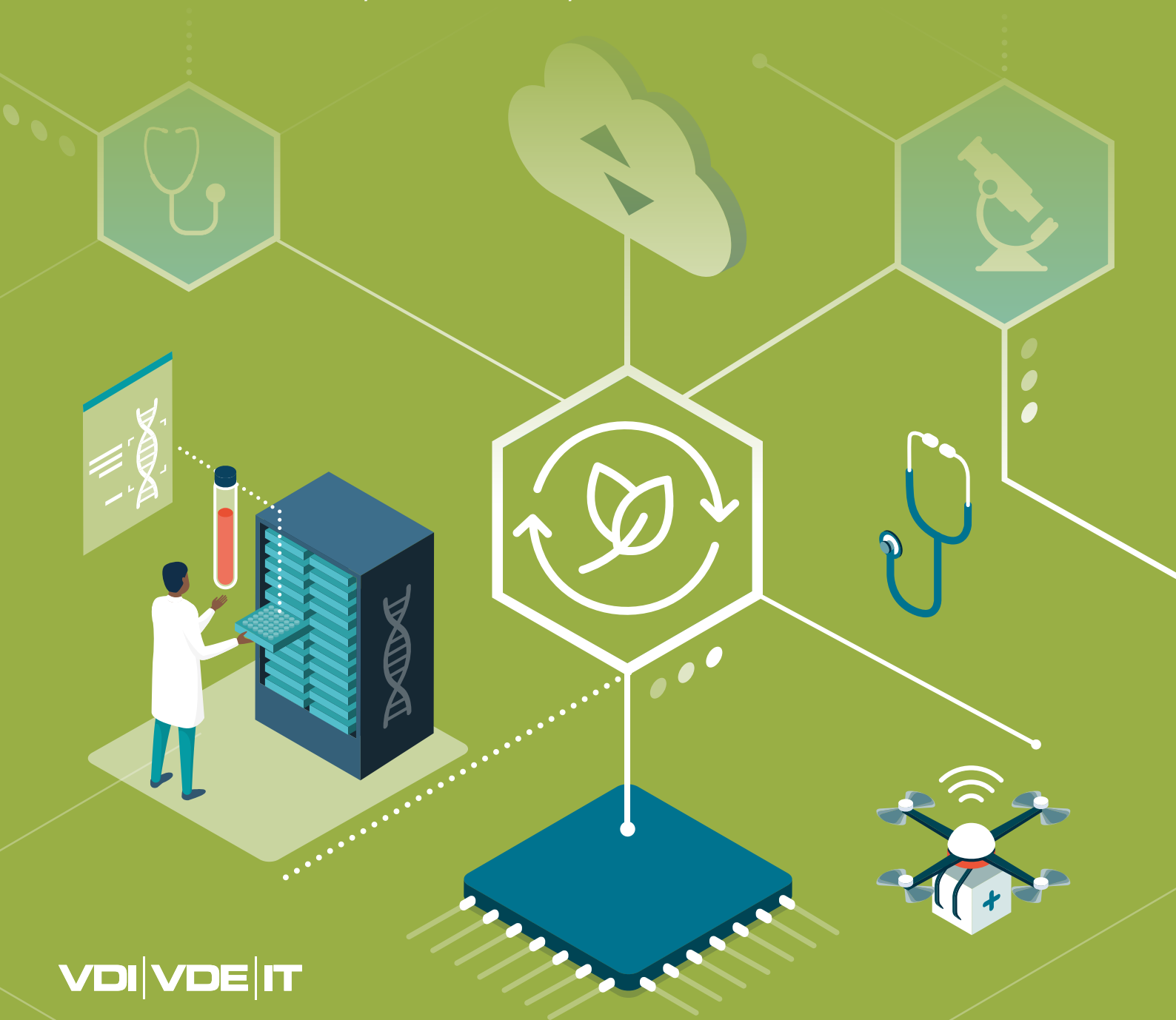


Ökologische Nachhaltigkeit in der Medizintechnik als gesellschaftliche, regula- torische und technologische Gestaltungsaufgabe

Markus Gerold, Mona Hille, Bettina Schmietow



Ökologische Nachhaltigkeit in der Medizintechnik als gesellschaftliche, regulatorische und technologische Gestaltungsaufgabe

1. Gesellschaftlicher, regulatorischer und wirtschaftlicher Kontext

Der [Gesundheitssektor ist für rund 4,4% der globalen Treibhausgasemissionen](#) verantwortlich, und wäre damit, wenn er ein Land wäre, der [fünftgrößte Treibhausgasemittent](#). Regulatorische Vorgaben und ambitionierte Klimaziele lassen die Nachfrage nach nachhaltigen Medizintechnikprodukten steigen, da Nachhaltigkeit zunehmend in Ausschreibungs- und Vergabeverfahren im Gesundheitswesen berücksichtigt wird und [ökologische Kriterien wie CO₂-Bilanz und Ressourcenschonung zunehmend eingefordert werden](#).

Ökologische Nachhaltigkeit hat sich in den vergangenen Jahren zu einem zentralen Handlungsfeld in Politik, Gesellschaft und Wirtschaft entwickelt. Initiativen wie die [Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen](#) sowie der [European Green Deal](#) verfolgen das Ziel, Umweltbelastungen systematisch zu reduzieren und Ressourceneffizienz sektorenübergreifend zu fördern. Diese Zielsetzungen wirken zunehmend auch auf den Gesundheitssektor und insbesondere auf die Medizintechnik, die als technologie- und innovationsintensive Branche in relevantem Umfang zu Energieverbrauch, Materialeinsatz und Abfallaufkommen beiträgt. Der regulatorische Rahmen, insbesondere die [EU-Medizinprodukteverordnung](#) sowie Anforderungen an nachhaltige öffentliche Beschaffung, verstärkt den Druck, ökologische Aspekte entlang des gesamten Produktlebenszyklus von Medizinprodukten systematisch zu berücksichtigen. Ergänzend befinden sich weitere regulatorische Konkretisierungen in Vorbereitung, wie die Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) [Restrictions der European Chemicals Agency](#) und der [Circular Economy Act](#).

Die Umsetzung ökologischer Nachhaltigkeit in der Medizintechnik ist von Zielkonflikten geprägt. Auf der einen Seite begünstigen die hohen Anforderungen an Patientensicherheit, Hygiene und Zuverlässigkeit den Einsatz energieintensiver Technologien und kurzlebiger Einwegprodukte. Auf der anderen Seite steht der Anspruch, Umweltwirkungen durch die Reduktion kritischer Rohstoffe zu minimieren. Dieses Spannungsfeld wird im klinischen Alltag besonders deutlich, etwa beim Einsatz von [Einmalprodukten zur Infektionsprävention](#) oder bei der

Nutzung [bildgebender Großgeräte wie MRT- und CT-Systemen](#) mit hohem Energiebedarf.

Hinzu kommt, dass Hersteller von Medizinprodukten unter Innovations-, Kosten- und Regulierungsdruck stehen. Sie müssen Nachhaltigkeitsanforderungen mit wirtschaftlicher Wettbewerbsfähigkeit in Einklang bringen, während nachhaltige Design- und Recyclingkonzepte nicht selten im Spannungsverhältnis zu regulatorischen Anforderungen an Sicherheit, Validierbarkeit und Produktleistung stehen. Konkret sehen sich Gesundheitseinrichtungen mit steigenden Nachhaltigkeitsanforderungen konfrontiert, die sie umsetzen müssen, ohne aber die Versorgungsqualität oder Wirtschaftlichkeit zu gefährden. Die nachhaltige Transformation der Medizintechnik erfordert daher eine [systemische Perspektive, die ökologische, ökonomische und soziale Dimensionen gleichermaßen berücksichtigt](#).

2. Aktuelle Entwicklungsdynamiken nachhaltiger Medizintechnik

Vor dem Hintergrund der beschriebenen regulatorischen Entwicklungen, technologischen Innovationen und gesellschaftlichen Anforderungen lassen sich derzeit mehrere zentrale Entwicklungsdynamiken in der nachhaltigen Medizintechnik beobachten. Diese Dynamiken betreffen unterschiedliche Ebenen der Wertschöpfung – von der Produktentwicklung über Materialien und klinische Anwendungen bis hin zu datenbasierten und KI-gestützten Ansätzen zur Analyse, Bewertung und Umsetzung nachhaltiger Innovationen.

Weichenstellung in der Produktentwicklung mit Design for Sustainability

Erstens rückt ein konsequent nachhaltigkeitsorientiertes Produktdesign, das sogenannte Design for Sustainability, in den Fokus. Darunter wird ein systematischer Gestaltungsansatz verstanden, bei dem ökologische Kriterien wie Materialeffizienz, Langlebigkeit, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit von Beginn ein integraler Bestandteil der Produktentwicklung sind, [um Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg gezielt zu steuern](#).

Schätzungen zufolge werden bis zu 80 % der gesamten Umweltwirkungen eines Produkts in der Designphase festgelegt. Designentscheidungen prägen den späteren Ressourcen- und Emissionsfußabdruck also maßgeblich mit. Vor diesem Hintergrund setzen Hersteller verstärkt auf Materialreduktion, modulare Produktarchitekturen und recyclinggerechte Konstruktionen. Ein häufig zitiertes Praxisbeispiel ist der von Röchling Medical neu entwickelte Einweg-Trokar: Durch ein gezieltes Redesign konnte die Anzahl der Bauteile von zwölf auf acht reduziert, Klebstoffe durch Schnappverbindungen ersetzt und das [Treibhausgaspotenzial des Produkts insgesamt um 51 %](#) gesenkt werden.

Biobasierte Medical-Grade-Werkstoffe als Treiber der Materialinnovation

Zweitens gewinnen Werkstoffinnovationen mit reduzierter fossiler Abhängigkeit an Bedeutung, insbesondere sogenannte Medical-Grade-Biokunststoffe. Unter Medical-Grade-Biokunststoffen werden biobasierte Kunststoffe verstanden, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden und die hohen funktionalen, sicherheits- und regulatorischen Anforderungen des Medizinsektors erfüllen müssen, etwa Biokompatibilität, Sterilisierbarkeit und Rückverfolgbarkeit nach Normen wie [ISO 10993](#), [ISO 13485](#) oder der [VDI-Richtlinie 2017](#). Damit verbinden sie regulatorische Konformität mit einer verbesserten Umweltbilanz und entwickeln sich zu einem eigenständigen Trend innerhalb der Medizin- und Gesundheitstechnik.

Zunehmend ersetzen Unternehmen konventionelle Kunststoffe durch Medical-Grade-Alternativen für Geräte der Medizintechnik, In-vitro-Diagnostik und Pharmaverpackungen, in denen Einwegprodukte und Verpackungen für einen hohen Anteil der CO₂-Emissionen verantwortlich sind. Ein Beispiel für diese technologische Entwicklung ist das [deutsche Unternehmen biovox, das europaweit biobasierte Medical-Grade-Kunststoffsysteme vertreibt](#), die auf Polymilchsäure (PLA) basieren und als nachhaltige Alternative für Medizintechnik- und Pharmaverpackungen entwickelt wurden. Diese Materialien ermöglichen gegenüber fossilen Kunststoffen teils deutliche CO₂-Einsparungen pro Bauteil und zeigen, dass ISO-Konformität und Prozesssicherheit im Spritzguss auch mit biobasierten Werkstoffen erreichbar sind.

Darüber hinaus zeigen internationale Entwicklungen, dass biokompatible [Polymere wie Polyhydroxyalkanoate \(PHA\)](#) aktiv für implantierbare oder resorbierbare Anwendungen

untersucht werden, etwa für chirurgische Nahtmaterialien, resorbierbare Implantate oder biokompatible Beschichtungen. Diese Materialien werden vermehrt als Alternative in jenen Anwendungsbereichen erprobt, in denen der Einsatz von Rezyklaten aufgrund regulatorischer oder sicherheitstechnischer Hürden bislang kaum möglich war. Erste Serienanwendungen zeigen, dass sich Patientensicherheit, Prozessstabilität und ökologische Nachhaltigkeit zunehmend miteinander vereinbaren lassen. Ergänzend wird die Entwicklung weiterer biobasierter Werkstoffe wie biobasierte Polyethylen (PE) oder bio-Thermoplastische Elastomere (TPE) vorangetrieben. Ziel ist es, diese für technisch anspruchsvolle Anwendungen wie [Beatmungs- oder Kreislaufsysteme](#) nutzbar zu machen.

Implementierung von R-Strategien im Klinikbetrieb

Drittens zeigt sich eine zunehmende Übertragung von Kreislaufwirtschafts- und R-Strategien in den klinischen Alltag. Kreislauffähige Produkte sowie Reduce, Reuse, Repair und Recycle gewinnen in der Medizin- und Gesundheitstechnik als zentrale Bausteine zirkulärer Wertschöpfung an Bedeutung. Während Einwegprodukte lange Zeit nahezu ausschließlich der energetischen Verwertung zugeführt wurden, und damit ein hoher Ressourcenverbrauch mit bislang niedrigen Recyclingquoten einherging, erproben Kliniken und Industriepartner zunehmend Rücknahme- und Recyclingkonzepte, um hochwertige Materialien im Stoffkreislauf zu halten und Emissionen zu reduzieren. Reduce-Strategien zielen hierbei auf die Minimierung von Materialmengen, während Reuse und Repair unter Einhaltung strenger Hygieneanforderungen die Nutzungsdauer von Produkten verlängern sollen. Beispiele für Recycling sind das Herz- und Diabeteszentrum Nordrhein-Westfalen sowie das Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf: Im Herz- und Diabeteszentrum werden gebrauchte Herzkatheter systematisch gesammelt, [um enthaltene Metalle und Kunststoffe gezielt zurückzugewinnen und der Wiederverwertung zuzuführen](#). Das Universitätsklinikum hat gemeinsam mit Dräger ein strukturiertes Rücknahmesystem für Atem- und Anästhesieschläuche etabliert, durch das [jährlich rund 1.000 kg Kunststoffmaterial](#) stofflich verwertet werden. Ergänzend zeigen Programme wie das Recyclingkonzept der Sana Kliniken AG, bei dem unter anderem OP-Verbrauchsmaterialien und Verpackungen getrennt erfasst und wiederverwertet werden, dass [Kreislaufstrategien zunehmend systematisch in den Krankenhausbetrieb integriert](#) und entlang organisatorischer Prozesse verankert werden.

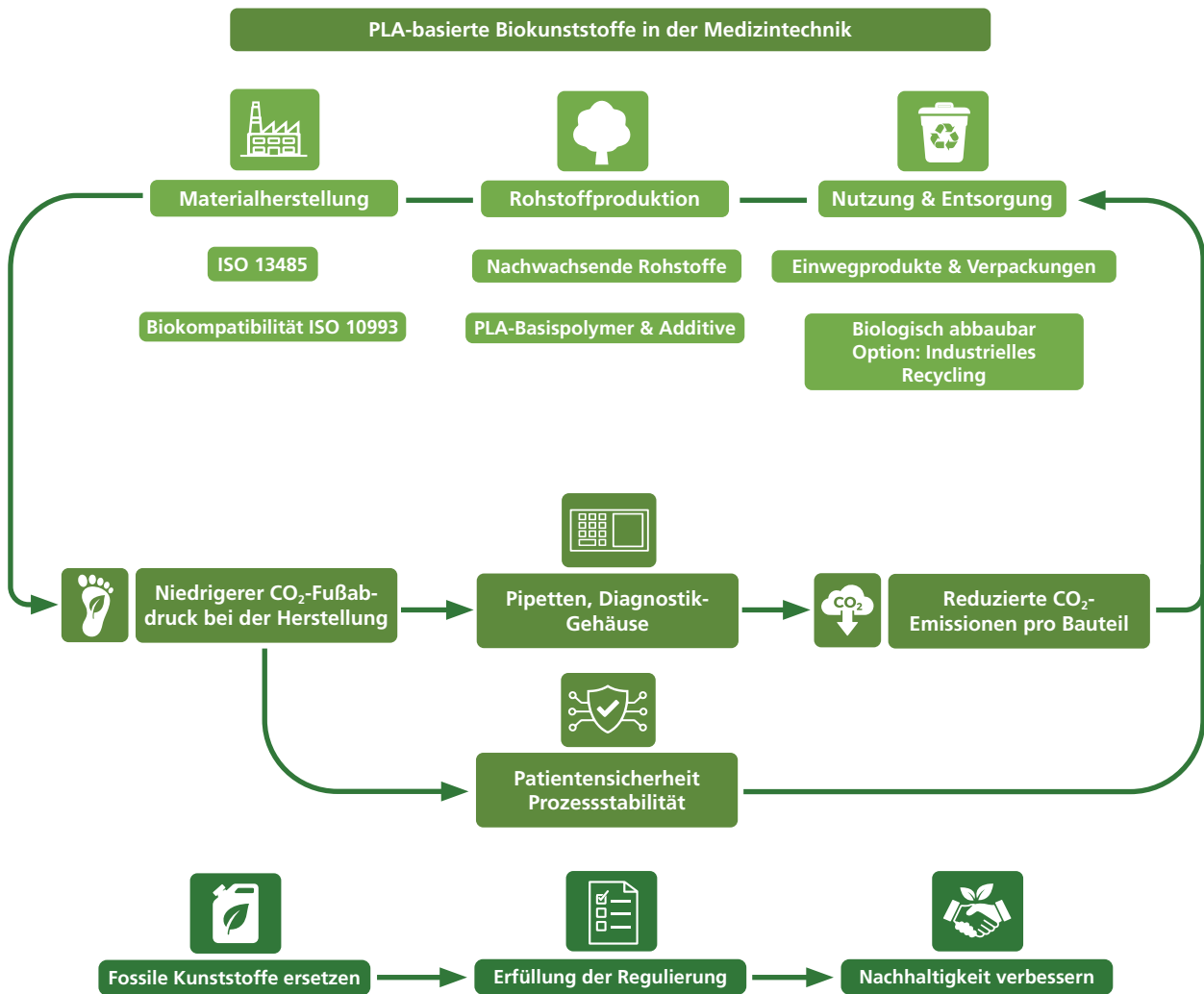


Abbildung 1: Life Cycle-Assessment von Medical-Grade Biokunststoffen, eigene Darstellung

Strukturelle Verankerung innovativer Nachhaltigkeitslösungen im Gesundheitswesen

Diese Beispiele verdeutlichen, dass sich Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen in den vergangenen Jahren von punktuellen Pilotprojekten hin zu skalierbaren, organisatorisch verankerten Lösungsansätzen entwickelt hat, die unter Berücksichtigung von Hygiene- und Sicherheitsanforderungen wie der [LAGA M18](#) (Vollzugshilfe der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall zur Einstufung und Entsorgung von Abfällen aus Einrichtungen des Gesundheitsdienstes) gezielt auf sortenreine Sammlung, sichere Aufbereitung und hochwertige stoffliche Verwertung ausgerichtet sind und zugleich einen Beitrag zur Umsetzung europäischer Kreislaufwirtschaftsziele leisten. Ökologische Nachhaltigkeit ist in der Medizintechnik nicht mehr als isoliertes Innovationsfeld, sondern als systemische Transformationsaufgabe zu verstehen. Hier öffnet sich ein Handlungsfeld für Industrie, Wissenschaft und Forschungsförderung.

Die Rolle Künstlicher Intelligenz

KI-basierte Verfahren eröffnen darüber hinaus Potentiale zur Steigerung der Ressourceneffizienz sowie Emissionsreduktion. In der bildgebenden Diagnostik können intelligente Rekonstruktionsalgorithmen beispielsweise die erforderliche Strahlendosis oder Messzeit reduzieren und dadurch den [Energieverbrauch, die Belastung der Patient:innen und die Gerätebelastung senken](#). In der Produktion von Medizinprodukten ermöglichen KI-gestützte Qualitätskontrollen und Prozessoptimierungen eine [Verringerung von Ausschussraten sowie einen effizienteren Einsatz von Materialien und Energie](#). Außerdem bieten Predictive-Maintenance-Ansätze das Potenzial, Wartungsbedarfe von Medizingeräten frühzeitig zu erkennen, ungeplante Ausfälle zu vermeiden und die Lebensdauer von Anlagen zu verlängern. Dies erhöht die Betriebssicherheit und [reduziert zugleich ressourcenintensive Ersatzinvestitionen](#). Auf Systemebene können KI-gestützte Analysen klinischer und logistischer Daten zur Optimierung von OP-Planung,

Geräteauslastung und Materialflüssen beitragen und damit Überkapazitäten in Gesundheitseinrichtungen reduzieren.

3. Handlungsperspektiven für eine nachhaltige Medizintechnik

Die dargestellten Entwicklungen zeigen, dass ökologische Nachhaltigkeit in der Medizintechnik zunehmend durch konkrete technologische Innovationen und organisatorische Lösungen geprägt wird. Gleichzeitig wird deutlich, dass eine nachhaltige Transformation des Sektors nicht allein durch einzelne Pilotprojekte oder technologische Fortschritte erreicht werden kann, sondern strategische Maßnahmen auf Seiten von Unternehmen, Forschung und Förderpolitik erfordert. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche Handlungsperspektiven sich für Industrie und Wissenschaft ergeben, um nachhaltige Innovationsprozesse systematisch zu fördern und langfristig zu verankern. KI kann dabei als Enabler fungieren, um bestimmte Prozesse zu ermöglichen, zu effektivieren oder zu skalieren, indem sie datenbasierte Entscheidungsgrundlagen schafft und komplexe Zusammenhänge entlang von Wertschöpfungs- und Lebenszyklen analysierbar macht. Gleichzeitig eröffnet sie neue Möglichkeiten, Nachhaltigkeitsziele frühzeitig in Entwicklungs- und Entscheidungsprozesse zu integrieren und so systemische Verbesserungen zu unterstützen.

Unternehmensstrategien für nachhaltige Produkt- und Prozessinnovation

Ökologisches Handeln und nachhaltiges Produktdesign sollten entlang einer klaren Nachhaltigkeitsstrategie ausgerichtet sein, die [Nachhaltigkeit systematisch in Unternehmensführung, Forschung und Entwicklung sowie Beschaffungsprozesse integriert](#). Dazu zählt, dass Verantwortlichkeiten klar benannt und [geeignete Monitoring- und Reportingstrukturen etabliert werden](#). Durch Kooperationen mit Entsorgungs- und Recyclingdienstleistern können Kreisläufe effektiv umgesetzt werden. Daneben gibt es eine Vielzahl an Ansätzen wie KI-Unternehmensstrategien für nachhaltige Produkt- und Prozessinnovationen unterstützen kann, zum Beispiel die KI-gestützte Mehrzieloptimierung von Produkten. Mehrzieloptimierung meint dabei [gleichzeitige Berücksichtigung und Abwägung von teils konkurrierenden Produkteigenschaften](#) wie Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Leistung. Auch die Umweltauswirkungen der Produkte können durch KI modellhaft simuliert und so bereits im Vorfeld abgeschätzt und bewertet werden. Zuletzt kann KI auch [Compliance und Risikoanalyse](#) unterstützen. Hierfür können im Designprozess regulatorische Anforderungen sowie Sicherheitsrisiken automatisch geprüft werden um

nachhaltige Produktdesign konform der aktuellen Regulierungen rechtssicher umzusetzen.

Nachhaltigkeitskennzahlen und KI-gestütztes Monitoring

Zur Überprüfung dieser Ziele sollten sich Unternehmen messbare Kennzahlen, sogenannte Key Performance Indicators (KPIs), setzen, anhand derer der Erfolg der Maßnahmen gemessen werden kann. Diese KPIs sollten in der Lage sein, die abstrakten Nachhaltigkeitsziele in eindeutig messbare Größen zu übersetzen und zugleich der Komplexität der gestellten Anforderungen gerecht werden. KPIs sollten sich an dem Lebenszyklus-Modell orientieren, um den gesamten Herstellungs- und Produktlebenszyklus im Blick zu haben. [Mögliche Kategorien an KPIs](#) können dabei Energie- und Emissions-KPIs, Material-, Abfall- und Kreislauf-KPIs, Prozess- und Ressourceneffizienz-KPIs sowie Lieferketten- und Produktnutzungs-KPIs sein. Um die Erreichung dieser KPIs sicherzustellen, sollten diese [in bestehende Managementsysteme strategisch integriert](#) werden. KI kann diese Prozesse durch datenbasierte Analysen, etwa im Bereich der Lieferkettenanalyse, der Risikoabschätzung sowie der Optimierung von Material- und Energieflüssen als auch [End-of-Life-Strategien](#) unterstützen. Dies gilt für die Auswahl von Materialien, die Zusammensetzung der Produkte sowie für die Auswertung von Nutzungsdaten wie Betriebs- und Verschleißdaten um Schwächen zu erkennen, die Lebensdauer zu steigern, die Wartung zu optimieren und Produkte mit einer höheren Modularität und besseren Reparatureignung zu gestalten. [Realistische KPIs](#) können sich dabei auf verschiedene Dimensionen nachhaltiger Wertschöpfung beziehen, etwa auf ökologische Auswirkungen wie Energieverbrauch oder Treibhausgasemissionen, auf Indikatoren der Kreislaufwirtschaft wie Recyclingfähigkeit, Materialeinsatz oder Abfallmengen, auf Nachhaltigkeitsaspekte in der Lieferkette sowie auf Kennzahlen zum Produktlebenszyklus, beispielsweise Nutzungsdauer, Wartungsaufwand oder Reparierbarkeit. Auf diese Weise ermöglichen KPIs eine systematische Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung über verschiedene Phasen der Wertschöpfung hinweg und schaffen eine datenbasierte Grundlage, um Fortschritte messbar zu machen und gezielte Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten.

Life Cycle Assessment, Nachhaltigkeitsmetriken, ökologische Designprinzipien mit KI

Ein in der wissenschaftlichen Diskussion häufig debattierter Ansatz zur Förderung der Nachhaltigkeit im Bereich Medizinprodukte ist die [Lebenszyklusanalyse](#) (Life Cycle Assessment, LCA). Ziel dieser Methode ist es, die Umweltauswirkungen von Medizinprodukten über den gesam-

ten Produktlebenszyklus von der Ressourcengewinnung bis zur Entsorgung transparent zu machen. Die Durchführung einer LCA ist aufgrund ihrer Komplexität und oftmals fehlender Datenpunkte aufwendig und zeitintensiv. KI kann hierbei insbesondere bei der Datenerhebung, der Sicherstellung der Datenqualität und der Szenarienrechnung, also der [Abschätzung von Auswirkungen verschiedener Handlungsoptionen](#) helfen, indem intelligente Schätzverfahren herangezogen werden, fehlende Daten rekonstruiert und Designvarianten simuliert werden. So können zum Beispiel Datenlücken geschlossen werden, Design- und Materialvarianten analysiert und bewertet sowie optimierte Szenarien für nachhaltige Medizinproduktherstellung erstellt werden.

Inter- und transdisziplinäre Ansätze und Ergebnistransfer

Um wissenschaftliche Ergebnisse für die Anwendung zugänglich zu machen, sollten Wissenschaft und Fördermittelgeber vor allem Praxisnähe und Skalierbarkeit der Lösungen für Stakeholder wie Kliniken, F&E-Abteilungen und Forschungsförderung im Blick haben. In Förderprojekten sollten bereits im Projektantrag geeignete Indikatoren sowie konkrete Transferpfade dargestellt werden. Außerdem sollte Wert auf skalierbare Lösungen und Ergebnisse mit einem Fokus auf die Entwicklungen von Standards, Benchmarks und Leitlinien gelegt werden. Hypothesen sollten in praxisnahen Pilotprojekten oder Demonstratoren nachvollziehbar getestet werden. Als Grundlage guter wissenschaftlicher Praxis sollten [Open Science](#) und FAIR Prinzipien integriert und auf bereits bestehende Initiativen oder Netzwerke referenziert werden. Open Science meint damit die Offenlegung und den freien Zugang zu Forschungsergebnissen, Publikationen, Daten und Software und Methoden, während die [FAIR](#) (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable)-Prinzipien die Forderung nach Auffindbarkeit, Zugänglichkeit, Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit der Daten darstellen.

Limitationen

Gleichzeitig ist der Einsatz von KI selbst mit ökologischen Herausforderungen verbunden. Insbesondere daten- und rechenintensive Trainingsprozesse sowie der Betrieb von IT- und Cloud-Infrastrukturen verursachen [einen erheblichen Energiebedarf](#). Die ökologische Bewertung von KI-Anwendungen muss daher sowohl ihre potenziellen Einsparwirkungen als auch ihren eigenen Ressourcenverbrauch berücksichtigen und präziser modelliert werden. Insbesondere der eigene Ressourcenverbrauch sowie

methodische und ethische Herausforderungen setzen der Anwendbarkeit und Skalierbarkeit entsprechender Ansätze Grenzen ([Green AI versus Red AI](#)). Darüber hinaus müssen auch bekannte Gefahren der Anwendung wie das Black-Box-Problem oder methodische Verzerrungen und Biases berücksichtigt werden.

KI sollte als integraler Bestandteil einer umfassenden Nachhaltigkeitsstrategie in der Medizintechnik verstanden werden, der technologische Innovation, regulatorische Anforderungen und gesellschaftliche Verantwortung miteinander verbindet und dabei selbst kritisch reflektiert wird.

4. Nachhaltige Medizintechnik als Gestaltungsaufgabe

Ökologische Nachhaltigkeit in der Medizintechnik entwickelt sich zunehmend von einer normativen Zielsetzung zu einem konkreten Innovations- und Gestaltungsfeld. Regulatorische Anforderungen, gesellschaftliche Erwartungen und wirtschaftliche Rahmenbedingungen erhöhen den Handlungsdruck. Zugleich eröffnen technologische Entwicklungen neue Möglichkeiten, Umweltwirkungen gezielt zu reduzieren, ohne Sicherheit und Versorgungsqualität zu beeinträchtigen. Nachhaltigkeit wird damit immer stärker zu einem integralen Bestandteil technologischer und organisatorischer Innovation.

Die Medizintechnik hat sich in den vergangenen Jahren technologisch gewandelt: von vereinzelt Laborlösungen hin zu industriell nutzbaren, klinisch geprüften biobasierten Materialien mit realem Einsatzpotenzial. Ergänzend eröffnen datenbasierte Ansätze und KI-gestützte Verfahren neue Möglichkeiten, Entwicklungs-, Produktions- und Betriebsprozesse effizienter zu gestalten. Entsprechende Ansätze werden bereits heute in Produktentwicklung, Produktion und Klinikbetrieb erprobt. Sie zeigen, dass Ressourceneffizienz und Leistungsfähigkeit kein grundsätzlicher Widerspruch sein müssen.

Damit wird ökologische Nachhaltigkeit zu einer gemeinsamen Gestaltungsaufgabe von Industrie, Wissenschaft, Gesundheitswesen und Förderpolitik. Unternehmen können Nachhaltigkeitsprinzipien stärker in ihre Innovationsprozesse integrieren, während Forschung und Förderprogramme die methodischen Grundlagen und experimentellen Räume für neue Lösungen schaffen. Werden diese Dynamiken strategisch aufgegriffen, kann die Medizintechnik den steigenden Anforderungen begegnen und zugleich aktiv zur Entwicklung einer ressourcenschonenden und leistungsfähigen Gesundheitsversorgung beitragen.

Herausgeber:

VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Steinplatz 1 | 10623 Berlin

www.vdivde-it.de

Bildnachweis:

elenabs/istockphoto

© VDI/VDE-IT 2026