Hochschule
Albstadt-Sigmaringen

Albstadt-Sigmaringen University

Nachhaltige Verpackungskonzepte als Schlüssel zur kreislauforientierten Bioökonomie – Nutzen und Umsetzungspotenziale

Prof. Dr. Markus Schmid (schmid@hs-albsig.de)
Alina Kleiner, M. Sc.
Mara Strenger, M.Sc.

Hochschule Albstadt-Sigmaringen
Fakultät Life Sciences
Sustainable Packaging Institute SPI

Online Veranstaltungsreihe der Kompetenzstelle Ressourceneffizienz Hochrein-Bodensee: KMU Schlüssel zum Meistern der Klimakrise

Online, 20. März 2025

K-EFF+

Das SPI in Sigmaringen

Forschungsfabrik

Startup - Zentrum

Akademie

- Das Sustainable Packaging Institute, kurz SPI, lehrt & forscht in sechs Themenfeldern

- Das SPI hat den Forschungsschwerpunkt „**Nachhaltige Verpackungskonzepte**“

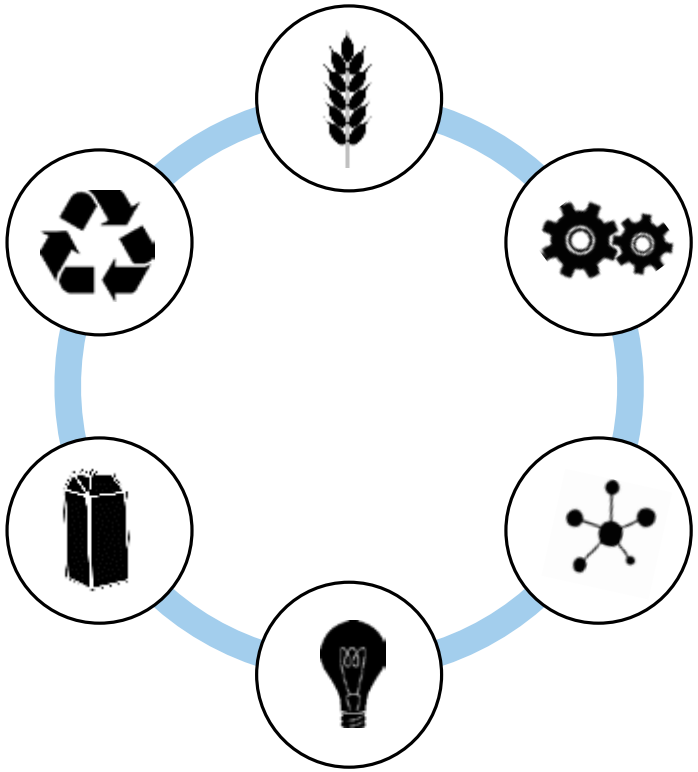
Unsere Vision ist eine nachhaltigere kreislauforientierte Bioökonomie.

Mission Statement

„Alle Akteure der Verpackungswirtschaft entlang der gesamten Wertschöpfungskette in der Life Science Industrie auf ihrem Weg zu einer nachhaltigeren, kreislauforientierten Bioökonomie, kompetent und ganzheitlich zu unterstützen.“

Themenfelder des SPI

1. Biogene Rohstoffe



2. Prozesstechnik & Prozessdesign

3. Funktionsmaterialien

4. Smarte Verpackungen (Aktive & Intelligente Verpackungen)

5. Haltbarmachung & Verpackung

6. Bioökonomie & Nachhaltigkeit (Konzepte, Bewertung & Wahrnehmung)

Projekte am SPI

BUSINESS

PLA2Scale

PackMit

ZIM - Heyne & Penke
ZIM - Hugo Beck
ZIM - DDV

SmartMaterial

Projektvorstellungen und Projektupdates finden Sie unter: www.hs-albsig.de/spi

Kurze Einleitung

Kreislauforientierte Bioökonomie in der Verpackungsindustrie

(siehe Vortrag mit diesem Titel vom ZLV Verpackungssymposium 2023)

Nachhaltigkeitsaspekte bei Verpackungen

- Produktschutz & Verlängerung der Haltbarkeit durch Lebensmittelverpackungen à ökologischer Nutzen durch vermiedene Lebensmittelabfälle im Schnitt 5 – 10 Mal größer als die potenziellen Umweltwirkungen von Verpackung[1]

- 50,5 % der deutschen Bevölkerung* (n=1029, März 2023) glauben, dass Verpackungen im Durchschnitt größere Auswirkungen auf Umwelt & Klima haben als die verpackten Produkte[3]

* Repräsentative Befragung durch INNOFACT im Auftrag des Deutschen Verpackungsinstituts e. V. (dvi)

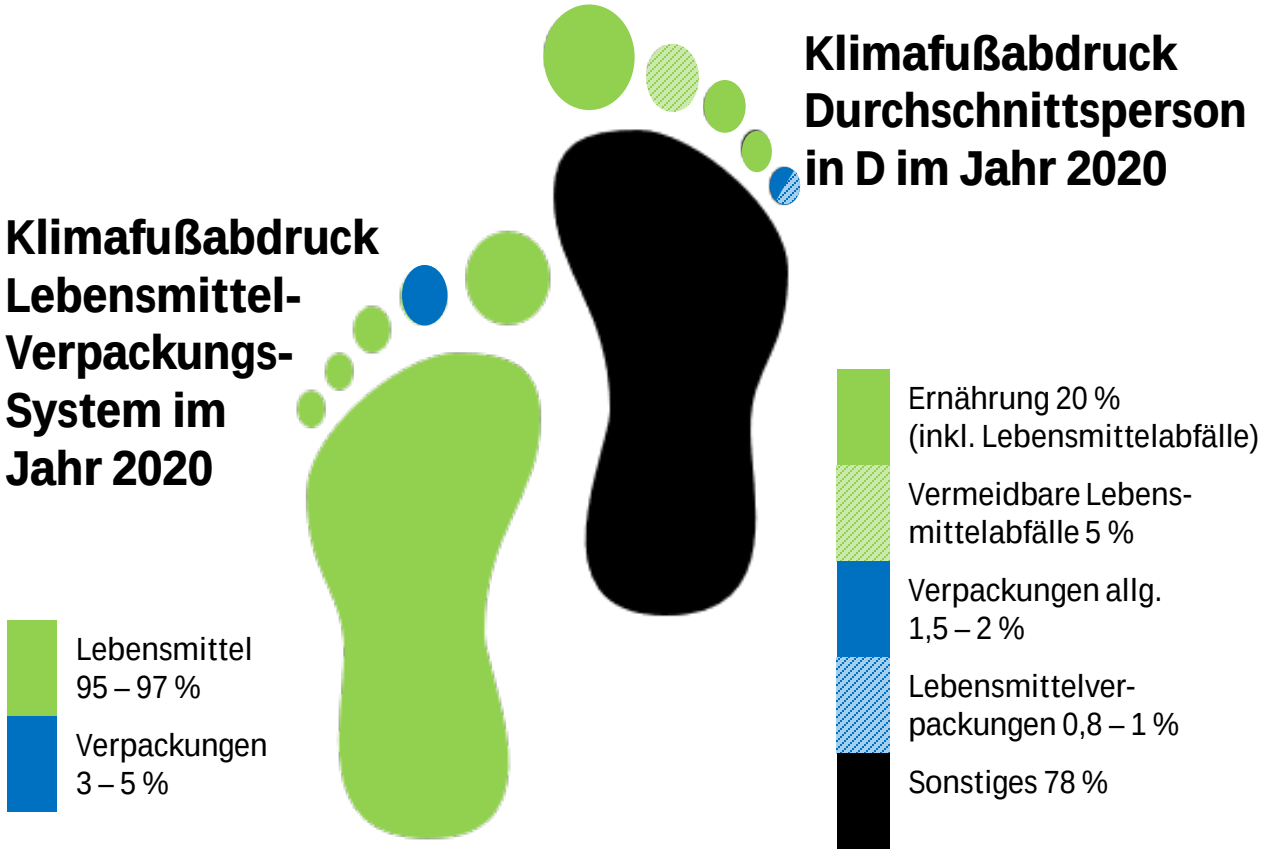


Abb.: Klimafußabdrücke deutsche Durchschnittsperson und Lebensmittel-Verpackungs-System, eigene Darstellung gemäß [1, 2]

Nachhaltigkeitsaspekte bei Verpackungskonzepten

Zu berücksichtigende Nachhaltigkeitsaspekte bei der Quantifizierung potenzieller Umweltwirkungen von Verpackungskonzepten:

- Potenzielle Umweltwirkungen der Dimensionierung
- Erweiterte Nachhaltigkeitsaspekte von Lebensmittelabfällen, insbesondere bei Unterdimensionierung

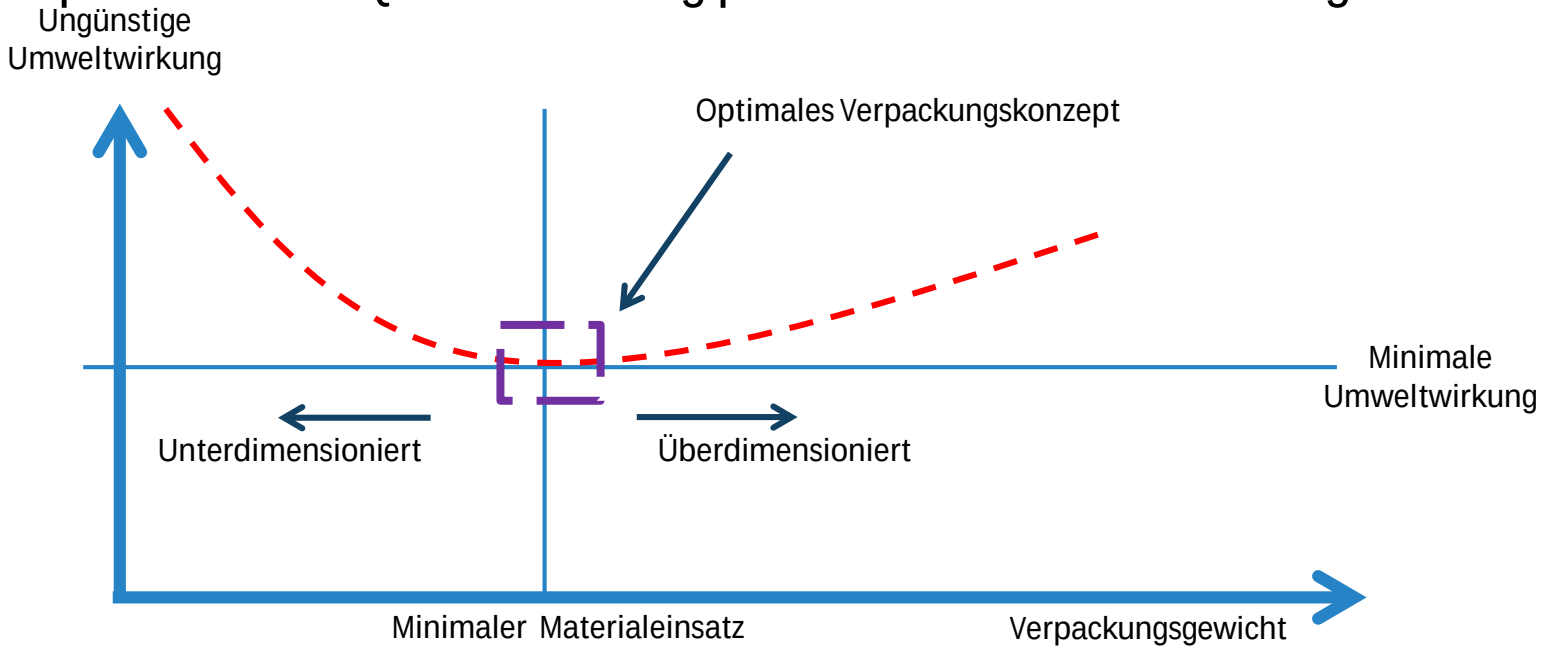


Abb.: optimales Verpackungskonzept in Anlehnung an [7]

à überwiegender Teil der Ressourcen ist mit dem Packgut & nicht dem Packmittel verbunden, **ABER** keine Legitimation Verpackungen nicht auch als Ressource in eine möglichst hohe Wertschöpfung zu überführen

Status quo & alternative Wirtschaftsweisen

Vorherrschende lineare Produktions-, Konsum- & Entsorgungsformen in Verbindung mit einer wachsenden Weltbevölkerung[8] haben ökologische, ökomische & soziale Folgen [9]

à Transformation erforderlich

ALTERNATIVEN

KREISLAUFWIRTSCHAFT

ZIEL: Wirtschaftswachstum vom Ressourcenverbrauch entkoppeln[10] & Materialien/Produkte so lange wie möglich in technischen oder biologischen Wertschöpfungskreisläufen führen [11]

ABER: rohstoffseitig verlustbehaftet & bei Nutzung fossiler Energieträger nicht ohne Umweltwirkung realisierbar [12]

BIOÖKONOMIE

ZIEL: Übergang von einer fossilen zu einer biologischen Ressourcennutzung [13]

ABER: nicht zwingend Umweltentlastung eher Lastenverschiebung & häufig geringere Funktionalität biobasierter Materialien im Vergleich zu fossil-basierten Materialien [14]

Konzept kreislauforientierte Bioökonomie

- Kreislaufwirtschaft & Bioökonomie: inhaltliche Überschneidungen, nicht zwangsläufig konträr, bedingen sich aber auch nicht notwendigerweise [15]
- „bio“ oder „kreislauforientiert“ ≠ Synonyme für „nachhaltig“
- Kombination aus Kreislaufwirtschaft & Bioökonomie
  = **kreislauforientierten Bioökonomie**
  à beide Konzepte für sich genommen führen nicht zum Ergebnis einer restaurativen <u>und</u> regenerativen Wirtschaft [16]

Künstliche Intelligenz als Katalysator für die Transformation der Verpackungsindustrie

Anwendungsbereiche – Chancen & Herausforderungen

Was ist Künstliche Intelligenz (KI) ?

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Bereich der Informatik, der sich mit der Entwicklung von Systemen befasst, die Aufgaben übernehmen können, die normalerweise menschliche Intelligenz erfordern. Dazu gehören Fähigkeiten wie Lernen, Problemlösung, Mustererkennung, Sprachverstehen und Entscheidungsfindung. KI-Systeme nutzen Algorithmen und Modelle, um aus Daten zu lernen und sich zu verbessern. Es gibt verschiedene Ansätze zur KI, darunter maschinelles Lernen, neuronale Netze und regelbasierte Systeme. KI findet Anwendungen in zahlreichen Bereichen wie Medizin, Finanzen, Transport und Unterhaltung.

Hallo ChatGPT, was ist eigentlich KI?

Hallo ChatGPT, was ist eigentlich KI?

KI - Übersicht & mögliche Klassifizierung

KI kann auf unterschiedliche Weisen klassifiziert werden:

Funktionalität [20], z. B.
- reaktive Maschinen
- beschränkte Erinnerung
- selbstbewusste KI

Anwendung [20], z. B.
- Sprachverarbeitung
- Computer Vision / Bilderkennung
- Robotik
- Expertensysteme

Technologie [19, 20], z. B.
- Maschinelles Lernen
  - überwachtes Lernen
  - unüberwachtes Lernen
  - bestärktes Lernen
- Deep Learning

Intelligenzniveau [19], z. B.
- schwache KI
- starke KI

- Zuordnung spezifischer KI-Modelle zu unterschiedlichen Klassen aufgrund der Interdisziplinarität & Überschneidungen zwischen verschiedenen Modellen und Ansätzen [20] häufig nicht möglich / zielführend
- häufig Kombination von Technologien & Anwendungsbereichen

Abb.: Schematische Darstellung zur möglichen Klassifizierung von Künstlicher Intelligenz *relevant für kreislauforientierte Bioökonomie*

KI - Übersicht & Abgrenzung nach Technologie [19]

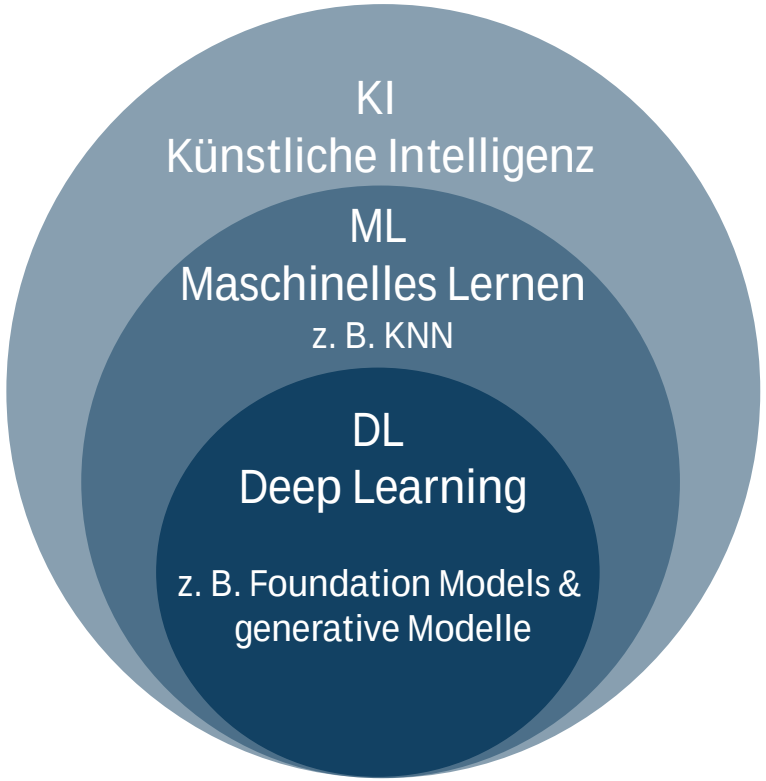
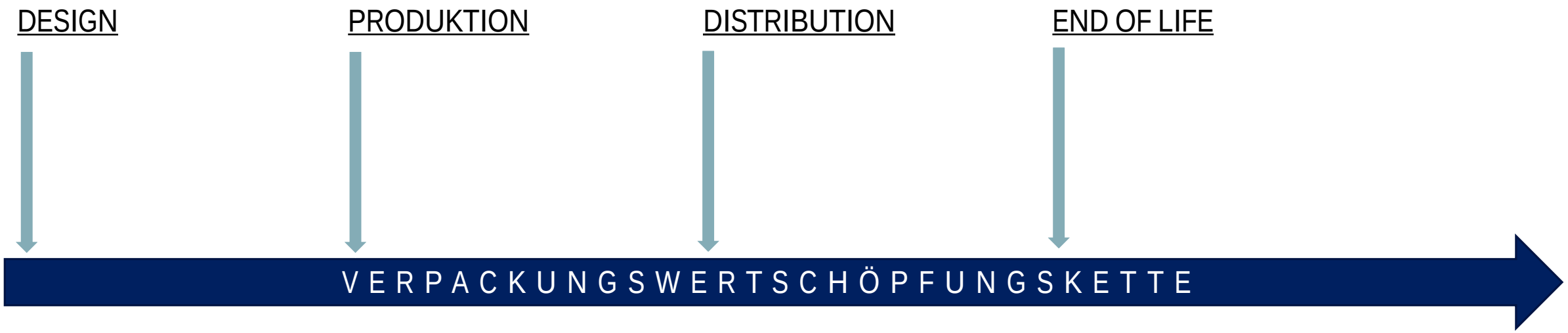


Abb.: Schematische Darstellung zur Abgrenzung von Teilbereichen der Künstlichen Intelligenz . (Eigene Darstellung in Anlehnung an [19])

- KI: maschinelle Nachbildung von kognitiven menschlichen Fähigkeiten
- ML: Algorithmen, die aus Daten lernen & Entscheidungen treffen, verschiedenen Verfahren kommen zum Einsatz z.B. künstliche neuronale Netzwerke (KNN),
- DL: spezielle Klasse von KNN mit besonders tiefen, komplexen Architekturen und einer großen Anzahl von zu lernenden Parametern, z.B.
  - Foundation Models zur **Unterstützung mehrerer Modalitäten** (Text, Bild, Video), z.B. GPT
  - generative Modelle, z.B. GPT können komplexe Verteilungen von Trainingsdaten modellieren und daraus **neue Daten erzeugen**

Übersicht Einsatz KI Verpackungsindustrie



DIGITALISIERUNG als Grundlage für

- Datenerfassung und –analyse
- Automatisierte Prozesse

Übersicht Einsatz KI Verpackungsindustrie

DESIGN

- Optimierung der Materialauswahl und –nutzung [21, 22, 23], z. B. Rohstoffauswahl / Biomasse / Rest- & Nebenstoffe
- Simulation bzw. Vorhersage Materialeigenschaften [21, 23]
- Identifikation des Optimierungspotentials bestehender Verpackungen [21]
- Lebenszyklusanalysen zur Erfolgskontrolle oder begleitend, z. B. Tool zur Unterstützung bei CO_2-Bilanz[31]
- Shelf-life Modelling [32], für neue Lebensmittel (z.B. vegane Alternativen) fehlen erforderliche Daten

V E R P A C K U N G S W E R T S C H Ö P F U N G S K E T T E

Bildquellen: adobe stock, pairson (links) & Pakin (rechts)

Übersicht Einsatz KI Verpackungsindustrie

DESIGN

PRODUKTION

- Energieverbrauch überwachen [24] und minimieren [21]
- Anlageneffizienz durch vorausschauende Wartung steigern [21, 22, 24]
- Qualitätskontrolle: Fehlererkennung mithilfe visueller Systeme [21, 22]

V E R P A C K U N G S W E R T S C H Ö P F U N G S K E T T E

Bildquellen: adobe stock, Artur (links) & pgn-jpeg-vector (rechts)

Übersicht Einsatz KI Verpackungsindustrie

DESIGN

PRODUKTION

DISTRIBUTION

- Vorhersage von Verbrauchertrends & Nachfrageprognose [30]
- Optimierung des Bestandmanagements: [30]
  Vermeidung von Überproduktion & Lagerüberschüssen [29]

V E R P A C K U N G S W E R T S C H Ö P F U N G S K E T T E

Bildquelle: adobe stock, Kiattisak

Übersicht Einsatz KI Verpackungsindustrie

DESIGN

PRODUKTION

DISTRIBUTION

END OF LIFE

- Materialerkennung auf Sortierbändern [24]
- Sortierung mit KI-ausgestatteten robotischen Armen [25, 27]
- Prüfung Rezyklatqualität [24]

V E R P A C K U N G S W E R T S C H Ö P F U N G S K E T T E

à Erhöhung der Recyclingquoten & Rezyklatqualität [27]
(siehe z. B. SPI Projekt KIOptiPack)

KI OPTIPACK

Bildquelle: adobe stock, Serge's AI Art

Herausforderungen

- Datenverfügbarkeit & –sicherheit [21, 22, 23, 25]
  à SPI Projekt KIOptiPack
- Grenzen der Modelle & Technologien
  - Machine-Learning & Deep-Learning Modelle häufig stark spezifiziert [23]
  - Erschwerung optische Erkennung durch physische Verformungen [25]
- qualifiziertes Personal für Design, Implementierung, Wartung & Anwendung [22] à SPI Projekt PackMit
- Vorabinvestitionen in Infrastruktur, Software & Schulungen [22]

Bildquellen: adobe stock, Mamstock (oben) & Song_about_summer (unten)

Aktuelles aus der anwendungsorientierten Forschung

Kurzvorstellung SPI-Projekte
KIOptiPack &
PackMit

Forschungsprojekt am SPI - KIOptiPack

KI-Anwendungshub Kunststoffverpackungen – nachhaltige Kreislaufwirtschaft durch Künstliche Intelligenz

01.08.2022– 31.07.2025 (KIOptiPack)
Budget SPI: ca. 100.000,00 €

51 Projektpartner:

Institut für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V., Artificial Intelligence Center Hamburg (ARIC) e.V., Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Hochschule Schmalkalden (HSM), Hochschule Albstadt-Sigmaringen (HSAS), Technische Universität Dresden, Universität des Saarlandes, Aixtrusion GmbH, Amcor Flexibles Deutschland GmbH (assoziiert) Apheris AI GmbH, Arburg GmbH & Co. KG (assoziiert), ASAM Betriebs-GmbH (assoziiert), Brückner Maschinenbau GmbH & Co. KG (assoziiert), Carbon Minds GmbH, Cirplus GmbH (assoziiert), ColorLite GmbH (assoziiert), Deutsche Institut für Normung e. V., Dida Datenschmiede GmbH, Digimind GmbH, Duales System Deutschland GmbH & Co. KG (assoziiert), EDEKA Zentrale Stiftung & Co. KG (assoziiert), Ehrenmüller GmbH, Evonik Industries AG, Fernholz GmbH & Co. KG (assoziiert), Foboha Germany GmbH, GEA Group AG (assoziiert),GreenDelta GmbH, HiPP OHG, Hamburger Informatik Technologie-Center (HITeC) e.V., Institut cyclos-HTP GmbH, Infosim GmbH & Co. KG, KOCH Pac-Systeme GmbH (assoziiert), Körber Pharma GmbH (ehem. Mediseal), LyondellBasell GmbH, Menshen GmbH & Co. KG (assoziiert), Pacoon GmbH, Palaimon GmbH, Peerox GmbH, Pöppelmann GmbH & Co. KG (assoziiert), QuoData GmbH, Remondis SE & Co. KG, Reifenhäuser GmbH, RKW SE, Simcon kunststofftechnische Software GmbH, Sumitomi (SHI) Demag Plastics Machinery GmbH (assoziiert), Südpack Verpackungen GmbH & Co. KG, Unilever Deutschland (assoziiert), Watttron GmbH, Windmöller & Hölscher KG

Koordinator KIOptiPack für für Design und Produktion:

- Institut für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen

Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand gefördert durch das BMWi
KK5258201CM1

Forschungsprojekt am SPI - KiOptiPack

KI OPTIPACK

Ziel:

- Praxisreife **KI-gestützte Werkzeuge** für das erfolgreiche Produktdesign sowie die qualitätsgerechte Produktion von Kunststoffverpackungen mit hohem Rezyklatanteil in einem **KI-Anwendungs- und Datenraum** bereitzustellen, zu validieren und in die Anwendung zu transferieren.

Aufgaben SPI:

- Generierung von **experimentellen Daten**, die für **KI-gestützte Vorhersagen** genutzt werden können. Dabei soll das Potential der Kunststoffsubstrate mit unterschiedlichem Rezyklatanteil nach unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen für nachfolgende Weiterverarbeitungsverfahren wie z.B. Bedruckungs,- Beschichtungs- Kaschier- und Abpackprozesse, vorhergesagt werden können.

Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand gefördert durch das BMWi
KK5258201CM1

Forschungsprojekt am SPI - PackMit

Fortbildungskonzept für den Packmittelinformationstransfer in der Lebensmittelindustrie

01.07.2021 – 30.06.2024

Budget SPI: ca. 220.000 €

Projektpartner:

- WFS - Wirtschaftsförderung Sigmaringen GmbH & Co. KG

Wirtschaftsförderung Sigmaringen | WFS
Standort. Menschen. Zukunft.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

PackMit – Fortbildung zum Packmittelexperten

- Förderung der kreislauforientierten Bioökonomie in der Verpackungsindustrie
- In der Fortbildung werden Wissen und Kenntnisse rund um nachhaltigere Verpackungskonzepte vermittelt
  - physikalische, chemische, mechanische Eigenschaften von Packstoffen
  - Nachhaltigkeitsaspekte von Verpackungen
  - Regulatorische Rahmenbedingungen, Standards und Empfehlungen
  - Aktuelles aus der Forschung, dazu gehören auch Marktentwicklungen und **KI-Themen** der Verpackungsindustrie

Bildquellen: adobe stock, Siam (oben) & Rawpixel.com (unten)

PackMit – Fortbildung zum Packmittelexperten

Termine	04.10. – 13.12.2024 an 12 Terminen (überwiegend freitags) zu je 6 Stunden
Kosten	4950 € zzgl. MwSt., Early Bird Tarif: 4300 € zzgl. MwSt.
Veranstaltungsort	Hybrid - Innovationscampus Sigmaringen oder Zoom
Anmeldeschluss	27.09.2024
Abschluss	Innovationscampus Zertifikat (nach ISO 9001:2015 und AZAV zertifiziert)

Infos & Anmeldung zur Fortbildung unter: https://packmittelexperten.de/

Fazit & Ausblick

- KI kann helfen, optimale Verpackungen zu entwickeln
- zur Optimierung der Anwendung sind die stetige Weiterentwicklung von KI-Modellen & Verfügbarkeit der erforderlichen Daten essenziell
- die breitflächige Anwendung erfordert Vorabinvestitionen, valide Daten & qualifiziertes Personal

à KI kann die Entwicklung und Markteinführung zukunftsweisender Verpackungsstrategien unterstützen und damit die Transformation der Verpackungswirtschaft hin zu einer nachhaltigeren kreislauforientierten Bioökonomie katalysieren

Bildquelle: adobe stock, Funtap

Gemeinsam nachhaltig Zukunft gestalten

Hochschule
Albstadt-Sigmaringen
Albstadt-Sigmaringen University

Fakultät Life Sciences
Sustainable Packaging Institute SPI
Anton-Günther-Str. 51
72488 Sigmaringen

Weitere Informationen zu den Projekten mit Ansprechperson sind zu finden unter: www.hs-albsig.de\spi

Literaturverzeichnis

[1] denkstatt (2020): Berechnungen im Rahmen des Projekts „Aktualisierung der Studie Nutzen von Verpackungen im Jahr 2020“ im Auftrag der AGVU Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt e.V. (Sekundärquelle aus [2])

[2] Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt (AGVU); Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM); denkstatt (2020): Lebensmittelschutz ist Klimaschutz. Lebensmittelschutz durch Verpackungen: Auswirkungen auf den CO2- Fußabdruck. Online verfügbar unter https://www.agvu.de/wp-content/uploads/2020/11/Klimaschutz-ist-Lebensmittelschutz-Studie-AGVU-denkstatt_November-2020.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

[3] Deutsches Verpackungsinstitut (dvi) (2023): Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage: Recycling und Mehrweg Top-Präferenz beim Umgang mit Verpackungen. Ökologischer Vorteil massiv unterschätzt. Online verfügbar unter https://www.verpackung.org/aktuelles/news/ergebnisse-einer-repraesentative-umfrage-recycling-und-mehrweg-top-praeferenz-beim-umgang-mit-verpackungen-oekologischer-vorteil?return=home, zuletzt aktualisiert am 22.05.2023, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

[4] Danone; Too Good To Go (2021): FOOD WASTE - Die große VerbraucherInnen Studie für Deutschland, Österreich und die Schweiz. Online verfügbar unter https://cloud.rsm-support.de/index.php/s/X6Tt8YoAezfSYKZ#pdfviewer, zuletzt aktualisiert am 22.05.2023, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

[5] Arbeitsgemeinschaft Verpackung und Umwelt (AGVU); Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung (GVM); denkstatt (2019): Nutzen von Verpackungen. Online verfügbar unter https://www.agvu.de/wp-content/uploads/2019/12/Nutzen-von-Verpackungen-2019_Endbericht_18_07_2019.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2023.

[6] Arbeitsgemeinschaft Verpackungen und Umwelt (AGVU) (2023): Zukunft Verpackung. Ressourcenschonung und Klimaschutz. Online verfügbar unter https://www.avu-online.de/wp-content/uploads/2023/12/AGVU-Broschuere-Zukunft-Verpackung-2023_digital-1.pdf, zuletzt geprüft am 10.06.2024.

[7] ISO 18602:2013 Packaging and the environment – Optimization of the packaging system.

Literaturverzeichnis

[8] Population Division, „World Population Prospects: the 2019 Revision“, Juni 2019.

[9]United Nations (Hg.) (2022): The Sustainable Development Goals. Report 2022. New York: United Nations.

[10] Der europäische Grüne Deal: COM(2019) 640 final, 2019. [Online]. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN

[11] Europäisches Parlament, Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile. [Online]. Verfügbar unter: https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile (Zugriff am: 28.03.2022).

[12] Müller, Felix; Kohlmeyer, Regina; Krüger, Franziska; Kosmol, Jan; Krause, Susanne; Dorer, Conrad; Röhreich, Marike (2020): Leitsätze einer Kreislaufwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_04_27_leitlinie_kreislaufwirtschaft_bf.pdf, zuletzt geprüft am 17.01.2023.

[13] G. Bishop, D. Styles und P N. Lens, ,,Environmental performance comparison of bioplastics and petrochemical plastics: A review of life cycle assessment (LCA) methodological decisions", Resources, Consenation and Recycling, Jg. 168, S. 105457, 2021, doi: 10. 1016/j.resconrec.2021.105451.

[14] M. Möller et al., Nachhaltige Ressourcennutzung: Anforderungen an eine nachhaltige Bioökonomie aus der Agenda 2030/SDG-Umsetzung. Abschlussbericht - Im Auftrag des Umweltbundesamtes, 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_10_20_texte_181_2020_biooekonomie.pdf (Zugriff am: 28.03.2022).

Literaturverzeichnis

[15] D. Diakosavvas und C. Frezal, „Bio-Economy and the sustainability of the agricultre and food systeme: Opportunities and policy challeng: Trade and Agriculture directorate environment and directorate“, OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, Nr. 136, 2019, doi: 10.1787/d0ad045d-en.

[16] PlasticsEurope Deutschland e. V. (2022): KreislaufwirtschaftPLUS: Handlungsempfehlungen für eine Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie. Nach Lang R. W., Fischer J., Institute of Polymeric Materials and Testing, Johannes Kepler Universität Linz (2020)

[17] Carus, Michael; vom Berg, Christoph (2021): Scenario for the Plastic Industry 2050. Online verfügbar unter https://renewable-carbon.eu/publications/product/scenario-for-the-plastic-industry-2050-png/, zuletzt geprüft am 28.01.2023.

[18] M. Giampietro, „On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth“, Ecological Economics, Jg. 162, S. 143–156, 2019, doi: 10.1016/j.ecolecon.2019.05.001.

[19] Rohde, Friederike; Wagern, J.; Reinhard, P.; Meyer, A.; Voß, M.; Mollen, A. (2021): Nachhaltigkeitskriterien für künstliche Intelligenz. Entwicklung eines Kriterien- und Indikatorensets für die Nachhaltigkeitsbewertung von KI-Systemen entlang des Lebenszyklus. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (Schriftenreihe des IÖW, 220 (21)).

[20] Meric, Sibel (2023): KI-Modelle: Eine Reise durch die vielfältigen Anwendungen und Techniken. In: Deutsches Institut für Marketing, 06.12.2023. Online verfügbar unter https://www.marketinginstitut.biz/blog/ki-modelle/#dim-h2-nr23, zuletzt geprüft am 10.06.2024.

[21] pacoon (2024): How artificial intelligence ensures greater sustainability in packaging. Online verfügbar unter https://www.pacoon.de/en/sustainable-packaging/news/detail/wie-kuenstliche-intelligenz-fuer-mehr-nachhaltigkeit-in-der-verpackung-sorgt/, zuletzt aktualisiert am 27.05.2024, zuletzt geprüft am 27.05.2024.

Literaturverzeichnis

[22] Future Market Insights (2024): AI in Packaging Market. Online verfügbar unter https://www.futuremarketinsights.com/reports/artificial-intelligence-in-packaging-market, zuletzt aktualisiert am 26.02.2024, zuletzt geprüft am 28.05.2024.

[23] Huang, J. S.; Liew, J. X.; Ademiloye, A. S.; Liew, K. M. (2021): Artificial Intelligence in Materials Modeling and Design. In: Arch Computat Methods Eng 28 (5), S. 3399–3413. DOI: 10.1007/s11831-020-09506-1.

[24] Tightly packed (2024): Artificial intelligence improves sorting and recycling processes, 16.04.2024. Online verfügbar unter https://www.interpack.com/en/Media_News/Tightly_Packed_Magazine/Start-ups_innovators/News_Start-ups_innovators/Artificial_intelligence_improves_recycling, zuletzt geprüft am 28.05.2024.

[25] Butler, Frances (2024): How automation and artificial intelligence could impact the packaging industry 2022, 27.05.2024. Online verfügbar unter https://packagingeurope.com/comment/how-automation-and-artificial-intelligence-could-impact-the-packaging-industry/9138.article, zuletzt geprüft am 27.05.2024.

[26] Templeman, Josh (2023): How AI recycling technology can transform the circular economy 2023, 11.05.2023. Online verfügbar unter https://resource.co/article/how-ai-recycling-technology-can-transform-circular-economy, zuletzt geprüft am 27.05.2024.

[27] Olawade, David B.; Fapohunda, Oluwaseun; Wada, Ojima Z.; Usman, Sunday O.; Ige, Abimbola O.; Ajisafe, Olawale; Oladapo, Bankole I. (2024): Smart waste management: A paradigm shift enabled by artificial intelligence. In: Waste Management Bulletin 2 (2), S. 244–263. DOI: 10.1016/j.wmb.2024.05.001.

Literaturverzeichnis

[28] Miguéis, Vera Lucia; Pereira, André; Pereira, João; Figueira, Gonçalo (2022): Reducing fresh fish waste while ensuring availability: Demand forecast using censored data and machine learning. In: Journal of Cleaner Production 359, S. 131852. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131852.

[29] Tarallo, Elcio; Akabane, Getúlio K.; Shimabukuro, Camilo I.; Mello, Jose; Amancio, Douglas (2019): Machine Learning in Predicting Demand for Fast-Moving Consumer Goods: An Exploratory Research. In: IFAC-PapersOnLine 52 (13), S. 737-742. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.203.

[30] Prakash; Babu, S. Malli; Kumar, P. Pavan; Devi, Sunitha; Reddy, Kumbala Pradeep; Satish, Mankala: Predicting Consumer Behaviour with Artificial Intelligence. In: 2023 IEEE 5th International Conference, S. 698–703.

[31] Bünnagel, Doris (2024): Klingele entwickelt KI-Projekt mit der Universität Stuttgart - packaging journal. In: packaging journal, 24.06.2024. Online verfügbar unter https://packaging-journal.de/ki-projekt-klingele-universitaet-stuttgart/?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_source_platform=mailpoet&utm_campaign=ihr-personliches-frei-exemplar_3-2024, zuletzt geprüft am 27.06.2024.

[32] Shi, Ce; Zhao, Zhiyao; Jia, Zhixin; Hou, Mengyuan; Yang, Xinting; Ying, Xiaoguo; Ji, Zengtao (2023): Artificial neural network-based shelf life prediction approach in the food storage process: A review. In: Critical Reviews in Food Science and Nutrition, S. 1–16. DOI: 10.1080/10408398.2023.2245899.