können, wenn durch hochwertige Qualitätssicherung und optimierte Prozesse eine vollständige Materialverwertung sichergestellt wird.

In der **Automobilindustrie** ermöglicht ein konsequentes Batterie-Recycling die Verlängerung des Produktlebenszyklus. Der zunehmende Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien (LIB)

in Elektrofahrzeugen stellt Unternehmen vor die Herausforderung, Batteriepacks am Ende ihrer Lebensdauer effizient zu verwerten. Statt Batterien vollständig zu entsorgen, ermöglicht eine gezielte Demontage die Wiederverwendung von Batteriemodulen und -zellen für *Second-Life-Anwendungen*, beispielsweise als Energiespeicher im privaten oder industriellen Bereich. Studien zeigen, dass Fahrzeugbatterien am Ende ihrer ursprünglichen Nutzung noch eine Restkapazität von 70–80 % besitzen, die für alternative Anwendungen genutzt werden kann. Durch den Einsatz von robotergestützten Demontageprozessen und KI-gestützten Prüfverfahren kann der Zustand einzelner Module effizient bewertet und für eine zweite Nutzung vorbereitet werden.

Darüber hinaus fördert der geplante *Batteriepass* eine transparente Nachverfolgbarkeit über den gesamten Lebenszyklus der Batterie. Dies stellt sicher, dass Informationen über Herkunft, Nutzung und Zustand dokumentiert werden, um eine maximale Rohstoffrückgewinnung zu ermöglichen. Zudem reduziert eine konsequente Kreislaufstrategie die Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen wie Lithium und Kobalt, deren Gewinnung mit hohen ökologischen und sozialen Kosten verbunden ist (Schlögel et al., 2024).

6. Fazit

Kreislaufwirtschaft sollte nicht nur als ökologisches Konzept betrachtet werden, sondern bietet vielmehr bedeutende wirtschaftliche Chancen. Unternehmen, die auf geschlossene Materialkreisläufe setzen, profitieren von Ressourcensicherheit, Kostensparnissen und neuen Geschäftsmodellen. Zudem zeigen diese Ansätze, dass durch systematische Rückführung und nachhaltige Prozessgestaltung sowohl traditionelle als auch innovative Industriezweige von einer zirkulären Wirtschaft profitieren können.

Literatur:

Blomsma, F.; Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614. 10.1111/jiec.12603
 Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy Economic and business rationale for an accelerated transition. www.ellenmacarthurfoundation.org, adaptiert nach dem Cradle-To-Cradle-Design-Protokoll von Braungart & McDonough; www.bbbern.ch/kreislaufwirtschaft
 Frankenberger, K.; Takacs, F.; Stechow, R. (2021). A Step Toward Making Your Company More Sustainable. *Harvard Business Review Digital Article*
 Haas, F.; Lattacher, W.; Lichem-Herzog, C.; Schwarz, E.; Tschandl, M. (2025). *Kreislaufwirtschaft – Ein Handbuch für die Praxis*, Digital Innovation Hub Süd.
 Kirchherr, J.; Reike, D.; Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. 10.1016/j.resconrec.2017.09.005
 Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104553. 10.1016/j.resconrec.2019.104553
 Ritala, P.; Bocken, NMP; Konietzko, J. (2023). Three lenses on circular business model innovation. In: Alexander, A.; Pascucci, S.; Charnley, F. (Hrsg). *Handbook of the Circular Economy*. De Gruyter, S 175–190
 Schlögl G. et al. (2024). Sustainable Battery Lifecycle: Non-Destructive Separation of Batteries and Potential Second Life Applications, *Journal batteries*

Schwarz, E.J.; Gregori, P.; Krajger, I.; Wdowiak, MA. (2021). Entrepreneurial lean thinking for sustainable business modeling: a workshop design for incumbent firms. Sustainability Management Forum | NachhaltigkeitsManagementForum 29(1):41-55. 10.1007/s00550-020-00508-y

Takacs, F.; Stechow, R.; Frankenberger, K. (2020). Circular Ecosystems: Business Model Innovation for the Circular Economy. White Paper of the Institute of Management & Strategy, University of St. Gallen: 1-23

Teece, D.J. (2010). Business Models, Business Strategy and Innovation. Long Range Planning 43(2-3): 172-194. 10.1016/j.lrp.2009.07.003

AutorInnen:

Prof. Mag. Dr. Martin Tschandl ist Leiter des Wirtschaftsingenieurinsti-

tuts Industrial Management der FH JOANNEUM am Campus Kapfenberg. Prof. Tschandl forscht und lehrt in den Bereichen Strategische Unternehmenssteuerung, Lieferkette und Controlling, überall mit dem besonderen Fokus auf Digitalisierung und Nachhaltigkeit. martin.tschandl@fh-joanneum.at

Dr. Wolfgang Lattacher MSc. ist Senior Scientist am Institut für Innovationsmanagement und Unternehmensgründung der Universität Klagenfurt. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen Kreislaufwirtschaft, Digitalisierung und Wissenstransfer. wolfgang.lattacher@aau.at

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Erich J. Schwarz ist Vorstand des Instituts für Innovationsmanagement und Unternehmensgründung der Universität Klagenfurt. Prof. Schwarz forscht und lehrt in den Bereichen Entrepreneurship und Innovationsmanagement, wobei Kreis-

laufwirtschaft und soziale und ökologische Innovationen Schwerpunkte darstellen.

erich.schwarz@aau.at

Mag. Christine Lichem-Herzog ist Lecturer und Researcher am Wirtschaftsingenieur-Institut Industrial Management der FH JOANNEUM am Campus Kapfenberg. Ihre Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen Kreislaufwirtschaft und Industrie 5.0. christine.lichem-herzog@fh-joanneum.at

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas ist Vorstand des Instituts für Fertigungstechnik der TU Graz und Dekan der Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften. Er beschäftigt sich in Lehre und Forschung mit den Themen Präzisionstechnik, Additive Fertigung, Robotik und der Kreislaufwirtschaft in der Produktionstechnik. franz.haas@tugraz.at



Prof. Mag. Dr. Martin Tschandl

Leiter des Wirtschaftsingenieurinstituts Industrial Management der FH JOANNEUM am Campus Kapfenberg



Dr. Wolfgang Lattacher MSc.

Senior Scientist am Institut für Innovationsmanagement und Unternehmensgründung der Universität Klagenfurt



Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Erich J. Schwarz

Vorstand des Instituts für Innovationsmanagement und Unternehmensgründung der Universität Klagenfurt.



Mag. Christine Lichem-Herzog

Lecturer und Researcher am Wirtschaftsingenieur-Institut Industrial Management der FH JOANNEUM am Campus Kapfenberg



Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Franz Haas

Vorstand des Instituts für Fertigungstechnik der TU Graz und Dekan der Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Martin Atassi, Georg Thuswaldner

WING goes DEEEP

Mitglieder des WING Regionalkreises besuchten am 20. März die Tiefengeothermie-Bohrung in Wien-Aspern. Die Teilnehmer bekamen Einblicke in die Tiefenbohrung, um Geothermie als zukunftsorientierte Technologie kennenzulernen.

Neben zahlreichen Wohnhäusern und Industriegebäuden entsteht in der Seestadt Aspern die erste Geothermie Anlage Wiens. Im Joint Venture mit dem Namen „deep“ arbeiten die Unternehmen Wien Energie und OMV eng zusammen, um Tiefengeothermie im Großraum Wien nutzbar zu machen. Geothermie als Wärmequelle verfolgt 3 Ziele:

- Planbare Kosten für Wärme
- Unabhängigkeit von Gas und dadurch auch von Zuliefern außerhalb Österreichs
- CO₂-Neutralität für eine nachhaltige Nutzung

Geothermie nutzt die als Wärme gespeicherte Energie im Erdboden und kann sowohl für die Wärme als auch Stromerzeugung genutzt werden. Unter Geothermie versteht man jene Energie, welche als Wärme in Gestein oder in Grund- und Tiefenwässern gespeichert ist. Durch eine Tiefenbohrung gelangt man an Formations-

wasser, welches im gegenständlichen Projekt sich im „Aderklaaer Konglomerat“ sammelt.

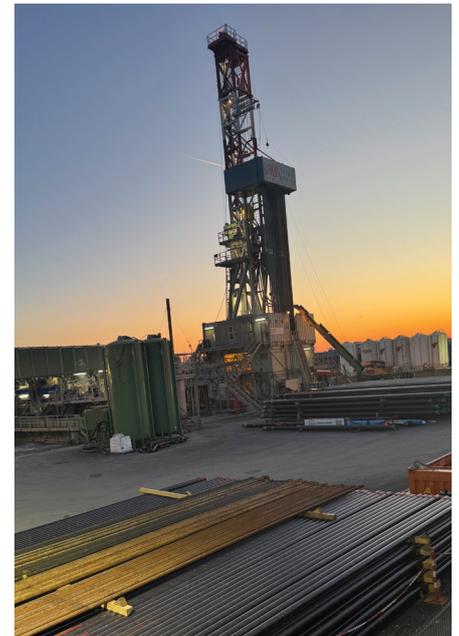
Zwei Bohrungen sind notwendig, um einen Kreislauf zu formen. Durch eine Förderbohrung wird das heiße Formationswasser an die Oberfläche gepumpt. Mittels eines Wärmetauschers wird an der Oberfläche die Wärme entnommen und in der Fernwärmenetz eingespeist. Über die zweite Bohrung wird das abgekühlte Formationswasser wieder zurück in das geothermische Reservoir geführt. So entsteht ein geschlossener Kreislauf, der eine nachhaltige Nutzung sicherstellt.

Geothermie zeichnet sich als zukunftsorientierte Technologie aus. Es bedarf verschiedener Ingenieurwissenschaften, um das Potential zu nutzen. Sie ist daher eine prädestinierte Technologie, um Wirtschaftsingenieurskompetenz einzubringen.

Factbox:

- 7 Anlagen sollen gebaut, die 200.000 Wiener Haushalte versorgen werden
- Eine Tiefenbohrung geht über 3.000 Meter unter die Oberfläche
- Das Bohrloch hat einen durchschnittlichen Durchmesser von 30cm
- Die erste Anlage geht 2028 in Betrieb und eine Leistung von 20 Megawatt

Bei der Vorortbesichtigung bieten Info-Räumlichkeiten einen themenbezogenen Überblick über die Aktivitäten an der Tiefengeothermie-Anlage in Aspern. Für die Besucher in



unmittelbarer Sichtweite, nur wenige Meter getrennt durch ein großes Glasfenster, arbeitet unentwegt der Bohrmeißel der durchführende Bohrfirma (RED Drilling & Services GmbH).

Dipl.-Ing. Peter Keglovic von der Projektgesellschaft „deep“ leitete über 1,5 Stunden die Besichtigungstour für die WINGs und brachte uns mit seinem fundierten Wissen in den Fachbereichen die vorherrschende Geologie und die angewendete Bohrtechnik näher. Dafür möchten wir uns herzlich bedanken!

Es war wieder eine gelungene Veranstaltung.

Martin Atassi und Georg Thuswaldner

WING Regionalkreis Wien, Niederösterreich und Burgenland

Weitere Infos unter:

<https://www.wienenergie.at/tiefengeothermie-aspern/>

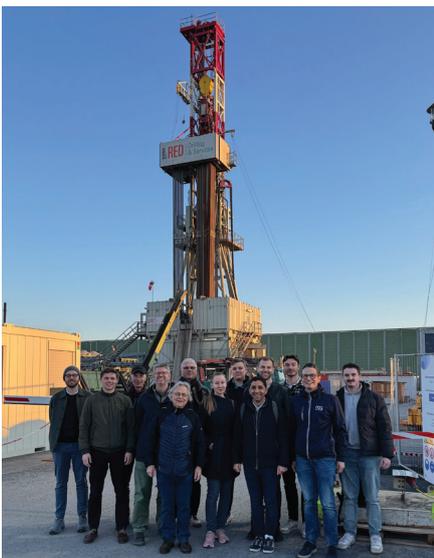




Figure 1. Smart Learning Factory – Skopje



Figure 2. Manual Assembly Station



Figure 3. Poka Yoke Assembly Station



Figure 4. AI VAS system



Foto: © Smart Learning Factory – Skopje (AISkills4Lean project), 2024

Atieh Karbasi

Enhancing operator's AI Skills for smart and lean manufacturing

As digital transformation accelerates worldwide, the manufacturing sector faces significant challenges. While 41.17 % of large EU enterprises have adopted AI technologies, only 13.48 % of all enterprises have done the same, revealing a major gap. This highlights the urgent need for initiatives that make advanced technologies more accessible, particularly for SMEs. The AISkills4Lean project is leading this effort, led by TU Wien, which equips small and medium-sized enterprises with the tools and knowledge to successfully integrate AI and Lean 4.0 principles into their manufacturing systems, ensuring they stay competitive in the digital era.

Empowering Through Practical AI Applications

AISkills4Lean is not just about theory; it's about practical implementation. By customizing open-source voice assistant systems, the project enhances information accessibility within work systems, leading to improved training quality in learning factory contexts. This approach offers low-cost digitalization solutions, ensuring technical scalability and ease of deployment across various partners.

Such innovations are crucial for SMEs striving to remain competitive in a rapidly evolving market.

The integration of AI into manufacturing processes offers tangible benefits. Companies adopting AI and Industry 4.0 technologies have reported at least a 6 % annual boost in productivity. These advancements not only enhance operational efficiency but also accelerate sustainability efforts, aligning with global trends toward greener manufacturing practices.

A Collaborative and Multinational Effort

AISkills4Lean's strength lies in its collaborative approach. By evaluating implementations in learning factories and SMEs in north Macedonia and Greece like Fitofarm Plus, the project ensures that solutions are tailored to diverse organizational needs. This adaptability is further enhanced by the project's capacity to accommodate different languages, reflecting the multicultural fabric of the region.

This project exemplifies the proactive steps being taken to integrate AI into manufacturing work systems in SEE. By providing structured roadmaps and hands-on training, it empowers organizations to navigate the complexities

of digital transformation confidently. As AI continues to reshape industries worldwide, initiatives like AISkills4Lean ensure that SEE's manufacturing sector is not left behind but leads with innovation and resilience.

In conclusion, AISkills4Lean is a catalyst for change, driving the evolution of manufacturing in South-East Europe toward a smarter, more sustainable future.

Atieh Karbasi has been a PhD candidate and research assistant at the Institute of Management Sciences at TU Wien since 2022, where she works in the Production and Maintenance Management (PIM) research Unit after completing her degree in Industrial Engineering. Her research focuses on inclusive design of work systems and the integration of new technologies to enhance inclusivity and human-centered approaches in manufacturing. Through her work, she aims to develop innovative strategies that make workplaces more accessible and adaptive, ensuring that digital transformation benefits a diverse workforce.



Atieh Karbasi, M.Sc.

PhD candidate and research assistant at the Institute of Management Sciences, TU Wien



WING to your success

...wir sind für Sie garantiert von Nutzen ...

Gerade in Zeiten wie diesen stellen ein reizvoller Workshop, das Verteilen von lukrativen Flyern oder eine interessante Firmenpräsentation effiziente und kostengünstige Möglichkeiten zur Werbung für Unternehmen in Fachkreisen dar. Hervorzuheben ist der Zugang zur Technischen Universität als Innovations- und Forschungsstandort der besonderen Art, denn im Zuge von Bachelor- und/oder Masterarbeiten können Sie Studenten in Ideen für Ihre Firma miteinbeziehen und mit ihnen innovative Lösungen ausarbeiten. Nicht zuletzt wird auf diesem Weg auch für die Zukunft vorgesorgt.

Denn schließlich sind es die heutigen Studenten der Technischen Universität, die morgen als Ihre Kunden, Händler oder Lieferanten fungieren. Mit WINGnet-Werbemöglichkeiten kann man diese nun schon vor dem Eintritt in das Berufsleben von sich und seiner Firma überzeugen und somit eine gute Basis für eine langfristige und erfolgreiche Zusammenarbeit schaffen. WINGnet Wien veranstaltet mit Ihrer Unterstützung Firmenpräsentationen, Workshops, Exkursionen sowie individuelle Events passend zu Ihrem Unternehmen. WINGnet Wien bieten den Studierenden die Möglichkeit- zur Orientierung, zum Kennenlernen interessanter Unternehmen und Arbeitsplätze sowie zur Verbesserung und Erweiterung des universitären Ausbildungsweges. Organisiert für Studenten von Studenten. Darüber hinaus bietet WINGnet Wien als aktives Mitglied von ESTIEM (European Students of Industrial Engineering and Ma-



Die **WIRTSCHAFTSINGENIEURE**

agement) internationale Veranstaltungen und Netzwerke. In 24 verschiedenen Ländern arbeiten 66 Hochschulgruppen bei verschiedenen Aktivitäten zusammen und treten so sowohl untereinander als auch zu Unternehmen in intensiven Kontakt. Um unser Ziel - die Förderung von Studenten - zu erreichen, benötigen wir Semester für Semester engagierte Unternehmen, die uns auf verschiedene Arten unterstützen und denen wir im Gegenzug eine Möglichkeit der Firmenpräsenz bieten. Die Events können sowohl in den Räumlichkeiten der TU Wien als auch an dem von Ihnen gewünschten Veranstaltungsort stattfinden. Weiters können Sie die Zielgruppe individuell bestimmen. Sowohl alle Studienrichtungen als auch z.B. eine Festlegung auf Wirtschaftswissenschaftlichen Studiengängen ist möglich. Außerdem besteht die Möglichkeit eine Vorauswahl der Teilnehmer, mittels Ihnen vorab zugesandten Lebensläufen, zu treffen.

Auf unserer Webseite <http://www.wing-online.at/de/wingnet-wien/> finden Sie eine Auswahl an vorangegangenen Events sowie detaillierte Informationen zu unserem Leistungsumfang

WINGnet Wien: Theresianumgasse 27, 1040 Wien,
wien@wingnet.at ZVR: 564193810

WINGbusiness Impressum

Medieninhaber (Verleger)

Österreichischer Verband der Wirtschaftsingenieure
Kopernikusgasse 24, 8010 Graz
ZVR-Zahl: 026865239

Editor Heft 1/2025

Dipl.-Ing.Dr. Selim Erol
E-Mail: selim.erol@fhwn.ac.at

Redaktion/Layout

Chefin vom Dienst & Marketingleiterin:
Mag. Beatrice Freund
Tel. +43 (0)316 873-7795, E-Mail: office@wing-online.at

Editorial Board

Prof. Dipl.-Ing. Dr. Kurt Matyas
E-Mail: kurt.matyas@tuwien.ac.at
Dipl.-Ing. Gerhard.Laubichler
E-Mail: gerhard.laubichler@tugraz.at
Dipl.-Ing. Thomas Draschbacher
E-Mail: thomas.draschbacher@tugraz.a
Dipl.-Ing. Mario Hoffelner
E-Mail: mario.hoffelner@unileoben.ac.at
Dr. Christian Burkart
E-Mail: christian.burkart@fh-joanneum.at
Dipl.-Ing. Johannes Dirnberger-Wild
E-Mail: johannes.dirnberger@fh-joanneum.at

Anzeigenleitung/Anzeigenkontakt

Mag. Beatrice Freund
Tel. +43 (0)316 873-7795, E-Mail: office@wing-online.at

Druck

Druckhaus Scharmer GmbH,
Europastraße 42, 8330 Feldbach
Auflage: 1.800 Stk.
Titelbild: (c) Shutterstock, mit ChatGPT und den Stichworten
Kreislaufwirtschaft und Remanufacturing generiert

WING-Sekretariat

Kopernikusgasse 24, 8010 Graz,
Tel. (0316) 873-7795, E-Mail: office@wing-online.at
WING-Homepage: www.wing-online.at

Erscheinungsweise

4 mal jährlich, jeweils März, Juli, Oktober sowie Dezember. Nachdruck oder Textauszug nach Rücksprache mit dem Editor des „WINGbusiness“. Erscheint in wissenschaftlicher Zusammenarbeit mit den einschlägigen Instituten an den Universitäten und Fachhochschulen Österreichs. Der Wirtschaftsingenieur (Dipl.-Wirtschaftsingenieur): Wirtschaftsingenieure sind wirtschaftswissenschaftlich ausgebildete Ingenieure mit akademischem Studienabschluss, die in ihrer beruflichen Tätigkeit ihre technische und ökonomische Kompetenz ganzheitlich verknüpfen. WING - Österreichischer Verband der Wirtschaftsingenieure ist die Netzwerkplattform der Wirtschaftsingenieure. ISSN 0256-7830



**FACHHOCHSCHULE
WIENER NEUSTADT**

University of Applied Sciences – Austria

**Mit
Online-
Anteilen!**

KARRIERE- BOOSTER?

Die Fachhochschule Wiener Neustadt bietet zukunftsweisende Bachelor- und Masterstudiengänge in diversen Technikbereichen – ideal für Berufstätige, die den nächsten Karriereschritt planen.

Wiener Neustadt

- Aerospace Engineering
- Computer Science*
- Informatik
- Mechatronik
- Mechatronik | Mikrosystemtechnik
- Robotik
- Wirtschaftsingenieur

**Alle Infos unter:
fhwn.ac.at/technik**

Wieselburg

- Agrartechnologie & Digital Farming
- Eco Design
- Nachhaltige Produktion & Kreislaufwirtschaft
- Regenerative Energiesysteme
& technisches Energiemanagement

Tulln

- Bio Data Science
- Biotechnology & Analytics
- Biotechnische Verfahren
- Softwaretechnik & Digitaler Systembau

