



**Positionspapier des Verbunds Ressourcentechnologien
und Bioökonomie VRB**

Circular Health

Prävention und zirkuläres Wirtschaften im Bereich
Gesundheit, Umwelt und Agrarwirtschaft

Inhalt

Circular Health	4
Das Circular-Health-Konzept	5
One Health – Eine gesunde Umwelt für einen gesunden Menschen	5
Zirkuläres anstatt lineares Wirtschaften – One Health weitergedacht	6
Circular Health – Verbindung der Kreislaufwirtschaft mit One Health	6
Strategische Handlungsfelder und Zielmärkte	8
Handlungsfeld Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion	9
Handlungsfeld Zoonosen und mikrobielle Resistenzen	13
Handlungsfeld Wertschöpfungskreisläufe im Gesundheitssektor	16
Handlungsfeld Gesundheit und Umwelt	20
Ausblick	23
Quellen und weiterführende Literatur	24
Abbildungsverzeichnis	26
Impressum	27

Circular Health

Zusammenfassung

Die Ökosysteme, in denen wir uns bewegen, sind durch Kreisläufe gekennzeichnet, die eng miteinander verknüpft sind, beispielsweise der Kohlenstoffkreislauf mit dem Wasserkreislauf und unterschiedlichen Nährstoffkreisläufen. Die ökologischen Kreisläufe haben einen wesentlichen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen. Störungen führen häufig zu kaum kalkulierbaren Auswirkungen, auch für benachbarte Systeme. Die daraus folgende Destabilisierung intakter Ökosysteme führt zu vielfältigen Herausforderungen, bis hin zur Entstehung und Verbreitung neuer Pathogene, wie das SARS-CoV-2-Virus mit den bekannten Folgen von Covid-19 gezeigt hat. Für die Kreisläufe kritische Faktoren zu erkennen, die für die Bevölkerung negativen Faktoren durch Minimierung zu steuern und die positiven Faktoren zu stimulieren, ist ein wesentliches Ziel von »Circular Health«.

Circular Health versteht sich als ein cross-sektoraler und transdisziplinärer Ansatz, der wesentliche Inhalte aus zwei Konzepten, dem One-Health-Konzept – Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt – und dem Konzept einer Circular Economy aufgreift und im Kontext ökologischer Kreisläufe zusammenführt. Als wesentliche Störfaktoren ökologischer Kreisläufe können die intensivierte Agrarwirtschaft und ein überwiegend linear aufgestelltes Wirtschaftssystem genannt werden.

Ziel muss daher sein, durch eine synergistische Verknüpfung von bestehenden und neu zu entwickelnden Technologien die negativen Umweltwirkungen infolge einer Destabilisierung der Ökosysteme signifikant zu reduzieren und damit zu einer präventiven Gesundheitsvorsorge beizutragen. Fraunhofer ist die einzige Organisation in Europa, die einen Großteil der dazu notwendigen Kompetenzen unter einem Dach vereint. Der Übergang zu einer Circular Economy (verankert u. a. im Kreislaufwirtschaftsgesetz) bietet gegenwärtig enorme Chancen, durch die Verringerung negativer Umweltwirkungen auch erheblichen gesundheitlichen Mehrwert zu generieren, welcher sich direkt in einer Entlastung der Gesundheitssysteme niederschlagen wird.

In diesem Kontext priorisiert Circular Health Innovationen in Ernährungs-, Agrar- und Gesundheitswirtschaft, etwa die Erschließung nachhaltiger Nahrungsquellen, den Einsatz

Die VISION von Circular Health ist die nachhaltige Gesundheit von Mensch und Tier im Einklang mit Umwelt und Ökonomie.

Die MISSION von Circular Health verfolgt eine nachhaltige Sicherung der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt durch kreislaufbasierte Ansätze in Medizin, Agrar-, Lebensmittel- und Umweltwissenschaften.

umweltschonender Pflanzenschutzmittel und Tierfutter-Zusatzstoffe sowie die Eindämmung antimikrobieller Resistenzen (AMR) und Zoonosen. Die Etablierung zirkulärer Produktionsverfahren führt zur Reduktion von Roh- und Reststoffströmen. Daher sollen lineare, fossilbasierte Wertschöpfungsketten im Umwelt- und Ressourcen-Management sowie in der Gesundheitswirtschaft durch souveräne und nachhaltige Wertschöpfungskreisläufe ersetzt werden. Dies wird auch die Ausfallsicherheit des Gesundheitssystems stärken und zudem eine nachhaltige Produktion von medizinischen Produkten ermöglichen.

Dazu entwickeln wir Lösungen für

- eine Reduktion der Umweltbelastungen durch die Umsetzung nachhaltiger, souveräner und resilienter Wertschöpfungskreisläufe in der Agrar- und Gesundheitswirtschaft,
- nachhaltige Produktionskonzepte in der Pflanzenkultivierung und Tierhaltung,
- die ursachenfokussierte Eindämmung von Zoonosen und mikrobiellen Resistenzen,
- die Stabilisierung ökologischer Kreisläufe und den Erhalt der biologischen Vielfalt..

Auf diese Weise werden Umwelt- und Ressourcen-Management, Gesundheitswirtschaft und zirkuläre ökonomische und ökologische Prozesse zusammengeführt (Zusammenspiel von Ökonomie und Ökologie) mit dem Ziel, eine deutlich verbesserte Nachhaltigkeit im Sinne der »Sustainable Development Goals« (SDGs) der UN [1] zu erreichen sowie zu einer präventiven Gesundheitsvorsorge beizutragen.

Das Circular-Health-Konzept

Gesundheitswesen und Medizin in der westlichen Welt sind traditionell auf die Heilung von Erkrankungen des Menschen fokussiert. Dadurch ist das Gesundheitswesen systemimmanent auf die Wiederherstellung der Gesundheit des erkrankten Menschen fokussiert, wenngleich Vorsorge und Prävention in den letzten Jahren an Bedeutung gewinnen konnten. Im Vergleich zu Großbritannien oder den skandinavischen Ländern ist Deutschland diesbezüglich jedoch noch deutlich im Rückstand. Medizinische Therapien konzentrieren sich hierzulande häufig auf die Beseitigung der Symptome einer Erkrankung, ohne die Ursachen für die zugrundeliegende Erkrankung vollständig zu erfassen und zu beseitigen. In der Folge steigen die Kosten im Gesundheitswesen kontinuierlich an, sodass gleichwertige Behandlungsmöglichkeiten für alle Menschen bereits heute nicht mehr realisierbar sind.

One Health – Eine gesunde Umwelt für einen gesunden Menschen

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass eine Grundvoraussetzung für einen gesunden Menschen eine intakte und im Gleichgewicht befindliche, »gesunde« Umwelt mit stabilen ökologischen Kreisläufen darstellt. Unsere ressourcenintensive Lebensweise mit dem massiven Einsatz fossiler Energieträger, einer stark intensivierten Landwirtschaft und Viehzucht sowie einer zunehmenden Übernutzung der endlichen Rohstoffreserven unseres Planeten haben jedoch erhebliche Veränderungen in der Umwelt verursacht und ganze Ökosysteme destabilisiert. Der unübersehbare Klimawandel, übermäßige Pestizid-, Antibiotika- und Schadstoffeinträge in Umweltmedien und Nahrungsketten sowie der kontinuierliche Verlust der Biodiversität sind nur wenige Beispiele der durch den Menschen verursachten Umweltveränderungen. Eine Zunahme von Krankheiten beim Menschen, deren Ursache auf dem erhöhten Schadstoffgehalt in der Umwelt beruhen, das vermehrte Auftreten lebensbedrohender multiresistenter Keime in Kliniken und Zoonosen wie die SARS-CoV2-Pandemie,

sind unmittelbare Folgen dieser weltweiten Umweltveränderungen – mit erheblichen negativen Konsequenzen für unsere Gesellschaft und einer zunehmenden Belastung der Gesundheitssysteme.

Die gegenwärtig erlebbaren Folgen der massiven Eingriffe in die natürlichen Kreisläufe führen uns deutlich vor Augen, wie eng die Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt miteinander verwoben sind, und dass sie daher stets im Ganzen betrachtet werden müssen. Aktuelle Herausforderungen unterstreichen die Dringlichkeit des Handelns.

Die Übertragung von Tierkrankheiten auf den Menschen wurde bereits Mitte des 19. Jahrhunderts erkannt [2]. Der direkten Abhängigkeit zwischen Tier- und Humangesundheit und einer intakten Umwelt wurde allerdings erst zur Jahrtausendwende größere Beachtung geschenkt. Der Begriff »One Health« [3] wurde erstmals in den Jahren 2003–2004 verwendet und stand im Zusammenhang mit dem Auftreten von SARS (Schweres Akutes Respiratorisches Syndrom) Anfang des Jahres 2003 und der späteren, weltweiten Ausbreitung der Vogelgrippe H5N1 (Ende 2003/Anfang 2004). Auf einer Tagung der Wildlife Conservation Society (WCS) im September 2004 wurde eine Reihe strategischer Ziele als Voraussetzung für die Umsetzung von One Health identifiziert: die sogenannten »Manhattan Principles«.



Mit Circular Health wollen wir negative Umweltwirkungen reduzieren, die biologische Vielfalt schützen und zu einer präventiven Gesundheitsvorsorge beitragen.»

In den Manhattan Principles werden der Zusammenhang zwischen der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt sowie die Gefahren, die Krankheiten für die Lebensmittelversorgung und die Wirtschaft darstellen, eindeutig benannt [4]. Unter dem Begriff One Health wurde damit erstmals die Gesundheit des Menschen mit der Gesundheit von Tier und Umwelt verknüpft. Die Minimierung gesundheitlicher Risiken kann daher nur durch ein integratives Management aller genannten Bereiche erfolgreich sein. Dies wurde durch die »Berlin Principles on One Health«, kurz vor Ausbruch der SARS-CoV2-Pandemie nochmals verstärkt [5].

One Health begegnet dem Thema Gesundheit damit auf einer breiteren, über den traditionellen medizinischen Ansatz hinausgehenden Basis, um ein integratives Management gesundheitlicher Risiken zugunsten von Nahrungsmittelsicherheit, der Eindämmung von Zoonosen sowie von Antibiotikaresistenzen zu ermöglichen. Mit dieser Erweiterung des »Bilanzkreises« setzt One Health erstmals bei den im Umfeld des Menschen liegenden Krankheitsursachen in präventiver Art und Weise an.

Zirkuläres anstatt lineares Wirtschaften – One Health weitergedacht

Das One-Health-Konzept fokussiert sehr stark auf Zoonosen und Antibiotikaresistenzen, insbesondere im Kontext der Nahrungsmittelproduktion. Die Berücksichtigung intakter Ökosysteme steht nicht im Vordergrund. Die eingangs genannten globalen Herausforderungen des Klimawandels, der Akkumulation persistenter Schadstoffe in unserer Umwelt, der Übernutzung natürlicher Ressourcen, des Verlusts natürlicher Lebensräume und der Biodiversität sowie der Destabilisierung ganzer Ökosysteme gehen im Kern auf unsere lineare und überwiegend auf fossilen Rohstoffen basierende Wirtschaftsweise zurück. Nach dem Prinzip »Take, Make, Dispose« werden heute weltweit Ressourcen beansprucht und Emissionen und Abfälle erzeugt, die sich in der Atmosphäre, in Böden und Gewässern ansammeln, weil sie nicht kompatibel sind mit den natürlichen Stoffkreisläufen und diese überlasten – mit bereits genannten Folgen.

Ein nachhaltiger Ansatz zur Gewährleistung der Gesundheitserhaltung des Menschen erfordert daher zwingend die Beachtung zirkulärer Prinzipien und ökologischer Kreisläufe für eine nachhaltige Reinhaltung der Umweltmedien, Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Gewährleistung gesunder Nahrungsmittel und einen umweltverträglichen Einsatz (veterinär-)medizinischer Wirkstoffe. Die zirkuläre Wirtschaftsweise muss auch den Gesundheitssektor selbst umfassen, der global nicht nur zu den rohstoffintensivsten Branchen, sondern auch zu den größten Emittenten von Treibhausgasen und Schadstoffen zählt.

Vor diesem Hintergrund zielt Circular Health auf innovative Lösungsansätze, um Gefahren für die Gesundheit aus der Umwelt durch ein Zusammenspiel von Ökonomie und Ökologie abzuwehren.

Circular Health – Zusammenführung von Kreislaufwirtschaft, Ökologie und One Health

Der dringende Handlungsbedarf hin zu einem Circular-Health-Konzept wird auch im Diskurs über die Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs), deutlich. So zeigt die Analyse politischer und wissenschaftlicher Dokumente eine große Kluft zwischen den angestrebten Umweltzielen (insbesondere SDG13, Klima) und allen anderen SDGs, inklusive Gesundheit [6]. Dies steht im krassen Gegensatz zu den umfassenden Abhängigkeiten, die zwischen Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen sowie der Erreichbarkeit der meisten anderen SDGs festgestellt wurde [7]. Damit unterstreicht diese Analyse den dringenden Handlungsbedarf, Umweltziele mit gesundheitlichen und wirtschaftlichen Zielen zusammenzuführen, um deren Umsetzung gewährleisten zu können.

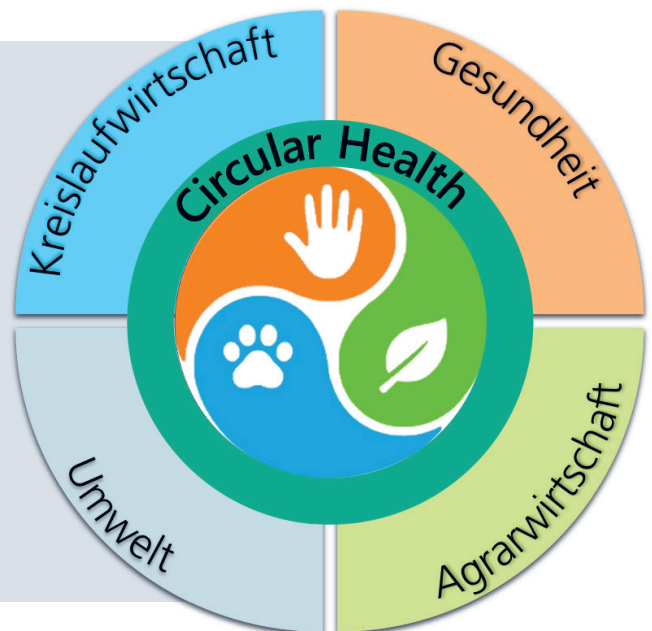
Circular Health verfolgt dieses Ziel, indem wesentliche Inhalte aus dem One-Health-Konzept und dem Konzept einer Circular Economy aufgegriffen und im Kontext ökologischer Kreisläufe zusammengeführt werden. Angestrebt wird dabei sowohl die Identifizierung der kritischen Faktoren dieser Kreisläufe als auch deren Steuerung, durch Minimierung der für die Bevölkerung negativen und Stimulierung der positiven Faktoren. Der bereits initiierte Übergang zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft [8] bietet vielfältige Chancen, um erheblichen gesundheitlichen Mehrwert zu generieren, der sich direkt in Vorteilen für die nationalen Gesundheitssysteme und indirekt in der Verringerung negativer Umweltauswirkungen widerspiegelt. Wesentliche Treiber stark umweltverändernder Bereiche sind die Sektoren Ernährungs- und Agrarwirtschaft, Transport und Verkehr sowie eine Vielzahl linearer Wertschöpfungsketten in der Produktion. Ziel muss daher sein, durch eine synergistische Verknüpfung von bestehenden und neu zu entwickelnden Technologien die negativen Umweltwirkungen signifikant zu reduzieren und so zu einer präventiven Gesundheitsvorsorge beizutragen [9]. Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die einzige Organisation in Europa, die einen Großteil der zur Lösung dieser Problemstellungen notwendigen Kompetenzen unter einem Dach vereint, und damit das Potenzial besitzt, die Grenzen zwischen den Disziplinen zu überwinden.

Unser Fokus liegt primär auf der Reduktion von Umweltbelastungen und biologischen Gefahren durch die Veränderung von bestehenden Wertschöpfungsketten. Ziel ist die Etablierung nachhaltiger, souveräner und resilienter Wertschöpfungskreisläufe, insbesondere in drei Bereichen: der Ernährungs- und Agrarwirtschaft, des Umweltschutzes sowie der Gesundheitswirtschaft [10, 11]. Erreicht werden kann dies durch neue nachhaltige und zirkuläre Produktionskonzepte beispielsweise in der Pflanzenkultivierung und Tierhaltung, eine auf die Ursachen fokussierte Eindämmung von Zoonosen und mikrobiellen Resistenzen [12] sowie durch Zirkularität und damit mehr Nachhaltigkeit im Produktionsbereich für den Gesundheitssektor [13].

Daraus ergeben sich für Circular Health folgende Vision und Mission:

Vision: Nachhaltige Gesundheit von Mensch und Tier in einer zirkulären Ökonomie (Kreislaufwirtschaft)

Mission: Nachhaltige Sicherung der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt durch kreislaufbasierte Ansätze in der Medizin, den Agrar- und Umweltwissenschaften



© Fraunhofer-Verbund VRB

Circular Health versteht sich als ein cross-sektoraler und transdisziplinärer Ansatz, der wesentliche Inhalte aus zwei Konzepten, dem One-Health-Konzept – Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt – und dem Konzept einer Circular Economy aufgreift und im Kontext ökologischer Kreisläufe zusammenführt. Kritische Faktoren dieser Kreisläufe zu erkennen und sie zu steuern, ist ein wesentliches Ziel von Circular Health. Damit leisten wir einen wesentlichen Beitrag zur präventiven Gesundheitsvorsorge und zur Erfüllung nationaler und internationaler Nachhaltigkeitsziele.

Strategische Handlungsfelder und Zielmärkte

Circular Health adressiert vorrangig die (Leit-)Märkte **Gesundheitswirtschaft, Ernährungs- und Agrarwirtschaft** sowie **Umweltschutz**. Durch kreislaufbasierte Ansätze in Medizin, Agrar-, Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik können wir zu einer nachhaltigen Sicherung der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt beitragen.

Basierend auf den im VRB bestehenden Kompetenzen wurden für die Umsetzung des Circular-Health-Konzepts vier strategische Handlungsfelder identifiziert, die vorrangig vorangetrieben werden. Die Handlungsfelder **Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion, Zoonosen und mikrobielle Resistenzen, Wertschöpfungskreisläufe im Gesundheitssektor** sowie **Gesundheit und Umwelt** adressieren unterschiedliche Aspekte der oben genannten Themen, um eine Reduktion der Umweltbelastungen und biologischer Gefahren durch die Umsetzung nachhaltiger, souveräner und resilienter Wertschöpfungskreisläufe in Ernährungs-, Agrar- und Gesundheitswirtschaft zu erreichen. Themenstellungen, wie beispielsweise die Vermeidung von Zoonosen oder Antibiotika-Rückständen in der Umwelt werden dabei gemeinsam mit unterschiedlichen Kompetenzen adressiert. Die sich daraus entwickelnden modular aufgebauten Kompetenznetzwerke sind durch die unterschiedlichen Lösungsansätze besonders geeignet um diese großen Themenkomplexe erfolgreich zu bearbeiten.

Themenkomplex Multiresistente Keime – Zusammenspiel der Handlungsfelder

Im Handlungsfeld *Nahrungsmittel und Rohstoffproduktion* werden neue Futtermittelsysteme mit antimikrobieller Wirkung entwickelt, die Antibiotika in der Tierhaltung weitgehend ersetzen und so AMR vermeiden sollen. Gleichzeitig werden im Handlungsfeld Zoonosen und mikrobielle Resistenzen umfassende Monitoring-Verfahren und neue antimikrobielle Peptide für den gezielten Einsatz bei Infektionserkrankungen in der Veterinärmedizin entwickelt. Parallel dazu werden im Handlungsfeld Gesundheit und Umwelt Methoden zur schnellen Erfassung des Umweltgefährdungspotenzials von neuen Wirkstoffen und technischer Lösungen zur Erfassung und Eliminierung von Arzneimittelrückständen aufgebaut. Damit kann Circular Health Systemlösungen anbieten, die durch die erwartete Reduktion von AMR einen direkten Einfluss auf unser Gesundheitssystem haben und zur einer nachhaltigen Agrarwirtschaft und zum Umweltschutz beitragen.

Handlungsfeld Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion

Schwerpunkt 1: Nachhaltige Pflanzenkultivierung und Tierhaltung ohne chemische Pflanzenschutzmittel und Antibiotika

Betrachtet man die aktuellen weltweiten Entwicklungen ist abzusehen, dass künftige Agrarsysteme in der Lage sein müssen, bis zu zehn Milliarden Menschen zu ernähren und zuverlässig mit biogenen Rohstoffen zu versorgen. Hieraus ergibt sich eine große Herausforderung, denn es wird erwartet, dass sich gleichzeitig die verfügbaren Ackerflächen reduzieren. Um trotzdem natürliche Ressourcen wie fruchtbare Böden, sauberes Wasser und reine Luft zu erhalten, sowie einem Rückgang der Artenvielfalt und dem Klimawandel entgegenzuwirken, muss die Agrarproduktion nachhaltiger gestaltet werden. Derzeit ist die Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion durch einen Mix von kleinteiligen Erzeugern auf der einen und Massenproduktion auf der anderen Seite gekennzeichnet. Produktionseffizienz, Qualitätsaspekte, Kostendruck und Auswirkungen auf die Umwelt sowie die Humangesundheit bilden hierbei Konfliktpunkte zwischen den beteiligten Parteien und der Gesellschaft.

Während der Schwerpunkt im Bereich der nachhaltigen Tierhaltung auf der Verbesserung des Tierwohls und der Vermeidung von Zoonosen und Resistenzbildung liegt, sollen zur Ausgestaltung einer zukünftigen, nachhaltigen Pflanzenproduktion neue und innovative Anbau- und Züchtungstechnologien beitragen. Zu diesen zählen u. a.:

- »smarter« Ackerbau unter Nutzung automatisierter und digital vernetzter Technologien zur Steuerung des gezielten, bedarfsorientierten Einsatzes von z. B. Dünger oder Pflanzenschutzmitteln
- neuartige Anbauverfahren zur Gewährleistung eines optimalen Pflanzenwachstums bei gleichzeitiger Anpassung der Nährstoff-, Wasser- und Lichtversorgung
- Optimierung der ertragsphysiologischen Eigenschaften von Nutzpflanzen durch die Identifizierung und wissensbasierte Modellierung der genetischen Grundlagen mittels moderner Verfahren der Pflanzenzüchtung



© Fraunhofer IVV

Weitere Forschungsbedarfe in der nachhaltigen Agrarproduktion bestehen im Bereich Pflanzenschutzmittel und Antibiotika. Zwar wird im Ökolandbau größtenteils bereits auf den Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln und Antibiotika verzichtet, jedoch kann die oben beschriebene Problematik allein mit Ökolandbau nicht gelöst werden, da die Erträge entsprechend geringer als im konventionellen Landbau ausfallen. Zudem sind auch natürliche Pflanzenschutzmittel bei konzentriertem Einsatz nicht unproblematisch und bedürfen der Risikobewertung.

Chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und Antibiotika haben nachgewiesenermaßen negative Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit. Sie führen in ihrem Anwendungsgebiet beispielsweise zum vermehrten Auftreten multi-resistenter Keime, zu verminderter Biodiversität und zu Pestizidrückständen in Nahrungs- und Futtermitteln. Circular Health konzentriert sich deshalb auf die Entwicklung nachhaltigerer Produktionskonzepte in der Pflanzenkultivierung und Tierhaltung, wodurch die beschriebenen negativen Auswirkungen reduziert bzw. ganz vermieden und damit die Voraussetzungen für eine gesündere Lebensweise geschaffen werden.

Ziel: Substitution von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln und Antibiotika

Für den Bereich Tierhaltung sollen neue, innovative Futtermittelsysteme entwickelt werden (z. B. biofunktionelle Futtermittel, Futtermittel mit antimikrobiellen, pflanzlichen Inhaltsstoffen), die eine möglichst antibiotikafreie Haltung ermöglichen. Im Bereich der Pflanzenkultivierung liegt der Fokus auf der Entwicklung pflanzlicher Biopestizide, für die negative Auswirkungen auf Mensch, Tier und Umwelt nachweislich ausgeschlossen werden können.

Lösungsansätze

Für den Pflanzenschutz und als Ersatz für Antibiotika wollen wir neue, hochspezifische und verträgliche Wirkstoffe bereitstellen. Dies erfolgt durch die wissenschaftliche Entwicklung von pflanzlichen und/oder mikrobiellen Sekundärmetaboliten mit hohem Wirkpotenzial und unter Berücksichtigung wirtschaftlich tragfähiger und ökologisch nachhaltiger Produktionsverfahren. Hierzu bedarf es

- der Konzeption und Umsetzung effizienter Verfahren zur Gewinnung ausreichender Mengen an qualitativ hochaktiven Wirkstoffen, durch die Nutzung kultivierbarer Pflanzen und Mikroorganismen;
- der Entwicklung und Anwendung geeigneter Verfahren zur Risikobewertung der Wirkstoffe für eine transparente Ermittlung und Vermeidung von Gefahren für Mensch, Tier und Umwelt als Grundlage für spätere Genehmigungsverfahren durch die entsprechenden Aufsichtsbehörden;
- der Entwicklung von Wirkstoffgemischen zur Steigerung des Wirkpotenzials (Synergieeffekte);
- der Stabilisierung von Formulierungen zur Applikation einzelner Wirkstoffe oder von Wirkstoffkombinationen;
- der Untersuchung der Wirkung biobasierter Pflanzenschutzmittel an etablierten Kulturpflanzen unter realen Bedingungen im Gewächshaus und Freiland;
- der Herstellung von Futtermitteln, die mit pflanzlichen Wirkkomponenten angereichert sind;
- der Untersuchung der Wirkung neuer, biobasierter Wirkstoffe als Antibiotika-Ersatz in der Geflügelhaltung und Fischzucht.



© Fraunhofer IVV

Schwerpunkt 2: Ganzheitliche Nutzungsstrategien für biogene Rohstoffe

Biogene Rohstoffe bestehen häufig aus einem Gemisch chemisch sehr unterschiedlicher Fraktionen und Moleküle. Dazu zählen Proteine, Lipide, lösliche und unlösliche Kohlenhydrate sowie sekundäre Pflanzenstoffe. Häufig stehen in der Nahrungsmittelproduktion jedoch nur bestimmte Fraktionen im Fokus, die mit sehr spezialisierten und auf diese Fraktionen zugeschnittenen Verfahren gewonnen werden. Will man anschließend eine weitere Fraktion aus der Rohstoffmatrix isolieren, gelingt das in vielen Fällen nur mit einem sehr kostenintensiven Prozess oder ist gänzlich unmöglich. Der Grund dafür liegt in der Art der Gewinnung der Primärfraktion(en). Oft werden die weiteren enthaltenen Fraktionen bei diesem Prozess thermisch und chemisch geschädigt, wodurch deren Lösungseigenschaften sehr stark vermindert werden. Aus diesem Grund fallen oft große Mengen an Nebenströmen an, für die in vielen Fällen nur minderwertige Verwertungswege existieren und somit wertvolle Rohstoffbestandteile verloren gehen [14–17].



»EthaNa®«, Rapssaaten zur Gewinnung von Wertstoffen und neuen Produkten (© Fraunhofer IGB)

Circular Health konzentriert sich auf die Entwicklung ganzheitlicher **Nutzungsstrategien für biogene Rohstoffe**, um die Ressourceneffizienz deutlich zu steigern und bisher noch offene Stoffkreisläufe zu schließen (wie beispielsweise in dem vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten Projekt EthaNa – www.cbp.fraunhofer.de/ethana). Dies ist im Zuge knapper werdender Rohstoffe ein entscheidender Faktor zur Erreichung der Versorgungssicherheit der Gesellschaft.

Ziel: Erhöhung der Rohstoffeffizienz durch Anpassung existierender Verfahrenskonzepte

Bestehende Verarbeitungskonzepte, z. B. in den Bereichen Ölsaaten, Obst und Gemüse sowie Leguminosen und Getreide, sollen so angepasst werden, dass jeweils unterschiedliche Fraktionen gewonnen werden können und dadurch die Rohstoffeffizienz deutlich gesteigert wird.

Lösungsansätze

Das genannte Ziel soll durch folgende Entwicklungsschwerpunkte erreicht werden:

- Analyse bestehender Verarbeitungskonzepte, von Anforderungen und Produktqualitäten sowie die Ermittlung von Schwachstellen
- Entwicklung von produktschonenderen Verfahren, z. B. durch den Einsatz milderer Lösungsmittel oder Reduktion von Presstemperaturen
- Entwicklung wirtschaftlicher Verfahrenskaskaden zur stufenweisen Gewinnung von Wertfraktionen
- Etablierung des Kreislaufprinzips in den eingesetzten Verfahren, z. B. durch Wiederverwendung von Lösungsmitteln (ggf. nach vorheriger Aufbereitung)
- Nutzung von anfallenden Nebenströmen zur Energiegewinnung (z. B. Verbrennung, bzw. Biokraftstoff- oder Biogaserzeugung), um dadurch die benötigte Energie für die Fraktionierung bereitzustellen

Eine Veränderung von Produktionskonzepten in der Landwirtschaft soll auch dazu genutzt werden, um auf die Erhaltung und möglichst umfassende Verbesserung der Biodiversität hinzuarbeiten.

Mit dem Handlungsfeld »Zoonosen und mikrobielle Resistenzen« ergeben sich, insbesondere für Schwerpunkt 1, wichtige Schnittstellen, wie auch mit dem Handlungsfeld »Gesundheit und Umwelt«. Hier insbesondere für die Themen des Schwerpunkts 2, die gemeinsam adressiert und bearbeitet werden.

Leistungsangebot	Kompetenzen / Know-how	Zielbranche
Rohstoffbewertung, Verfahrensentwicklung (biotechnologisch) zur Wertstoffgewinnung und -funktionalisierung Entwicklung wirtschaftlicher, produktschonender Verfahrenskaskaden zur stufenweisen Gewinnung von Wertfraktionen	Technika im Labormaßstab bis in den großtechnischen Maßstab (bis 10 m ³) ATEX-Extraktionstechnikum bis 300 l; überkritische CO ₂ -Extraktion bis 5 l; Analytik (z. B. HPLC, GC, IC, GC-MS, ICP-MS, ICP-OES photometrische Assays) Bewertung der Applikationseigenschaften	Chemie Landwirtschaft Lebens- und Futtermittel
Neue Nahrungsmittelkonzepte zur nachhaltigen Intensivierung der Landwirtschaft, Bioreaktor-Entwicklung Bioraffinerie-Konzepte	Vertical Farming-Plattformtechnologie zum Anbau von Lebensmittelpflanzen; Algen-, Insekten- und Pilz-basierte Futtermittelproduktion	Lebens- und Futtermittel
Entwicklung von Wirkstoffgemischen zur Substitution chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel und Antibiotika	Fraunhofer Natural Product Discovery Platform und 120.000 Mikroorganismen umfassende Stammsammlung des IME Extraktionsverfahren für pflanzliche Wirkstoffe	Chemie Landwirtschaft

Handlungsfeld Zoonosen und mikrobielle Resistenzen

Circular Health strebt nach einer nachhaltigen Sicherung der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt. Die Entwicklung innovativer Lösungsansätze für die Abwehr von biologischen Gefahren aus der Umwelt ist hierfür essenziell. Zu diesen Gefahren gehören beispielsweise Zoonosen, pathogene Mikroorganismen und Viren, die gegen Antibiotika resistent geworden sind. Für die Eindämmung von Zoonosen werden Kontrolloptionen für die krankheitsübertragenden Tiere (Vektoren), wie z. B. Zecken oder Stechmücken, benötigt, die weder den Menschen noch die Biodiversität gefährden. Das Gleiche gilt für die Entwicklung von Kontrolloptionen für Schädlinge in der Landwirtschaft. Da chemische Pestizide kaum selektiv wirken, gefährden sie auch die Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt. Circular Health fokussiert deshalb auf Technologien, die eine selektive Bekämpfung der Überträger von Krankheiten bei Pflanzen, Tieren und Menschen ermöglichen und so deren Resilienz verbessern.

Schwerpunkt 1: Ursachenfokussierte Eindämmung von Zoonosen

Als **Zoonosen** werden Infektionskrankheiten bezeichnet, bei welchen die Erreger wechselseitig zwischen Tieren und Menschen übertragen werden. Mehr als 1,4 Milliarden Menschen weltweit leiden an Krankheiten, die durch Parasiten verursacht oder von diesen übertragen werden. Neben Zecken spielen in Deutschland insbesondere Stechmücken eine zunehmende Rolle als Überträger von Viren und Bakterien. An durch Stechmücken übertragenen Infektionen sterben weltweit jährlich 725 000 Menschen. Auch in Deutschland ist die fortschreitende Ausbreitung von invasiven Stechmücken besorgniserregend, da sie Viren übertragen können, welche u. a. Dengue-, Gelb-, West-Nil-, Chikungunya- und Zika-Infektionen verursachen [18].

Ziel: Umweltverträgliche Kontrolloptionen gegen invasive Stechmücken

Im Rahmen von Circular Health soll eine »Feuerwehr« aufgebaut werden, mit der die invasiven Stechmücken umweltverträglich und mit gesellschaftlich akzeptierten Methoden (d. h. ohne Pestizide, radioaktive Strahlung oder gentechnisch veränderten Organismen) kontrolliert werden können.

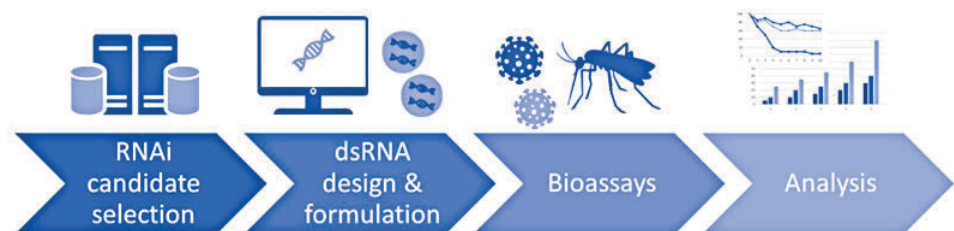


Abb. 1: Entwicklung einer RNAi-basierten Kontrolle von invasiven Stechmücken. Artspezifische, doppelsträngige RNAs (dsRNA) werden auf eine Weise formuliert, dass sie in der Umwelt stabil sind, bis sie von den Larven der Stechmücken aufgenommen werden und diese töten. Die Auswahl der besten dsRNAs erfolgt über Mortalitätsstudien. (© Fraunhofer IME).

Lösungsansatz

Für das **Monitoring** der invasiven Stechmücken und den von diesen übertragenen Viren in die Umwelt werden moderne Methoden, wie z. B. eDNA-Chips und Umweltgenomics entwickelt. Für eine umweltschonende und möglichst artspezifische Kontrolle von invasiven Stechmücken werden innovative Kontrolloptionen, wie die **RNA-Interferenz und die sterile Insekten-Technik** etabliert [19] (s. Abb. 1 und 2). Dazu kommen weitere diagnostische Verfahren, die jenseits von zu erwartenden Erregern in einem agnostischen Ansatz auch bislang unterrepräsentierte und seltene Pathogene sensitiv und spezifisch erkennen können. Dies trägt zur effektiven Eindämmung von epidemiologischen Verläufen bei und verhindert zudem die Ausbildung von Resistenzmechanismen. Die Sicherheit der entwickelten Kontrolloptionen für Mensch und Biodiversität wird über Testverfahren sichergestellt, die fragestellungsbezogen in Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Regulationsbehörden entwickelt werden.

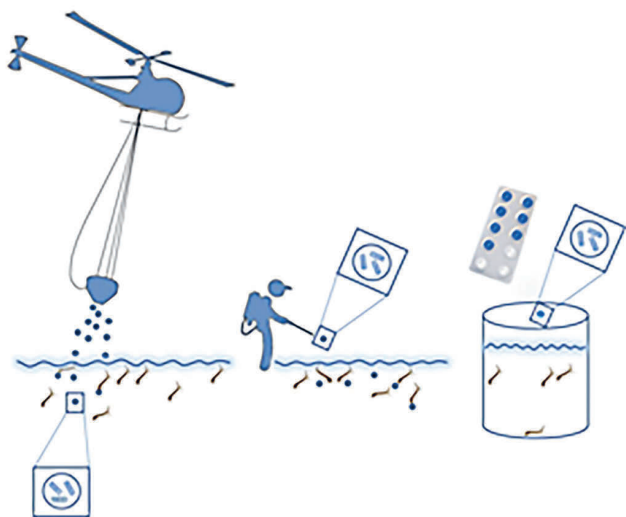


Abb. 2: Möglichkeiten der Ausbringung von dsRNA zur Bekämpfung von Stechmücken (v. l.): großflächiges Versprühen; Versprühen im unwegsamen Gelände; privat per Tablette, z. B. in Regentonnen (© Fraunhofer IME).

Schwerpunkt 2: Ursachenfokussierte Eindämmung von Zoonosen

Mikrobielle Resistenzen gegen Antibiotika gehören zu den größten Gefahren für die Menschheit, da sich diese global rasant ausbreiten. Gleichzeitig ist die Entwicklung neuer Antibiotika rückläufig, nachdem sich die großen Pharmafirmen aus dem Geschäft zurückgezogen haben. Im Jahr 2019 sind weltweit 1,27 Millionen Menschen an resistenten Krankheitserregern gestorben. Eine zentrale Rolle spielt dabei der unspezifische und unkritische Einsatz dieser potenten Therapeutika in Medizin und Nutztierhaltung sowie ihre unkontrollierte Freisetzung in die Umwelt, was die Entstehung von Resistenzen begünstigt.

Ziel: Circular Health zielt auf die Entwicklung von neuen Verfahren, um in der Haltung von Nutztieren den Einsatz von Antibiotika zu reduzieren und damit der Entstehung von mikrobiellen Resistenzen entgegenzuwirken.

Lösungsansätze

Ansätze zur Lösung dieser Problematik liegen in der Reduzierung des unspezifischen Einsatzes von Antibiotika durch gezielte Diagnostik von Erkrankungen, in einem umfassenden Monitoring sowie in der Entwicklung innovativer, antibiotischer Therapeutika mit Wirkspektren, die keinen Selektionsdruck zur Ausbildung von Resistenzen generieren.

Dazu gehören beispielsweise Methoden für die Pathogen- und Resistenzdiagnostik in den Bereichen Human- und Veterinärmedizin sowie das Umwelt-Monitoring. Weiterhin wird an der Entwicklung von Alternativen für die Behandlung von Infektionskrankheiten gearbeitet, die z. B. auf dem Einsatz von antimikrobiellen Peptiden (AMP) aus Insekten basieren. Da diese biologisch abbaubar sind und die kombinierte Anwendung verschiedener AMPs die Ausbildung von mikrobiellen Resistenzen verhindert, eignen sie sich für Anwendungen in der Medizin und in der Veterinärmedizin [20]. Der Einsatz von Bakteriophagen ist ein weiterer selektiver Lösungsansatz zur Reduktion antibiotikaresistenter Bakterien, der hier verfolgt wird.

Die hier genannten Technologien, insbesondere im Bereich des Monitorings, können in enger Zusammenarbeit mit dem Handlungsfeld »Gesundheit und Umwelt« sowie dem Handlungsfeld »Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion« entwickelt und zum Einsatz gebracht werden.

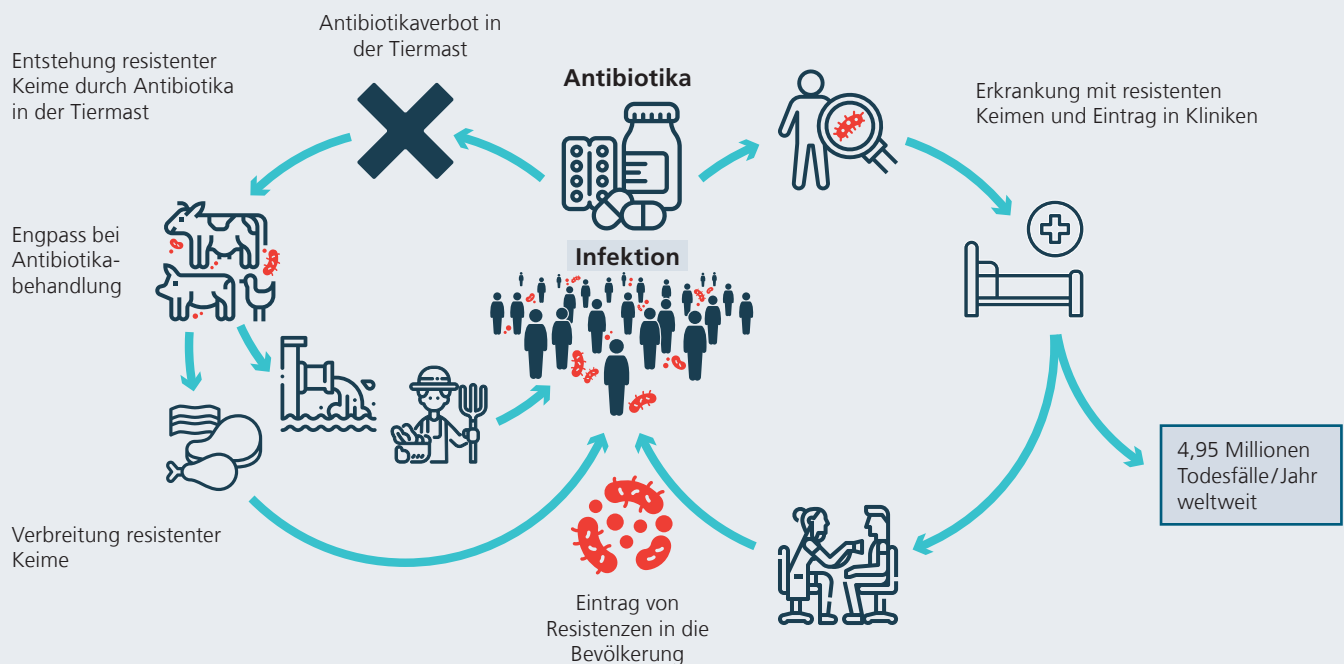


Abb. 3: Entstehung und Verbreitung von resistenten Keimen. Der massive Einsatz von Antibiotika in der Tiermast hat zu einer erheblichen Verbreitung von AMR auch in der Bevölkerung geführt. Das Verbot einer Vielzahl von Antibiotika in der Tiermast ist ein erster Schritt zur Reduktion der AMR in der Umwelt. Diese hat jedoch bereits zu Engpässen in der Antibiotika-Behandlung von Tieren geführt, so dass hier ein Bedarf für neue, nicht für den Menschen genutzten Antibiotika besteht.

Leistungsangebot	Kompetenzen / Know-how	Zielbranche
Eindämmung von Zoonosen über Kontrolle der krankheitsübertragenden Vektoren	RNAi-basierte Kontrolle invasiver Stechmücken	Gesundheitssystem Veterinärmedizin
Schadinsektenkontrolle	Fraunhofer Natural Product Discovery Plattform und 120.000 Mikroorganismen umfassende Stammsammlung des IME	Pharma Landwirtschaft
Nachhaltige Tiergesundheitslösungen Eindämmung mikrobieller Resistenzen gegen Antibiotika	Fraunhofer Natural Product Discovery Plattform Antimikrobielle Peptide aus Insekten	Veterinärmedizin Pharma Landwirtschaft
Präzisionsdiagnostik zur gezielten Therapie (Reduktion von Resistenzbildung in Klinik und Umwelt)	Hochdurchsatzsequenzierung als schnelles und präzises Diagnostik-Verfahren, Infrastruktur zur Datenorganisation und Auswertung	Gesundheitssystem
Umwelt Monitoring und Resistenzentwicklung	Hochdurchsatzsequenzierung, Infrastruktur zur Datenorganisation und Auswertung	Gesundheitssystem Pharma Landwirtschaft
Analyse hochkomplexer biologischer Daten (Bioinformatik, Deep Learning, AI)	HPC-Cluster (Hardware), eigene Software, Strukturen für Organisation und Harmonisierung komplexer Daten	Querschnittstechnologie

Handlungsfeld Wertschöpfungskreisläufe im Gesundheitssektor



© Fraunhofer UMSICHT



Der Gesundheitssektor ist aufgrund einer sehr linearen Wirtschaftsweise durch eine hohe Ressourcenbeanspruchung und einen entsprechend großen ökologischen Fußabdruck geprägt. So verursacht der Gesundheitssektor ca. 5 Prozent der globalen Treibhausgasemissionen. Ein Großteil dieser Emissionen stammt mit etwa 70 Prozent aus den Lieferketten des Gesundheitssektors. Diese Situation trifft auch auf den deutschen Gesundheitssektor zu, dessen gesamter Rohstoffbedarf sich auf etwa 107 Millionen Tonnen im Jahr beläuft [21]. Der Gesundheitssektor beansprucht damit etwa 5 Prozent des gesamten deutschen Rohstoffbedarfs.

Auch am Aufkommen und der Zusammensetzung der im Gesundheitssektor anfallenden Abfälle zeigt sich die lineare Wirtschaftsweise. Allein die ca. 2000 deutschen Kliniken produzieren Schätzungen zufolge jährlich bis zu 4,8 Millionen Tonnen Abfälle [21, 22, 23]. Gemessen am gesamten deutschen Aufkommen an Siedlungsabfällen (50,9 Millionen Tonnen im Jahr 2020) ist das Gesundheitswesen damit für bis zu 10 Prozent des Abfallaufkommens verantwortlich. Ein großer Anteil dieser Abfälle ist hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen zuzurechnen. Sowohl diese als auch die krankenhausspezifischen Abfälle bestehen zu großen Teilen aus Kunststoffen.

Die Menge an Kunststoffabfällen ist auf den Trend eines zunehmenden Einsatzes von Kunststoffprodukten in der medizinischen Praxis zurückzuführen. Seit vielen Jahrzehnten unterstützen Kunststoffe Innovationen in der Gesundheitsbranche

und können dazu beitragen, die medizinische Behandlung und dadurch auch die Ergebnisse für Patienten zu verbessern. Kunststoffe haben viele Vorteile: Sie nehmen keine Gerüche an, sind beständig gegen Wasser und andere Flüssigkeiten, sie sind thermoverformbar und langlebig. Im Medizinbereich handelt es sich häufig um Verbundkunststoffe und/oder Hochleistungspolymere, die u. a. für Katheter, Gesichtsmasken, Ballons, Blutkonserven, Spritzen, chirurgische Instrumente, Folien und Schläuche verwendet werden [24]. Für ein Recycling mit den etablierten mechanischen Recyclingverfahren sind diese Kunststoffe jedoch vielfach kaum geeignet.

Eng mit der zunehmenden Verwendung von Kunststoffen verbunden ist ein Trend zum Einsatz von Einwegprodukten (»single use«-Produkte) in der Medizin. Dieser Trend begründet sich unter anderem darin, dass zur Gewährleistung der Hygiene, Sterilität und Infektionsprophylaxe es sicherer und einfacher umsetzbar ist, medizinische Geräte nach einmaliger Nutzung zu entsorgen, anstatt sie (kosten)aufwändig zu reinigen und wiederzuverwenden [24]. Häufig sind es auch die Hersteller medizinischer Produkte und Geräte, die grundsätzlich auch mehrfach nutzbare Geräte für den Einmalgebrauch deklarieren, um mögliche Haftungsansprüche bei Mehrfachnutzung auszuschließen. Ein weiterer herstellenseitiger Grund liegt in der einfacheren und schnelleren Zulassung von Einweg- gegenüber Mehrwegprodukten, die den aufwändigen Nachweis eines zertifizierten Wiederaufbereitungsverfahrens erfordern [25].

Doch es geht auch anders: Für Einweg-Instrumente aus Chromstahl wurde bereits ein hochwertig haltendes Sammel- und Verwertungssystem entwickelt und die Machbarkeit durch Erprobung in vier deutschen Kliniken nachgewiesen [26]. Jedoch stellen diese relativ einfach zu sammelnden und zu verwertenden Einstoffprodukte aus Metall mengenmäßig nur einen kleinen Anteil der in Deutschland verwendeten Einwegprodukte im Gesundheitswesen dar. Eine Erhebung aus dem Jahr 2020 ergab eine mehr als 100-fach größere Stückzahl an reinen Kunststoffprodukten im Vergleich zu reinen metallbasierten Produkten [27].

Medizinprodukte, die vom Hersteller als »single use« gekennzeichnet sind, müssen nach ihrer Verwendung zunächst in den Gesundheitseinrichtungen gesammelt und gelagert werden, bevor sie von spezialisierten Unternehmen abgeholt und aufbereitet werden. Dabei müssen die aufgearbeiteten Produkte zurück verfolgbar erfasst und registriert, gereinigt, getestet und sterilisiert werden [28]. Erst danach stehen sie für den erneuten Einsatz zur Verfügung. Insbesondere bei hochwertigen medizinischen Geräten, wie z. B. Ablations-Kathetern, können durch die Mehrfachnutzung nach Wiederaufbereitung gegenüber der Einmalnutzung in der Regel auch deutliche Kosteneinsparungen erzielt werden.

Veröffentlichte Ökobilanzen zeigen zudem, dass Einwegprodukte typischerweise zu einem höheren Petrochemikalien-Verbrauch und höheren globalen Treibhausgasemissionen führen im Vergleich zu Mehrwegprodukten. Lebenszyklusanalysen (Life Cycle Assessments, LCA) wiederaufbereiteter elektrophysiologischer Katheter kamen zu dem Ergebnis, dass die Umweltauswirkungen hierfür weniger als die Hälfte der Auswirkungen eines neuen Geräts betragen [29].

Neben den vielfältigen Kunststoffprodukten spielen im Bereich der Medizin und Medizintechnik aber auch kritische Rohstoffe eine wichtige Rolle. Nahezu alle der aktuell von der EU als versorgungskritisch eingestuften Rohstoffe [30] kommen auch in der medizinischen Therapie sowie in medizintechnischen Geräten zur Anwendung [31]. Dazu zählen beispielsweise Seltene Erden und Platingruppenmetalle [32]. Auch für diese Produktgruppen und Abfälle aus dem Gesundheitswesen ist daher eine an den Prinzipien der Circular Economy orientierte Kreislaufführung erforderlich und bedarf der Entwicklung angepasster Konzepte und Technologien.

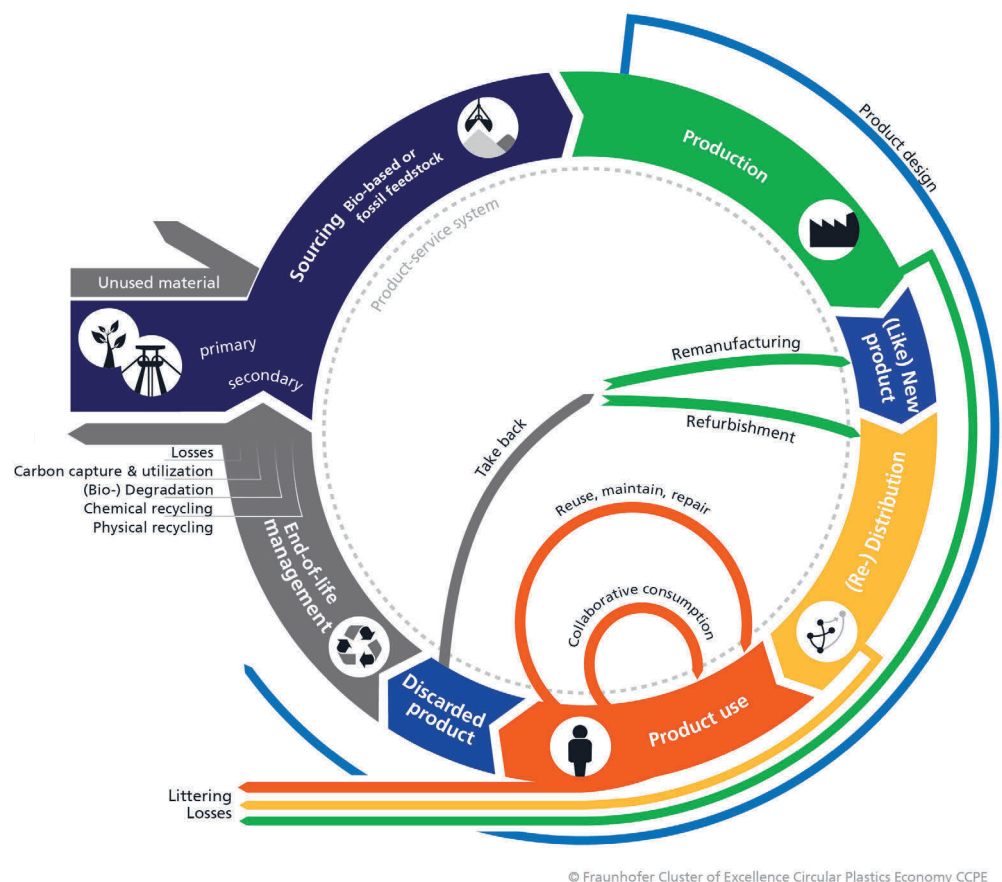


Abb. 4: Transformation des Gesundheitswesens von der linearen zur zirkulären Wirtschaft unter Berücksichtigung der R-Strategien (© Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE®)



Krankenhausspezifische Abfälle bestehen zu großen Teilen aus Kunststoffen.

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Situation im Gesundheitswesen besteht das Konzept von Circular Health daher in einer umfassenden Implementierung von Circular-Economy-Prinzipien unter Berücksichtigung der sogenannten R-Strategien (s. Abb. 3). Aufbauend auf einer detaillierten Situationsanalyse müssen künftig die Produkte des Gesundheitssektors unter Betrachtung des gesamten Produktlebensweges und unter Einbeziehung aller Stufen der Wertschöpfungskette optimiert werden. Diese Optimierungen beginnen bereits bei einem nachhaltigen Sourcing von Rohstoffen. Produktionsseitig sind Aspekte wie recyclinggerechtes Design und die Eignung für Reparatur, Remanufacturing und Refurbishing zu beachten. Die Eignung und weitere Optimierungsansätze medizinischer Produkte, beispielsweise für die Wiederaufarbeitung, können anhand von Circular-Economy-Kriterien beurteilt werden. Der vom Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE® entwickelte »Circular Readiness Level« bietet dazu eine geeignete Basis [33].

Jedoch werden auch bei bestmöglicher Umsetzung von Circular-Economy-Ansätzen auch künftig Abfälle im Gesundheitswesen anfallen, die durch innovative Recyclingtechnologien in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden müssen. Bei medizinischen Produkten und Geräten bestehen hier allerdings extrem hohe Anforderungen an die Qualität des eingesetzten Materials. Dementsprechend werden in der Produktion bis heute ausschließlich Primärmaterialien eingesetzt, um Qualitäts- und Hygieneanforderungen sicher einhalten und Haftungsrisiken minimieren zu können. Innovative Ansätze aus dem Bereich des chemischen Recyclings sind jedoch grundsätzlich in der Lage, auch aus verschmutzten, kontaminierten sowie gemischten Kunststoffabfällen und End-of-Life-Produkten Rezyklate in Primärwarenqualität zu erzeugen und so die Zirkularität von Kunststoffen in verschiedensten Anwendungsbereichen zu steigern [34]. So wurde z. B. während der COVID-Pandemie in einem Pilotprojekt bereits das Closed-Loop-Recycling medizinischer Mund-Nasenschutz-Masken durch chemisches Recycling demonstriert [35].

Zur Steigerung der Resilienz und Souveränität des Gesundheitswesens sollten darüber hinaus innovative Technologien zur Rückgewinnung der auch im Gesundheitswesen vielfältig eingesetzten und kaum substituierbaren kritischen Rohstoffe entwickelt und implementiert werden. Zum Beispiel sind hier die als besonders kritisch eingestuften Seltenerd-Permanentmagnete zu nennen, welche u. a. in Magnetresonanztomographie (MRT)-Geräten eingesetzt werden und bereits durch innovative pulvermetallurgische Verfahren recycelt werden können [36].

Ziel: Mehr Zirkularität und Nachhaltigkeit im Gesundheitssektor

Die Ressourcen-, Abfall- und CO₂-intensiven Wertschöpfungsketten des Gesundheitssektors sollen durch Transformation der bislang linearen Wirtschaftsweise zirkulär und damit ökologisch nachhaltig und ressourceneffizient gestaltet werden.

Lösungsansätze

Angestrebt werden die

- Entwicklung eines Leitfadens zur Analyse von Ressourcenverbrauch, Abfallaufkommen und -zusammensetzung in Gesundheitseinrichtungen,
- Ableitung und Umsetzung von Optimierungsmaßnahmen in Gesundheitseinrichtungen und Bereitstellung von Best-Practice-Beispielen,
- Entwicklung geeigneter Kriterien für Vergabe- und Beschaffungsprozesse zur Optimierung der Nachhaltigkeit der vorgelagerten Lieferketten im Gesundheitswesen,
- Etablierung eines Nachhaltigkeits-Benchmarkings in Gesundheitseinrichtungen,
- Bewertung (Circular Readiness/Life Cycle Assessment) und Optimierung von Medizinprodukten durch Anwendung der R-Strategien,
- Entwicklung und Demonstration angepasster Recyclingtechnologien für Abfälle und End-of-Life-Medizinprodukte aus dem Gesundheitssektor,
- Weiterentwicklung von non-Target-Screening-Ansätzen zur Bewertung von Rezyklatqualitäten für den Einsatz in Gesundheitsanwendungen.

Leistungsangebot	Kompetenzen / Know-how	Zielbranche
Ökologisch-ökonomisch optimierte Konzepte zur Erfassung und Behandlung von Abfällen und Verwertungswegen aus dem Gesundheitswesen Ökobilanzierung des Produktlebenszyklus und Optimierung der Zirkularität von medizintechnischen Produkten	Abfallwirtschaftskompetenz (Regulatorik, Erhebungsmethoden, Sammelsysteme, Technologiekompetenz Abfallbehandlung) Life Cycle Analysis; Datenbanken Ecoinvent und GABI Circular Readiness Tool zur Bewertung und Optimierung der Zirkularität von Produkten	Gesundheitssystem Pflege und Betreuung Abfallwirtschaft Medizintechnik
Gewinnung hochwertiger Basischemikalien und Polymere aus medizinischen Abfällen	Chemisches Recycling (Pyrolyse (100 ml – 70 kg/h), Destillation, Hydrierung, Analytik) für Recycling kunststoffhaltiger Abfälle Lösemittelbasiertes Recycling	Abfallwirtschaft Chemie Medizintechnik Kunststoffproduzenten
Rückgewinnung von Edelmetallen und kritischen Elementen aus EoL-Medizingeräten	Thermochemische (100 ml – 70 kg/h) und hydro-metallurgische (Flotation) Prozesse zur Gewinnung kritischer Elemente; Wasserstoffbasierte Recyclingverfahren von Selten-Erd-Magneten	Medizintechnik Chemie
Entwicklung/Bereitstellung nachhaltiger Monomere/Polymere für die Kunststoffproduktion	Gewinnung grüner Basischemikalien für die Kunststoffproduktion durch thermochemische Konversion biogener Reststoffe, Extraktions- und Modifikations-Know-how, Polymersynthesen	Medizintechnik Chemie

Handlungsfeld Gesundheit und Umwelt

Schwerpunkt 1: Reduzierung von Arzneimitteln in der Umwelt

Arzneimittel sind für die Gesundheit von Mensch und Tier unerlässlich, aber der vermehrte Verbrauch und der oftmals unkritische Einsatz führen zu einer Zunahme schädlicher und oft dauerhafter Rückstände in der Umwelt. Während Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln und Bioziden bezüglich ihres Umweltrisikos behördlich reguliert werden, wird bei Humanarzneimitteln der Nutzen für den Menschen über mögliche schädliche Umweltwirkungen gestellt. Arzneimittel werden jedoch oftmals in der Umwelt nicht ohne weiteres abgebaut und können so unerwünschte Wirkungen auf Organismen, Populationen und Ökosysteme ausüben. Besonders betroffen sind Oberflächen- und Grundwasser, aber auch Böden.

Allein in Deutschland sind in der Tiermedizin mehr als 400 Wirkstoffe auf dem Markt, wobei Antiparasitika und Antibiotika aufgrund ihres Anteils und ihrer negativen Auswirkungen auf die Umwelt als besonders relevant einzustufen sind. Auswertungen des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) ergaben, dass allein im Jahr 2020 in der Nutztierhaltung 701 Tonnen Antibiotika verabreicht wurden [37]. Rückstände von Tierarzneimitteln und ihren Abbauprodukten sind in den Ausscheidungen der behandelten Tiere zu finden und gelangen über die Ausbringung von Mist und Gülle in die Umwelt.

Antibiotika aus der Tierhaltung sind giftig für Wasserorganismen und Pflanzen, wobei aber das größere Problem für den Menschen darin liegt, dass durch den übermäßigen,

unspezifischen und sorglosen Einsatz von Antibiotika vermehrt Resistenzen entstehen. Resistente Keime bzw. multiresistente Keime werden von der WHO als eines der drängendsten Gesundheitsprobleme bezeichnet (siehe auch ursachenfokussierte Eindämmung von Zoonosen und mikrobielle Resistenzen).

Aber auch Humanarzneimittel gelangen in die Umwelt, da sie von den Kläranlagen häufig weder eliminiert noch zurückgehalten werden. Rückstände gelangen dann mit dem aufgereinigten Abwasser in Oberflächengewässer und sind schließlich auch im Grund- und Trinkwasser zu finden. Darüber hinaus erreichen sie durch die Ausbringung von Klärschlamm auch landwirtschaftliche Flächen und gelangen so in die Nahrungskette.

Die Gefährdung von Wasser und Böden als Lebensräume und Trinkwasserressourcen stellt ein ernsthaftes Problem dar, welches sich mit der zunehmenden Überalterung der Bevölkerung und dem damit zu erwartenden Anstieg des Arzneimittelverbrauchs weiter verstärken wird. Um diesem Problem begegnen zu können, sind Maßnahmen und Aktivitäten zur Reduzierung des Eintrags von Arzneimitteln und ihren Rückständen in die Umwelt zwingend erforderlich.

Ziel: Reduktion des Umwelteintrags und Entwicklung umweltfreundlicher Arzneimittel

Arzneimittel sowohl aus den Bereichen der Human- als auch der Veterinärmedizin gelangen in die Umwelt, wo sie durch ihre spezifischen und potenten Wirkweisen schädlichen Nebenwirkungen auf das Ökosystem haben können. Über das Trinkwasser und landwirtschaftliche Flächen gelangen Rückstände auch in die Nahrungsmittelkette. Es gilt daher zum einen, den Eintrag von Arzneimitteln in die Umwelt zu minimieren und in der Zukunft einen Fokus auf die Entwicklung umweltfreundlicher bzw. bioabbaubarer Arzneimittel zu legen.

Lösungsansätze

Circular Health beschäftigt sich mit der Entwicklung von

- Technologien und Konzepten zur Entwicklung nachhaltiger, umweltfreundlicher Arzneimittel,
- Methoden zur schnellen Erfassung des Umweltgefährdungspotenzials von Arzneimitteln im hohen Durchsatz,
- technischen Lösungen zur Erfassung und Eliminierung von Arzneimittelrückständen aus Abwässern.



Schwerpunkt 2: Strategien gegen Klimawandel und Biodiversitätsverlust

Die menschliche Gesundheit ist mit dem Gesundheitszustand der Umwelt eng verknüpft. Als Maß für die Umweltgesundheit kann die Ausprägung der Biodiversität herangezogen werden. Eine gesunde Umwelt zeichnet sich durch eine große biologische Vielfalt aus. Die auf dieser Vielfalt aufbauenden Ökosystemdienstleistungen stellen signifikante Grundlagen für die menschliche Gesundheit dar: sie erzeugen saubere Luft, Trinkwasser, Nahrungsmittel oder Medikamente. Deshalb betrachtet bereits das One-Health-Konzept Gesundheit mit einem ganzheitlichen Blick, welcher den Menschen und die Umwelt einschließt [38].

In den letzten Jahrzehnten wurde ein dramatischer Verlust an Biodiversität festgestellt [39] welcher, wie oben beschrieben, mittel- oder unmittelbar Einfluss auf die menschliche Gesundheit nimmt und auf eine Reihe anthropogener Einflüsse zurückgeführt wird:

1. Der Landnutzungswandel mit stetig wachsenden Siedlungs- und Verkehrsflächen reduziert die natürlichen Habitate von Tier- und Pflanzenarten und bedingt die Freisetzung von klimarelevanten Gasen, etwa durch Entwaldung oder Umwandlung von Mooren.
2. Der Klimawandel bewirkt ein Abwandern oder Aussterben von Arten durch Habitatverlust oder Verlust der Nahrungsgrundlage. Diese fördern auch die Verbreitung von Infektionskrankheiten in gemäßigte Breiten und treibt die Ausbreitung von Überträgern von Zoonosen voran.
3. Die Übernutzung der natürlichen Ressourcen durch den Menschen führt ebenfalls zum Habitatverlust (etwa durch Entwaldung oder Grundwasserabsenkung) für Tier- und Pflanzenarten, wodurch eine unmittelbare Gefährdung von deren Bestand entsteht (etwa durch Überfischung).
4. Die zunehmende Nähr- und Schadstoffbelastung terrestrischer und aquatischer Ökosysteme aufgrund der Intensivierung der Landwirtschaft, der Industrie und des Verkehrs bewirkt ein Artensterben.
5. Globale Mobilität und weltweiter Handel treiben die Einwanderung und Verbreitung invasiver Arten voran, welche mit einheimischen Arten konkurrieren und diese verdrängen können.

Ziel: Erhalt der Biodiversität

Umweltgesundheit spiegelt sich in der Biodiversität wider, deren Ökosystemdienstleistungen essenziell für die menschliche Gesundheit sind. Die Biodiversität nimmt durch anthropogene Einflüsse rapide ab. Es besteht akuter Handlungsbedarf, anthropogene Beiträge zum Biodiversitätsverlust zu reduzieren bzw. abzustellen, um eine mittel- und langfristige Gefährdung der menschlichen Gesundheit abzuwenden.

Lösungsansätze

Mit Circular Health sollen neuartige Konzepte zum Erhalt und Schutz der Biodiversität erarbeitet werden, um eine nachhaltige Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt sicherzustellen. Diese Konzepte umfassen

- die Entwicklung zirkulärer Wertschöpfungsketten zur Reduzierung von Abfall und Treibhausgasen,
- die Erarbeitung von Strategien und Methoden zur Reduzierung von anthropogenen Schadstoffbelastungen in der Umwelt,
- die Etablierung neuer Nahrungsmittelkonzepte zur nachhaltigen Intensivierung der Landwirtschaft.

Mit dem Handlungsfeld »Nahrungsmittel- und Rohstoffproduktion« ergeben sich wichtige Schnittstellen, sowohl bei Konzepten zur Entwicklung nachhaltiger, umweltfreundlicher Arzneimittel/Futtermittelzusätze und deren Sicherheitsüberprüfung als auch bei der Etablierung neuer Nahrungsmittelkonzepte zur nachhaltigen Intensivierung der Landwirtschaft. Mit dem Handlungsfeld »Zoonosen und mikrobielle Resistenzen« können insbesondere die Themen Krankheitsüberträger und auftretende Resistenzen sowie neue veterinär-/humanmedizinische Therapeutika gemeinsam adressiert und bearbeitet werden.

Leistungsangebot	Kompetenzen/ Know-how	Zielbranche
Bewertung der Nachhaltigkeit von Arzneimitteln/ Pflanzenschutzmitteln/Bioziden während der Entwicklungsphase	Regulatorische Umweltgefährdungs- und Risikobewertung von Stoffen; Screening-Methoden zur Umweltgefährdungs- und Abbauvorhersage; Life Cycle Assessment	Pharma Chemie Landwirtschaft
Technische Lösungen zur Erfassung und Eliminierung von Arzneimittel-Rückständen aus Abwässern	Non-target Effekt-Screening Methoden; Nanocytos, Absorbermaterialien	Gesundheitssystem Abfallwirtschaft
Nährstoffrückgewinnung bzw. Wertstoffgewinnung aus Reststoffströmen der Landwirtschaft und aus kommunalen Stoffströmen	Verfahrenstechnisches Know-how und Technikumsanlagen zur Produktabtrennung und -aufbereitung; Schließung von Stoffkreisläufen	Abfallwirtschaft Landwirtschaft



Ausblick



Nur eine intakte Umwelt kann eine sichere Lebensgrundlage für uns Menschen bilden. Ein nachhaltiger Ansatz zur Gewährleistung der Gesunderhaltung des Menschen erfordert deshalb zwingend die Beachtung zirkulärer Prinzipien; nicht nur in der Ökonomie, sondern auch in der Ökologie. Circular Health zielt, unter Berücksichtigung zirkulärer Prinzipien, auf die nachhaltige Sicherung der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt und entwickelt innovative Lösungsansätze für die Herausforderungen, die sich aus biologischen Gefahren wie Zoonosen und multi-resistenten Keimen sowie der zunehmenden Schadstoffbelastung der Umwelt ergeben. Damit stellt Circular Health die Erhaltung der Gesundheit des Menschen und der Umwelt durch innovative und disruptive Entwicklungen hin zu einem zirkulären Wirtschaften in der Ernährungs-, Agrar- und Gesundheitswirtschaft in den Mittelpunkt seines Handelns.

Die Entwicklung neuer, klimafreundlicher und biodiversitätserhaltender Produktionsmethoden für Nahrungsmittel und die daraus folgende Eindämmung von Antibiotikaresistenzen, wie auch von Zoonosen, sowie neue Wege hin zu einer klimaverträglicheren Produktionsweise im Gesundheitswesen sind für uns essenzielle Bausteine, um dieses Ziel zu erreichen.

Aus zirkulärem Wirtschaften erwachsen aber auch spezifische Gefährdungen der Gesundheit, die mitbedacht und durch neue Analysemethoden identifiziert und minimiert werden müssen: Ein »Vorteil« des linearen Wirtschaftens war die relative Reinheit und leichte Bewertbarkeit der Produkte. Rezyklate sind weniger planbar in ihrer Zusammensetzung, enthalten möglicherweise Mikromengen von Ausrüststoffen, die nicht für den Folgegebrauch gedacht waren oder sind direkt als UVCBs (Unknown or Variable Composition) einzustufen. Daher bedarf es einer Weiterentwicklung von Non-Target-Effect-Screening-Ansätzen zur Produktbewertung in einem erheblich höheren Ausmaß als bisher.

Die für die beschriebenen strategischen Handlungsfelder definierten Ziele und dargestellten Lösungsansätze sind ein erster Schritt auf diesem Weg. Mit der Zusammenführung von Umwelt- und Ressourcen-Management, Gesundheits- und Agrarwirtschaft im Kontext zirkulärer ökonomischer Prozesse (Kreislaufwirtschaft), also einem engen Zusammenspiel von Ökonomie und Ökologie, erwarten wir eine nachhaltige Sicherung der Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt und damit auch einen wichtigen Schritt hin zur Erreichung der SDGs der Vereinten Nationen.

Quellen und weiterführende Literatur

- [1] United Nations »Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development« (2015), Internet: <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>, abgerufen am 23.12.2022
- [2] Virchow, R. »Infectionen durch contagiöse Tiergifte«, In: Rudolf Virchow (Hrsg.): Intoxicationen, Zoonosen und Syphilis = Handbuch der speziellen Pathologie und Therapie, 2(1). Enke, Erlangen, S. 337 (1855)
- [3] BMZ-Strategien, Initiativthema »One Health«, BMZ Papier 1 (2021). https://www.onehealthcommission.org/en/why_one_health/what_is_one_health/ (abgerufen 24.06.2022); Grütz-macher, K. et al. »The Berlin principles on one health – Brid-ging global health and conservation«, Sci Total Environ 764, 142919 (2021)
- [4] Cook, R. A., Karesh, W. B., and Steven A. Osofsky, S. A. »The Manhattan Principles on "One World, One Health"«, USA Wildlife Conservation Society, Bronx, New York, Internet: <https://oneworldonehealth.wcs.org/About-Us/Mission/The-Manhattan-Principles.aspx> (2004) (abgerufen am 24.06.2022)
- [5] Grützmacher, K. et al. »The Berlin principles on one health – Bridging global health and conservation«, Sci Total Environ 764, 142919 (2021)
- [6] Smith, T.B., Vacca, R., Mantegazza, L. et al. »Natural language processing and network analysis provide novel insights on policy and scientific discourse around Sustainable Development Goals«, Sci Rep 11, 22427 (2021), doi: 10.1038/s41598-021-01801-6
- [7] Tosun, J. & Leininger, J. »Governing the interlinkages between the Sustainable Development Goals: Approaches to attain policy integration«, Glob. Challenges 1, 1700036 (2017)
- [8] https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en, <https://circonomy.fraunhofer.de/> (abgerufen am 24.08.2022)
- [9] https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/gesund-heit/globale-gesundheit/one-health/one-health_node.html (abgerufen am 24.08.2022)
- [10] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) »Developing sustainable food Value Chains – Guiding Principles« Rome (2014)
- [11] Antoine-Moussiaux, N. et al. »The Value Chain Approach in One Health: Conceptual Framing and Focus on Present Applications and Challenges«, Front Vet Sci 4, 206, doi: 10.3389/fvets.2017.00206 (2017)
- [12] Mariner, J. C. et al. »Rinderpest eradication: appropriate technology and social innovations«, Science 337, 1309–12 (2012)
- [13] <https://noharm-global.org/documents/designing-net-zero-roadmap-healthcare-technical-methodology-and-guidance> (abgerufen am 24.08.2022)
- [14] Mahro, B. et al. »Bestandsaufnahme zu Aufkommen und Nutzung biogener Reststoffe in der deutschen Lebensmittel- und Biotechnikindustrie«, Chemie Ingenieur Technik 87, no. 5, 537–542 (2015). doi:10.1002/cite.201400023
- [15] Rojo-Poveda, O. et al. »Cocoa Bean Shell – a by-Product with Nutritional Properties and Biofunctional Potential«, Nutrients 12, no.4, 1123 (2020). doi: 10.3390/nu12041123
- [16] Jensch, C., Schmidt, A., and Strube, J. »Versatile Green Processing for Recovery of Phenolic Compounds from Natural Product Extracts Towards Bioeconomy and Cascade Utiliza-tion for Waste Valorization on the Example of Cocoa Bean Shell (CBS)«, Sustainability 14, 3126 (2022). doi: 10.3390/su14053126
- [17] Wolf, M., Berger, F., Hanstein, S., Weidenkaff, A., Endreß, H.-U, Oestreich, A. M., Ebrahimi, M., Czermak, P. »Hot-water hemicellulose extraction from fruit processing residues« ACS Omega, 7, 13436–13447 (2022). doi: 10.1021/acsomega.1c06055
- [18] ECDC, Aedes albopictus – current known distribution: March 2022. Eur. Cent. Dis. Prev. Control (2022), (availa-ble at <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/aedes-albopictus-current-known-distribution-march-2022>)

- [19] Airs, P. M., Bartholomay, L. C. »RNA Interference for Mosquito and Mosquito-Borne Disease Control«, *Insects*. 8, 4 (2017)
- [20] Tonk, M., Vilcinskas, A. »The medical potential of antimicrobial peptides from insects«, *Current Topics of Medicinal Chemistry* 17(5), 554–575 (2017)
- [21] Ostertag, K., Bratan, T., Gandenberger, C., Hüsing, B., Pfaff, M. »Ressourcenschonung im Gesundheitssektor – Erschließung von Synergien zwischen den Politikfeldern Ressourcenschonung und Gesundheit«, UBA-Texte 15/2021, FKZ: 3717 31 104 0, S. 263 (2021)
- [22] Health & Care Management Magazin: Hamburg: Asklepios startet Recycling-Projekt für Medizinprodukte – Health&Care Management (hcm-magazin.de) (Internet: <https://www.hcm-magazin.de/asklepios-harburg-hamburg-recycling-medizinprodukte-projekt-krankenhaus-272044/>, abgerufen am 07.12.2022)
- [23] ABFALLMANAGER MEDIZIN (Online-Magazin) »Abfälle aus der humanmedizinischen oder tierärztlichen Versorgung«, veröffentlicht am 28.02.2017, Internet: <https://www.abfall-manager-medizin.de/themen/krankenhausabfaelle-abfaelle-aus-der-humanmedizinischen-oder-tieraerztlichen-versorgung/>, (abgerufen am 21.12.2022)
- [24] Blessy, J., Jemy, J., Nandakumar, K., Sabu, T. »Recycling of medical plastics. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*«, 4 (3), 199–208 (2021)
- [25] Kulp, W., Greiner, W., Schulenburg, J.-M. v. »Bewertung der Möglichkeiten und Verfahren zur Aufbereitung medizinischer Einwegprodukte« IN: Deutsche Agentur für Health Technology Assessment des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information DIMDI (Hrsg.), 1. Auflage, S. 52 (2003)
- [26] Gellermann, C., Grieger, S., Lorke, W. »Recycling of single-use medical instruments made of stainless steel – high-grade material recovery in the medical sector«, DECHEMA e. V.: AICHEM Congress 2018. Paper ID 11507
- [27] Grieger, S. »Recycling von Medizinprodukten – Warum es sich doch lohnt«, 36. Kongress der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation, interventionelle und refraktive Chirurgie -DGII, 11.–12. Februar 2022, Dortmund (2022)
- [28] Bundesgesundheitsblatt 2012 »Anforderungen an die Hygiene bei der Aufbereitung von Medizinprodukten Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI) und des Bundesinstitutes für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM)«, Bundesgesundheitsblatt 2012, 55:1244–1310, Springer-Verlag (2012). doi: 10.1007/s00103-012-1548-6
- [29] Schulte, A., Maga, D., Thonemann, N. »Combining Life Cycle Assessment and Circularity Assessment to Analyze Environmental Impacts of the Medical Remanufacturing of Electrophysiology Catheters«, *Sustainability*, 13, 898 (2021). doi: 10.3390/su13020898
- [30] European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, Blengini, G., El Latunussa, C., Eynard, U. et al. »Studie zur EU-Liste kritischer Rohstoffe«, Abschlussbericht, Publications Office (2020)
- [31] Haschke, M., Gielisch, H., Berse, R. »The Impact of COVID-19 on Critical Raw Material Supplies needed for the Health-care and Possible Mitigation Actions« (2022). doi:10.13140/RG.2.2.26024.44806
- [32] Gutfleisch, O., Willard, M. A., Brück, E., Chen, C. H., Sankar, S. G., Liu, J. P. »Magnetic Materials and Devices for the 21st Century: Stronger, Lighter, and More Energy Efficient«, *Adv. Mater.*, 23, 821–842 (2011). doi: 10.1002/adma.201002180
- [33] Schulte, A., Dobers, K. »Circular Readiness Level for products and product systems«, Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE (2021), Internet: [https://ccpe.iml.fraunhofer.de/selfcheck/resources/download/Infolyer_self-checkCRL\(R\).pdf](https://ccpe.iml.fraunhofer.de/selfcheck/resources/download/Infolyer_self-checkCRL(R).pdf) (abgerufen am 07.12.2022)
- [34] Hofmann, A., Franke, M., Betsch, F., Rieger, T., Seiler, E., Mäurer, A. »Recyclingtechnologien für Kunststoffe – Positionspapier«, Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE (Hrsg.), Oberhausen/Sulzbach-Rosenberg (2021)
- [35] Fraunhofer UMSICHT »Fraunhofer, SABIC und Procter & Gamble kooperieren im Rahmen eines Pilotprojekts zum Closed-Loop-Recycling von Einweg-Gesichtsmasken« Pressemitteilung vom 16.06.2021. Internet: https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/2021/Recycling_Gesichtsmasken.html
- [36] Diehl, O., Schönfeldt, M., Brouwer, E., Dirks, A., Rachut, K., Gassmann, J., Güth, K., Buckow, A., Gauß, R., Stauber, R., Gutfleisch, O. »Towards an Alloy Recycling of Nd–Fe–B Permanent Magnets in a Circular Economy« *Journal of Sustainable Metallurgy*, vol. 4, pp. 163–175 (2018). doi:10.1007/s40831-018-0171-7

[37] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), Pressemitteilung 2021, https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/05_tierarzneimittel/2021/2021_10_12_PI_Abgabemengen_Antibiotika_Tiermedizin.html, abgerufen am 23.12.2022

[38] Brown, H. L. et al. »The One Health European Joint Programme (OHEJP), 2018–2022: an exemplary One Health initiative«, *Journal of medical microbiology* 69.8, p. 1037 (2020)

[39] Johnson, C. N. et al. »Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene«, *Science* 356.6335, pp. 270–275 (2017)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Entwicklung einer RNAi-basierten Kontrolle von invasiven Stechmücken

Abb. 2: Möglichkeiten der Ausbringung von dsRNA zur Bekämpfung von Stechmücken

Abb. 3: Entstehung und Verbreitung von resistenten Keimen

Abb. 4: Transformation des Gesundheitswesens von der linearen zur zirkulären Wirtschaft

Impressum

Herausgeber

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V.
Hansastraße 27 c
80686 München

Dieses Positionspapier wurde durch die Task Force Circular
Health des Verbunds Ressourcentechnologien und
Bioökonomie VRB der Fraunhofer-Gesellschaft erstellt.

Gesamtkoordination und Leitung der Task Force

Prof. Dr. Steffen Rupp
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-
und Bioverfahrenstechnik IGB
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart

Prof. Dr. Andreas Vilcinskas
Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie
und Angewandte Oekologie IME
Ohlebergsweg 12
35392 Gießen

Mit Beiträgen zu dem Positionspapier von

- Fraunhofer IGB
Dr. Kai Sohn, Dr. Elke Präg, Prof. Dr. Steffen Rupp
- Fraunhofer IME
Dr. Sebastian Eilebrecht, Prof. Dr. Andreas Vilcinskas
- Fraunhofer IVV
Dr. Thomas Herfellner, Dr.-Ing. Marc Mauermann
- Fraunhofer IWKS
Dr. Dominique Schüpfer
- Fraunhofer UMSICHT
Hon. Prof. Dr.-Ing. Matthias Franke, Dipl.-Ing. Hans-Jürgen
Körner

Empfohlene Zitierweise

Rupp, S., Vilcinskas, A. et al.: Positionspapier »Circular Health –
Prävention und zirkuläres Wirtschaften im Bereich Gesundheit,
Umwelt und Agrarwirtschaft«, Hrsg. Fraunhofer-Gesellschaft
e.V., München 2023

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Gesamtkoordination
erforderlich.

Beteiligte Fraunhofer-Forschungseinrichtungen

- Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrens-
technik IGB
- Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte
Oekologie IME
- Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung
IVV
- Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und
Ressourcenstrategie IWKS
- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energie-
technik UMSICHT

Kontakt

Prof. Dr. Steffen Rupp
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-
und Bioverfahrenstechnik IGB
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart

Prof. Dr. Andreas Vilcinskas
Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie
und Angewandte Oekologie
Ohlebergsweg 12
35392 Gießen

www.circularhealth.fraunhofer.de