DOI 10.37544/0720-5953-2025-11-12-62

Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung

D. Krause, A. Albers, H. Birkhofer, E. Kirchner, R. Lachmayer, K. Paetzold-Byhain, T. Vietor, C. Weber, K. Zumach

INHALT Nachhaltigkeit ist in Gesellschaft und Wirtschaft ein bedeutendes Thema, aber in der Umsetzung auf Produkte kompliziert. Die Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP), ein im deutschsprachigen Raum tätiges Netzwerk aus führenden Professorinnen und Professoren sowie Industrievertreterinnen und -vertretern, sieht Nachhaltigkeit als integralen Bestandteil ihres Fachbereiches. In ihrem Positionspapier wird deshalb gezeigt, wie Methoden und Prozesse in zukünftiger Forschung weiterentwickelt werden können, um die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in die methodische Produktentwicklung zu steigern.

Sustainability in Product Development

ABSTRACT Sustainability is important in society and the economy, but complicated to implement in products. The Scientific Society for Product Development (WiGeP), a network of leading professors and industry representatives active in German-speaking countries, sees sustainability as an integral part of its field. The Scientific Society's position paper therefore shows how methods and processes can be further developed in future research in order to increase the integration of sustainability aspects into methodical product development.

1 Einleitung

Die Bedeutung von Nachhaltigkeit hat für unsere Gesellschaft in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Dies ist nicht nur eine Reaktion auf regulatorische Anforderungen und gesetzliche Vorgaben, die verdeutlichen, wie stark der Einfluss der Gesetzgebung auf dieses Thema ist. Einige in diesem Zusammenhang wichtige Gesetze sind das Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG), das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG), das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) und auch die europäische RoHS-Richtlinie (RoHS = Restriction of Hazardous Substances), die in Deutschland durch die Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung (ElektrostoffV) umgesetzt wird. Weitere wichtige Normen und Richtlinien sind die ISO 14062 (Leitlinien zur Integration von Umweltaspekten in der Produktentwicklung), die ISO 14067 (Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung), die ISO 26001 (Leitfaden zur gesellschaftlichen Verantwortung von Organisationen) sowie auch die ISO 59004 (Circular Economy – Vokabular, Grundsätze und Leitlinien für die Umsetzung).

Für die Entwicklung nachhaltiger Produkte sind neben den genannten Normen und Gesetzen zudem auf den Entwicklungsprozess oder Entwicklungsmethoden bezogene Richtlinien, wie z.B. VDI 2243 (Recyclingorientierte Produktentwicklung), VDI 4605 (Nachhaltigkeitsbewertung), VDI 4803 (Methoden zum effizienten und schonenden Umgang mit Ressourcen in Unternehmen) oder Certified Sustainable Economics (CSE) Nachhaltigkeitszertifizierung interessant.

Gesetzliche Anforderungen sind letztlich das Resultat eines zunehmenden Umweltbewusstseins der Gesellschaft. Sicherlich ist die Produktentstehung respektive die Produktentwicklung nicht alleinig verantwortlich, um Nachhaltigkeit im Unternehmenskontext zu adressieren. Allerdings kann gerade die Produktentwicklung aus vielerlei Hinsicht dazu beitragen, die ökologischen Auswirkungen von Produkten über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu reduzieren und die Ressourceneffizienz zu verbessern. Dazu ist es erforderlich, die notwendigen Daten für die ökologischen Auswirkungen für die Entwickelnden aufzubereiten und verwertbar zu machen, geeignete Entwicklungsmethoden weiter und neu zu entwickeln und Potenziale der Produktgestaltung im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit von Produkten über den gesamten Produktlebenszyklus auszuschöpfen.

Mit der Forderung nach der Entwicklung nachhaltiger Produkte geht eine hohe Verantwortung für die Produktentwicklung einher, derer sich die Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP) bewusst ist. Im vorliegenden Positionspapier soll daher die besondere Rolle der Forschungseinrichtungen aufgezeigt werden, die durch neue oder angepasste Methoden und Prozesse in der Produktentwicklung einen Beitrag zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen leisten können.

2 Produktentwicklung und Nachhaltigkeit

Legt ein Unternehmen eine Nachhaltigkeitsstrategie fest, so müssen entsprechende Maßnahmen definiert und diese auf den untergeordneten Produkt- und Prozessebenen umgesetzt werden. In den frühen Phasen einer Entwicklung legen Produktentwickelnde etwa 70-80 % der späteren Kosten eines Produkts fest [1]. Auch nimmt die Produktentwicklung eine zentrale Rolle bei der Beeinflussung der Nachhaltigkeit eines Produktes ein, da hier die grundlegenden Entscheidungen über Werkstoffe, Produktarchitektur und -gestaltung, Produktionsprozesse sowie die Lebensdauer eines Produkts getroffen werden.

Diese Entscheidungen in der Produktentwicklung haben weitreichende Auswirkungen auf die gesamte Umweltbilanz des Produkts [2]. Kenntnisse über das Produkt und dessen relevante Lebensphasen sind entscheidend, um die langfristigen Auswirkungen des Produkts auf Umwelt zu verstehen. Um diese Auswirkungen gezielt beeinflussen zu können, bedarf es zudem

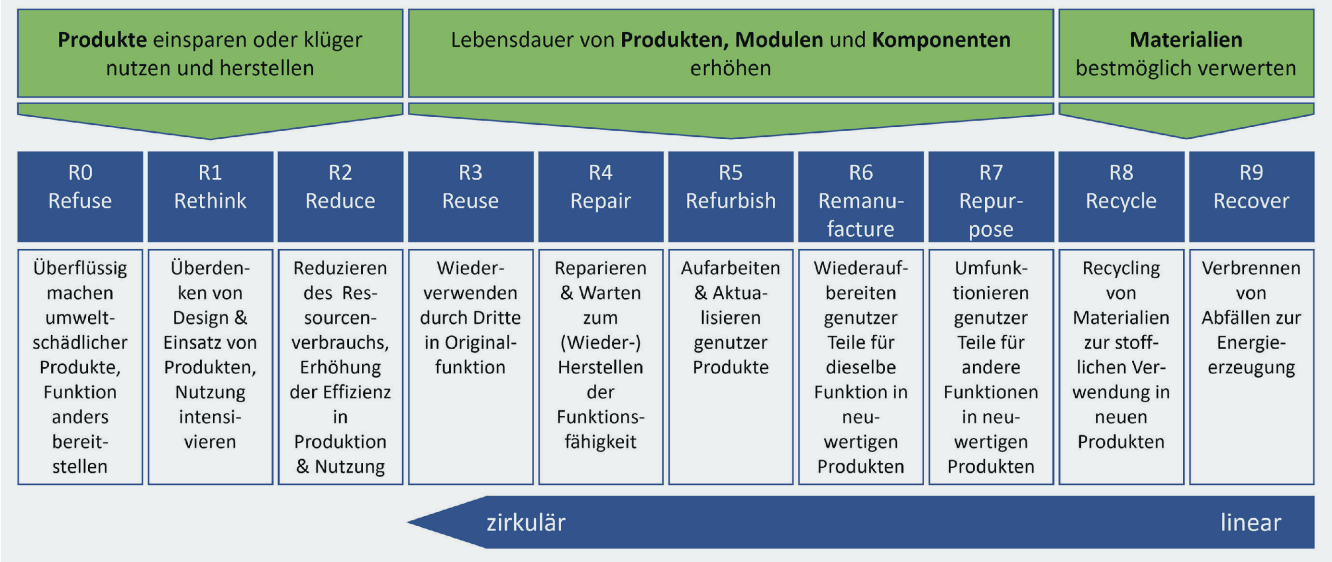

Bild 1: R-Imperative der Kreislaufwirtschaft. *Grafik: in Anlehnung an [3*

Produktentwicklungsmethoden, die Aspekte der Nachhaltigkeit integrieren. Exemplarisch sei hier auf die 9R-Imperative [3] und die methodischen Ansätze zum Umgang mit ihnen verwiesen (**Bild 1**).

In **Bild 2** sind die R-Imperative [3] den verschiedenen Produktlebensphasen zugeordnet. Beispielsweise kann der Imperativ Wiederverwendbarkeit (englisch: reuse) über eine Wiederverwendung von Produkten, Modulen oder Komponenten ermöglicht werden. Je nach der Art der Wiederverwendung ergibt sich entweder eine verlängerte Nutzung des ursprünglichen Produktes, oder eine Verwendung von Komponenten oder Modulen des ursprünglichen Produkts in einem neu vertriebenen Produkt.

Aus der Vielschichtigkeit von Auswirkungen und resultierenden Maßnahmen, die mit dem Begriff der Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung verbunden werden können, folgt, dass sich die Forschungsaktivitäten im Bereich der Entwicklung nachhaltiger Produkte mit verschiedenen Aspekten befassen müssen und dass unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt werden können. Beispielsweise wird im Bereich der Kreislaufwirtschaft zum einen an kreislauforientierten Geschäftsprozessen, zum anderen an umweltgerechten konstruktiven Lösungen geforscht.

Um Ressourceneffizienz zu steigern, werden im Leichtbau unter anderem Methoden aus der Bionik eingesetzt sowie nachwachsende Werkstoffe untersucht. Zur Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in die Produktentwicklung werden prozessbegleitende Bewertungen der Nachhaltigkeit von Produkten aufbauend auf Lebenszyklusanalysen (LCA) untersucht. Diese Analysen ermöglichen es, die Umweltauswirkungen eines Produkts über dessen gesamten Lebenszyklus – von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung – zu quantifizieren.

Voraussetzung hierfür ist nicht nur eine hinreichend große Datenmenge ausreichender Qualität, beispielsweise basierend auf Produktdaten einer Vorgeneration, Produktionsdaten, Nutzungs- und Marktdaten, sondern auch Möglichkeiten, diese gezielt auszuwerten. Methoden und Algorithmen der Künstlichen Intelligenz erlauben es, diese Vielzahl von Daten und Informationen, die für Entscheidungen zur Gestaltung von nachhaltigen Produkten erforderlich sind, aus den verschiedenen Betrachtungsebenen (Markt, Nutzung, Fertigung, Entwicklung) zusammenzubringen und zu analysieren. Sie ermöglichen es nicht nur, Vergleiche von Lösungen zu untermauern, sondern auch ergänzende Korrelationen zu identifizieren und für die Entscheidungsfindung anzureichern. Zudem sollten Unternehmen verstärkt auf die Verwendung nachhaltiger Materialien und ressourcenschonender Produktionsverfahren setzen, was in der Produktentwicklung vorausgedacht werden muss. Digitale Tools können genutzt werden, um Produktentstehungsprozesse zu simulieren und zu optimieren, bevor reale Ressourcen eingesetzt werden.

3 Bewertung von Produkten zur Identifikation von Potenzialen

Zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit eines Produktes stehen verschiedene Methoden und damit verbunden verschiedene Kriterien zur Verfügung. Eine häufig eingesetzte Methode zur Bewertung der Nachhaltigkeit ist die Lebenszyklusanalyse (englisch: Life Cycle Assessment (LCA)), mithilfe derer die ökologischen Auswirkungen eines Produktes über dessen Lebenszyklus im Nachhinein beurteilt werden können [4]. Für diese Analysen werden unterschiedliche Ansätze verfolgt: sie basieren auf der Quantifizierung von Material- und/oder Energieströmen, die in der Regel zu Stoffströmen zusammengefasst werden. Unsicherheiten in der Datenlage und die Notwendigkeit von zusammenfassenden Systemmodellen erweisen sich hierbei als Herausforderung. Denn in der Entwicklungsphase, in der die grundlegenden Entscheidungen zur Gestaltung des Produktes getroffen werden, liegen die zur Erstellung der Ökobilanz benötigten Daten in der Regel noch nicht oder unvollständig vor.

Bei der Bilanzierung des Produktes müssen deshalb viele Annahmen getroffen werden, was in hohen Ungenauigkeiten des Ergebnisses resultiert. Besonders herausfordernd ist dies bei der Entwicklung neuer Produkte, insbesondere solcher, die auf innovativen Technologien und Werkstoffen basieren, für die es keine direkte Vorgängergeneration gibt. Für diese neuen Technologien und Werkstoffe stehen häufig noch weniger Daten zur Verfügung gegenüber einer Bilanzierung eines Produktes mit bestehender Vorgängergeneration.

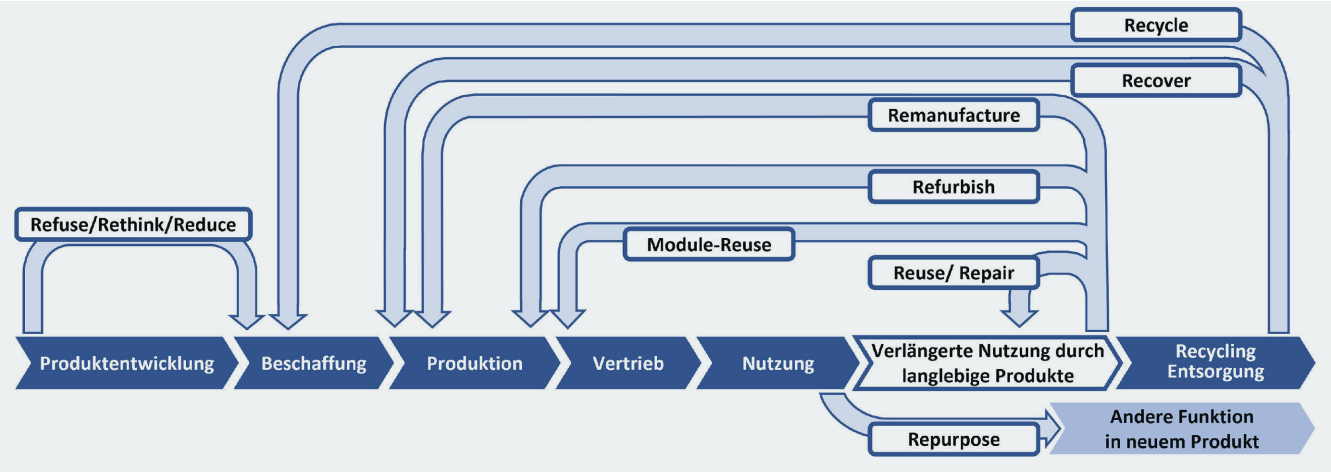

Bild 2: R-Imperative und deren Zuordnung zu den Produktlebensphasen. *Grafik: in Anlehnung an [12]*

Hinzu kommt, dass erst durch die Konkretisierung von Lösungsansätzen Informationen dazu entstehen, welche Daten für die Bewertung erforderlich sind. Der Mangel an belastbaren Daten in frühen Phasen der Entwicklung und daraus resultierend die Ungenauigkeit der Ergebnisse führt deshalb dazu, dass die LCA zur Bewertung in der Produktentwicklung nur bedingt geeignet ist. Deshalb muss die Erforschung geeigneter Methoden und Metriken zur Bewertung von Produktalternativen in allen Phasen der Produktentwicklung forciert werden.

Erste Ansätze dazu gibt es. Um bereits im Entwicklungsprozess die Auswirkungen des Produktes auf die Umwelt abschätzen zu können, sollen prozessbegleitende Bewertungen der Nachhaltigkeit durchgeführt werden [5]. Dies ermöglicht auch die fortschreitende Konkretisierung der Nachhaltigkeitsbewertung für die zu entwickelnden Produkte. Dem Mangel an Daten kann in der Produktgenerationsentwicklung dadurch begegnet werden, dass die bestehende Generation als Ausgangspunkt zur Beschaffung von Daten herangezogen wird [6].

Für die Betrachtung einer neuen Generation kann dann mit deren Datensätzen eine vereinfachte LCA durchgeführt werden. Liegen solche Daten nicht vor, besteht eine Möglichkeit darin, Nachhaltigkeitsdatenbanken, Simulationen oder digitale Modelle zu nutzen, um hypothetische Szenarien durchzuspielen und so eine bessere Grundlage für Entscheidungen zu schaffen. Der Digitale Zwilling kann es zukünftig ermöglichen, den gesamten Lebenszyklus eines Produkts virtuell abzubilden und verschiedene Produktalternativen und deren Auswirkungen auf die Umwelt virtuell zu testen, bevor reale Ressourcen eingesetzt werden [7].

Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz und datengetriebenen Modellen können zudem weitere Prognosen über die Auswirkungen von Werkstoffauswahl und Produktionsprozessen auf die Nachhaltigkeit getroffen werden. Diese digitalen Tools werden dabei helfen, die Unsicherheiten bei der Bewertung der Nachhaltigkeit zu verringern und den Entwickelnden eine solide Grundlage für ihre Entscheidungen zu bieten.

Für die Entwicklung eines nachhaltigen Produktes und der damit einhergehenden produktspezifischen Definition von Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit sollen die unterschiedlichen Lebensphasen des Produktes einbezogen werden. Je nach Produkttyp ergibt sich eine unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Lebensphasen für beispielsweise den CO_2-Fußabdruck des Produkts. Während beispielsweise im Produktlebenszyklus eines Flugzeuges besonders die Nutzungsphase als Hebel zur Adressierung von Nachhaltigkeit berücksichtigt werden muss [8], ist bei der Entwicklung eines Fahrrads die Produktion emissionsintensiv [9]. Vor dem Hintergrund der Ressourcenlimitierung wird zudem eine Entkopplung des wirtschaftlichen Wachstums vom Ressourcenverbrauch angestrebt. Dies kann durch die Kreislaufwirtschaft ermöglicht werden, deren Strategien in den R-Imperativen zusammengefasst werden. Durch die Realisierung der R-Imperative sollen Ressourcen dem Kreislauf rückgeführt und der Anteil an „verlorenen“ Rohstoffen, die auf Deponien endgelagert werden, reduziert werden. Dies sollte bereits im Produktentwicklungsprozess vorausgedacht werden. In diesem Zusammenhang muss geklärt werden, welche R-Imperative für welches Produkt, welches Modul und welche Komponente für den Entwickler aus strategischer Sicht entscheidend sind und fokussiert werden sollten.

4 Modularisierung und generationsübergreifendes Denken

Die Gestaltung der Produkte, insbesondere aber auch der Produktarchitekturen, hat einen erheblichen Einfluss auf die Realisierung der R-Imperative. Hierbei können modulare Produktarchitekturen Vorteile hinsichtlich Nachhaltigkeit bieten [10], [11]. Um Nachhaltigkeit im Zuge der produktstrategischen Modularisierung zu berücksichtigen, sollen entsprechende nachhaltigkeitsbezogene Modultreiber definiert werden [12]. Dadurch können beispielsweise die R-Imperative Reparierbarkeit (englisch: repair) und Wiederverwendbarkeit (englisch: reuse) durch die modulare Produktarchitektur einer Produktfamilie ermöglicht werden. Denn modulare Produktfamilien mit einem hohen Anteil kommunal verwendeter Module erleichtern eine wirtschaftliche und langfristige Ersatzteilversorgung durch hohe Stückzahlen beziehungsweise hohe Nachfrage.

Durch die Integration nachhaltigkeitsbezogener Modultreiber in die Entwicklung können die Produkte zudem so gestaltet werden, dass sie über mehrere Generationen hinweg nutzbar bleiben können. Die modulare Produktarchitektur erleichtert damit die Wiederverwendung von Komponenten und Modulen, was zu einer besseren Ressourcennutzung und einer geringeren Umweltbelastung führt.

Für eine Kreislauffähigkeit, also die Wieder- und Weiterverwendung von Komponenten und Modulen, ist generationsübergreifendes Denken erforderlich, um eine tatsächliche Nachfolgenutzung mit hohem Nutzen sicherzustellen. Ziel ist es hierbei, Module und Komponenten nicht nur in einem zweiten Lebenszyklus derselben Produktgeneration wiederzuverwenden, sondern darüber hinaus auch die Wiederverwendung in darauffolgenden Produktgenerationen vorauszudenken. Diese Einbeziehung der so genannten Cross-Generational Aspekte (CG-Aspekte) kann in Analogie zu bestehenden R-Imperativen als CG-R-Strategien operationalisiert werden [13].

5 Integration von Sensorik und datengetriebenen Modellen

Um eine Wiederverwendung und Wiederaufbereitung von Modulen und Komponenten zu ermöglichen, ist die Kenntnis über deren Zustand hinsichtlich Alterung und Verschleiß essenziell. Hierfür muss die Erfassung der Alterung von Modulen und Komponenten bereits in der Produktentwicklung eingeplant werden. Durch Sensorik im Allgemeinen und sensorintegrierende Maschinenelemente in Komponenten und Modulen im Speziellen wird eine Erfassung von Daten zum Beanspruchungs- und Alterungszustand direkt im Produkt ermöglicht [14].

Die integrierten Sensoren ermöglichen die Überwachung des Beanspruchungs- und Alterungszustands von Produkten, Modulen und Komponenten, was für die Planung von Wiederaufarbeitungsprozessen (englisch: refurbishment) und die Lebensdauerverlängerung von Produkten entscheidend ist [15]. Neben den Daten braucht es auch entsprechende Modelle, die die Daten verarbeiten und weitergeben, sodass Schädigungen eines Produktes erfasst werden können.

6 Umgang mit Zielkonflikten der Nachhaltigkeit

Im Produktentwicklungsprozess und bei der Entwicklung von Lösungsalternativen werden stets verschiedene Zielgrößen abgewogen. Durch die Integration von Nachhaltigkeit in die Produktentwicklung kommen neue Ziele hinzu, wie beispielsweise ein möglichst geringer CO_2 Ausstoß über den Produktlebenszyklus oder auch, abgeleitet aus den R-Imperativen, die Verwendung von recyceltem Material. Diese hinzukommenden Nachhaltigkeitsziele verursachen neue Zielkonflikte. Diese entstehen zum einen zwischen den klassischen wirtschaftlichen Zielgrößen Zeit, Kosten, Qualität und Flexibilität und den neuen nachhaltigkeitsbezogenen Zielgrößen, zum anderen aber auch zwischen verschiedenen Nachhaltigkeitszielen untereinander.

Ein Beispiel ist die Verwendung von recyceltem Material: Nach EU-Gesetzesentwürfen sind für neue Produkte 25 % recyceltes Material zu nutzen. Damit einher gehen aber schlechtere mechanische Eigenschaften bei der Wiederverwendung, beispielsweise bei Kunststoffen, was zu einem Zielkonflikt führt. Wie sich dies auf den CO_2-Fußabdruck auswirkt, kann nicht ohne Weiteres abgeschätzt werden. Der Umgang mit solchen möglichen Zielkonflikten erfordert methodische Ansätze, die nicht nur das Abwägen der Zielkonflikte unterstützten, um eine fundierte Entscheidungsfindung im gesamten Produktentwicklungsprozess zu ermöglichen, sondern die es auch erlauben, Produktstrukturen, Logistikketten oder Geschäftsmodelle parallel mitzudenken.

7 Notwendige Methodenforschung zur Berücksichtigung der Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung

Die Notwendigkeit zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung zieht Veränderungen nach sich. Diese sind einerseits bezogen auf die Entwicklung neuer Lösungsansätze und Methoden, andererseits auch in Bezug auf gesellschaftliche und organisatorische Entwicklungen. Es gilt, bestehende Ansätze hinsichtlich der verwendeten Daten und Informationen anzupassen und zu erweitern, um beispielsweise sozio-ökologische Auswirkungen in die Entscheidungsfindung zu integrieren. Einige dieser Veränderungen, die im Zusammenhang mit der Produktentwicklung stehen, werden im Folgenden vorgestellt.

Um Ressourcenverbrauch und wirtschaftliches Wachstum zu entkoppeln, werden sich neue Geschäftsmodelle entwickeln beziehungsweise sind diese für die Fokussierung von Nachhaltigkeit teils auch erforderlich. Dies ist aus Sicht der Produktentwicklung auf der einen Seite herausfordernd, da die Geschäftsmodelle bereits in der Entwicklung von Produkten, Produktfamilien und Produktgenerationen berücksichtigt werden müssen, um beispielsweise die für die Geschäftsmodelle wie Pay-Per-Use notwendigen Daten erheben zu können [18]. Auf der anderen Seite kann eine Beeinflussung der Entwicklung von Geschäftsmodellen aktiv als Lösungsansatz in Frage kommen. Ein Beispiel hierfür sind Produkt-Service-Systeme, die eine Möglichkeit bieten, um die Ressourceneffizienz durch eine Erhöhung der Nutzung zu steigern. Dies kann entweder durch eine Steigerung der Nutzungsintensität oder der Nutzungsdauer erfolgen.

Um eine Berücksichtigung von Nachhaltigkeit bei der Entwicklung von Produkten zu gewährleisten, ist auch ein gesellschaftlicher Wandel notwendig, damit Nachhaltigkeit neben den traditionellen Kriterien als gleichwertige wirtschaftliche Zielgröße angesehen wird. Um nachhaltigkeitsorientierte Produktentwicklung konsequent in Unternehmen zu etablieren, bedarf es eines klaren Bekenntnisses nicht nur durch die Unternehmensleitung, sondern auch durch die an der Entwicklung und Entstehung neuer Produkte und Dienstleistungen Beteiligten sowie neuer Marketing- und Vertriebswege, die ganzheitlich gedacht werden müssen. Dazu müssen nachhaltigere Produkte oder Produkt-Service-Systeme am Markt überzeugen und etabliert werden, was sicher in Teilen ein Umdenken und Offenheit für Neues sowohl in den produzierenden Unternehmen als auch in der Gesellschaft erfordert.

Die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitszielen führt dazu, dass Produktentwickelnde über ein entsprechendes Grundverständnis der Nachhaltigkeit verfügen müssen. Bereits in der Lehre müssen Entwickelnde befähigt werden, sich kritisch mit den vielschichten Aspekten der Nachhaltigkeit auseinander zu setzen. Um verschiedene, teils widersprüchliche Aspekte in der Entwicklung zu berücksichtigen, ist übergreifendes Denken und Systemdenken erforderlich, um Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes abschätzen zu können und entsprechend in die Entscheidungsfindung einfließen zu lassen. Nicht zuletzt bedarf es mehr Methodenkompetenz der Produktentwickelnden, um Methoden für die Entwicklung nachhaltiger Produkte zielgerichtet anwenden zu können.

Hierzu gibt es erstmals im Sommersemester 2025 eine gemeinsame WiGeP-Initiative in Form einer Online-Ringvorlesung von insgesamt 13 Professorinnen und Professoren für alle betei-

ligten Universitäten, um die Entwicklung nachhaltiger Produkte bereits in der universitären Ingenieursausbildung zu integrieren und um spezifische Kompetenzen der Integration von Nachhaltigkeit in die Produktentwicklung zu vermitteln. Im Rahmen dieser Ringvorlesung ist es gelungen, die vielen verschiedenen Facetten im Kontext der Nachhaltigkeit, die in diesem Positionspapier aufgegriffen werden, durch Expertinnen und Experten an den verschiedenen Universitäten zu vertreten und zu diskutieren. Dies erscheint uns als die Grundlage, zukünftigen Fachkräften ein fundiertes Verständnis für ökologische Zusammenhänge und Nachhaltigkeit, wie Umweltrecht, Kreislaufwirtschaft oder eben nachhaltige Produktentwicklung und -gestaltung, zu vermitteln.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Integration von Nachhaltigkeitszielen in die Produktentwicklung stellt eine zusätzliche und neue Herausforderung dar, die nur durch den Einsatz innovativer Methoden, digitaler Technologien und interdisziplinärer Zusammenarbeit erfolgreich bewältigt werden kann. Die Herausforderungen, die mit der Unsicherheit der Entwicklung nachhaltiger Produkte einhergehen, erfordern neue oder erweitere Methoden, die die wissenschaftliche Gemeinschaft gemeinsam mit der Industrie entwickeln und an innovativen Anwendungsbeispielen erproben muss. Die Mitglieder der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung (WiGeP) sind bestrebt, durch ihre Forschung und Expertise einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung dieser Methoden und Lösungen zu leisten und die Entwicklung nachhaltiger Produkte methodisch zielgerichtet zu unterstützen und zu gestalten.

Dieses Positionspapier entstand im Rahmen der Arbeit der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP e.V (WiGeP). Es handelt sich hierbei um eine abgestimmte und von der Mitgliederversammlung freigegebene Meinung, Stellungnahme oder Position der WiGeP zu der dargestellten Thematik.

Literatur

[1] VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. 1987–10–00. Wirtschaftliche Entscheidungen beim Konstruieren. Methoden und Hilfen. VDI 2235.
[2] Herrmann, C. 2010. Ganzheitliches Life Cycle Management. Springer Berlin Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978–3–642–01421–5
[3] Potting, J.; Hekkert, M.P.; Worrell, E.; Hanemaaijer, A. 2017. Circular Economy. Measuring innovation in the product chain..
[4] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. 2021–02–00. Umweltmanagement. Ökobilanz. Grundsätze und Rahmenbedingungen. DIN EN ISO 14040:2006 + A1:2020.
[5] Wurst, J.; Ganter, N. V.; Ehlers, T.; Schneider, J. A.; Lachmayer, R. 2023. Assessment of the ecological impact of metal additive repair and refurbishment using powder bed fusion by laser beam based on a multiple case study. In: Journal of Cleaner Production 423. S. 138630. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138630.
[6] Albers, A.; Bursac, N.; Rapp, S. 2017. PGE– Produktgenerationsentwicklung am Beispiel des Zweimassenschwungrads. In: Forsch Ingenieurwesen 81 (1). S. 13–31. DOI: 10.1007/s10010–016–0210–0.
[7] Stark, R.; Anderl, R.; Thoben, K.-D.; Wartzack, S.; Krause, F.-L.; Grässler, I. et al. WiGeP-Positionspapier zum Thema Digitaler Zwilling. Hg. v. Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP e.V. Online verfügbar unter https://wigep.de/wp-content/uploads/2022/05/Final_WiGeP_Positionspapier_Digital_Twin.pdf, zuletzt geprüft am 31.01.2025.
[8] Bombardier Commercial Aircraft. 2016. Environmental Product Declaration. C Series. CS100. EPD Registration No. S-P-00921.
[9] Roy, P.; Miah, M.D.; Zafar, M.T. 2019. Environmental impacts of bicycle production in Bangladesh. A cradle-to-grave life cycle assessment approach. SN Appl. Sci. 1, 700. DOI: 10.1007/s42452–019–0721-z
[10] Sonego, M.; Echeveste, M. E. S.; Galvan Debarba, H. 2018. The role of modularity in sustainable design. A systematic review. In: Journal of Cleaner Production 176. S. 196–209. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.106.
[11] Krause, D. und Gebhardt, N. 2018. Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
[12] Breimann, R.; Rennpferdt, C.; Wehrend, S.; Kirchner, E.; Krause, D. 2023. Exploiting the sustainability potential of modular products by integrating r-imperatives into product life phases. In: Proc. Des. Soc. 3. S. 1785–1794. DOI: 10.1017/pds.2023.179
[13] Albers, A.; Tusch, L.; Jäckle, M.; Seidler, M.; Kempf, C. 2024. Circularity in product engineering. Towards a forward-looking approach across product generations. In: Proc. Des. Soc. 4. S. 1–12. DOI: 10.1017/pds.2024.3.
[14] Kirchner, E.; Wallmersperger, T.; Gwosch, T.; Menning, J. D. M.; Peters, J.; Breimann, R. et al. 2024. A Review on Sensor-Integrating Machine Elements. In: Advanced Sensor Research 3 (4), Artikel 2300113. DOI: 10.1002/adsr.202300113.
[15] Hausmann, M.; Koch, Y.; Kirchner, E. 2021. Managing the uncertainty in data-acquisition by in situ measurements: a review and evaluation of sensing machine element-approaches in the context of digital twins. In: IJPLM 13 (1), Artikel 115700. S. 48. DOI: 10.1504/IJPLM.2021.115700.
[16] Bertsche, B. und Dazer, M. 022. Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau. Ermittlung von Bauteil- und System-Zuverlässigkeiten. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (Lehrbuch).
[17] Bienefeld, C.; Kirchner, E.; Vogt, A.; Kacmar, M. 2022. On the Importance of Temporal Information for Remaining Useful Life Prediction of Rolling Bearings Using a Random Forest Regressor. In: Lubricants 10 (4). S. 67. DOI: 10.3390/lubricants10040067.
[18] Fett, M.; Puchtler, S.; Zaiat, A.; Bock, M.; Melzer, C.; Hoffmann, F.; Weigold, M.; Kirchner, E. 2024. Practical Implementation of the Sensory Utilization of Rolling Bearing Impedance Measurement: A Case Study in Machine Tool Spindle Bearings. In: Tribology Transactions 67 (4). S. 691–701. DOI: 10.1080/10402004.2024.2370902.

Prof. **Dieter Krause** (Leitung)
Technische Universität Hamburg
– Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Prof. **Albert Albers**
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
– IPEK - Institut für Produktentwicklung
Prof. **Herbert Birkhofer**
Technische Universität Darmstadt
Prof. **Eckhard Kirchner**
Technische Universität Darmstadt
– Fachgebiet Produktentwicklung und Maschinenelemente
Prof. **Roland Lachmayer**
Leibniz Universität Hannover
– Institut für Produktentwicklung und Gerätebau
Prof. **Kristin Paetzold-Byhain**
Technische Universität Dresden
– Institut für Maschinenelemente und Maschinenkonstruktion
Prof. **Thomas Vietor**
Technische Universität Braunschweig
– Institut für Konstruktionstechnik (IK)
Prof. **Christian Weber**
Technische Universität Ilmenau
Katharina Zumach
Technische Universität Hamburg
– Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP e.V.
c/o Institut für Produktentwicklung und Gerätebau
30823 Garbsen
Tel. (05 11) 762 – 25 52
herrmann@ipeg.uni-hannover.de
www.wigep.de