

Critical review on a sustainable circular bio-economy for the forestry sector

Zirkuläre Bioökonomie in der Forst- und Holzwirtschaft für eine nachhaltige Entwicklung - Eine wissenschaftliche Einordnung

**Nele Schmitz, Andreas Krause,
Jan Lütke**



Thünen Report 109

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliography; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.thuenen.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:

Schmitz N, Krause A, Lüdtke J (2023) Critical review on a sustainable circular bio-economy for the forestry sector : Zirkuläre Bioökonomie in der Forst- und Holzwirtschaft für eine nachhaltige Entwicklung - Eine wissenschaftliche Einordnung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 88 p, Thünen Rep 109, DOI:10.3220/REP1684154771000

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.



THÜNEN

Thünen Report 109

Herausgeber/Redaktionsanschrift – Editor/address

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-report@thuenen.de
www.thuenen.de

ISSN 2196-2324
ISBN 978-3-86576-257-3
DOI:10.3220/REP1684154771000
urn:nbn:de:gbv:253-202305-dn066339-2

**Critical review on a
sustainable circular bio-
economy for the forestry
sector**

**Zirkuläre Bioökonomie in der
Forst- und Holzwirtschaft für
eine nachhaltige Entwicklung
- Eine wissenschaftliche
Einordnung**

**Nele Schmitz, Andreas Krause,
Jan Lütke**



Nele Schmitz, Andreas Krause, Jan Lüttke
Thünen-Institut für Holzforschung
Leuschnerstraße 91c
21031 Hamburg

Kontakt: Nele Schmitz
Telefon: +49 40 73962-606
Email: nele.schmitz@thuenen.de

Frontpage image: Milan - stock.adobe.com
Images: flaticon.com
Disclaimer: This report was originally written in English.
In case of dispute the English wording shall be valid.

Thünen Report 109

Braunschweig/Germany, Mai 2023

Content/Inhalt

Summary	3
Zusammenfassung	4
CRITICAL REVIEW ON A SUSTAINABLE CIRCULAR BIO-ECONOMY FOR THE FORESTRY SECTOR	7
I Introduction	8
I.I Goal of the report	8
I.II Scope & Method of the report	8
I.III Outline & Key messages	9
1 The idea of a sustainable circular bio-economy	11
1.1 The origin: sustainability challenges	11
1.2 The goal: sustainable development through system thinking	12
1.3 The proposed solution: flexibly implemented resource value retention strategies	14
2 A summary of the current implementation recommendations	17
2.1 Transition drivers	17
2.2 Regulatory push	18
2.2.1 Policy coordination to guide change	18
2.2.2 Target setting to implement change	20
2.3 Technology and market readiness	22
2.3.1 Circular business strategies	22
2.3.2 Resilient supply chains	23
2.4 Research support	25
2.4.1 Building social acceptance, strategic capacity and technological capability	25
2.4.2 Evaluating progress towards a sustainable circular bio-economy	26
3 Strengths & Weaknesses	29
3.1 Strengths: the potential benefits	29
3.2 Weaknesses: the unthought-through pathway	30
4 A guide for collective dialogue on the meaning of a potential transition for the forestry sector	33
4.1 Which parts of the sustainable circular economy concept can be used to guarantee a sustainable resource supply for the forestry sector now and in the future?	33
4.2 Which parts of the sustainable circular economy concept can be used to guarantee a sustainable forest product use now and in the future?	34
5 Glossary	36
ZIRKULÄRE BIOÖKONOMIE IN DER FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT FÜR EINE NACHHALTIGE ENTWICKLUNG - EINE WISSENSCHAFTLICHE EINORDNUNG	41
I Einleitung	42
I.I Zielsetzung des Berichts	42
I.II Umfang und Methode des Berichts	42
I.III Gliederung & Kernaussagen	43

1	Die Idee einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie	45
1.1	Der Ursprung: Herausforderungen der Nachhaltigkeit	45
1.2	Das Ziel: nachhaltige Entwicklung durch Systemdenken	46
1.3	Die vorgeschlagene Lösung: Flexibel umgesetzte Strategien zum Werterhalt von Ressourcen	47
2	Eine Zusammenfassung der aktuellen Umsetzungsempfehlungen	51
2.1	Treiber des Wandels	51
2.2	Regulatorische Unterstützung	52
2.2.1	Politische Koordinierung zur Steuerung des Wandels	52
2.2.2	Zielvorgabe zur Umsetzung des Wandels	54
2.3	Technologie und Marktreife	56
2.3.1	Strategien für zirkuläres Wirtschaften	56
2.3.2	Widerstandsfähige Lieferketten	57
2.4	Unterstützung aus der Forschung	60
2.4.1	Aufbau sozialer Akzeptanz, strategischer Kapazitäten und technologischer Fähigkeiten	60
2.4.2	Bewertung der Fortschritte auf dem Weg zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie	61
3	Stärken und Schwächen	64
3.1	Stärken: Der potenzielle Nutzen	64
3.2	Schwachstellen: das Fehlen eines ganzheitlichen Zielkonzeptes	66
4	Ein Leitfaden für den kollektiven Dialog über die Bedeutung eines möglichen Übergangs für den Forst-Holz-Sektor	68
4.1	Welche Teile des Konzepts der nachhaltigen zirkulären Wertschöpfung können genutzt werden, um eine nachhaltige Ressourcenversorgung des Forst-Holz-Sektors jetzt und in Zukunft zu gewährleisten?	68
4.2	Welche Teile des Konzepts der nachhaltigen zirkulären Wertschöpfung können genutzt werden, um eine nachhaltige Nutzung von forstbasierten Produkten jetzt und in Zukunft zu gewährleisten?	69
5	Glossar	71
6	Bibliography/Referenzen	77

Summary

There is a need for economic restructuring (also called transformation) to safeguard our natural resources, which our economy relies upon. To address global challenges in the use of bio-resources, the three dimensions of sustainable development need to be accounted for: environmental, social, economic. **System thinking is the foundation of a sustainable circular bio-economy.** Having the entire forestry sector, which is the entire forest product value system, in view is needed to (i) enable biomass use in a series, and to (ii) manage conflicts over the various forest demands. Sustainable resource allocation depends on the context. To implement a sustainable circular bio-economy there is no one best option. **Depending on the given situation, there are various resource value retention (R) strategies that can be combined in various cascades.**

The literature studied for this report, recommends governments to better coordinate policies, within and across domains, to drive the transition to a sustainable circular bio-economy. **The focus should be on reducing waste instead of on managing waste,** using market incentives and targets. Businesses are advised to integrate technological innovations in circular business models, based on a diversity of products and partners for an increased resilience. Innovations should focus on **extending product and resource life-time for maximal resource valorisation.** Researchers could speed up innovations through the collection of data across the complex supply chain network, and by coordinating research across disciplines.

A transition towards a sustainable circular bio-economy can bring **many potential benefits.** Resource value retention strategies, enabling wood use in multi-stage cascades can secure jobs, resource supply as well as healthy ecosystems. **The biggest hindrance for action, so far, is the not well thought out path.** Therefore, this report ends with a guide to start discussions, across the forestry sector, on all practicalities and consequences of a transition. Only in this way, the concrete meaning of a transition for forest resource supply and use can become clear, opening the way for action plans.

Keywords: circular bio-economy, sustainable development, forestry sector, cascading use of wood, literature review

Zusammenfassung

Um die natürlichen Ressourcen zu schützen, muss sich unsere Wirtschaft umstrukturieren – denn auch sie ist angewiesen auf die wertvollen Rohstoffe. Bei dieser Transformation müssen die drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung berücksichtigt werden: Umwelt, Soziales und Wirtschaft. **Systemdenken ist die Grundlage für eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie.** Auch der Forst-Holz-Sektor muss daher sein gesamtes Wertschöpfungssystem in den Blick nehmen, um (i) Möglichkeiten zu schaffen, Biomasse mehrfach zu nutzen und (ii) Konflikte um die verschiedenen Ansprüche an den Wald zu bewältigen. Ob eine nachhaltige Verteilung von Ressourcen gelingt, hängt vom Kontext ab: Es gibt für eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie nicht die *eine* beste Option. **Je nach Situation helfen verschiedene Strategien beim Werterhalt von Ressourcen (R). Die Strategien können zudem auch in verschiedenen Kaskaden kombiniert werden.**

Um den Übergang zu einer nachhaltigeren Nutzung von Holz voranzutreiben, empfiehlt die für diesen Bericht untersuchte Literatur den Entscheidern, die politischen Maßnahmen innerhalb und zwischen den Bereichen mit Bezug zum Forst-Holz Sektor besser zu koordinieren. **Der Schwerpunkt sollte dabei auf der Reduzierung von Holzabfällen liegen statt auf ihrer Bewirtschaftung.** Dazu sollten Marktanreize und Zielvorgaben genutzt werden. Den Unternehmen wiederum wird empfohlen, technologische Innovationen in zirkuläre Geschäftsmodelle zu integrieren, die auf einer Vielfalt von Produkten und Partnern basieren, um die Resilienz zu erhöhen. Diese Innovationen sollten darauf abzielen, **die Lebensdauer von Produkten und Ressourcen zu verlängern, für eine maximale Wertschöpfung.** Auch die Wissenschaft kann zur Optimierung beitragen, etwa indem sie Daten über das komplexe Netz der Lieferketten sammelt und ihre Forschung über verschiedene Disziplinen hinweg koordiniert.

Die Transformation zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie birgt **viele potenzielle Vorteile:** Die mehrstufige Nutzung von Holz in Kaskaden bewahrt nicht nur den Wert dieser wertvollen Ressource, sondern sichert auch Arbeitsplätze, Rohstoffversorgung und gesunde Ökosysteme. **Das größte Hindernis für derartige Maßnahmen ist bisher das Fehlen eines ganzheitlichen Zielkonzeptes.** Daher endet dieser Bericht mit einem Leitfaden, der im gesamten Forst-Holz-Sektor Diskussionen über alle praktischen Aspekte und Folgen einer Transformation anstoßen soll. Nur so wird deutlich, welche konkrete Bedeutung die Transformation zu einer zirkulären Bioökonomie für die Versorgung mit Holz und dessen Nutzung haben wird. Dadurch kann der Bericht auch den Weg für Aktionspläne ebnen.

Stichworte: zirkuläre Bioökonomie, nachhaltige Entwicklung, Forst-Holz-Sektor, Kaskadennutzung von Holz, Literaturübersicht

Vier Charakteristiken eines Übergangs zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie

1 Ein neue Konzeption

von Produktions- und Konsumsystemen, um die Widerstandsfähigkeit gegenüber Nachhaltigkeits Herausforderungen (wie Klimawandel, Umweltzerstörung, Energie- und Gesundheitsunsicherheit) zu erhöhen

2 Technologische Innovationen

um den Wert der Ressource zu erhalten und die Nutzung jeder Ressourceneinheit zu maximieren, indem der Schwerpunkt auf die Funktionalität des Produkts und nicht auf den Besitz gelegt und eine Kaskadennutzung der Ressourcen erreicht wird

3 Soziale Innovationen

zur Vermeidung von Ressourcenkonflikten unter Berücksichtigung des gesamten Wertschöpfungssystems forstwirtschaftlicher Produkte und der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit

4 Es gibt viele Wege

und nicht nur eine beste Option, um der Komplexität von Produktions- und Konsumsystemen gerecht zu werden, die von sich zeitlich und räumlich verändernden Werten bestimmt werden.

Alle Aspekte der Nachhaltigkeit im Blick, mit wechselndem Fokus



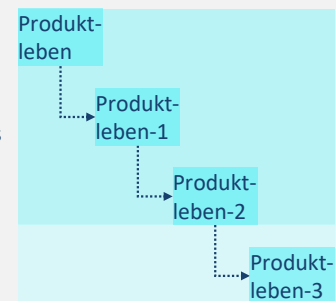
Bestimmt relevante Rs

R-Strategien zur Werterhaltung von Ressourcen

Umdenken für langlebige Produktfunktionalität
Wiederverwendung in ursprünglicher oder neuer Funktion
Verwertung der Ressource mit Verlust der Materialqualität

Bestimmt Kaskade der Rs

Verbleibende Optionen für die Ressourcennutzung im Laufe der Zeit



Bestimmt die Bedeutung des Wertes

Variabler Kontext zeitlich und räumlich

Bestimmt machbare Rs

Four characteristics of a transition towards a sustainable circular bio-economy

1

Changes

of production-consumption systems to increase resilience in the face of sustainability challenges (such as climate change, environmental degradation, energy and health insecurity)

2

Technological innovations

to enable resource value retention and maximal valorisation of every unit of resource, via a focus on product functionality rather than ownership, and via a cascading use of resources

3

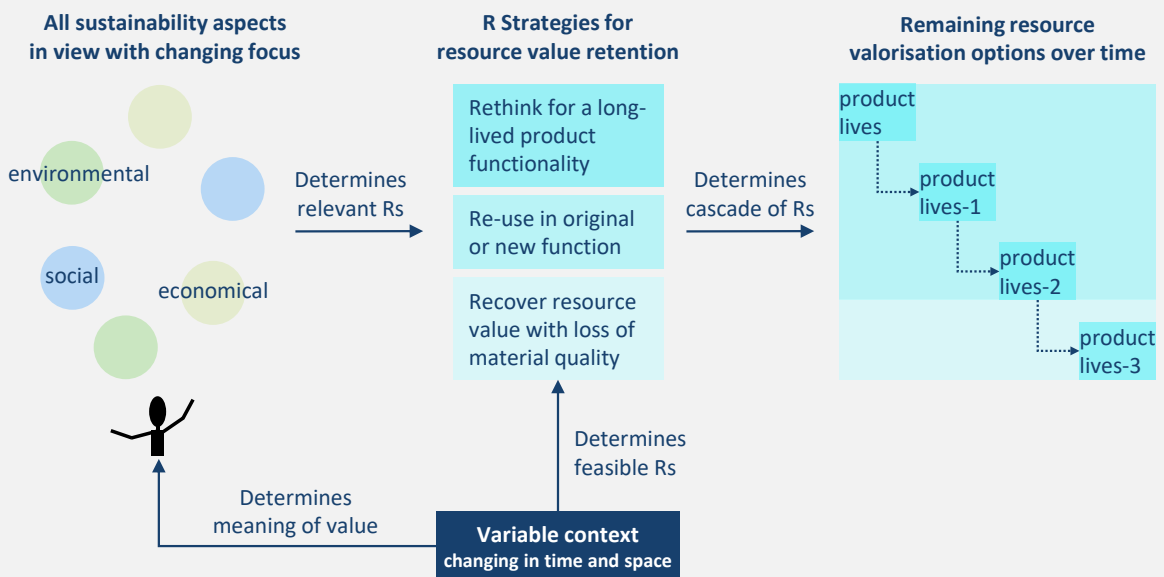
Social innovations

to avoid conflicts when allocating resources, by having the entire forest product value system in view as well as the three sustainability aspects

4

A variety of pathways

rather than one best option, to acknowledge the complexity of production-consumption systems, which are driven by values that are changing in time and space



Critical review on a sustainable circular bio-economy for the forestry sector

I Introduction

I.I Goal of the report

This report is written in the frame of the Charter for Wood 2.0¹ (Charta für Holz 2.0). This is a dialogue process initiated by the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) of Germany between experts in the forestry sector (for a definition, see glossary) from the federal government, the federal states, various fields in science and business, and civil society. The three primary goals of the charter are (i) mitigating climate change, (ii) creating value and (iii) using resources efficiently, through sustainable forest management and wood use. Including representatives from all sectors of the forest and wood industry and with the aim to transform the German forestry sector to be fit for the future, the Charter for Wood 2.0 is **the ideal environment to discuss the meaning of a sustainable circular bio-economy for the forestry sector².**

Circular economy and related topics such as cascading use, bio-economy and sustainable supply chains are widely studied. Even for the forestry sector in specific there are recent reports (2, 3). Terms such as circular bio-economy and sustainability are often used interchangeably leading to confusion and difficulties when wanting to implement a circular bio-economy (4). While research output is big, the research remains narrow and above all constantly evolving (5, 6). Fragmented information hinders insights and clear understanding of benefits and challenges, which is essential for advancement (1). The FAO calls upon the forestry sector to drive the transition towards a circular bio-economy (7). **With this report we want to create a shared understanding among all stakeholders** about the complexities and trade-offs involved (6, 8) to enable discussion.

GOAL

Providing a general overview of a sustainable circular bio-economy for policy makers, researchers and industry to create a common understanding enabling decision making³.

RESEARCH QUESTIONS

- (1) What is the idea behind a sustainable circular bio-economy?
- (2) How could a transition to a sustainable circular bio-economy look like for the forestry sector?
- (3) What benefits and disadvantages could it bring along for the forestry sector?

I.II Scope & Method of the report

Also in the research world, sustainable use of resources is needed. Therefore, to steer new research, this report wants to give a synthesis of the available knowledge on **various themes of the circular economy of relevance for the forestry sector in Europe** (including all economic activities based on forests and their resources, see also glossary). Bio-economy topics that are not specifically of interest to understand a circular economy, like substitution of products with forest-based products are hence not part of this review, as they are dealt with elsewhere (10).

¹ https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/EN/_Forests/charter-for-wood-2.html

² *We cannot travel the path toward sustainability in silos. Collaboration is the only way to turn the sustainability challenges into opportunities* (1).

³ *Change comes first from stepping outside the limited information that can be seen from any single place in the system and getting an overview* (9).

An iterative method deliberately keeping key-words very general was used to collect the latest academic papers. In a first round *Google* and *ResearchGate* were researched with the key words: *Kreislaufwirtschaft + forst/holz/wald* and *circular economy + wood/timber/forest*. Then in the following two rounds the citations in all papers collected so far were checked, via the citations option in *ResearchGate* and *Google Scholar*, for more papers fitting the scope. The advantage of this network approach, allowing general key-words is that no publications are omitted for the mere reason of not explicitly containing the chosen key-words (11). This is especially relevant for the circular bio-economy where terminology is very dynamic (5, 11).

The scope was narrowed by focusing on papers not older than 2017 and on review papers (but not excluding older or other publication types of interest), as they allow gaining a complete as possible understanding of a sustainable circular bio-economy, in the shortest time possible. We further focused on findings of general relevance for the forestry sector in Europe, largely excluding papers on specific products, sectors or countries. In this way we wanted to avoid presenting a biased view as experts tend to overrate the importance of their own field (12) and be of interest to all actors of the Charter for Wood 2.0.

Limitations of the review are that it only includes information from published scientific papers and that it doesn't contain concrete, sector specific knowledge, while more information might be found inside companies (13).

SCOPE

The current state of academic knowledge on the circular economy of general relevance for the forestry sector in Europe, mainly including:

- Peer-reviewed papers published between 2017-2022
- Papers of general interest without focus on a specific product, sector or country (mostly reviews)

The scope is non-exhaustive but broad enough to create a common understanding about the meaning of a sustainable circular bio-economy for the forestry sector.

I.III Outline & Key messages

In chapter 1 we deal with research **question 1 on the idea of a sustainable circular bio-economy**. First, we explain its origins, to also better understand the varying terminology. Then, we go back to the basics, reminding about the goal of any type of circular economy: sustainable development. The practical solutions to tackle sustainability challenges, as proposed by the idea of a circular bio-economy, are then presented. The resource value retention strategies are clarified, their link with cascading use and how trade-offs can be dealt with.

In chapter 2 we deal with research **question 2 on ways to implement a sustainable circular bio-economy**. After giving an overview of transition drivers, we summarise the recommendations presented so far by the literature for (i) governments, (ii) businesses, and (iii) researchers. Regulations can push a transition forward when policies are coordinated and targets are developed in a context-dependent way to follow-up changes. Technological innovations can push for change as well, but market readiness is not to be forgotten if supply chains are to be resilient. Social innovations need to be undertaken, placing customers at the core of new business models, and making full use of all stakeholders' assets via reliable partnerships. Researchers can begin by eliminating the bias in current research towards technological innovations, while largely overlooking the importance of social acceptance and strategic capacity. Finally, a guide would need to be developed on how to follow up progress towards a sustainable circular bio-economy as there is no standard approach so far.

In chapter 3 we deal with research **question 3 on the potential benefits and weaknesses of a sustainable circular bio-economy**. We give an overview of all benefits such a transition could bring but also mention some deficiencies of the currently proposed pathway.

In chapter 4 we reflect on what we learned and **how the forestry sector could use the findings** by offering some guidance for discussion.

KEY MESSAGES

- (1) **What is a sustainable circular bio-economy?** While the terminology evolved, the goal of a sustainable circular bio-economy remained unchanged, adapting the current economy to societal challenges. Rather than looping, the core idea is system-wide thinking to enable sustainable sourcing and sequential use of materials/products for different functions, dependent on the physical and social context, with a focus on utilisation rather than ownership.
- (4) **How would a transition to a sustainable circular bio-economy look like?** People's needs would be put in the centre of the economy. Decreasing the dependence on virgin natural resources as raw material, would increase the dependence on collaboration along the value creation network, on labour and on maintenance. Cascading use would offer resource value retention (R) strategies for various contexts and sustainability priorities.
- (5) **What benefits and disadvantages would it bring along?** The current production and consumption systems have led to various crises (including a decreased biodiversity, climate change, ecosystem degradation and inequality) leading to insecurity. The strength of a sustainable circular bio-economy could be an increased flexibility to deal with the complex societal challenges. On the other side, however, how exactly this flexibility is to be reached remains largely unclear and would require thorough and stakeholder-wide discussions on where steps could be taken and where unwanted changes are to be avoided.

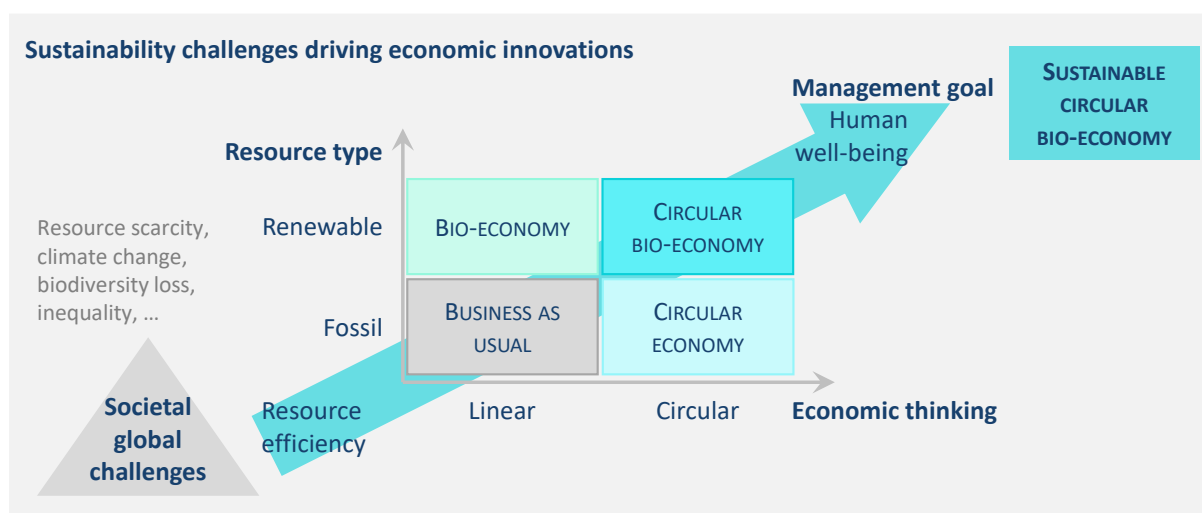
1 The idea of a sustainable circular bio-economy

1.1 The origin: sustainability challenges

The world is complex but until now economic systems are managed as if they are simple, causing lots of externalities (all impacts that are not aimed for along the supply chain) (14-16). The current economy is facing sustainability challenges such as climate change, environmental degradation, social conflicts, food, energy, and health insecurity (11, 17, 18). Especially with growing wood demand (19-22), there is a **need for economic restructuring** (also called *transformation*) **to safeguard our natural resources, which our economy relies upon** (4, 11, 16, 22-24).

Even before industrialisation, people have been pondering on strategies towards a circular economy out of scarcity (rather than out of waste) (25). A circular bio-economy could make the economic system more resilient (26), among others, by being less dependent on virgin material use (4). Reliance on bio-resources to reduce depletion of abiotic resources may just create a new set of environmental problems such as loss of biodiversity and a reduced capacity of forests to act as a carbon sink (27, 28). **To address global challenges in the use of bio-resources, three pillars need to be accounted for** with special attention for the social dimension remaining a problematic gap area⁴ (10, 17, 29). A sustainable circular bio-economy is more than substituting resources, decreasing waste and innovating technologies. It may also contribute to reducing poverty and biodiversity loss and stimulate sustainable consumption (30) (Fig. 1).

Fig. 1 At the origin of innovative economic thinking are societal global challenges. The terminology surrounding sustainable resource use is varied but all terms sprout from the wish to evolve towards more sustainable production and consumption systems.



Sustainable development, including production and consumption, is based on three pillars: (1) **environmental quality** linked to a multitude of ecosystem services (including provision of natural resources), (2) **life quality** via a just distribution of employment, health and personal development chances (17, 31, 32) and (3) **economic prosperity** focusing on human needs and maintaining ecosystem functionality (23, 33-35). Balancing the rate of

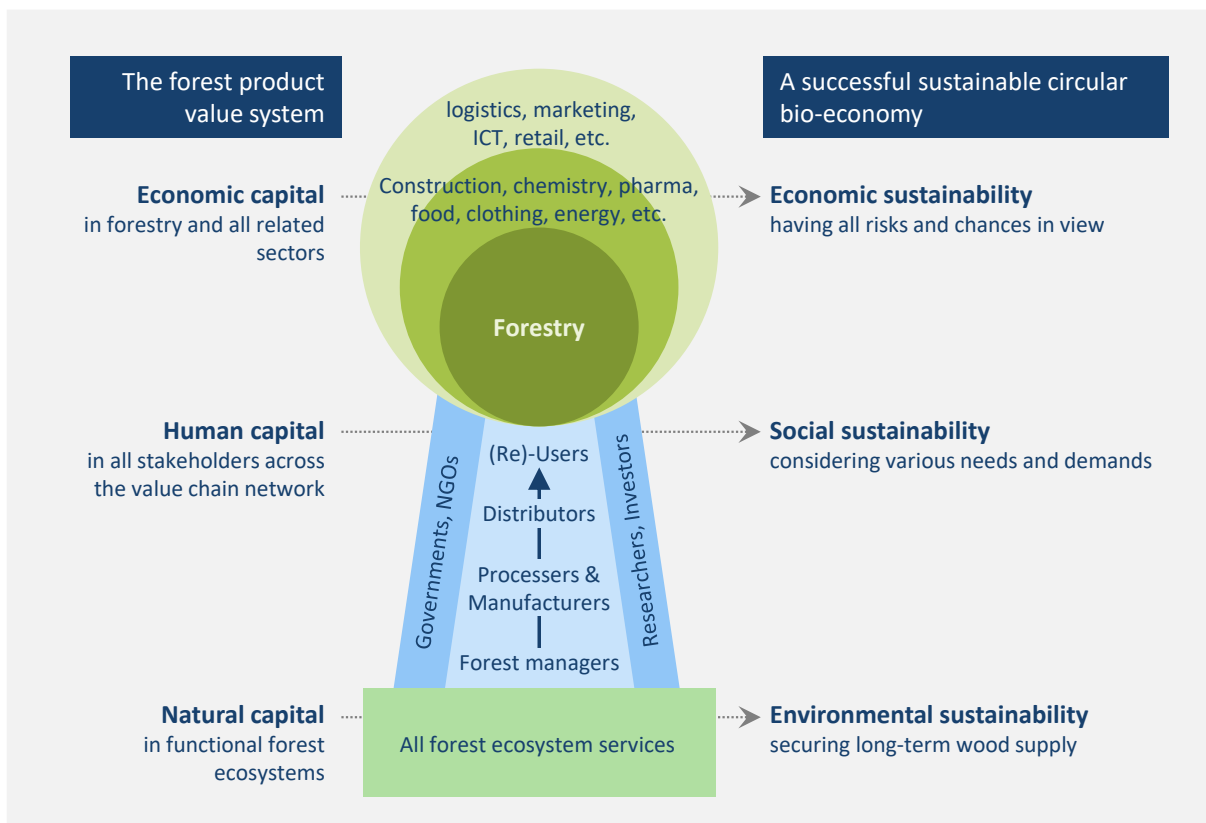
⁴ Holistic, transformational solutions striving for a just redistribution of prosperity and quality of life, through co-creation and co-governance, are still missing from EU policies (17). Also in research, social aspects get little attention with consumption patterns remaining a blind spot in the circular economy debate (5).

consumption and forest regeneration, and returning carbon and nutrients to the soil to maintain its productivity and biodiversity will help to safeguard long-term resource productivity (24, 35).

1.2 The goal: sustainable development through system thinking

Circularity does not mean looping of resources but rather circular or system thinking (6). System thinking means understanding how every topic (like circular economy in the forestry sector) interacts with bigger as well as with smaller topics. Examples of the former are climate change or inequality, and of the latter forest health or furniture production technologies. It is important to be aware that these interactions are subjective. Every topic is subjective, determined by parts (of natural, societal or technological origin), connections, boundaries, perspectives, policies, norms, resources, power structures and values, among others. By using the knowledge that all these factors can also be changed, system thinking allows rethinking of the system (9, 36, 37).

Fig. 2 System thinking, having the entire forest product value system in view, is the foundation of a circular economy. To develop more sustainable production and consumption systems, all sustainability dimensions are to be considered in decision making, requiring a system-wide view. ICT, Information and Communication Technology.



Circularity practices should hence not be isolated actions in a linear system but be integrated in business strategies (29, 34), that do not necessarily require the closing of all material and product loops. What is required, when pursuing a sustainable circular bio-economy, is **considering all three dimensions, to enable sustainable development** (17, 22) (Fig. 2). That is because the viability of a circular economy depends on the economic viability, the environmental sustainability, as well as on the social capabilities of all parties (34, 38). Sustainable development concerns sourcing, design, production, distribution, consumption, or preferably use, from local to

global scale and from now into the future (6, 33, 39-41). This **awareness of the global⁵ forest product value chain** (10, 13, 32, 42, 43), including the entire forest ecosystem (44, 45) is hence crucial and becomes only feasible via collaboration.

A sustainable circular economy is based on social innovations as much as on technological innovations (34, 38). Sharing and combining information and capabilities between actors of the value chain network⁶ would allow joint learning, stimulating innovations (12, 26, 34). **Co-creation and co-governance**, involving local and international public and private actors, are crucial to **manage conflicts over the various forest demands**. Progress can mean more than financial and operational performance alone (focus of conventional systems), aiming as well for prosperity of the biosphere and social justice (17, 18, 31, 32, 46). Focussing not only on the wood but on all forest ecosystem services and on users instead of products, can **allow forests and people to play their multiple roles** (6, 25, 47). Resource allocation decisions, that avoid shifting problems to other life cycle stages or territories (5, 27, 46), are a main wood supply insurance (41, 43, 47), safeguarding forest health, including soil health and biodiversity (23).

While the transformation might have started, the renewal of the traditional forestry sector is still in its infancy (48). Recycling is the most adopted circular practice today. For a sustainable development, more attention is needed for shorter loops where products keep their original function for as long as possible and hence require few resource-intensive upgrading steps (21, 32). **The focus should shift** towards innovative design of products and processes as well as to changes in behaviour **from cost reduction to value retention and creation** (5, 27, 49). On the one side, the holistic view this requires brings along an increased complexity with a lot of uncertainties (31, 32, 46). But on the other, it also reveals a diversity of potential pathways, offering resilience in front of uncertainties (17).

⁵ With Germany as one of the biggest wood exporters in the world, import and export volumes being relatively balanced (3).


⁶ suppliers, networks of companies, investors, end-users, policy makers and researchers

1.3 The proposed solution: flexibly implemented resource value retention strategies

A supply system wide view is needed to enable biomass use in a series, instead of parallel. Restructuring supply chains can significantly extend resource use life and hence carbon storage. Resource use optimisation starts with keeping material in solid applications for as long as possible. Products and their resources are then re-used in multiple, consecutive life cycles, and finally recovered for energy production after long material use (21, 24, 32). However, **sustainable resource allocation depends on the context** and the forestry sector is complex (17, 50). The surrounding conditions along the value chains, crossing countries and product sectors, vary widely (43, 51). To be considered are, among others, geography, local feedstock availability, regulations, logistics, firms' capabilities⁷, involved markets, time scale, global trends and intergenerational justice (52, 53).

To implement a circular economy there is no one best option (Fig. 3). **There are various resource value retention (R) strategies**, ordered according to their power to achieve circularity, meaning the decoupling of economic growth and resource use. Here we follow the categorisation into 9 Rs⁸ (Table 1).

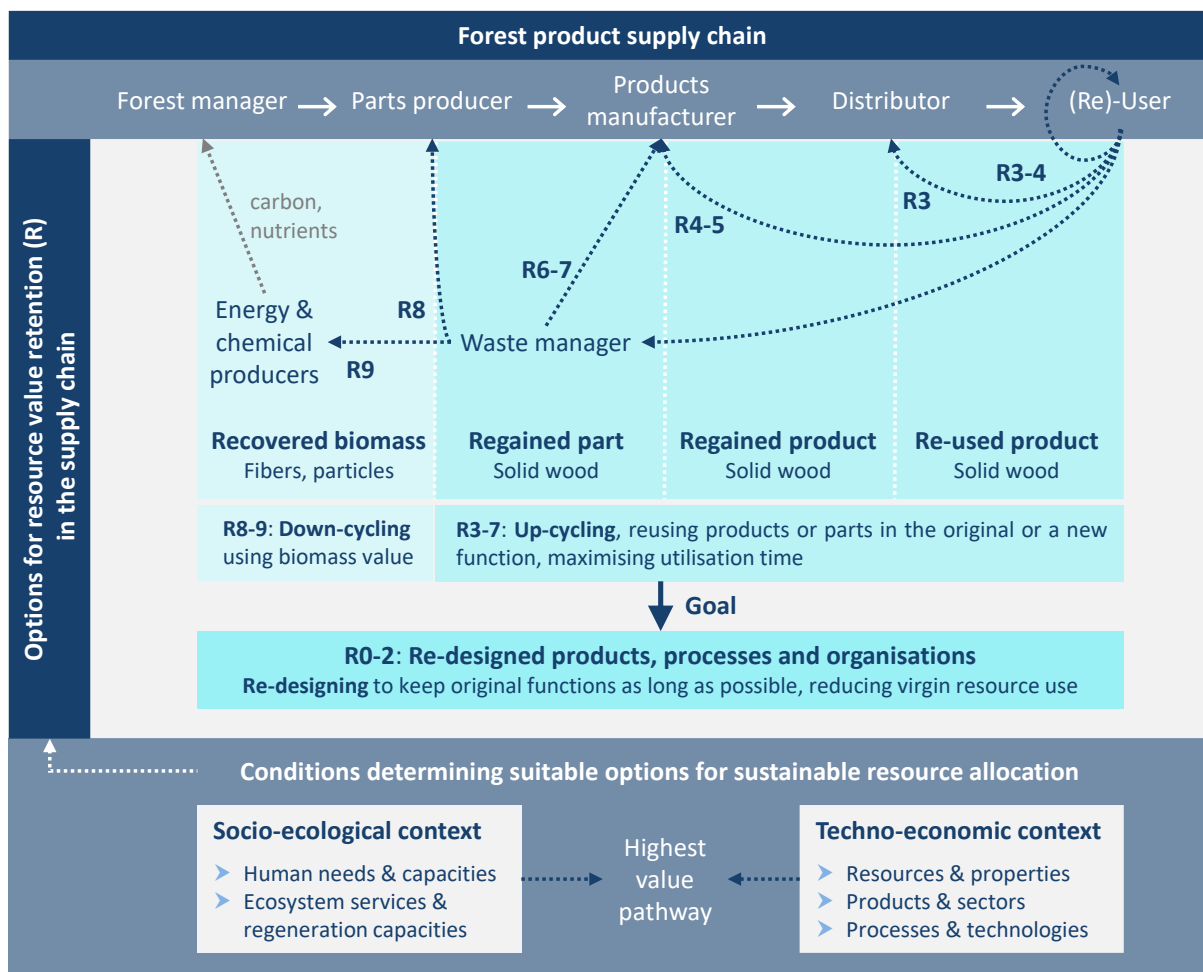
Table 1 Terminology of the resource value retention (R) strategies. The R strategies are ordered according to their power to achieve circularity, meaning resource life optimisation, which depends on time and place. Following (6, 38, 54).

R strategies		Meaning	Degree of circularity
R0	Refuse	Abandon certain materials, products and processes	higher
R1	Rethink	Offer product functions in a new way facilitating other Rs	
R2	Reduce	Use less materials, products, energy and produce less waste	
R3	Reuse	Resale and reuse among users or via collectors and retailers	
R4	Repair	Repair to extend product lifetime in original function	
R5	Refurbish	Update by replacing or repairing parts	
R6	Remanufacture	Disassemble for use in new products with same function	
R7	Repurpose	Use of discarded products for a new function	
R8	Recycle	Extracting materials from waste destroying original structure	
R9	Recovery	Capture of energy or biomass from waste	

⁷ Within the supply network, different preferences for resource value retention options might be needed for frontrunners and laggards of the transition (6).

⁸ They evolved just like the concept of circular economy itself, leaving us a variable number and sequence of 3 up to 10 R strategies (6, 32, 54). The 9 Rs of Reike et al. and Morsetto (6, 54) were based on (38).

Fig. 3 The path towards a sustainable circular bio-economy is flexible, aligned with ambient socio-ecological and techno-economic conditions. The various resource value retention or R strategies (see Table 1) offer options that can be combined in adaptation to context to enable a sustainable cascading wood use.



They offer a useful orientation for decision making, but not a strict hierarchy (6, 52-54). **Cascading use is the context-dependent integration of R strategies** minimising the consumption rate of the raw material (27, 40, 52). It is the sequential use of biomass as a material maximising economic, environmental and social benefit with a final use as an energy source when the material quality cannot be valorised any longer. The throughput of forest-based resources is aligned, not for maximising lifetime but for optimising resource life (12, 53, 55), taking into account physical properties, basic human needs, and added value (6, 23, 52). Utilisation time can be maximised processing resources for various solid, chemical or energetic functions creating additional value from the resource through collaborations within and between cascades (6, 23, 24, 33, 39, 40).

As there is not one universal cascading path, **the wide array of value retention options can stand in complement (8, 30, 50, 54) or in trade-off to each other (56, 57)**. All solutions for a more sustainable resource use are value-laden. It is the variety of offered strategies that allow adaptation to the actors involved and their context (ecological, demographic, geo-political, socio-economic, ...) (6, 17). **The implementation of a sustainable circular bio-economy will vary in time and space** (Table 2). Insights, perspectives, challenges and priorities in a society change and will require regular realignment of the implementation approaches with the new context (58, 59).

Table 2 Examples of competing implementation approaches (trade-offs) that should be managed according to context for a circular bio-economy to be sustainable. Which of the various ecosystem services is more important is not universally determined but a choice to be made by the stakeholders, and hence dependent on the geographical, historical, ecological and socio-economic context (23, 41).

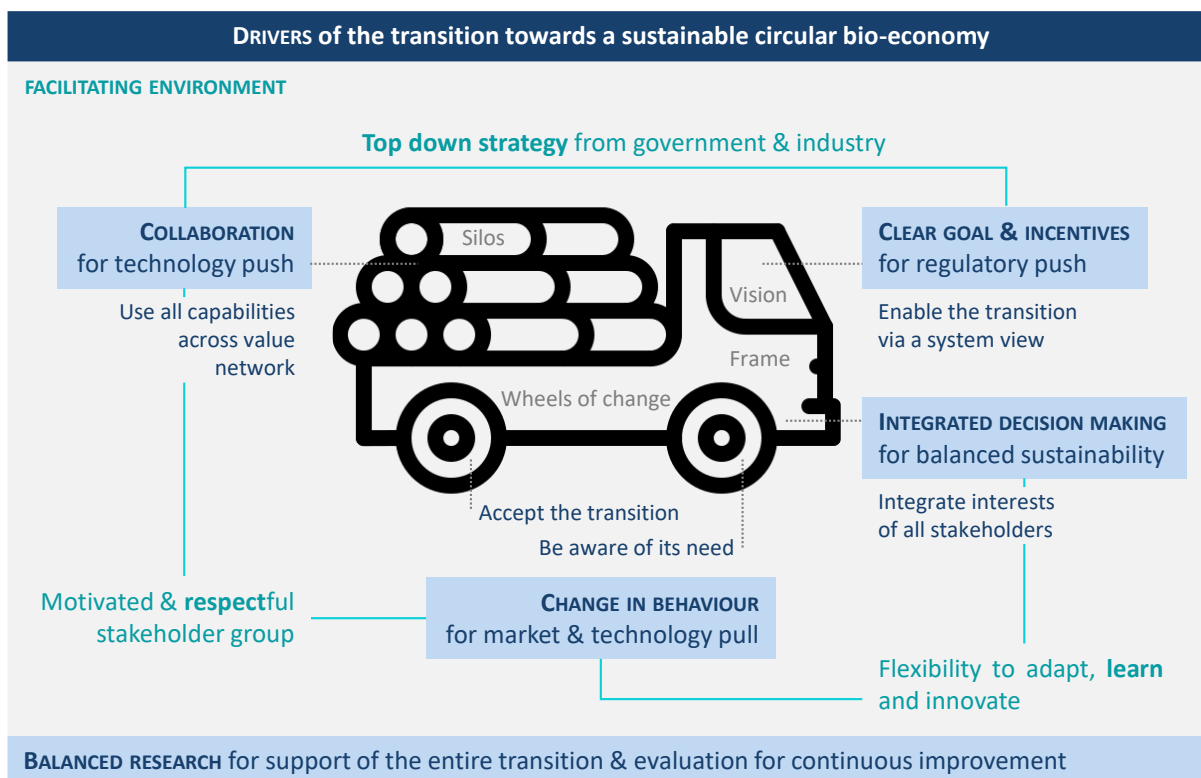
Examples of trade-offs in a circular bio-economy			
Context	Approach 1	Approach 2	Reference
Allocation priority	Wood for material use , lignin for material use (biochemicals, biopolymers, biopharmaceuticals).	Wood for energy or bio-fuel production, or by-products (such as lignin, black liquor) as in-house energy source for industrial processes.	(3, 20, 27, 44, 53, 57)
		Non-wood forest products (for example berries, mushrooms, bee products, resin, cork).	(45)
Ecosystem service priority	Forest land with mixed forests providing regulating and cultural ecosystem services , or space for wind or hydro energy projects.	Forest land for the forest and wood sector with softwood forests for the production of bio-economy resources, feeding existing value chains.	(41, 44, 57)
	Tree breeding strategies for drought tolerance or herbivore resistance.	Tree breeding strategies for wood production.	(3, 23)
		Tree breeding strategies for optimal main and by-products.	
Sustainability aspect priority	On-site use of low value and/or low-density, bulky biomass. Or no use of preservatives to facilitate recycling.	Transport for high-value use , or for low labour costs. Or use of preservatives for durability.	(53, 60)
	No use of tropical wood to lower the risk of illegal logging or unsustainable harvest.	Use of tropical, resistant wood to lower the need for chemical treatment and the risk of unfair trade flows.	(61, 62)
	Strict laws on transporting waste wood, hindering recycling and residential wood burning to lower the toxicity risk of potential hazardous contaminants and air pollutants.	Regaining wood as a resource for the circular bio-economy, including wood use for domestic heating.	(46, 57, 63)

2 A summary of the current implementation recommendations

2.1 Transition drivers

The way to a circular bio-economy is an industrial, political, as well as societal initiative (25, 27, 38) (Fig. 4). Economies are driven by entrepreneurship, but also by regulations and policies, as well as by human desires. All actors along the supply chain, from authorities over companies up to the consumers, have to be motivated and persuaded of the new business strategies (27, 29, 31, 64). Therefore, **a shared vision and shared action** is crucial (1, 18, 49), **respecting opinions of all stakeholders** (27, 31).

Fig. 4 An overview of the factors that can drive the transition towards a more sustainable circular bio-economy. Developing innovative technologies is not enough, the entire value chain needs to be prepared if a systemic change is aimed for.



Good practices can hence not be copied but must be adapted to context (26), which varies in space and time asking for **flexibility to adapt, learn and innovate** (25, 31). While long-term contracts and increased stocks could help cope with uncertainties (32, 43), contracts and funding should rather be set up in a flexible way to allow regular re-evaluations and to avoid unintended consequences (think about lock-in and rebound effects) (46).

Incentives as well as goals and indicators, from both government and industry, have to be framed by a **top-down strategy, crossing sectors and geographical boundaries**. For a sustainable bio-economy, this strategy should not only include innovation in technology but also in supply chain collaborations, marketing and public governance (25, 27, 34, 38, 58). Lack of supporting framework conditions is the main reason why there is not much advancement in the transformation towards a circular economy since the first publications in the 1980s (14, 25, 34).

A balanced combination of regulatory push, technology push and market pull factors can achieve a resilient forestry sector benefiting from the full potential of forest products (53). These drivers of a sustainable circular bio-economy can be summarised as follows (19, 27, 31, 34):

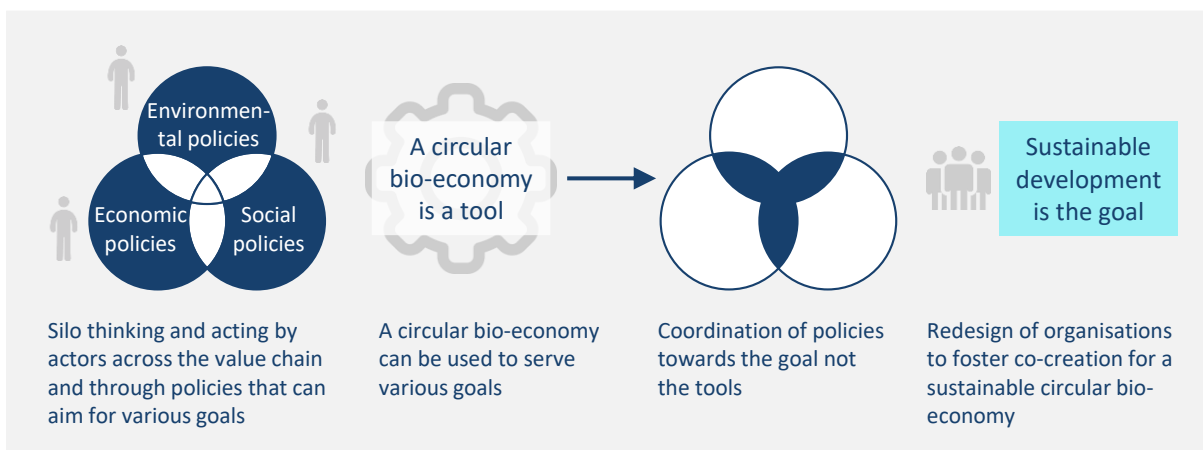
- **Regulatory push:** policy makers with the power to disseminate systemic thinking and to facilitate interactions between partners
- **Technology push and pull:** innovative entrepreneurs and SMEs, investing in R&D and commercialisation, channels for new markets and in supply chain collaborations, including with customers
- **Market pull:** customer acceptance and needs are in focus creating new channels

A focus on technology push alone, neglecting customer needs, would lead to decreasing returns on innovation (19, 65). A change in consumer attitude is needed for extended material use (38, 55). Consumers should be open for change and overcome behavioural and cultural barriers (for example by peer pressure and by changing their value perceptions around waste), changing their choices and participating in the circular bio-economy (23, 24). Research on consumer acceptance, or preference for long-lived products instead of for following trends is therefore needed (61, 66).

2.2 Regulatory push

2.2.1 Policy coordination to guide change

Fig. 5 Aligning actors, policies and tools with the goal to transition towards a more sustainable production and consumption system. A circular bio-economy is a mere tool and should not be mixed up with the various goals it could serve.



Policy coordination should **focus on the central objective not the tools** (Fig. 5). Circular economy and cascading, as a specific strategy, are tools to reconcile increasing and multiple demands on resources and land. They should not become ends in itself (30, 33, 62). Consequently, while focusing on a cascade utilisation, an **updated, harmonised European waste wood legislation⁹** should **promote using wood while protecting human and ecosystem health** (67). Currently, the focus of waste wood legislation in Europe is on the contamination level of the waste wood, which is classified in two clear categories of non-hazardous and hazardous waste (containing

⁹ https://www.charta-fuer-holz.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/aktivaeten/20200920_Empfehlungen_der_AG_Effizienz_zur_zirkuläre_Wertschöpfung_final.pdf

for example heavy metals). Depending on the country, there are an additional one or two categories in between with all waste wood containing additives of any kind (67). A more sophisticated waste wood legislation could limit contamination levels in used wood while steering towards recovery in high-value products via a combination with other policy measures (12, 63, 67, 68).

Forests are addressed in many policy fields to strengthen sustainability (for example biodiversity, climate, human health, bio-economy) (30, 33). Through **integration of the various sustainable development policies** (8), policy makers can prevent conflicts in and with the forest and wood sectors (44). Single policies are not enough for a systemic change (59). For a widespread transition towards circular supply chains, governments can play an essential role via economic incentives, legal policies (32, 64), by creating transparency in supply chains and by enforcing and aligning existing and new measures (30). **Long-term enabling conditions**, that go beyond one term of service, are required to plan a circular bio-economy (24, 53). Integrated policies and policy instruments¹⁰ can support, for example, long-term forest management planning (23, 44, 50), cascading biomass use by various economic sectors, and global market uptake (11, 27, 55).

While technically a lot is already possible, **a major challenge for a successful transition is breaking existing systems and vested economic interests** (29, 38, 69). Dominant market players, existing norms, advantage of economies of scale, quasi-irreversible investments¹¹ can block new actor coalitions and innovations (12, 59). Investment in capabilities inside the public service, instead of outsourcing expertise development, is therefore essential for governments to become the engine of innovation¹². A completely level playing field does not exist, but **policy makers can co-create the market for collective stakeholder value** instead of just governing it (18, 30). Market incentives like the ones below could guide for extended producer responsibility while creating a fair playing field (23, 24, 55). Examples of measures that could be taken:

- government being a role model in its public procurement (6, 12), encouraging production and consumption of sustainable products (10)
- stopping environmentally harmful subsidies (23, 24)
- financially incentivising all aspects of reutilisation to increase the amount and quality of regained waste wood (3, 68)
- taxing virgin raw materials (23, 24), while decreasing the tax on labour (for example, repairs and other value-preserving activities) (25)
- internalising environmental costs (such as waste production) into market prices and decreasing the cost of waste collection for reuse (23, 24, 49)
- stop financing infrastructure (for example for waste incineration) that is dependent on overcapacity of supply to be economically viable, hindering cascading use (6)

¹⁰ Existing toolkits, such as the Sustainable Consumption and Production tools (SCP) provided by the European Commission in 2008 to support the transition to a circular economy, should be revitalised to help stakeholders take a more holistic approach on sustainability (8).

¹¹ In the Netherlands for example, investments in waste incineration plants made decades ago are still hindering circular economy innovations today (38).

¹² An example is the *Energiewende* (energy transition) in Germany. A mission lead by the government, in collaboration with businesses and researchers, across sectors and disciplines, striving together towards clear targets to make society independent of nuclear power and as much as possible dependent on green energy (18).

2.2.2 Target setting to implement change

Targets to facilitate a transition should be chosen adapted to context, while following the overall guide offered by the R strategies scheme (Table 3). Most current circular economy targets in Europe, in the form of dominating policies, are directed towards useful application of waste. While material recycling or recovery for energy production might conserve resources, **a cultural change is needed from waste management towards reducing waste** (6, 54). Recycling materials against high energy costs is of little benefit to **make production and consumption systems more sustainable** (6, 54, 63). An improved design, for example, could avoid the necessity of destroying products to small particles for material reuse (3, 67).

High recycling rates should not become a synonym for high circularity levels. Rethinking product use and manufacturing (R0-R2, see Table 1) could be promoted by targets **steering to extend lifespan of products and parts**. Shifting the focus from longer loops (R8-9), that are merely repurposing waste¹³, in favour of shorter loops (R3-7) (6, 10, 32, 46, 54), could be a good strategy **to maximise resource valorisation** (33, 39). Durable construction materials, for example, could be designed for at least one consecutive cycle of long-term use as furniture, pallets, or railway sleepers (24). Targets should aim to change the entire business process and supply chain **from product ownership to product access**. Re-use targets can encourage more durable products, leaving only waste not otherwise usable (*ca.* 10 %) for energy recovery (16, 54).

Table 3 Target setting directed for sustainability impact. While targets should be chosen according to context (see also Fig. 3) they should aim for systemic change away from waste management towards maximum resource valorisation. Inspired by (6, 54).

	Targets	Targeting	R strategies	Sustainability impact
 <p>GOAL</p> <p>CURRENT SITUATION</p>	New ways of production & use	Design, phase out of certain materials, products, processes	Refuse Rethink Reduce	Preventing waste, conserving resources and their quality as long as possible
	Extended lifespan of products & parts	Design, product service systems, 2 nd hand products, planned obsolescence, desirable behaviour	Reuse Repair Refurbish Remanufacture Repurpose	Value retention over different cycles & value creation via different ways of upgrading
	Useful application of waste	Waste reduction via on-site recycling, high-quality recycling, waste not otherwise usable	Recycle Recover	Little influence on production & consumption

¹³ That is unless the product has not yet reached maturity and will need innovations in the short-term (66).

A SUMMARY OF THE CURRENT RECOMMENDATIONS FOR GOVERNMENT

- **Policies within and across policy domains should be combined and aligned to solve societal challenges,** which is the goal of a sustainable circular bio-economy.
- **The focus should be on the goal, not on the tools.** Circular economy, cascading use, life-time extension are tools that should be enabled but should not become ends in itself.
- **A cultural change is needed from waste management towards reducing waste** and from providing product access rather than product ownership.
- **Vested economic interests should be broken using market incentives and targets.** While there are multiple implementation options for a circular bio-economy targets should be adapted to context while being guided by the R strategies with the biggest influence on transforming the production and consumption system towards more circularity.
- **A harmonised international waste wood legislation is needed** that promotes regaining wood in high-value products and enables trade in circular economy goods and services.
- **Extend capacities of public services, businesses and future workforce** to increase trust in innovations and to enable collective action.

2.3 Technology and market readiness

2.3.1 Circular business strategies

Implementing a circular economy takes place not only at the political level, not only at technological level but also at the organisational level. **A new corporate strategy is the base of a successful circular economy** (12, 19, 25).

Innovation of business models could realise the great potential for **balancing economic, social and environmental benefits** (19, 31, 32, 47). To assure short-term solutions stay aligned with the long-term vision of sustainable development, it is crucial to continuously evaluate and adapt (19, 31, 46). Economic decision-making should switch from following emotions and fashion to functionality (25). A culture open to change should be fostered, valuing stakeholder feedback (19, 26, 31). **The focus should shift from the individual actor to the business system**, creating value for both the focal company and its partners (Table 4). Development of rural areas and quality of life for consumers is thus included in the value offer. The focus is on creating value to cover costs, instead of on saving costs, by valorising all resources (19, 26). Resource use-life can be increased by, among others, innovating product design and by increasing the product scope, rather than optimising the existing portfolio for the current economies of scale (12, 13, 23, 50, 53, 57).

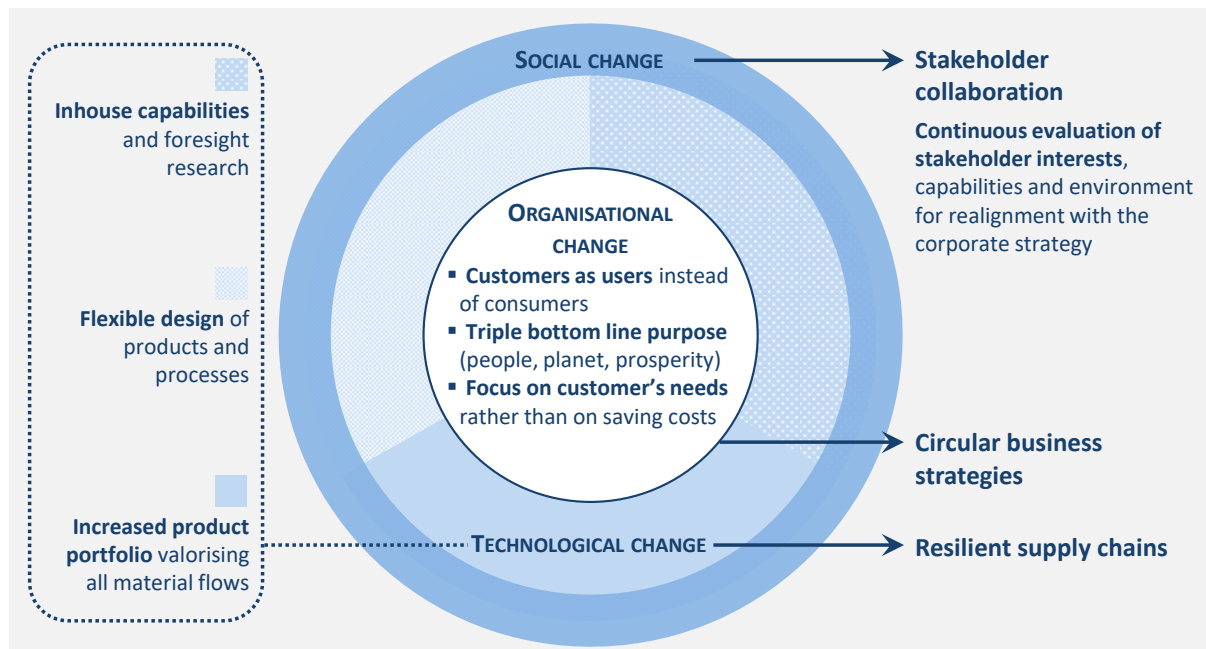
Table 4 Business model elements for the realisation of environmental, social and economic benefits in the value chain. Keeping all elements aligned for a sustainable circular bio-economy needs continuous readjustment in face of changing conditions. Inspired by (19).

Alignment of business model elements & continuous evaluation				
	Value proposition	Value co-creation	Value delivery	Value capture
TRIPLE BOTTOM LINE FOCUSING ON CIRCULARITY	PEOPLE	Involve & motivate various actors for transformation	Increase customer base	Local employment
		Focus on interests of all stakeholders	Analyse customer demand	Innovative revenue models
		Balance capabilities	Develop capabilities	Secure jobs
	PLANET	Balance resources between stakeholders and with ecosystem's carrying capacity	Environmental gains incl. water protection, biodiversity, forest fertility, ...	Valorising all resource flows via economies of scope
	PROSPERITY	Balance investments	New and efficient distribution channels	Market price rectification
		New revenue streams focusing on total interests	New income streams	Profitable niche segments
➔	Successful economies of scope creating value for people, environment and businesses			

So far business designs promote the sales of new products (66). **Circular businesses are operated substantially different, repurposed to deliver functionality rather than ownership** (50). In circular supply chains customers are mainly users instead of merely consumers (25, 32). Changing the goal from selling products to selling services would extend product life-time (47, 55), but also mean retaining ownership and accountability over the entire product life-time (25). This introduces uncertainties with the most common ones being related to the quality and the supply of recovered goods and resources. External factors such as natural disasters would become secondary

(25, 32). Under these conditions it is key to create a common understanding among all stakeholders in the complex supply chain network for a successful application of the new business strategy (6) (Fig. 6).

Fig. 6 The key changes needed to implement a sustainable circular bio-economy. Technological innovations should be based on business model innovations and stay aligned with the goal via social innovations.



2.3.2 Resilient supply chains

Social acceptability of the transition to a circular bio-economy is needed to **secure market uptake** (10, 23). Investments in research on market development will be beneficial as technological research and innovation is not enough for a stable demand (32, 53, 65). Creating transparency and a dialogue with consumers but also with companies can help to understand and access markets (of other business areas) (47). Knowing your customers' needs (**market pull**) is essential for business survival (17, 26), offering different sustainable alternatives by informing about end-of-life options (47, 50). Innovative technologies (technology push) have to be aligned with customer readiness (**technology pull**) by analysing, informing and convincing potential customers (19, 26). Transparency can, for example, be created by developing quality standards and health and safety guidelines for product design with recovered materials and components (27, 32).

Communication is not only key to extend the customer base, but as well the resource base to realise new income streams (26). **Diversification of resources and suppliers is a major strategy to increase wood supply security** (43). Reliable partnerships can build resilient value chains by sharing capabilities (resources, infrastructure, investments, knowledge, ...). They can secure access to various forest-based inputs, of stable quantity and quality, and in addition boost performance by motivating each other to transform industry (26, 47). While value chain collaborations can generate innovations and competitive advantage, they can also bring dependency and opportunism. Especially in times of change, trust is key to boost technological innovations and **joint solutions through the exchange and combination of capabilities**. Therefore, partnerships need to be evaluated and realigned continuously according to interests and capabilities (31, 34).

The forestry sector is inherently based on a long-term outlook. To transition to a more sustainable resource use, however, attention is also needed for radical innovations. These are mostly not developed by the current

stakeholders, which tend to focus on optimising existing operations. **Management should hence not be risk-averse but pro-active, committed to foresight** (12, 53, 65). Foresight research can help decision-makers to steer towards the most sustainable outcomes possible in a rapidly changing world (46, 48, 65). Innovation can then be driven via a mix of inside and outside perspectives on the future opportunities, combining market pull and technology push (65). Key to open innovation is facilitating access to information from within and across sectors (10, 65), academia, politics and the public (12). In addition, **investments in inhouse flexibility** are crucial (12, 53). The overall advice is to outsource services when needed (47), but to invest in infrastructure (23, 32, 50), research and skills development (23). A multi-skilled workforce that can cope with complex and unknown transformations, can build resilient supply chains securing long-term competitiveness (18, 65). Lack of a qualified staff is an innovation risk (12, 32, 65) in a changing forest and business environment (50). The high investment costs can be covered via innovative multi-actor revenue models, via product-service-systems getting the most value with the smallest resource volume, and via market incentives accounting for socio-economic benefits not included in market-price (19, 26).

A SUMMARY OF THE CURRENT RECOMMENDATIONS FOR BUSINESSES

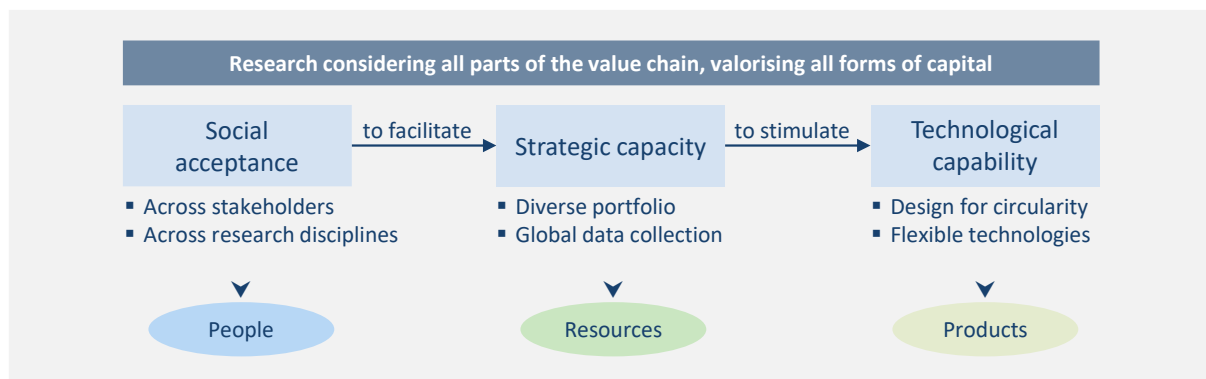
- **Technological innovations are not enough** and need to be integrated in circular business strategies.
- **Circular business models are needed to drive the transition**, managing internal as well as supply-network-wide collaborations, focusing on customers as users instead of consumers, and securing economic, social and environmental benefits.
- **A large scope of end-products and services, considering customers' needs**, is important for a resilient forestry sector.
- **Resilient circular value chains depend on diverse, reliable partners**, exchanging and combining knowledge and resources into joint solutions and technological innovations.
- **Extended product and resource life-time** via product design, cascading networks and by selling services instead of products is to be the purpose of innovative resource valorisation.
- **Long term planning, anticipating changes** via foresight research and dialogue across stakeholders (employees, partners, customers, researchers, government officials), is essential for business survival.
- **Building trust in the supply chain network**, through communication, improvement of skills and by setting up rules is essential to resolve uncertainties and to speed up the transition.

2.4 Research support

2.4.1 Building social acceptance, strategic capacity and technological capability

Exploring who will be winners and who losers of changing the economic system into a sustainable circular bio-economy will be essential to influence its acceptance (58). The long-term benefits of a transition should be demonstrated stakeholder-wide from the public over businesses up to government (19, 27, 49). In current research, however, the corporate perspective dominates with a focus on recycling and waste management strategies. Innovating design or business models, with special attention for the consumer's perspective, would have a higher impact on resource value retention. Nevertheless, research into these aspects remained rare. It is the responsibility of researchers to **develop not only new technologies¹, but also acceptance and operating capacity** (5, 47, 68) (Fig. 7).

Fig. 7 Researchers could support the entire transition to a sustainable circular bio-economy via a more balanced research. So far research attention focused on technological innovations, largely overlooking social and strategic changes that would be needed for the required system wide changes.



Besides logistics management (13), knowledge of resource acquisition is one of the most important strategic competencies in the forestry sector (13, 43). For **reliable information on potential supply**, insight in the complex interdependencies between stakeholders is essential (12). A wide range of digital technologies can integrate across supply chain actors and sectors to provide (detailed, real-time) material/product information (27, 32). Knowledge exchange and open databases are then needed to get globally comparative data on bio-based materials (10, 23), composition and quality of used wood (final and industrial) (24, 67). **Pro-active, integrated resource management** becomes possible, maximising resource use with minimal economic, social and environmental costs (27, 31).

Investments to adapt processing and manufacturing capabilities (3, 10), can **steer towards an as simple as possible design** (24). Using a reduced mix of separable, renewable and non-renewable materials² would facilitate

¹ Integrate new technologies in existing industrial infrastructure through compatibility with existing production, processing and recycling systems (47).

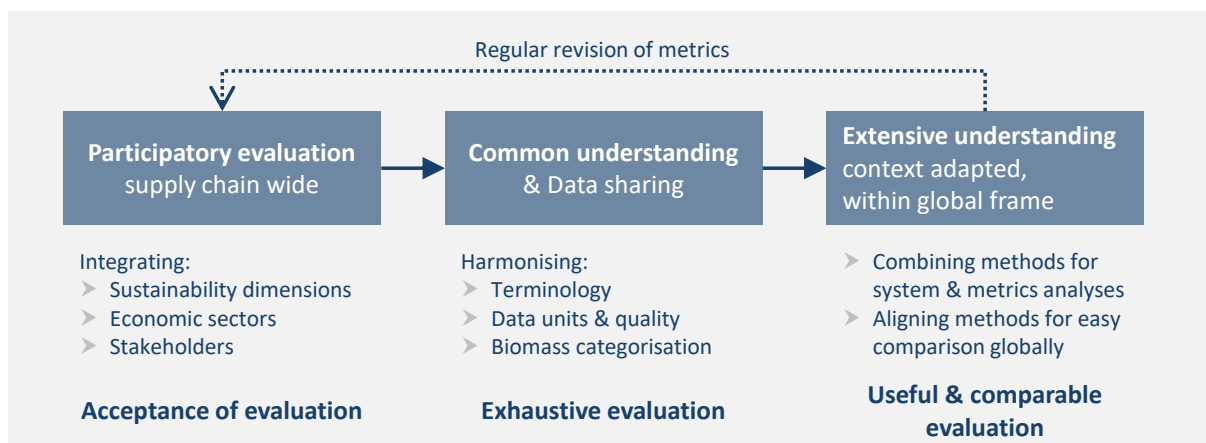
² Biodegradable materials, with as little as possible additives (such as glues, paints, varnishes, wood treatment products), allow biological carbon and nutrient cycles to be closed, safeguarding forest regeneration while reducing dependence on fossil fuels. Non-biodegradable resources should be looped back as long as possible to preserve their value and to minimise landfill (21, 24, 35, 67, 70).

reuse (23, 35, 67, 71). Effective **recovery and decomposition technologies**³, based on an increased knowledge of waste wood composition can complement (10, 25).

2.4.2 Evaluating progress towards a sustainable circular bio-economy

There is no standard practice, nor one suitable under all conditions to monitor progress towards a sustainable circular bio-economy (32, 35, 47, 72), **given the complexity to be addressed** (Fig. 8). Sustainable wood production and use crosses economic sectors and value chain operators at global level, over extended time periods, and involving all three sustainability dimensions (58, 61). Quantitative as well as qualitative growth in **all forms of capital**, natural, economic and human, are taken into account (49). A sustainably implemented cascading use is hence a context-dependent integration of resource retention strategies (40, 52). Due to the different material flow options (including product lifespan, number of recycling cycles, end-of-life disposal), trade-offs and conflicts between stakeholders are to be expected. Therefore, to guarantee that all three sustainability dimensions are considered and evaluation results are accepted, **a participatory approach** to evaluate progress is important (34, 54, 58, 61, 73). Value chain wide data exchange would enable the development of databases for manifold use (58) and allow easy comparison of studies (74).

Fig. 8 Progress evaluation towards a sustainable circular bio-economy asks for combinations of views and methods to integrate complexity. Inspired by (54, 58).



System analyses should be an essential part of progress evaluation, at least during the transition period when reliable and complete data for value chain networks are missing (58). Modelling neglects real-life complexity making the results of indicator evaluations a mere theoretical potential (55, 74). **For a comprehensive understanding⁴ of progress, an evaluation of metrics should be combined with a system analysis** (5, 20, 21, 46, 73, 75). Only a system view of the various material flows, crossing supply chain networks, can give an idea of the state of transition towards a sustainable circular economy. It can show ways to increase cascade use and to adapt

³ Sorting the different and contaminated materials can be done with spectrometric detectors, density or magnetic methods. Purification can be done using biophysical (for example temperature) or biological (using wood decay bacteria and fungi) approaches. While various patents have been developed, an industrial process is still due (67).

⁴ Methods like, for example, exergy analysis are easier for comparison than LCA but neglect system complexity by only describing part of the actual impact. The thermodynamic concept does not value resources besides their energetic value and would hence only count wood production as useful output of land and not show effects on land productivity or resource depletion (21).

investments, policy design and incentives (5, 68, 75). Combining techniques and indicators⁵ to by-pass individual shortcomings while joining strengths (22, 61), can facilitate decision making (58).

Life cycle assessment (LCA) is the prevailing method to evaluate the environmental impact of wood products. Although there are standards from the International Organization for Standardization⁶, LCA setups vary (55, 74, 76). Societally relevant considerations are poorly integrated and results remain unclear⁷ (27, 41, 61, 74). Currently, **a major flaw to monitor progress** (over time and between sectors and places) towards a circular bio-economy **is lacking harmonisation** (77), **of both terminology**⁸ (23, 32) **and data** (methods, units, quality) (51, 75, 78).

There is **no need for newly developed indicators**⁹ **and assessment frameworks**¹⁰, **they only need harmonisation** (61) **and prioritisation** (58). Many useful indicators exist, for sustainable forest management, sustainable development, the bio-economy, a circular economy, which are all highly interrelated. That is because forests provide many ecosystem services and there is lots of monitoring experience in the forestry sector¹¹ (58). Existing metrics only need to be adapted to identify where change is needed to reap all benefits of a circular bio-economy (23, 24). As existing indicators are often set up for international purposes, **site-dependent aspects should be addressed using local data and local expert knowledge** for more relevant information, being both practicable and accurate (61). Indicator combinations have to be chosen in line with national/regional priorities linked to socio-economic, ecological, geographical and cultural-historical settings (58). It is a prerequisite for the ultimate goal of sustainable development that the specific targets, nor the pathway are fixed (58, 73). **The sustainable circular bio-economy evaluation system should thus be a flexible, regularly revised tool** adaptable to changing settings (58, 78).

⁵ LCA impact categories could be interpreted as indicators of impacts and dependencies of bio-economy activities on ecosystems (41).

⁶ For example, stating that the LCA approach should be full-consequential and that a system expansion method is recommended (21, 74).

⁷ While beneficial impacts of cascading on categories such as global warming, fossil energy use, land use, toxicity and biotic resource use have been shown, the impact on among others water use, ozone depletion, eutrophication and soils remains unclear (74). Uncertain results are also caused by (i) a lack of practical experience using recovered (solid) wood, and (ii) the time horizon of cascading systems that can go up to 100 years and more (e.g. re-used construction wood, being re-used a second time as solid wood in furniture) (21).

⁸ For example, terminology of the different resource retention strategies, or of wood processing residues.

⁹ What's more, while there is an excessive number of indicators, data are often missing (72, 78). For example, a lack of data on current product stocks within an economy hinders a precise determination of lifetime functions (55).

¹⁰ For example, the status of environmental management systems could be used as an indicator for the level of circular economy adoption (8). The Logical Framework for a Sustainability Assessment (LOFASA) is suggested as a holistic approach of indicator-based sustainability assessment (78).

¹¹ The indicators for sustainable forest management set up in the '90s were revised a decade later with participation of various sectors (environment, energy, water, bio-economy, ...) explaining the high proportion of forest-related indicators in bio-economy progress monitoring (58).

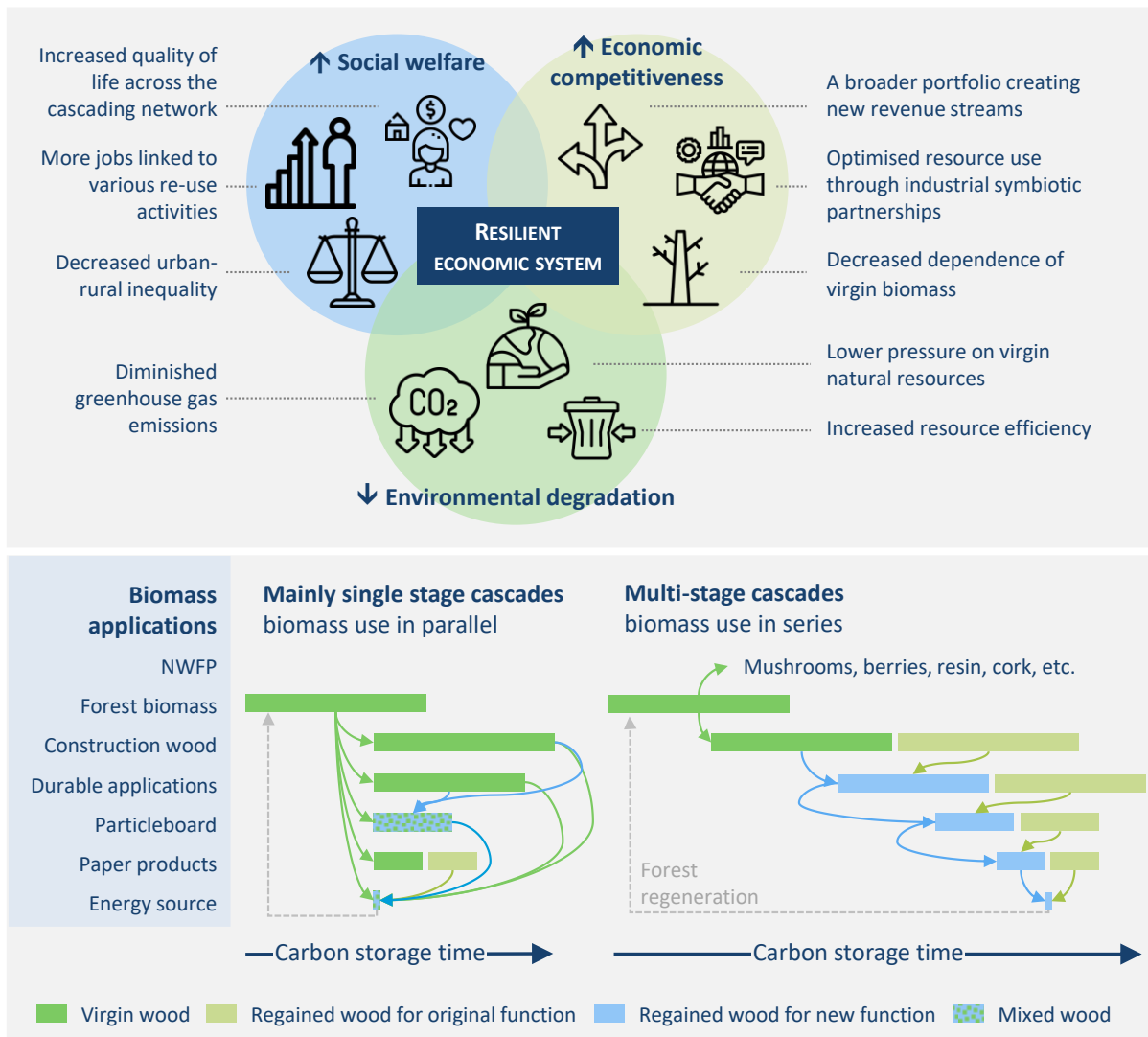
A SUMMARY OF THE CURRENT RECOMMENDATIONS FOR RESEARCHERS

- **Coordinate research to speed up innovation** (i) developing a consensus definition of a circular economy for all research disciplines, (ii) addressing the diverse circular economy strategies, sectors, stakeholders and perspectives, including corporate but also environmental and social aspects.
- **At the core of any economy are people**, along the entire value chain, that need to be convinced of the benefits of a transition.
- **Demonstrate how diverse the product portfolio could be** providing reliable information of potential resource supply from across the complex network of supply chains.
- **International data evaluation** of products, resources (virgin, non-virgin, by-products) and their quality, facilitated by knowledge exchange and digital technologies, would allow pro-active and integrated resource management.
- **Design for a diverse range of circular products, developing guidelines for product and process design and innovative technologies**, to maximise the variety of resources used, their functionality and utilisation time.

3 Strengths & Weaknesses

3.1 Strengths: the potential benefits

Fig. 9 The potential benefits of a transition towards a sustainable circular bio-economy. Resource value retention strategies enabling wood use in multi-stage cascades can secure jobs, resource supply as well as healthy ecosystems. NWFP, non-wood forest products.



Economic competitive advantage through resilient value chain networks

Resilience through a lower dependency of (forest) biomass production (23) is linked with wood being used in cascades, that extend wood supply (3, 24). Supply risks can in this way be better coped with, while balancing the use of natural resources, where all forms of capital rely on (4). **Optimised use of resources in industrial symbiotic networks** (13, 33) brings additional flexibility to respond to fast-changing external factors (27, 70). Exchanging raw and recovered resources, water, energy, technology, infrastructure and services between interdependent industries could bring a **reduced dependency of external resources as well as lower costs** (33, 47, 52, 53, 66, 70).

The regular wood use today, however, is in a single or two-stage cascade (3, 24, 67) with business opportunities from multi-stage cascades remaining largely untapped (10, 20) (Fig. 9). Circular approaches could revitalise the sector creating **new revenue streams** (13, 19, 53), exploiting the range of potential biomass applications (24, 26) and services, such as the provision of licensed knowledge for use by other companies (25, 47). **A wide portfolio of (higher value-added) products** (13, 23, 27) would shift the focus away from the rapid production of goods for saturated mass markets (25). It is the combination of efficiency and sufficiency strategies that boosts economic competitiveness (25, 49), continuously adding, recreating and preserving value (32), collectively in the public interest (18).

Reduced environmental degradation along the entire product life cycle

An increased biomass demand might lead to an increased pressure on wood resources. A sustainably implemented circular bio-economy, depending less on resource extraction, could **reduce this pressure on virgin natural resources** (24, 33, 35, 47, 70). A cascading use of wood, increasing material and energy efficiency, could positively impact land use and biodiversity compared to using primary wood in a linear economy (21, 31, 32, 70), **benefitting ecosystem services** (3). Further environmental benefits would result from minimizing landfilling and hence potential soil pollution. Moreover, nutrient cycles can be closed by using industrial and forest management wastes for soil pH correction and fertilisation (70).

An increased resource efficiency brings along a reduced fossil fuel consumption (as energy carrier and feedstock for chemicals such as adhesives) (21, 31) leading to **diminished greenhouse gas emissions** (33, 52). These would further result from using renewable energy sources that have no further value-adding potential (24, 52, 70) and from substituting forest products for fossil-based products (10). To guarantee biomass regeneration capacity (35) and hence carbon-neutrality (4), a prolonged carbon sequestration time (24) is, however, needed.

Increased quality of life in the value creation network

More and more diverse job opportunities are to be expected in a circular economy that is maximising the use of the complete harvested wood. A more labour-intensive economy could make more effective use of manpower, the most perishable of all resources (24, 32, 33, 66, 70). **An increase in local, regional or national self-sufficiency** could follow the redesign of supply chains and production processes to maximise symbiosis within and across economic sectors (24, 52, 62).

A decreased gap between urban and rural areas (employment, income, value-adding, education) could be the result (33, 58). Non-wood forest products, for example, can play a central role in rural development when their full potential in a circular bio-economy would be acknowledged (45). An increased quality of life across the cascading network could benefit producers as well as users. Meaningful work, producing an increased portfolio and **access to expensive products** offer consumer choices. Reconditioned products will cost less than new ones, as will products delivered as a service rather than as a property (47, 66).

3.2 Weaknesses: the unthought-through pathway

The ambiguous meaning of a circular economy

The word “circularity” is used freely but its meaning remains mostly unexplained. So far, there is no generally accepted terminology on the topic. A fruitful implementation of a circular economy, however, would require a consensus across research disciplines and countries on its meaning, its resource value retention options, and on the relation to sustainability (6, 29). **The lack of a harmonised terminology hinders a more balanced research,** which is needed if innovation is to be steered towards a sustainable circular bio-economy. All parts of the value chain, across multiple sectors, should be considered (53, 59).

The disregard of the current state

The possibilities for cascading will be different for current materials, products and technologies (not developed yet with the eye on cascading use) and for innovative ones. **Present production technologies**, for example, might not be able yet to process recycled materials (in an economic way) (29, 66). Furthermore, there are the current energy wood prices and regulations, and the **fluctuating availability and quality of solid waste wood** that is hindering its recovery. On top of that, wooden products often contain a mix of materials and/or contaminants (3, 68). Product design with recovered materials and components introduces **human health and safety risks** (32, 46). These are either caused by toxic legacy substances (banned chemicals still present because of products with long life-times and/or being circulated), or by higher contamination levels due to mixing of materials during waste management (29, 63). The combination of valuable resources and hazardous substances in waste, often leads to down-cycling, which is the use in less demanding functions than original (63).

Uncertain benefits

Meaningful environmental impact can be obstructed when no attention is paid to possible **rebound effects** (19, 26, 32). Rebound effects originate, for example, when circular economy innovations lead to an increase in production and consumption, cancelling the original resource efficiency improvement (29, 46). Another example, is the toxicity risk of using potentially hazardous contaminants as they could accumulate along the cascade. This would then off-set the benefits of re-using wood (53, 63).

The current **lack of a circular-economy-adapted international standardisation** of processes, products and regulations hinders the material use of regained wood (3, 43). An upgraded structure of the World Customs Organization Harmonized System (HS) codes, as well as custom processes and categorisations for finance and investments would enable trade in circular economy goods and services (62).

A product substitution framework has been proposed to support product design with bio-based materials (32). However, so far, the impact of fossil-based products being substituted for forest-based products are not yet fully examined. The understanding of the environmental impact is limited to climate and product level, with **knowledge gaps remaining about the substitution effects** on other environmental factors and at the level of markets, countries and the globe (10, 28, 73).

The unknown winners and losers

Geopolitical risks are linked to affected global value chains and markets. When countries become self-sufficient it can bring along trade-protectionism, or trade liberalisation (13, 62). Trade liberalisation brings along the risk of low-income countries becoming the dumping ground for low value, toxic waste (62). Governments are thus recommended to consider international trade in their circular economy strategies (10) as a sustainable transition also means a just transition (29, 62). **Leakage effects**, such as the export of waste, hinder the successful implementation of a circular economy (6). Also the crossing of the ecological carrying capacity of forests abroad to protect domestic forests is a leakage effect (3, 79).

Another example is the substitution of traditional wood products by non-renewable products as a consequence of resource competition (10, 28). When policies are being integrated to drive the transformation process, there is the risk of forest policy disintegration. The relatively weak negotiation power of the forestry sector, compared with other economic sectors, raises the question if forest actor interests would need to be protected (42). To avoid the transformation being controlled by **vested interests**, from both within and outside the wood sector, the different perspectives of all stakeholders should be gathered (18, 38).

Despite their small profit margins, **SMEs might reap many benefits but might also be challenged** by a circular bio-economy. Networking is seen as their main innovation strategy (46, 47). The know-how about circular practices is in SMEs (25). They can join in eco-industrial parks (industrial symbiosis) (8) and co-operate within and

across value chains, including the research community, to be part of a local (50) as well as an international supply chain network (47).

The challenge of the interconnectedness

A sustainable circular bio-economy requires anticipation of potential changes at every stage of the value chain from forest management up to consumer demand (10, 24, 50). To internalise all costs, the consequences of resource circulation should be evaluated across time and space (10, 29, 46) as **interrelated issues are more than likely** (24, 32, 63). A major challenge, however, is the information deficit on the complex interdependencies between the stakeholders (12), that are globally active in a wide range of sectors from forestry, over water and waste management, energy, health, education, logistics to name a few (31, 32, 43).

Logistics should be considered as being a challenging economic and management issue in a circular economy. Varied supply flows (new and used products, their resources and by-products), transport routes and modes, and dispersed facilities (for example for collection, storage, recycling, sorting, decontamination) will have to be dealt with (19, 26). Reverse logistics planning becomes then critical to connect actors along the supply chain enabling cascading use (13, 32). Where possible, facilities can be located near transport terminals for long distance economical transport (43). Alternatively, activities are kept local and small scale, close to the users and resources, (which are not new and hence locally dispersed, diverse and in relatively small amounts) [15].

4 A guide for collective dialogue on the meaning of a potential transition for the forestry sector

THE CHARTER FOR WOOD 2.0 IN GERMANY AS A ROLE MODEL FOR MULTI-STAKEHOLDER COLLABORATIONS

Cooperation between all stakeholders of the forestry sector should be strengthened to stimulate innovation as well as consumer awareness expanding market uptake (10). An alignment of goals of civil society, public and private sector is needed to specify and realize the benefits sought for in a circular economy (29). In Germany, the Charter for Wood 2.0 offers an ideal meeting environment for the forestry sector. The charter was created in 2017 to provide a platform for intensive dialogue and collective action. It brings together governance, science, industry and NGOs in a unique example of best practice collaboration (www.charta-fuer-holz.de).

4.1 Which parts of the sustainable circular economy concept can be used to guarantee a sustainable resource supply for the forestry sector now and in the future?

There has been an increase in wood consumption following the rise of the bio-economy and the circular economy (for example for energy production, building materials or chemicals). **The cascading use of wood extends biomass availability**, which can prevent potential insufficient supply (67, 73). There lies a big potential in the development of technologies to decompose products, components and materials for reuse (25, 47, 67). Some decades ago, it was even shown that **reusing goods is economically superior to recycling materials** (25). The costs of storage and incineration of contaminated wood waste, for example, are very high (67). **Today, only limited amounts of high-quality waste wood are recovered for further use** (20).

However, prescribing a strict wood use hierarchy would create the risk of unintended consequences. Authorities would be forced to repeatedly make adjustments, raising the uncertainty for investors. Another risk associated with a mandated resource use pattern is change hindered by legislation (30). Waste regulations can sustain down-cycling (63) by stagnating the demand for waste streams, locking in the existing waste-based system, as there is no incentive to reduce waste production (46). **Waste or residue should not be defined.** A certain material that is waste today might be main product tomorrow, depending on the functionality at the end of life, the demand and the context (30, 46).

➔ **Imagine the impact of redefining the term “waste”.** How much of the forest and wood waste today doesn't pose a health or safety risk? Would it be possible to delete the term “waste” out of all regulations? How should the new terminology look like to enable as much innovations as possible without causing harm?

There is a growing global demand for wood, for both material and energetic uses. However, changed customer demand, rising production efficiency and reuse of resources could **mitigate resource competition with traditional wood products** (10, 28). Gaining insight in the potential range of applications of virgin and used resources can increase resource life, especially when upcycled in cascading networks (19, 26). Technical procedures could help to lift restrictions that reduce wood products lifetime (for example in construction) (55). Durable applications as well as paper products could then be made from material that has been in long-term use before (24). General ecological guidelines are to conserve resources, both for material and energy utilisation, in order to secure their current and future provision. This includes avoiding non-essential products, **prioritising biomass use for basic human needs, which will vary in time and place** requiring broad stakeholder engagement (22, 23).

Round wood is globally for 49 % immediately being used for energy production (78). Wood waste, on a European scale, is treated mainly by disposal via landfill¹ and incineration, only then by material or energy recovery. In Germany, while most wood is being recovered, it is mainly used for energy production, then for material recovery. **The paper sector is the only sector with closed loop circular practices today,** reusing the majority of the recovered paper in the paper production (3, 24, 67).

➔ **Imagine the impact of a context-dependant cascading use.** What are essential forestry products, for who, when? How to allocate resources, to guarantee forest survival (and thus supply) while maximising benefits, for who? Which contextual factors would need to be part of the allocation system?

4.2 Which parts of the sustainable circular economy concept can be used to guarantee a sustainable forest product use now and in the future?

A transformation of business strategies, shifting from scale to scope, could be a way to increase the resilience of the forestry sector. Business models based on pushing enormous resource supplies on the market are not viable anymore. Complex global supply chains characterised by various uncertainties urge for a large portfolio of (higher value-added) end-products for a diversity of markets (13, 43, 47, 53). With the support of technology transfer, this could unlock the full potential of the forestry sector and increase its international competitiveness (50). Multiple production pathways for future use would allow planning for obsolescence of some product lines (24), while planning the start of others. Because of the long lifespan of some products, new types of recovered products will come on the market with a delay (51).

In general, **valorising all alternative resources,** exploiting the variety of soft- and hardwood species, virgin, residual and reused biomass, **can secure wood supply and bring along new products.** Technologies with the flexibility to process multiple raw materials will then be of benefit (3, 23, 43, 47, 57). Biorefineries, for example, using a diverse feedstock and producing a wide product range² can create a sufficient market pull and be economically feasible (27, 53). Basic wood substances (cellulose, hemi-cellulose, lignin) can be extracted and valorised via medical (pharmaceuticals), chemical (enzymes, surfactants, plastics) or energy (biogas, ethanol, heat) products, as well as via textile fibres (27, 73).

Seeing alternative forest utilisations as market opportunities instead of restrictions on virgin wood use could play a significant role in replacing fossil-based materials and energy, reducing greenhouse gas emissions, while **avoiding potential conflicts between actors** (10, 44, 48). This includes, for example, using hardwoods as a material instead of an energy source (12, 73), and using non-wood forest products (10, 45, 80). Although their use and value may be underestimated, due to the current lack of data, they can play a pivotal role in forestry and rural development (45, 80).

➔ **Imagine the impact of portfolio diversification in the forestry sector.** How align the call for less non-essential products (to secure resource supply) with the call for a bigger diversity of products? Would it be feasible to increase the product portfolio? For who and how? How could different diversification pathways look like? Would it bring the promised resilience in front of crises?

¹ Although in the EU, there is a phasing-out plan for landfilled municipal waste (with a maximum of 10 % in 2035) as part of the circular economy policy (51).

² This might offer opportunities for large-scale bio-energy projects, that depend for success on a year-round stable supply in terms of quantity, quality and price and this for decades (43).

Innovative business models are key enablers of a transition to more sustainable production and consumption systems (47) with increased collaboration being the key element (26). **Sustainable development is not just about redesigning products, but also about redesigning organisations** away from working within silos. Relationships within and between government, businesses and civil society should be fostered to co-create public value (18, 25). The **exchange and combination of information and knowledge** could bring competitive advantage (12, 34) and speed up the transition (25), among others, by resolving doubts about safety, efficiency and traditions (3, 32). Research should be coordinated not only to fill knowledge gaps in technical aspects (12), but also in environmental and social aspects, which received little attention so far (5, 29).

The focus should hence be on assuring the productive capacity (such as workers, factories, raw materials and know-how) to **valorise investments for change**, not on if we can afford them (18). Skilled manual workers with trust in all activities related to lifetime extension of products will be required. This asks for an **upgrade of the status of vocational training** (25, 66) **and of education programmes** (for example for architects and construction engineers) (3, 6, 10). The confidence of manufacturers in dealing with recovered materials will increase together with their technical capabilities and via quality standards. Procedures, developed together with all partners, can help to **resolve uncertainties around product characteristics and operations** (27, 32).

➔ **Imagine the impact of reorganising organisations for more collaboration.** What concretely would a new business strategy, based on collaboration across the value chain, mean? Who would be the different collaboration partners? What could be the different goals to collaborate, for which partners? What would be the consequences (risks, opportunities)?

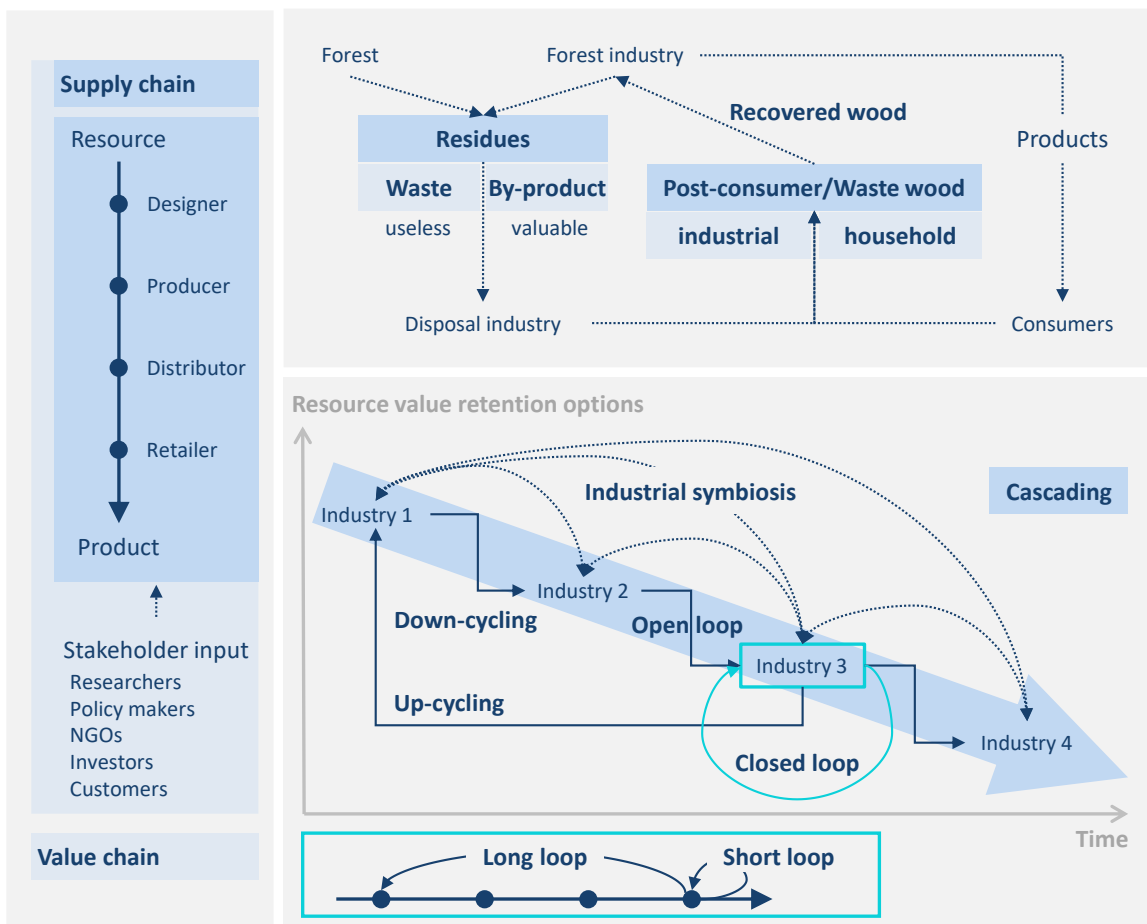
5 Glossary

NOTE:

The terminology in the forestry sector (59, 77), as well as in the field of circular economy (23, 32) is ambiguous and far from harmonised. **Definitions are often vague, overlapping and used interchangeably** (59). Watertight definitions do not exist as terminology evolves over time (6, 27) in adaptation to societal changes (perspectives, insights, challenges, priorities) (58). For example, the bio-economy strategy of the European Union illustrates this continuous **evolution of terminology and its meaning**. In the latest update the bio-economy is no longer understood as merely substituting fossil-based resources by bio-resources but aims as well for circularity and sustainability (10, 58).

It is not the ambition of this glossary to resolve this or to be exhaustive, merely to bring some clarity in regularly used words.

Fig. 10 Clarification of the link between some of the terminology.



- **Bio-economy:** production-consumption systems across economic sectors (11), that are at least partially (78) based on renewable bio-based resources instead of fossil-based resources, with forests playing a key role (58). In contrast to a circular economy advocating lifestyle changes, a bio-economy is focused on the kind of resources being used and not on how they are used (27). Land use changes related to the bio-economy can cause an increase in greenhouse gas emissions. The (forest) ecosystem services, besides provision of material resources, are not always considered in a bio-economy. Moreover, bio-based resources may not be positive in all environmental aspects. Therefore, a bio-economy is neither necessarily sustainable, nor circular and can even be very resource intensive (4, 35, 39, 41).
- **Biomass:** renewable material resources (78).
- **Bio-resources:** or biomass, renewable material resources (plants, animals, microorganisms and their products) (81).
- **Business models:** the foundations of a company defining the kind of value being created, in which way and for whom. Business models target customers' needs for competitive advantage through strategic use of companies' resources, technologies and relationship networks (47).
- **By-product:** while the term *residue* does not imply any valuation, by-products are in demand and have a market-value (77). Industrial by-products are often categorised according to the industry of origin (sawmill, panel, manufacturing, pulp and paper) (75).
- **Cascading:** a strategy to use raw materials sequentially as long, often and efficiently as possible (10), aligning the throughput of products and residues of different processes along and across supply chains (53). Cascading use assures a sustainable circular bio-economy, valorising and securing wood supply by summarising all end-of-life resource management options used in a circular economy (R strategies) in one term (40, 53).
- **Circular bio-economy:** the sustainable production of natural resources, through use in a series over different lifetimes and applications and return to the ecosystem (24). The ecosystem is placed in the centre instead of the resources only, acknowledging the reliance as well as the impact of a bio-economy on ecosystem services (4, 41). The conflicts and synergies between the different potential biomass uses, show that a circular and a bio-economy, that do not address the broader ecosystem, are not enough for the goal of a global resource management that can deal with the various environmental challenges (23, 47, 73). Even a circular bio-economy, however, is not automatically sustainable, for which also the social dimension should be in focus (4, 50).
- **Circular business model:** A focal company, together with its partners, innovates to create, capture and deliver value to increase resource efficiency by increasing life-span of products and parts realising environmental, social and economic benefits (19).
- **Circular economy:** an economic system to advance towards sustainable development, maximising resource utilisation time, minimising the use of virgin and non-renewable resources (62, 82, 83). Economic growth is decoupled from resource consumption, putting maximum work into every unit of material (long-lasting design, reuse, maintenance, repair, refurbish, remanufacture, recycle), creating minimal waste at every stage (from design out of waste, without toxic materials up to packaging and transport). A circular economy is, however, not per se sustainable (4, 24, 33, 52) as the main focus is on economic prosperity, then on environment, and human wellbeing is rarely addressed (4, 52). Furthermore, a so-called narrow circular economy that does not exploit all alternative resource uses may not be sustainable as it does not conserve or add value as long as possible (8, 33, 52).
- **Circularity:** a state of a specified system, organization, product or process where resource flows and values are maintained whilst benefiting sustainable development (83).
- **Cradle-to-cradle:** a production and service model, based on design for abundance (renewable, durable, reusable), recycling materials to minimise waste, generating economic, social and ecological benefits (84), and in this way it is a framework for a sustainable circular bio-economy (35). Cradle-to-cradle can also be an indication for the system boundary of a LCA (other options: cradle to grave/gate, gate to gate) (41).

- **Downcycling:** conversion of waste material into a more valuable product reducing, however, the number of remaining options for resource value retention by breaking up or degrading the material.
- **Eco-design:** product development with reduced environmental impact throughout its (extended) life-cycle. Eco-design products make smart use of: (i) materials and treatments (for example, no petroleum-based adhesives), (ii) manufacturing processes (for example, without residues or flexible to use several parts of the tree), (iii) design options (for example, modular design extending the life cycle via cascading use) (10).
- **Foresight:** a process aimed at better understanding alternative future developments using a range of methodologies to reveal the possible options for the future and to inspire discussion. The aim is not to predict exactly what is going to happen in the future, but to increase the awareness of alternative pathways (48).
- **Forestry sector:** all economic activities (industries), including both production of goods and services, based on forest resources (trees, wood and non-wood forest products). There is, however, no commonly agreed definition of the forestry sector (85).
- **Forest-based bio-economy:** the group of economic activities from growing and harvesting up to processing, selling, reusing and recycling of timber and non-timber forest products, and the related services. There is however no internationally accepted definition (59).
- **Green economy:** sustainable production and consumption, mitigating climate change and environmental degradation, enhancing ecosystem services and supporting human well-being in a socially inclusive manner (11, 17).
- **Industrial symbiosis:** the exchange of resources and by-products, technology, infrastructure, services and energy between interdependent industries. It is required to implement a cascading use of materials and products (70).
- **LCA:** Life cycle analysis or assessment methods are established tools to assess various impacts (environmental, economic, social) of products over their full life-cycle. They have the potential to assess sustainability impacts of circular bio-economy activities. Currently, however, not all societally relevant aspects and life cycle stages are equally-well integrated, if at all (41, 61, 76).
- **Leakage effect:** a shift in environmental pressure from one ecosystem, location, product, ... to another when addressing environmental impacts, requiring a more holistic approach to avoid unintended consequences undermining policy aims (86).
- **Lock-in effect:** decisions, events or outcomes at one point in time constraining adaptation, mitigation or other actions or options at a later point in time (87).
- **Loops:** slowing (durable design), closing (recycling), narrowing (fewer resources used per product) (6, 32).
 - **Closed loops:** recycling within the same product system
 - **Open loops:** recycling within a different product system
 - **Long loops:** R strategies that are least desirable, managing aggregate flows of material waste, often resulting in down-cycling, but that can serve as input for shorter loops
 - **Medium loops:** R strategies that are performed by businesses, with only an indirect consumer link, offering different upgrading strategies for used products
 - **Short loops:** R strategies that are most preferable, as they remain close to the consumer, increasing the lifespan by retaining highest possible value over multiple cycles
- **Market pull:** customers' needs creating a demand on the market for specific products (19, 53).
- **Open innovation:** the culture of an organisation that is open for service and/or knowledge exchange across its borders allowing wide interactions between actors and facilitating the creation of complex knowledge, new products and other innovations to meet future customer needs (65).

- **R strategies:** resource value retention options guiding business models in a circular economy and replacing the end-of-life strategy (extract, process, waste) of linear business models (6, 52). R strategies definitions from (6, 54):
 - **Recovery:** waste used as energy source or valuable biochemical compound.
 - **Recycle:** extract materials from discarded materials/products by destroying the original product structure (shredding, melting, ...). Recycling can take place within same product system (closed loop) or within a different product system (open loop) and involve post-consumer waste (secondary recycling) or post-producer waste (primary recycling).
 - **Reduce:** use less with more care, repairing and sharing (consumers), using fewer energy, toxic substances (67), raw materials and products and decreasing waste (producers).
 - **Refurbish:** retaining the structure of the product but bringing it up to date by upgrading or modernising its function (for example by replacing or repairing components).
 - **Refuse:** prevention above minimising by buying/using less (consumers), abandoning a products function, or offering the same function with a radically different product, or refusing virgin or hazardous materials or wasteful production processes (producers).
 - **Remanufacture:** disassembling discarded products to use the parts in new products with the same function (offering same quality as a new one).
 - **Repair:** repair and maintenance of defective products to extend product lifetime, allowing use of original function.
 - **Repurpose:** use of discarded products/parts for new products with a different function, or use of discarded products for an alternative function (open-loop reuse).
 - **Rethink:** proposing new ideas and solutions to provide certain product functions.
 - **Reuse:** 2nd or further use of product still in good condition to fulfil original function via exchange among users or via collectors and retailers.
- **Rebound effect:** an increase in consumption as an unintended side-effect of environmental efficiency interventions (at policy, market and/or technology level), reducing their improvement potential, caused by behavioural responses (feel good perception of being green) and/or other systemic responses (reduction in price and/or energy consumption; changes in time, space, resources or technologies) (88).
- **Residue:** an inevitable remainder of any production process (77). *Industrial wood residues or wood processing residues* are mainly saw mill residues, as well as other wood processing residues and pulp production residues (black liquor) (73). *Forest residues* are the standing or felled timber that remains on site after logging (89), as well as the bark (debarking is done before wood processing) (53).
- **Secondary wood resources:** saw mill by-products, wood processing residues, black liquor from the paper industry, used wood (73).
- **Stakeholders:** all persons or parties at stake. The stakeholders in a circular bio-economy are all actors along the supply chain from forest managers up to customers, as well as researchers, investors, policy makers, non-governmental organisations.
- **Supply chain:** the life cycle of a product from a technical point of view (73), including all organisations involved, through upstream and downstream linkages, in providing the product (34, 83).
- **Sustainable circular bio-economy:** an economic system sourcing, processing, distributing and using renewable resources and their products in a renewable way sustaining the ecosystem's long-term regeneration capacity while delivering maximal socio-economic benefit (4, 35). (compare with "circular economy", "bio-economy", "circular bio-economy")

- **Sustainable:** the way of using resources while delivering maximal socio-economic benefit with minimal environmental impact (40), guaranteeing the persistence of natural and human systems in an equitable manner (87).
- **Technology pull:** customer awareness and acceptance for innovative technologies on the market (19, 26).
- **Technology push:** science and technology driving innovations for not yet existing markets (19, 53).
- **Upcycling:** conversion of waste material into a more valuable product, while keeping the number of remaining options for resource value retention high, by preserving the material structure.
- **Value chain:** the life cycle of a product from an economic point of view (73), including the entire sequence of activities or parties that create or receive value through the provision of a product (83) (for example also customers, researchers and policy makers).
- **Waste:** a certain material at any time can be waste or resource depending on (i) the functionality at end of life, (ii) the demand, (iii) the context (cultural, geographical, legal) (46). When a remainder of any production process is useless and unsalable it is called waste (77). Forest residues remaining on site after logging are thus called *post-harvest waste* (89).
- **Waste wood, post-consumer wood, recovered wood:** wood that has been disposed of after use by industries or households, originating from packaging, construction or demolition sites, municipal waste sites, or directly from wood industry (when wood processing residues were disposed of via waste management companies) (77) and can be reincorporated by industry (75).
- **Zero waste:** a tool to transition to a circular economy (8).

Zirkuläre Bioökonomie in der Forst- und Holzwirtschaft für eine nachhaltige Entwicklung - Eine wissenschaftliche Einordnung

I Einleitung

I.I Zielsetzung des Berichts

Dieser Bericht wurde für die *Charta für Holz 2.0*¹ verfasst, die das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) als Dialogplattform initiiert hat und die Fachleute des Forst-Holz-Sektors (Definition siehe Glossar) aus Bund, Ländern, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft verbindet. Die drei Hauptziele der Charta sind (i) Klimaschutz, (ii) Wertschöpfung und (iii) eine effizientere Ressourcennutzung durch eine nachhaltige Waldbewirtschaftung und Holznutzung. Vertreter aus allen Bereichen der Forst- und Holzwirtschaft engagieren sich in der Initiative mit dem Ziel, der deutsche Forst-Holz-Sektor zukunftsfähig zu machen. Die Charta für Holz 2.0 ist daher **das ideale Umfeld, um die Bedeutung einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie für die Forst und Holzwirtschaft zu diskutieren.**²

Die zirkuläre Wertschöpfung und verwandte Themen wie Kaskadennutzung, Bioökonomie und nachhaltige Lieferketten werden umfassend untersucht. Auch für den Forst-Holz-Sektor im Besonderen gibt es aktuelle Berichte (2, 3). In der Diskussion werden aber Begriffe wie zirkuläre Bioökonomie und Nachhaltigkeit häufig synonym verwendet, was zu Verwirrung und Schwierigkeiten bei der Umsetzung einer zirkulären Bioökonomie führt (4). Die Forschungsergebnisse sind zwar umfangreich, bleiben aber eng gefasst und entwickeln sich vor allem ständig weiter (5, 6). Unzusammenhängende Informationen verhindern Einblicke und ein klares Verständnis der Vorteile und Herausforderungen, die für Fortschritte unerlässlich sind (1).

Die FAO fordert den Forst-Holz-Sektor auf, den Übergang zu einer zirkulären Bioökonomie voranzutreiben (7). **Mit diesem Bericht wollen wir ein gemeinsames Verständnis aller Interessengruppen** über die damit verbundenen Komplexitäten und Zielkonflikte (6, 8) schaffen und so eine Diskussion ermöglichen.

ZIEL

Der Bericht liefert einen Überblick über den Forschungsstand zur nachhaltigen zirkulären Bioökonomie im Forst-Holz-Sektor. Für politische Vertreter, Wissenschaft und die Industrie schafft er so ein gemeinsames Verständnis und ermöglicht Entscheidungen.³

FORSCHUNGSFRAGEN

- (1) Was ist die Idee der nachhaltigen zirkulären Bioökonomie?
- (2) Wie könnte der Übergang zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie für den Forst-Holz-Sektor aussehen?
- (3) Welche Vor- und Nachteile könnte sie für die Forst und Holzwirtschaft mit sich bringen?

I.II Umfang und Methode des Berichts

Auch in der Wissenschaft ist eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen erforderlich. Um neue Forschungsarbeiten zu lenken, soll dieser Bericht daher eine Zusammenfassung des verfügbaren Wissens zu **verschiedenen Themen der zirkulären Wertschöpfung** bieten, **die für den Forst-Holz-Sektor in Europa von Bedeutung sind** (einschließlich aller wirtschaftlichen Aktivitäten, die auf Wäldern und ihren Ressourcen basieren, siehe auch

¹ https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/EN/_Forests/charter-for-wood-2.html

² *Wir können den Weg zur Nachhaltigkeit nicht in Silos beschreiten. Nur durch Zusammenarbeit können wir die Herausforderungen der Nachhaltigkeit in Chancen verwandeln* (1).

³ *Der Wandel entsteht zunächst dadurch, dass man die begrenzten Informationen, die man von jeder einzelnen Stelle des Systems aus sehen kann, hinter sich lässt und sich einen Überblick verschafft* (9).

Glossar). Themen der Bioökonomie, die für das Verständnis einer zirkulären Wertschöpfung nicht von besonderem Interesse sind, wie der Ersatz von Artikeln durch forstbasierte Produkte, sind daher nicht Teil dieser Übersicht, da sie an anderer Stelle behandelt werden (10).

Mithilfe einer iterativen Methode, bei der die Schlüsselwörter bewusst sehr allgemein gehalten wurden, wurden die neuesten wissenschaftlichen Arbeiten gesammelt. In einer ersten Runde wurden *Google* und *ResearchGate* mit den Schlagwörtern *Kreislaufwirtschaft + forst/holz/wald* und *circular economy + wood/timber/forest* genutzt. In den folgenden zwei Runden wurden dann die Zitate in allen bisher gesammelten Arbeiten über die Zitierfunktion in *ResearchGate* und *Google Scholar* auf weitere passende Arbeiten überprüft. Der Vorteil dieses Netzwerkansatzes, der allgemeine Schlüsselwörter zulässt, besteht darin, dass keine Publikationen ausgelassen werden, nur weil sie die gewählten Schlüsselwörter nicht explizit enthalten (11). Dies ist besonders für die zirkuläre Bioökonomie relevant, in der die Terminologie sehr dynamisch ist (5, 11).

Der Umfang der Funde wurde eingegrenzt, indem wir uns besonders auf Arbeiten konzentriert haben, die ab 2017 erschienen sind und die eine Übersicht für das Forschungsfeld bieten. Sie eröffnen dadurch ein möglichst umfassendes Verständnis einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie in kurzer Zeit. Ältere oder andere Arten von Veröffentlichungen haben wir gleichzeitig aber nicht ausgeschlossen. Darüber hinaus haben wir uns auf Ergebnisse konzentriert, die für den Forst-Holz-Sektor in Europa von allgemeiner Bedeutung sind. Beiträge über bestimmte Produkte, Sektoren oder Länder haben wir dagegen weitgehend ausgeschlossen. Auf diese Weise wollten wir vermeiden, eine voreingenommene Sichtweise zu präsentieren, da Experten dazu neigen, die Bedeutung ihres eigenen Bereichs zu überschätzen (12). So ist sichergestellt, dass der Bericht für alle Akteure der Charta für Holz 2.0 von Interesse ist.

Die Literaturanalyse ist insofern begrenzt, als sie nur Informationen aus veröffentlichten wissenschaftlichen Arbeiten enthält und kein konkretes, sektorspezifisches Wissen vermittelt. Dies könnte in Unternehmen zu finden sein (13).

UMFANG

Der aktuelle, für den europäischen Forst-Holz-Sektor relevante Stand des akademischen Wissens über die zirkuläre Wertschöpfung umfasst vor allem

- von Fachleuten begutachtete Veröffentlichungen zwischen 2017 und 2022 und
- Beiträge von allgemeinem Interesse ohne Schwerpunkt auf ein bestimmtes Produkt, einen bestimmten Sektor oder ein bestimmtes Land (meist Rezensionen).

Der Umfang ist nicht erschöpfend, aber weit genug gefasst, um ein gemeinsames Verständnis für die Bedeutung einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie für den Forst-Holz-Sektor zu schaffen.

I.III Gliederung & Kernaussagen

In Kapitel 1 befassen wir uns mit der **Forschungsfrage 1 zur Idee einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie**. Zunächst erläutern wir ihre Ursprünge, um auch die vielfältige Terminologie besser zu verstehen. Dann kehren wir zu den Grundlagen zurück und erinnern an das Ziel jeder Art von zirkulärer Wertschöpfung: nachhaltige Entwicklung. Anschließend werden Lösungen aus dem Konzept der zirkulären Wertschöpfung vorgestellt, die in der Praxis dabei helfen können, die Herausforderungen des nachhaltigen Wirtschaftens zu bewältigen. Wir verdeutlichen, welche Strategien beim Werterhalt von Ressourcen helfen, wie sie mit der Kaskadennutzung verbunden sind und wie sich Zielkonflikte lösen lassen.

In Kapitel 2 befassen wir uns mit der **Forschungsfrage 2, wie eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie umgesetzt werden kann**. Nach einem Überblick über die Triebkräfte des Übergangs fassen wir die bisher in der Literatur vorgestellten Empfehlungen für (i) Regierungen, (ii) Unternehmen und (iii) Wissenschaft zusammen. Verordnungen können den Übergang vorantreiben und Veränderungen begleiten, wenn die Politik dabei

koordiniert vorgeht und ihre Ziele angepasst an den Kontext entwickelt. Auch technologische Innovationen können den Wandel vorantreiben, doch darf deren Marktreife nicht vergessen werden, wenn Lieferketten widerstandsfähig sein sollen. Zudem müssen soziale Innovationen durchgeführt werden, die den Kunden in den Mittelpunkt neuer Geschäftsmodelle stellen und das Potenzial aller Beteiligten über zuverlässige Partnerschaften voll ausschöpfen. Wissenschaftler können dazu beitragen, indem sie die Verzerrung der gegenwärtigen Forschung in Richtung technologischer Innovationen beseitigen und auch die Bedeutung der sozialen Akzeptanz und der strategischen Kapazität erforschen. Schließlich müsste ein Leitfaden entwickelt werden, der aufzeigt, wie die Fortschritte auf dem Weg zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie verfolgt werden können, denn hierzu gibt es bislang keinen Standardansatz.

In Kapitel 3 befassen wir uns mit der **Forschungsfrage 3 zu den potenziellen Vorteilen und Schwächen einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie.**

In Kapitel 4 reflektieren wir die Ergebnisse und legen dar, **wie der Forst-Holz-Sektor die Ergebnisse nutzen könnte.** Dafür bieten wir einige Leitlinien für die Diskussion an.

DIE WICHTIGSTEN BOTSCHAFTEN

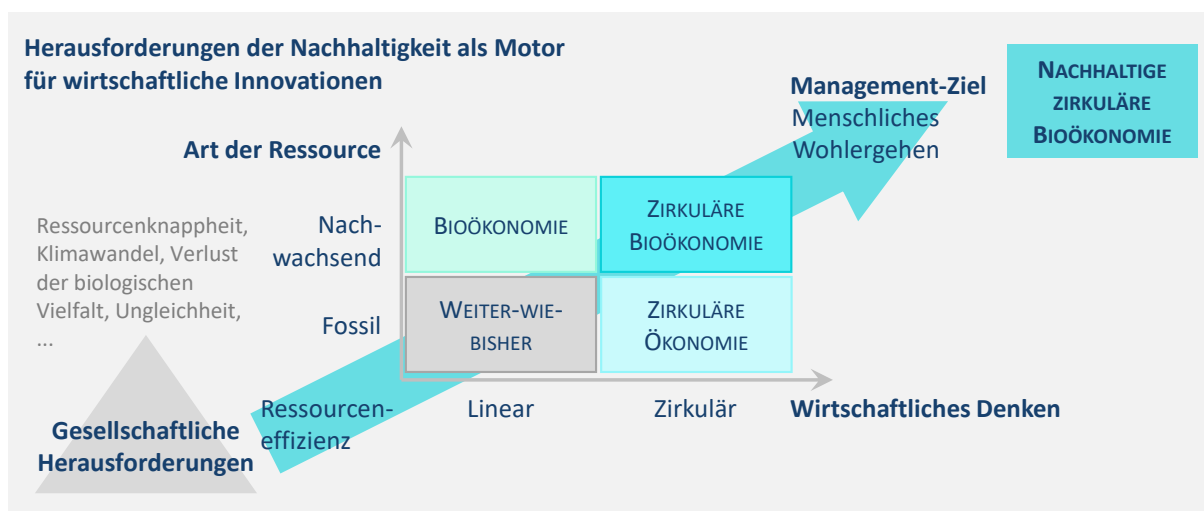
- (1) **Was ist eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie?** Während sich die Terminologie weiterentwickelt hat, ist das Ziel einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie unverändert geblieben: die Anpassung der aktuellen Wirtschaft an gesellschaftliche Herausforderungen. Der Kerngedanke ist nicht die unbedingte Kreislaufführung, sondern ein systemübergreifendes Denken: Es ermöglicht eine nachhaltige Beschaffung und sequenzielle Nutzung von Materialien/Produkten für verschiedene Funktionen, abhängig vom physischen und sozialen Kontext. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Nutzung, nicht auf dem Eigentum.
- (2) **Wie würde ein Übergang zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie aussehen?** Die Bedürfnisse der Menschen würden in den Mittelpunkt der Wirtschaft gestellt werden. Werden weniger primäre natürliche Ressourcen als Rohstoff genutzt, werden die Zusammenarbeit entlang des Wertschöpfungsnetzes, der Zugang zu Arbeitskräften oder der Bereich Wartung, umso bedeutsamer. Die Nutzung in Kaskaden würde Strategien zum Werterhalt von Ressourcen bieten – für verschiedene Kontexte und Nachhaltigkeitsprioritäten.
- (3) **Welche Vor- und Nachteile würde die zirkuläre Wertschöpfung mit sich bringen?** Die derzeitigen Produktions- und Verbrauchssysteme haben zu verschiedenen Krisen geführt, u. a. Rückgang der biologischen Vielfalt, Klimawandel, Verschlechterung der Ökosysteme und soziale Ungleichheit. Das führt zu gesellschaftlicher Unsicherheit. Die Stärke einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie könnte eine größere Flexibilität bei der Bewältigung komplexer gesellschaftlicher Herausforderungen sein. Gleichzeitig bleibt jedoch weitgehend unklar, wie genau diese Flexibilität erreicht werden soll. Es wäre eine gründliche und akteursübergreifende Diskussion darüber erforderlich, welche Schritte unternommen werden könnten und wo Veränderungen zu vermeiden sind.

1 Die Idee einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie

1.1 Der Ursprung: Herausforderungen der Nachhaltigkeit

Die Welt ist komplex, aber bisher wurden die Wirtschaftssysteme so verwaltet, als ob sie einfach wären, was viele externe Auswirkungen zur Folge hat (alle Effekte, die entlang der Lieferkette nicht beabsichtigt sind) (14-16). Heute steht die Wirtschaft deshalb vor zahlreichen Herausforderungen, wie dem Klimawandel, der Umweltzerstörung, sozialen Konflikten und Problemen in der Versorgung mit Nahrungsmitteln und Energie. (11, 17, 18). Insbesondere angesichts der steigenden Holznachfrage (19-22) ist eine **wirtschaftliche Umstrukturierung (Transformation) erforderlich, um unsere natürlichen Ressourcen zu schützen, auf die auch unsere Wirtschaft angewiesen ist** (4, 11, 16, 22-24).

Abb. 1 Der Ursprung des innovativen wirtschaftlichen Denkens sind die globalen gesellschaftlichen Herausforderungen. Die Terminologie rund um die nachhaltige Ressourcennutzung ist vielfältig, aber alle Begriffe entspringen dem Wunsch, nachhaltigere Produktions- und Verbrauchssysteme zu entwickeln.



Schon vor der Industrialisierung haben die Menschen über Strategien für eine zirkuläre Wertschöpfung nachgedacht, dies allerdings als Reaktion auf die damals vorherrschende Knappheit von Ressourcen (und nicht als Strategie für den Umgang mit einem Übermaß von Abfall) (25). Eine kreislauforientierte Bioökonomie könnte das Wirtschaftssystem widerstandsfähiger machen (26), u. a. weil sie weniger abhängig von der Verwendung primärer Materialien ist (4). Eine zusätzlich verringerte Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen kann allerdings zu einer neuen Abhängigkeit von Bioressourcen führen – und damit zu neuen Umweltproblemen, wie dem Verlust der biologischen Vielfalt und einer reduzierten Fähigkeit der Wälder als Kohlenstoffsенke zu dienen (27, 28). **Um die globalen Herausforderungen bei der Nutzung von Bioressourcen zu bewältigen, müssen die drei Bausteine berücksichtigt werden**, auf denen eine nachhaltige Entwicklung, einschließlich Produktion und Verbrauch beruht: (1) **Umweltqualität** in Verbindung mit einer Vielzahl von Ökosystemleistungen (einschließlich der Bereitstellung natürlicher Ressourcen), (2) **Lebensqualität** durch eine gerechte Verteilung von Beschäftigung, Gesundheit und persönlichen Entwicklungschancen (17, 31, 32) und (3) **wirtschaftlicher Wohlstand**, der sich an den menschlichen Bedürfnissen orientiert und die Funktionalität der Ökosysteme erhält (23, 33-35). Der sozialen Dimension sollte besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, da sie nach wie vor eine problematische Lücke

darstellt (10, 17, 29).¹ Ein Gleichgewicht zwischen dem Verbrauch und der Regeneration der Wälder sowie die Rückführung von Kohlenstoff und Nährstoffen in den Boden, um dessen Produktivität und biologische Vielfalt zu erhalten, werden dazu beitragen, die langfristige Produktivität der Ressourcen zu sichern (24, 35). Eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie ist daher mehr als der Ersatz von Ressourcen, die Verringerung von Abfällen und die Innovation von Technologien. Sie kann Armut verringern, die biologische Vielfalt schützen und einen nachhaltigen Verbrauch fördern (30) (Abb. 1).

1.2 Das Ziel: nachhaltige Entwicklung durch Systemdenken

Zirkularität bedeutet nicht die unbedingte Kreislaufführung von Ressourcen, sondern vielmehr zirkuläres oder Systemdenken (6). Systemdenken bedeutet zu verstehen, wie jedes Thema (wie die zirkuläre Wertschöpfung in der Forst- und Holzwirtschaft) mit größeren und kleineren Themen zusammenhängt. Beispiele für erstere sind der Klimawandel oder die soziale Ungleichheit, für letztere die Waldgesundheit oder Technologien zur Möbelherstellung. Es ist wichtig, sich bewusst zu machen, dass diese Wechselwirkungen subjektiv sind. Jedes Thema ist subjektiv, bestimmt u. a. durch Teilthemen (von natürlicher, gesellschaftlicher oder technologischer Art), Zusammenhänge, Grenzen, Perspektiven, politische Maßnahmen, Normen, Ressourcen, Machtstrukturen und Werte. Mit dem Wissen, dass all diese Faktoren auch verändert werden können, ermöglicht das Systemdenken ein Umdenken im System (9, 36, 37).

Praktiken der zirkulären Wertschöpfung sollten daher keine isolierten Maßnahmen in einem linearen System sein, sondern in Unternehmensstrategien integriert werden (29, 34), die nicht unbedingt die Schließung aller Material- und Produktkreisläufe erfordern. **Bei der Umsetzung einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie müssen alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden** (17, 22) (Abb. 2). Denn die Lebensfähigkeit einer zirkulären Wertschöpfung hängt von der wirtschaftlichen Lebensfähigkeit, der ökologischen Nachhaltigkeit sowie den sozialen Fähigkeiten aller Beteiligten ab (34, 38). Nachhaltige Entwicklung betrifft die Beschaffung, das Design, die Produktion, den Vertrieb, den Verbrauch oder vorzugsweise die Nutzung von Ressourcen – und zwar von der lokalen bis zur globalen Ebene und von heute bis in die Zukunft (6, 33, 39-41). Dieses **Bewusstsein für die globale² Wertschöpfungskette von forstbasierten Produkten** (10, 13, 32, 42, 43), einschließlich des gesamten Ökosystems Wald (44, 45), ist daher von entscheidender Bedeutung und kann nur durch Zusammenarbeit aller beteiligten Partner erreicht werden.

Eine nachhaltige zirkuläre Wertschöpfung basiert auf sozialen Innovationen ebenso wie auf technologischen Innovationen (34, 38). Der Austausch von Informationen und die Kombination von Fähigkeiten zwischen den Akteuren des Wertschöpfungsnetzes³ würde gemeinsames Lernen ermöglichen und Innovationen fördern (12, 26, 34). Zudem müssen Chancen zur **Mitgestaltung und Mitverwaltung** geschaffen werden: Die Einbeziehung lokaler und internationaler, öffentlicher und privater Akteure ist von entscheidender Bedeutung für die **Bewältigung von Konflikten in Bezug auf die verschiedenen Anforderungen an den Wald**. Fortschritt kann mehr bedeuten als nur finanzielle und betriebliche Leistung (bisläng Schwerpunkt der konventionellen Systeme), wenn er auch auf das Wohlergehen der Biosphäre und soziale Gerechtigkeit abzielt (17, 18, 31, 32, 46). Wenn sich die Gesellschaft nicht nur auf das Holz, sondern auf alle Ökosystemleistungen des Waldes konzentriert und auf die Nutzer achtet statt allein auf die Produkte, können **Wälder und Menschen ihre vielfältigen Rollen erfüllen** (6, 25, 47). Wird über die Verteilung der Ressourcen des Waldes so entschieden, dass sich Probleme nicht in die

¹ Ganzheitliche, transformative Lösungen, die eine gerechte Umverteilung von Wohlstand und Lebensqualität durch Mitgestaltung und Mitverwaltung anstreben, fehlen in der EU-Politik noch immer (17). Auch in der Forschung wird den sozialen Aspekten wenig Aufmerksamkeit geschenkt und die Verbrauchsmuster bleiben ein blinder Fleck in der Debatte über die zirkuläre Wertschöpfung (5).

² Da Deutschland einer der größten Holzexporteure der Welt ist, sind Einfuhr- und Ausfuhrmengen relativ ausgeglichen (3).

³ Lieferanten, Unternehmensnetzwerke, Investoren, Endnutzer, politische Entscheidungsträger und Forschungsgruppen

Zukunft oder auf andere Gebiete verlagern (5, 27, 46), ist die Holzversorgung besser gesichert (41, 43, 47) und gleichzeitig schützt die Gesellschaft so die Gesundheit, die Böden sowie die biologische Vielfalt der Wälder (23).

Abb. 2 Ein Systemdenken, das das gesamte Wertschöpfungssystem von forstbasierten Produkten im Blick hat, ist die Grundlage für eine zirkuläre Wertschöpfung. Um nachhaltigere Produktions- und Verbrauchssysteme zu entwickeln, müssen bei der Entscheidungsfindung alle Dimensionen von Nachhaltigkeit berücksichtigt werden, was eine systemweite Sichtweise erfordert. IKT, Informations- und Kommunikationstechnologie; NRO, Nicht-Regierungs-Organisationen.



Auch wenn der Wandel bereits begonnen hat, steckt die Erneuerung des traditionellen Forst-Holz-Sektors noch in den Kinderschuhen (48). Recycling ist heute die am häufigsten angewandte Kreislaufmethode. Für eine nachhaltige Entwicklung muss aber stärker auf möglichst kurze Kreisläufe geachtet werden, bei denen die Produkte ihre ursprüngliche Funktion so lange wie möglich beibehalten und daher nur wenige ressourcenintensive Modernisierungsschritte erforderlich sind (21, 32). Der Schwerpunkt sollte sich auf die innovative Gestaltung von Produkten und Prozessen verlagern, sowie auf Verhaltensänderungen von der Kostenreduzierung zum Werterhalt und zur Wertschöpfung (5, 27, 49). Die damit verbundene, ganzheitliche Betrachtung bringt einerseits eine erhöhte Komplexität mit vielen Unsicherheiten mit sich (31, 32, 46). Andererseits zeigt sie aber auch eine Vielfalt potenzieller Lösungen auf, die angesichts der Ungewissheiten eine gewisse Resilienz bieten (17).

1.3 Die vorgeschlagene Lösung: Flexibel umgesetzte Strategien zum Werterhalt von Ressourcen

Um die Biomassenutzung in Serie statt parallel zu ermöglichen, muss das gesamte Versorgungssystem betrachtet werden. Umstrukturierte Lieferketten können die Nutzungsdauer von Ressourcen und damit die

Kohlenstoffspeicherung erheblich verlängern. Eine optimierte Ressourcennutzung beginnt damit, dass Materialien so lange wie möglich in festen Anwendungen verbleiben. Produkte und ihre Ressourcen werden dann in mehreren aufeinanderfolgenden Lebenszyklen wiederverwendet und zum Schluss für die Energieerzeugung eingesetzt, nachdem das Material lang genutzt wurde (21, 24, 32). **Die nachhaltige Ressourcennutzung hängt jedoch vom jeweiligen Kontext ab** und der Forst-Holz-Sektor ist komplex (17, 50). Die Rahmenbedingungen entlang den Wertschöpfungsnetzen ändern sich, je nachdem welche Länder und Produktsektoren sie verbinden (43, 51). Zu berücksichtigen sind unter anderem geografische Gegebenheiten, die Verfügbarkeit von Rohstoffen vor Ort, nationale Vorschriften, die Logistik, die Innovationskraft der Unternehmen,⁴ die beteiligten Märkte, der Zeitrahmen, globale Trends und die Gerechtigkeit zwischen den Generationen (52, 53).

Tabelle 1 Terminologie der Strategien zum Werterhalt von Ressourcen (R). Die R-Strategien sind nach ihrer Fähigkeit geordnet, Kreislauffähigkeit zu erreichen, d. h. die Lebensdauer der Ressourcen zu optimieren, abhängig von Zeit und Ort. Entsprechend den Definitionen von (6, 38, 54).

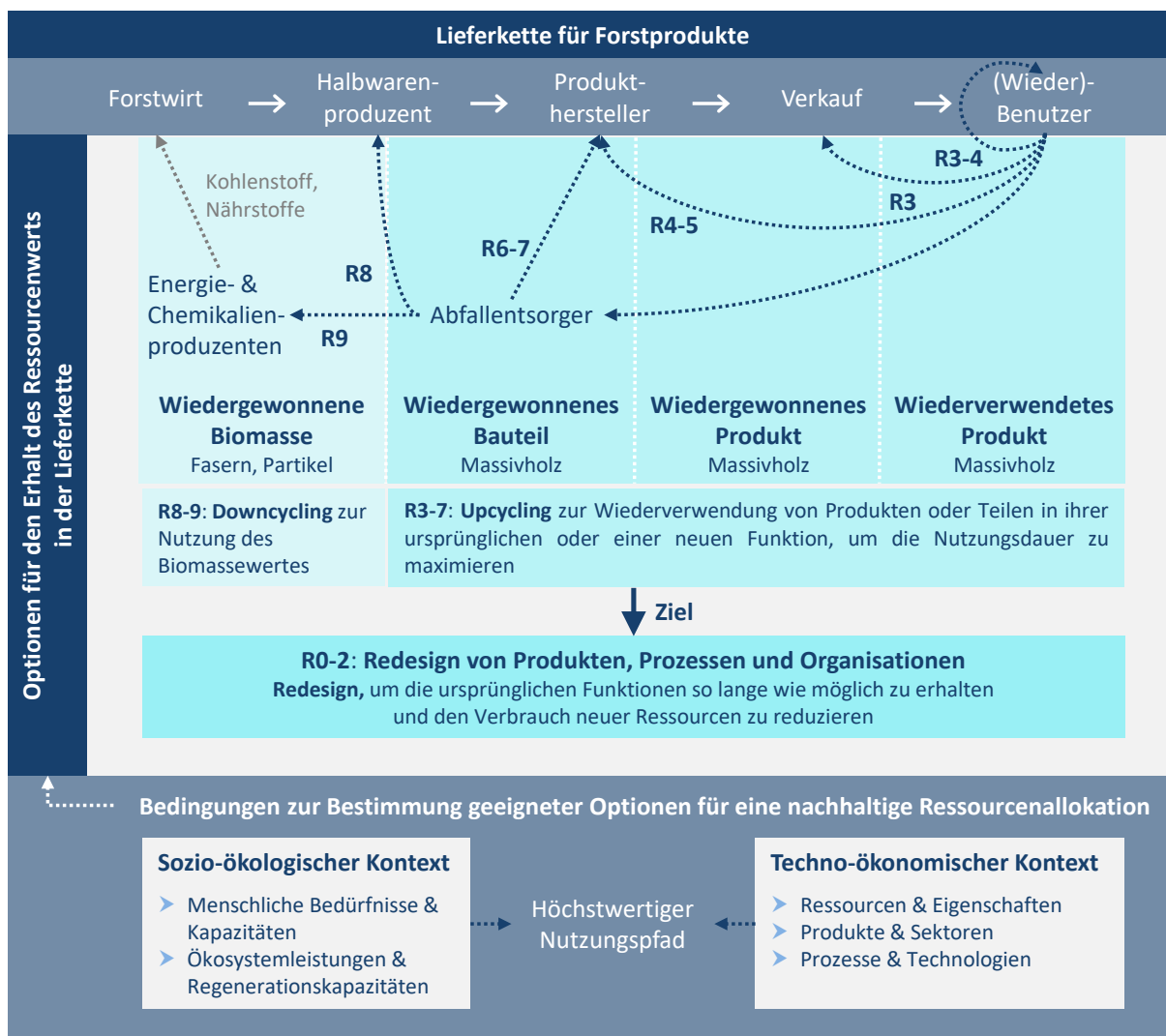
R-Strategien		Bedeutung	Grad der Zirkularität
R0	Refuse	Verzicht auf bestimmte Materialien, Produkte und Verfahren	 höher
R1	Rethink	Entwurf neuer Produktfunktionen, die andere R erleichtern	
R2	Reduce	Verbrauch weniger Materialien, Produkte und Energie, weniger Abfall produzieren	
R3	Reuse	Wiederverkauf und Wiederverwendung unter Nutzern oder durch Sammler und Einzelhändler	
R4	Repair	Reparatur zur Verlängerung der Lebensdauer des Produkts in seiner ursprünglichen Funktion	
R5	Refurbish	Erneuerung durch Austausch oder Reparatur von Bauteilen	
R6	Remanufacture	Demontage in Einzelteile zur Verwendung in funktionsgleichen Neuprodukten	
R7	Repurpose	Verwendung von ausrangierten Produkten für eine neue Funktion	
R8	Recycle	Gewinnung von Materialien aus Abfällen unter Zerstörung der ursprünglichen Struktur	
R9	Recovery	Gewinnung von Energie oder Biomasse aus Abfällen	

Für die Umsetzung einer zirkulären Wertschöpfung gibt es nicht die *eine* beste Option (Abb. 3). **Es gibt verschiedene Strategien zum Erhalt des Ressourcenwerts (R).** Sie sind nach ihrer Fähigkeit geordnet, eine

⁴ Innerhalb des Versorgungsnetzes könnten für Vorreiter und Nachzügler des Übergangs unterschiedliche Präferenzen für Optionen der Ressourcenwerterhaltung erforderlich sein (6).

nachhaltige zirkuläre Wertschöpfung zu erreichen, d. h. die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch. Wir folgen hier der Kategorisierung in neun R (Tabelle 1).⁵

Abb. 3 Der Weg zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie ist flexibel und passt sich den sozio-ökologischen und techno-ökonomischen Rahmenbedingungen an. Die verschiedenen Strategien zum Werterhalt oder R-Strategien (siehe Tabelle 1) bieten Optionen, die je nach Kontext kombiniert werden können, um eine nachhaltige Kaskadennutzung von Holz zu ermöglichen.



Die R-Strategien bieten eine nützliche Orientierung zur Entscheidungsfindung, aber keine strenge Hierarchie (6, 52-54). **Kaskadennutzung ist die kontextabhängige Integration von R-Strategien**, um mit ihrer Hilfe die Verbrauchsrate eines Rohstoffs zu minimieren (27, 40, 52). Biomasse wird dabei sequenziell verwendet, um ihren wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Nutzen zu maximieren. Erst wenn die Qualität eines Materials dazu nicht mehr ausreicht, wird es abschließend als Energiequelle genutzt. Der Durchsatz von forstbasierten Ressourcen wird daher nicht auf eine Maximierung der Lebensdauer ausgerichtet, sondern auf eine Optimierung der Lebensdauer der Ressource (12, 53, 55). Dabei werden die physikalischen Eigenschaften, die grundlegenden

⁵ Sie haben sich genauso entwickelt wie das Konzept der zirkuläre Wertschöpfung selbst, sodass wir eine variable Anzahl und Abfolge von 3 bis 10 R-Strategien haben (6, 32, 54). Die neun R von Reike et al. und Morsetto (6, 54) basieren auf (38).

menschlichen Bedürfnisse und der Mehrwert berücksichtigt (6, 23, 52). Die Nutzungszeit kann maximiert werden, indem die Ressourcen für verschiedene stoffliche, chemische oder energetische Funktionen verarbeitet werden. Durch die Zusammenarbeit innerhalb und zwischen den Kaskaden kann so ein zusätzlicher Wert aus der Ressource entstehen (6, 23, 24, 33, 39, 40).

Tabelle 2 Beispiele für Zielkonflikte (Trade-offs). Damit eine zirkuläre Bioökonomie nachhaltig funktioniert, müssen je nach Kontext passende Strategien zur Umsetzung gewählt werden. Welche Ökosystemleistung jeweils wichtiger ist, kann nicht allgemein festgelegt werden, sondern muss von den Akteuren entschieden werden, abhängig vom geografischen, historischen, ökologischen und sozioökonomischen Kontext (23, 41).

Beispiele für Zielkonflikte in einer zirkulären Bioökonomie			
Kontext	Ansatz 1	Ansatz 2	Referenz
Priorität der Zuteilung	Holz zur stofflichen Nutzung Lignin für Biochemikalien, Biopolymere, Biopharmazeutika	Holz zur Produktion von Energie oder Biokraftstoffen sowie weiteren Nebenprodukte (wie Lignin oder Schwarzlauge) als In-House-Energiequelle für industrielle Prozesse	(3, 20, 27, 44, 53, 57)
		Nichtholz-Waldprodukte (z. B. Beeren, Pilze, Bienenprodukte, Harz, Kork)	(45)
Priorität der Ökosystemleistungen	Waldflächen mit Mischwäldern, die regulierende und kulturelle Ökosystemleistungen erbringen, oder Flächen für Wind- oder Wasserenergieprojekte	Waldflächen für die Forst- und Holzwirtschaft mit Nadelwäldern, für die Produktion von bioökonomischen Rohstoffen, die bestehende Wertschöpfungsketten speisen	(41, 44, 57)
		Strategien zur Züchtung von Bäumen auf Trockentoleranz oder Resistenz gegen Pflanzenfresser	Strategien zur Forstpflanzenzüchtung für die Holzproduktion Strategien zur Forstpflanzenzüchtung für optimale Haupt- und Nebenerzeugnisse
Priorität des Nachhaltigkeitsaspekts	Lokale Verwendung auch von minderwertiger und/oder sperriger Biomasse mit geringer Dichte. Oder keine Verwendung von Konservierungsmitteln, um das Recycling zu erleichtern	Transport für hochwertigen Gebrauch oder um niedrige Arbeitskosten zu nutzen; Verwendung von Konservierungsmitteln für die Haltbarkeit	(53, 60)
	Keine Verwendung von Tropenholz, um das Risiko des illegalen Holzeinschlags oder der nicht nachhaltigen Nutzung zu verringern	Verwendung von tropischem, widerstandsfähigem Holz , um die Notwendigkeit einer chemischen Behandlung und das Risiko unlauterer Handelströme zu verringern	(61, 62)
	Strenge Gesetze für den Transport von Holzabfällen, um das Recycling und die Verbrennung von Holz in Privathaushalten zu behindern und so die Vergiftungsgefahr durch potenziell gefährliche Schadstoffe und Abgase zu verringern	Rückgewinnung von Holz als Ressource für die zirkuläre Bioökonomie, einschließlich der Verwendung von Holz für die private Wärmeversorgung	(46, 57, 63)

Da es nicht den einen universellen Kaskadenpfad gibt, können die verschiedenen Optionen zum Werterhalt einander ergänzen (8, 30, 50, 54) oder miteinander in Konflikt stehen (56, 57). Alle Lösungen für eine

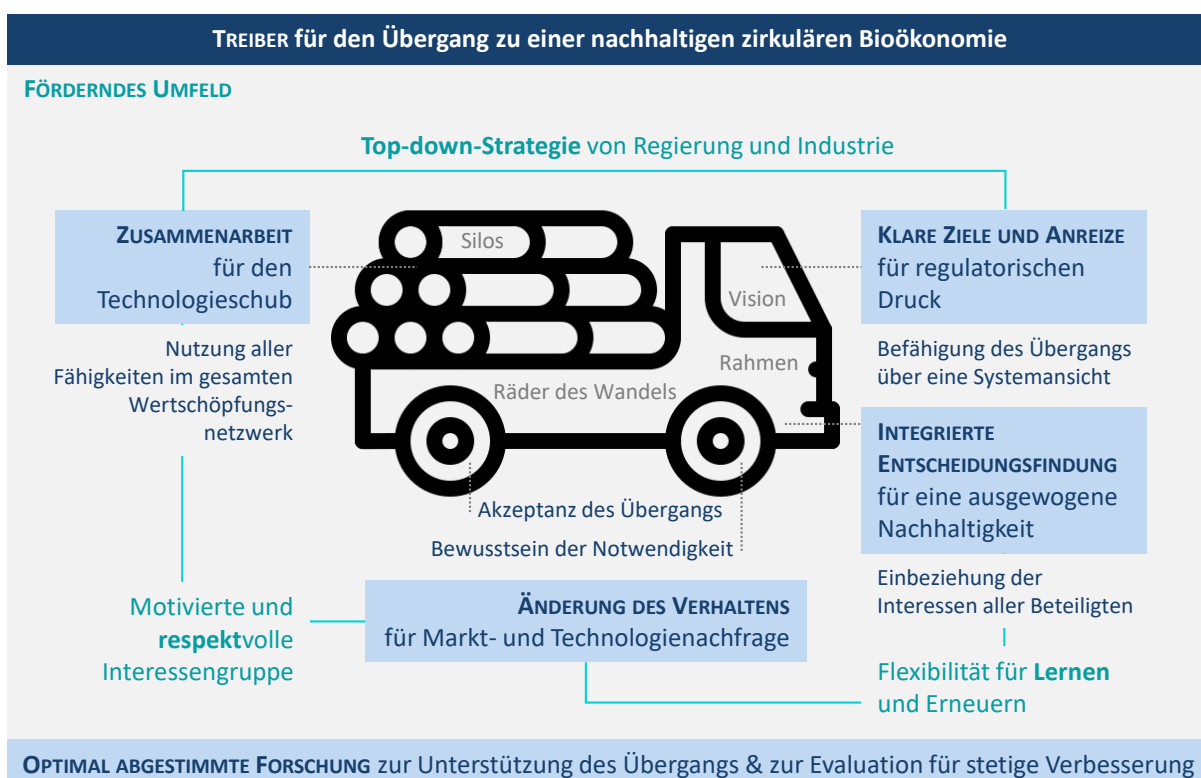
nachhaltigere Ressourcennutzung sind werthaltig. Es ist die Vielfalt der angebotenen Strategien, die eine Anpassung an die beteiligten Akteure und ihren Kontext (u. a. ökologisch, demographisch, geopolitisch, sozioökonomisch) ermöglicht (6, 17). **Die Umsetzung einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie wird sich daher zeitlich und räumlich unterscheiden** (Tabelle 2). Erkenntnisse, Perspektiven, Herausforderungen und Prioritäten in einer Gesellschaft ändern sich und erfordern eine regelmäßige Neuausrichtung in der Umsetzung (58, 59).

2 Eine Zusammenfassung der aktuellen Umsetzungsempfehlungen

2.1 Treiber des Wandels

Der Weg zu einer Kreislauf-Bioökonomie ist eine industrielle, politische und gesellschaftliche Initiative (25, 27, 38) (Abb. 4). Volkswirtschaften werden durch Unternehmergeist angetrieben, aber auch durch Vorschriften und menschliche Wünsche. Alle Akteure entlang der Lieferkette, von den Behörden über die Unternehmen bis hin zu den Verbrauchern, müssen motiviert und von den neuen Geschäftsstrategien überzeugt werden (27, 29, 31, 64). Daher sind **eine gemeinsame Vision und ein gemeinsames Handeln** von entscheidender Bedeutung (1, 18, 49), **wobei die Meinungen aller Beteiligten zu berücksichtigen sind** (27, 31).

Abb. 4 Überblick über die Faktoren, die den Übergang zu einer nachhaltigeren, zirkulären Bioökonomie vorantreiben können. Die Entwicklung innovativer Technologien reicht dabei nicht aus: Wenn ein systemischer Wandel angestrebt ist, muss die gesamte Wertschöpfungskette vorbereitet werden.



Bewährte Verfahren können daher nicht kopiert werden, sondern müssen an den jeweiligen Kontext angepasst werden (26), der räumlich und zeitlich variiert und **Flexibilität bei der Anpassung, im Lernen und in der Innovation erfordert** (25, 31). Langfristige Verträge und eine Aufstockung der Vorräte könnten zwar dazu beitragen, Unsicherheiten zu bewältigen (32, 43). Doch Verträge und Finanzierungen sollten eher flexibel

gestaltet werden, um regelmäßige Neubewertungen zu ermöglichen und unbeabsichtigte Folgen zu vermeiden (z. B. Lock-in und Rebound-Effekte) (46).

Anreize, Ziele und Wegmarken sollten sowohl von der Regierung als auch von der Industrie im Sinne einer **Top-down-Strategie über Sektoren und geografische Grenzen hinweg** gestaltet werden. Für eine nachhaltige Bioökonomie sollte diese Strategie nicht nur Innovationen in der Technologie umfassen, sondern auch die Zusammenarbeit in der Lieferkette, im Marketing und in der öffentlichen Verwaltung (25, 27, 34, 38, 58). Der Mangel an unterstützenden Rahmenbedingungen ist der Hauptgrund dafür, dass der Wandel hin zu einer zirkulären Wertschöpfung seit den ersten Veröffentlichungen zu diesem Thema in den 1980er Jahren nicht sehr weit fortgeschritten ist (14, 25, 34).

Eine ausgewogene Kombination aus regulatorischen und technologischen Anreizen kann zusammen mit einer gezielten Ansprache der Verbraucher zu einem widerstandsfähigen Forst und Holzwirtschaft führen. Sie würde das gesamte Potenzial ihrer Produkte nutzen (53). Die Triebkräfte einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie lassen sich wie folgt zusammenfassen (19, 27, 31, 34):

- **Regulatorische Anreize:** politische Entscheider, die systemisches Denken verbreiten und die Zusammenarbeit der Partner fördern
- **Technologische Anreize:** innovative Unternehmer und KMU, die in FuE und Vermarktung investieren; so wie in neue Marktzugänge und in Kooperationen in der Lieferkette, einschließlich mit Kunden
- **Ökonomische Anreize:** Kundenakzeptanz und -bedürfnisse stehen im Mittelpunkt und schaffen neue Vermarktungskanäle

Werden Kundenbedürfnisse vernachlässigt und der Fokus allein auf den technologischen Fortschritt gelegt, würden die Erträge aus den Innovationen sinken (19, 65). Damit Materialien länger genutzt werden, muss sich auch die Einstellung der Verbraucher ändern (38, 55): Sie sollten dem Wandel offen begegnen und verhaltensbedingte sowie kulturelle Barrieren überwinden (z. B. durch Gruppenzwang und veränderte Wertvorstellungen in Bezug auf Abfall). Sie würden dann ihre Entscheidungen ändern und sich an der zirkulären Wertschöpfung beteiligen (23, 24). Daher sind Forschungsarbeiten zur Verbraucherakzeptanz bzw. zur Vorliebe für langlebige Produkte anstatt für Trends erforderlich (61, 66).

2.2 Regulatorische Unterstützung

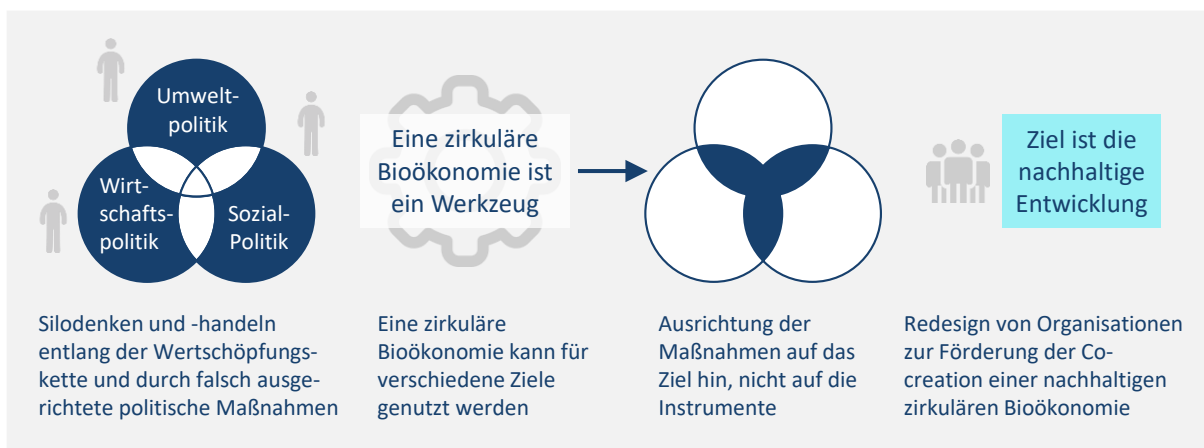
2.2.1 Politische Koordinierung zur Steuerung des Wandels

Die politische Koordinierung sollte **sich auf das Ziel und nicht auf die Instrumente konzentrieren** (Abb. 5). Die zirkuläre Wertschöpfung und die Kaskadennutzung als spezifische Strategie sind Instrumente, um die wachsende und vielfältige Nachfrage nach Ressourcen und Land in Einklang zu bringen. Sie sollten nicht zum Selbstzweck werden (30, 33, 62). Folglich sollte ein **aktualisiertes und harmonisiertes europäisches Altholzgesetz⁶ die Verwendung von Holz fördern und gleichzeitig die Gesundheit von Menschen und Ökosystem schützen**, wobei der Schwerpunkt auf einer Kaskadennutzung liegt (67). Derzeit legen die europäischen Rechtsvorschriften für Altholz einen Schwerpunkt auf den Verschmutzungsgrad des Altholzes. Dieser ist in zwei eindeutige Kategorien eingeteilt: nicht-gefährliche und gefährliche Abfälle (die z. B. Schwermetalle enthalten). Je nach Land gibt es dazwischen noch eine oder zwei weitere Kategorien, in die alle Holzabfälle fallen, die Zusatzstoffe jeglicher Art enthalten (67). Eine ausgefeiltere Gesetzgebung könnte den Kontaminationsgrad von Altholz begrenzen und gleichzeitig durch eine Kombination mit anderen politischen Maßnahmen die Nutzung in hochwertigen Produkten anstreben (12, 63, 67, 68).

⁶ https://www.charta-fuer-holz.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/aktivaeten/20200920_Empfehlungen_der_AG_Effizienz_zur_zirkuläre_Wertschöpfung_final.pdf

Wälder sollen die Nachhaltigkeit in vielfacher Weise stärken (z. B. biologische Vielfalt, Klima, menschliche Gesundheit, Bioökonomie) (30, 33). Durch die **Integration verschiedener Initiativen für nachhaltige Entwicklung** (8) können politische Entscheider Konflikte in und mit dem Wald- und Holzsektor verhindern (44). Einzelne Maßnahmen reichen für einen systemischen Wandel nicht aus (59). Regierungen sollten den Übergang zu kreislauforientierten Lieferketten stattdessen umfassend vorantreiben, etwa durch wirtschaftliche Anreize, Rechtspolitik (32, 64), die Schaffung von Transparenz in den Lieferketten und die Durchsetzung und Angleichung bestehender und neuer Maßnahmen (30). Für die Schaffung einer zirkulären Bioökonomie sind **langfristige Rahmenbedingungen** erforderlich, die über die Dauer einer Regierung hinausgehen (24, 53). Integrierte politische Maßnahmen und Instrumente⁷ können beispielsweise die langfristige Planung der Waldbewirtschaftung (23, 44, 50), die Kaskadennutzung von Biomasse durch verschiedene Wirtschaftssektoren oder die globale Marktakzeptanz (11, 27, 55) unterstützen.

Abb. 5 Abstimmung von Akteuren, Politik und Instrumenten auf das Ziel eines nachhaltigeren Produktions- und Verbrauchssystems. Die zirkuläre Bioökonomie ist lediglich ein Instrument und sollte nicht verwechselt werden mit den verschiedenen Zielen, denen sie dienen könnte.



Auch wenn technisch bereits vieles möglich ist, **müssen bestehende Systeme und etablierte wirtschaftliche Interessen durchbrochen werden, wenn die Transformation gelingen soll** (29, 38, 69). Marktbeherrschende Akteure, vorhandene Normen, Kostenvorteile der Massenproduktion und nahezu unumkehrbare Investitionen⁸ können Innovationen und die Zusammenarbeit neuer Akteure blockieren (12, 59). Damit Regierungen zu Innovationsmotoren werden, müssen sie daher in das Knowhow des öffentlichen Dienstes investieren, anstatt die Entwicklung von Fachwissen auszulagern.⁹ Vollständige Wettbewerbsgleichheit gibt es nicht, aber die **politischen Entscheider können den Markt zum kollektiven Nutzen der Interessengruppen mitgestalten**, anstatt ihn nur zu verwalten (18, 30). Marktanreize, wie die nachstehenden, könnten die Verantwortung der Hersteller erweitern und gleichzeitig faire Bedingungen schaffen (23, 24, 55).

⁷ Bestehende Instrumentarien, wie die von der Europäischen Kommission 2008 zur Unterstützung des Übergangs zu einer zirkulären Wertschöpfung bereitgestellten Instrumente für nachhaltigen Verbrauch und nachhaltige Produktion (SCP), sollten mit neuem Leben erfüllt werden, um den Akteuren zu helfen, einen ganzheitlicheren Ansatz für Nachhaltigkeit zu verfolgen (8).

⁸ In den Niederlanden zum Beispiel behindern vor Jahrzehnten getätigte Investitionen in Müllverbrennungsanlagen noch heute Innovationen in der zirkulären Wertschöpfung (38).

⁹ Ein Beispiel ist die Energiewende in Deutschland. Eine Transformation, um in Zusammenarbeit mit Unternehmen und Forschungsgruppen, über Sektoren und Disziplinen hinweg, einen Übergang von einer fossil-nuklearen Energieerzeugung zu einem nachhaltigen Energiesystem auf Basis erneuerbarer Energien zu gestalten (18).

Beispiele für Maßnahmen, die ergriffen werden könnten:

- Vorbildfunktion der Regierung bei der Vergabe öffentlicher Aufträge (6, 12), Förderung der Produktion und des Verbrauchs nachhaltiger Produkte (10)
- Abschaffung umweltschädlicher Subventionen (23, 24)
- finanzielle Anreize für alle Aspekte der Wiederverwendung, um die Menge und die Qualität des wiedergewonnenen Altholzes zu erhöhen (3, 68)
- Besteuerung von neuen Rohstoffen (23, 24) bei gleichzeitiger Senkung der Besteuerung von Arbeit (z. B. für Reparaturen und andere werterhaltende Tätigkeiten) (25)
- Berücksichtigung der Umweltkosten (z. B. für die Abfallerzeugung) in die Marktpreise und Senkung der Kosten für die Sammlung von Abfällen zur Wiederverwendung (23, 24, 49)
- Verzicht auf die Finanzierung von Infrastrukturen (z. B. für die Abfallverbrennung), die auf Überkapazitäten angewiesen sind, um wirtschaftlich tragfähig zu sein, was eine kaskadenartige Nutzung verhindert (6)

2.2.2 Zielvorgabe zur Umsetzung des Wandels

Die Ziele zur Erleichterung des Übergangs sollten an den jeweiligen Kontext angepasst werden, wobei der allgemeine Leitfaden des Systems der R-Strategien zu beachten ist (Tabelle 3). Derzeit zielt die Politik für die zirkuläre Wertschöpfung in Europa auf die sinnvolle Verwendung von Abfällen. Das stoffliche Recycling und die Verwertung zur Energiegewinnung kann zwar Ressourcen schonen, dennoch **ist ein kultureller Wandel von der Abfallbewirtschaftung hin zur Abfallvermeidung erforderlich** (6, 54). Bei hohen Energiekosten hilft Recycling kaum dabei, **Produktions- und Verbrauchssysteme nachhaltiger zu gestalten** (6, 54, 63). Durch ein verbessertes Design könnte aber beispielsweise vermieden werden, dass Produkte für die Wiederverwendung ihrer Rohstoffe in kleine Partikel zerlegt werden müssen (3, 67).

Hohe Recyclingraten sollten jedoch nicht als Synonym für ein hohes Maß an zirkuläre Wertschöpfung gelten. Stattdessen könnten Zielvorgaben ein Umdenken bei der Produktnutzung und -herstellung (R0-R2, siehe Tabelle 1) fördern und so für eine **längere Lebensdauer von Produkten und Halbwaren** sorgen. Im Fokus sollten deshalb nicht mehr längere Kreisläufe (R8-9) stehen, bei denen es lediglich um die Wiederverwendung von Abfällen geht,¹⁰ sondern kürzere Kreisläufe (R3-7) (6, 10, 32, 46, 54): Sie können die **Ressourcennutzung maximieren** (33, 39). Langlebige Baumaterialien wie Massivholz könnten beispielsweise für mindestens einen darauffolgenden Lebenszyklus der langfristigen Nutzung ausgelegt werden, etwa als Möbel, Paletten oder Eisenbahnschwellen (24). Zielvorgaben sollten darauf abzielen, den gesamten Geschäftsprozess und die Lieferkette zu verändern, **vom Produktbesitz bis zum Produktzugang**. Bei der Wiederverwendung können sie langlebigere Produkte fördern, sodass nur die nicht anderweitig nutzbaren Abfälle (ca. 10 %) in die energetische Verwertung gehen (16, 54).

¹⁰ Es sei denn, das Produkt ist noch nicht ausgereift und benötigt kurzfristig Innovationen (66).

Tabelle 3 Zielsetzung für Nachhaltigkeitseffekte. Die Ziele sollten je nach Kontext gewählt werden (siehe auch Abb. 3) und auf einen systemischen Wandel abzielen: weg von der Abfallwirtschaft hin zur maximalen Nutzung von Ressourcen. Inspiriert durch (6, 54).

	Zielsetzung	Ausrichtung	R Strategien	Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit
<p>ZIEL</p> <p>AKTUELLE LAGE</p>	Neue Wege in der Produktion & Nutzung	Design, schrittweiser Verzicht auf bestimmte Materialien, Produkte und Verfahren	Refuse Rethink Reduce	Abfallvermeidung, Ressourcen und deren Qualität möglichst lang erhalten
	Längere Lebensdauer von Produkten und Bauteilen	Design, Product-as-a-Service-Systeme, Second-Hand Produkte, geplante Obsoleszenz, erwünschtes Verhalten	Reuse Repair Refurbish Remanufacture Repurpose	Werterhalt über verschiedene Zyklen und Wertschöpfung über verschiedene Wege der Aufwertung
	Nützliche Verwendung von Abfällen	Abfallreduzierung durch Recycling vor Ort, hochwertiges Recycling, nicht anderweitig verwertbare Abfälle	Recycle Recover	Geringer Einfluss auf Produktion und Verbrauch

ZUSAMMENFASSUNG DER AKTUELLEN EMPFEHLUNGEN FÜR DIE REGIERUNG

- **Politische Maßnahmen innerhalb und zwischen verschiedenen Politikbereichen sollten kombiniert und aufeinander abgestimmt werden, um gesellschaftliche Herausforderungen zu lösen**, was das Ziel einer nachhaltigen Kreislauf-Bioökonomie ist.
- **Der Schwerpunkt sollte auf dem Ziel liegen, nicht auf den Instrumenten.** Zirkuläre Wertschöpfung, Kaskadennutzung und Lebenszeitverlängerung sind Instrumente, die bereit gestellt werden sollten, aber nicht zum Selbstzweck werden dürfen.
- **Erforderlich ist ein kultureller Wandel weg von der Bewirtschaftung von Abfall hin zu seiner Verringerung.** An die Stelle des Besitzes von Produkten tritt die Bereitstellung eines Zugangs zu ihnen.
- **Mit Hilfe von Marktanreizen und Zielvorgaben sollten etablierte wirtschaftliche Interessen durchbrochen werden.** Zwar gibt es zahlreiche Optionen für die Umsetzung einer zirkulären Wertschöpfung, doch idealerweise sollten die Ziele an den jeweiligen Kontext angepasst werden und sich an jenen R-Strategien orientieren, die das größte Potenzial für eine Umstellung des Produktions- und Verbrauchssystems auf mehr zirkuläre Wertschöpfung bergen.
- **Wir brauchen eine harmonisierte internationale Gesetzgebung für Altholz**, die die Wiederverwendung von Holz in hochwertigen Produkten fördert und den Handel mit Waren und Dienstleistungen der zirkulären Wertschöpfung ermöglicht.
- **Die Handlungsfähigkeit des öffentlichen Dienstes, von Unternehmen und künftigen Arbeitskräften muss erweitert werden**, damit das Vertrauen in Innovationen steigt und kollektives Handeln möglich wird.

2.3 Technologie und Marktreife

2.3.1 Strategien für zirkuläres Wirtschaften

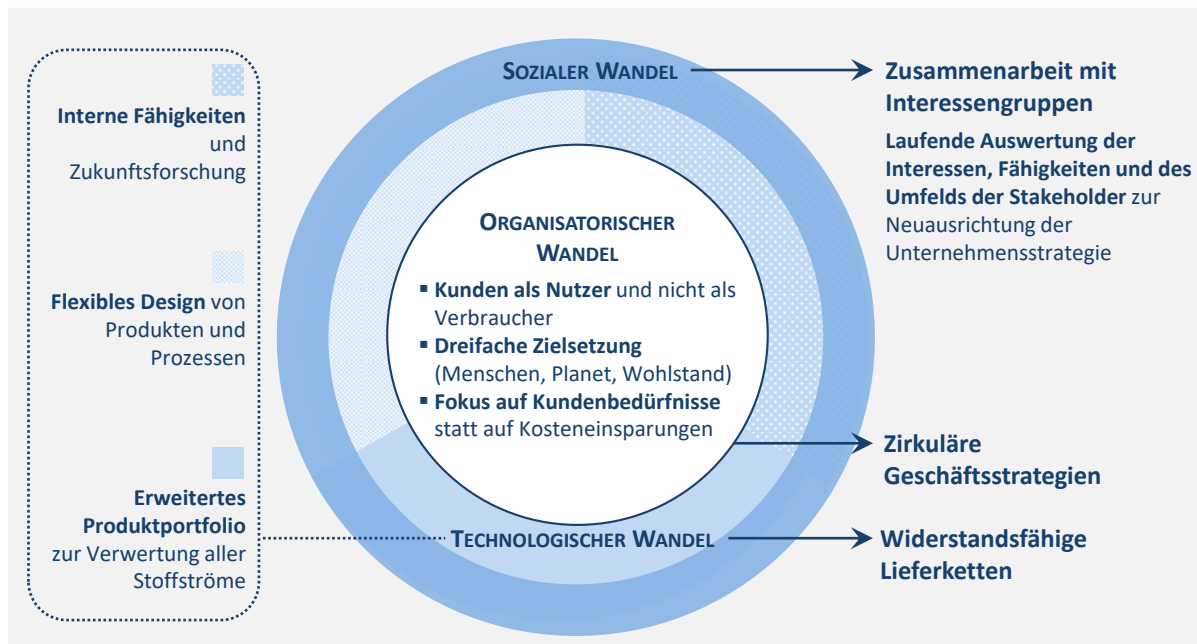
Die Umsetzung einer zirkuläre Wertschöpfung findet nicht nur auf politischer und technologischer Ebene statt, sondern auch auf organisatorischer Ebene. **Eine neue Strategie für Unternehmen ist die Grundlage für eine erfolgreiche zirkuläre Wertschöpfung** (12, 19, 25).

Tabelle 4 Elemente eines Geschäftsmodells für die Verwirklichung ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Vorteile in der Wertschöpfungskette. Um alle Elemente einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie aufeinander abzustimmen, ist eine kontinuierliche Anpassung an die sich ändernden Bedingungen erforderlich. *Inspiriert durch (19).*

Ausrichtung der Elemente des Geschäftsmodells und kontinuierliche Bewertung					
DREI SÄULEN MODELL KONZENTRATION AUF ZIRKULARITÄT	Nutzenversprechen	Co-Kreation von Werten	Lieferung von Werten	Werterfassung	
	MENSCHEN		Einbindung und Motivation verschiedener Akteure für den Wandel	Erweiterung des Kundenstamms	Lokale Beschäftigung
			Konzentration auf die Interessen aller Beteiligten	Analyse der Kundennachfrage	Innovative Erlösmodelle
			Ausgewogene Kombination von Fähigkeiten	Fähigkeiten entwickeln	Sichere Arbeitsplätze
	PLANET		Ausgleich der Ressourcen zwischen den Beteiligten und der Belastbarkeit des Ökosystems	Umweltgewinne einschließlich Wasserschutz, Biodiversität, Waldfruchtbarkeit	Nutzung aller Ressourcenströme durch Verbundvorteile
	WOHLSTAND		Ausbalancierung von Investitionen	Neue und effiziente Vertriebskanäle	Berichtigung der Marktpreise
			Neue Einnahmequellen mit Schwerpunkt auf Gesamtinteressen	Neue Einkommensströme	Gewinnbringende Nischensegmente
➔	Verbundvorteile schaffen Mehrwert für Menschen, Umwelt und Unternehmen				

Innovative Geschäftsmodelle bergen das Potenzial, **wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Nutzen ins Gleichgewicht zu bringen** (19, 31, 32, 47). Um sicherzustellen, dass kurzfristige Lösungen mit der langfristigen Vision einer nachhaltigen Entwicklung in Einklang stehen, ist eine kontinuierliche Bewertung und Anpassung der Aktivitäten unerlässlich (19, 31, 46). Wirtschaftliche Entscheidungen sollten sich nicht an Emotionen und Moden orientieren, sondern an der Funktionalität (25). Ziel ist eine Unternehmenskultur, die offen für Veränderungen ist und das Feedback der Interessengruppen wertschätzt (19, 26, 31). **Der Unternehmensfokus sollte nicht länger nur auf einzelnen Akteuren liegen, sondern das gesamte Geschäftssystem in den Blick nehmen.** Wertschöpfung entsteht so nicht nur für ein bestimmtes Unternehmen sondern auch für seine Partner (Tabelle 4). Auch die Entwicklung des ländlichen Raums und die Lebensqualität der Verbraucher werden dadurch in das Marktangebot einbezogen. Der Schwerpunkt liegt auf der Wertschöpfung zur Kostendeckung und nicht auf der Kosteneinsparung durch die Valorisierung aller Ressourcen (19, 26). Ein innovatives Produktdesign und eine Ausweitung der Produktpalette können die Nutzungsdauer von Ressourcen erhöhen, anstatt das bestehende Portfolio für die Massenproduktion zu optimieren (12, 13, 23, 50, 53, 57).

Abb. 6 Die wichtigsten Veränderungen für die Transformation zur nachhaltigen zirkulären Bioökonomie. Technologischer Wandel sollte auf Innovationen im Geschäftsmodell beruhen und sich auf Basis von sozialen Innovationen an den Zielen ausrichten.



Bisher förderten Geschäftsmodelle den Absatz neuer Produkte (66). **Unternehmen der zirkuläre Wertschöpfung werden ganz anders betrieben: Sie liefern Funktionalität und nicht Eigentum (50)**. In zirkulären Lieferketten sind Kunden deshalb hauptsächlich Nutzer und nicht nur Verbraucher (25, 32). Verlagern Firmen ihr Unternehmensziel vom Verkauf von Produkten zum Verkauf von Dienstleistungen, verlängert sich die Lebensdauer der Produkte (47, 55). Das Eigentum und die Verantwortung für das Produkt bleiben ihnen über dessen gesamte Lebensdauer erhalten (25). Dies bringt Unsicherheiten mit sich, vor allem in Hinblick auf die Qualität und die Versorgung mit wiedergewonnenen Waren und Ressourcen. Externe Faktoren wie Naturkatastrophen werden zur Nebensache (25, 32). Damit die neue Geschäftsstrategie zum Erfolg wird, ist es deshalb entscheidend, ein gemeinsames Verständnis zwischen allen Beteiligten im komplexen Lieferkettennetz zu schaffen (6) (Abb. 6).

2.3.2 Widerstandsfähige Lieferketten

Die **gesellschaftliche Akzeptanz der Transformation** zu einer zirkulären Bioökonomie ist von zentraler Bedeutung, denn sie **sichert die Marktakzeptanz (10, 23)**. Hilfreich dürften deshalb Investitionen in Marktforschung sein, da technologische Forschung und Innovation allein für eine stabile Nachfrage nicht ausreichen (32, 53, 65). Um Märkte zu verstehen und zu erschließen, ist außerdem Offenheit und Dialog wichtig mit den Verbrauchern, aber auch mit anderen Unternehmen (47). Die Bedürfnisse der Kunden zu kennen (**Market Pull**) ist für das Überleben von Unternehmen entscheidend (17, 26): Es müssen verschiedene nachhaltige Alternativen angeboten werden, indem über End-of-Life-Optionen informiert wird (47, 50). Innovative Technologien (Technology Push) müssen von Kunden bereitwillig aufgenommen werden (**Technology Pull**), deshalb sollten potenzielle Kunden analysiert, informiert und überzeugt werden (19, 26). Transparenz über die Arbeit mit zurückgewonnenen Materialien und Komponenten kann z. B. durch die Entwicklung von Qualitätsstandards sowie von Gesundheits- und Sicherheitsrichtlinien geschaffen werden (27, 32).

Kommunikation ist dabei nicht nur der Schlüssel zu einem wachsenden Kundenstamm, sondern auch die Basis, um neue Einkommensströme zu erschließen (26). **Die Diversifizierung von Ressourcen und Lieferanten ist eine**

wichtige Strategie, um die Zuverlässigkeit in der Holzversorgung zu erhöhen (43). Durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen, Infrastrukturen, Investitionen, Wissen usw. bilden sich verlässliche Partnerschaften und belastbare Wertschöpfungsketten. Sie können den Zugang zu verschiedenen forstbasierten Ressourcen in stabiler Menge und Qualität sichern und darüber hinaus auch die Leistung steigern, indem die Partner sich gegenseitig für den Wirtschaftswandel motivieren (26, 47). Die Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette kann Innovationen und Wettbewerbsvorteile hervorbringen, aber auch Abhängigkeiten und Opportunismus. Besonders in Zeiten des Wandels ist Vertrauen der Schlüssel zur Förderung von technologischen Innovationen und für die Suche nach **gemeinsamen Lösungen durch den Austausch von Wissen und die Kombination von Fähigkeiten**. Daher müssen Partnerschaften kontinuierlich bewertet und entsprechend der Interessen und Fähigkeiten neu ausgerichtet werden (31, 34).

Der Forst-Holz-Sektor ist von Natur aus auf eine langfristige Perspektive ausgerichtet. Um den Übergang zu einer nachhaltigeren Ressourcennutzung zu bewältigen, sind jedoch auch radikale Innovationen erforderlich. Diese werden von den derzeitigen Akteuren meist nicht entwickelt, da sie sich auf die Optimierung ihrer bestehenden Abläufe konzentrieren. **Das Management sollte daher nicht risikoscheu, sondern proaktiv auftreten und mit Weitsicht agieren** (12, 53, 65). Vorausschauende Forschung (foresight research) kann Entscheidungsträgern dabei helfen, in einer sich rasch verändernden Welt möglichst nachhaltige Ergebnisse zu erzielen (46, 48, 65). Innovation kann dann durch eine Mischung aus Innen- und Außenperspektiven vorangetrieben und auf ihr künftiges Potenzial ausgerichtet werden, wobei Markt-Pull- und Technologie-Push-Effekte kombiniert werden (65). Der Schlüssel zu solch offenen Innovationen ist ein erleichterter Zugang zu Informationen innerhalb und zwischen den Sektoren (10, 65), der Wissenschaft, der Politik und der Öffentlichkeit (12). Darüber hinaus sind **Investitionen in die Unternehmensflexibilität** von entscheidender Bedeutung (12, 53). Insgesamt wird empfohlen, Dienstleistungen bei Bedarf auszulagern (47) und gleichzeitig in Infrastruktur (23, 32, 50), Forschung und Kompetenzentwicklung zu investieren (23). Eine vielseitig qualifizierte Belegschaft, die für komplexe und unbekannte Veränderungen gewappnet ist, kann widerstandsfähige Lieferketten aufbauen und sichert langfristig die Wettbewerbsfähigkeit (18, 65). Ein Mangel an qualifiziertem Personal dagegen ist ein Innovationsrisiko (12, 32, 65) in einem sich wandelnden ökologischen und wirtschaftlichen Umfeld (50). Die hohen Investitionskosten können durch innovative Multi-Akteurs-Einkommensmodelle gedeckt werden, aber auch durch Produkt-Service-Systeme, die den größten Wert mit dem kleinsten Ressourcenvolumen erzielen und durch Marktanreize, die sozioökonomische Vorteile berücksichtigen, die nicht im Marktpreis enthalten sind (19, 26).

ZUSAMMENFASSUNG DER AKTUELLEN EMPFEHLUNGEN FÜR UNTERNEHMEN

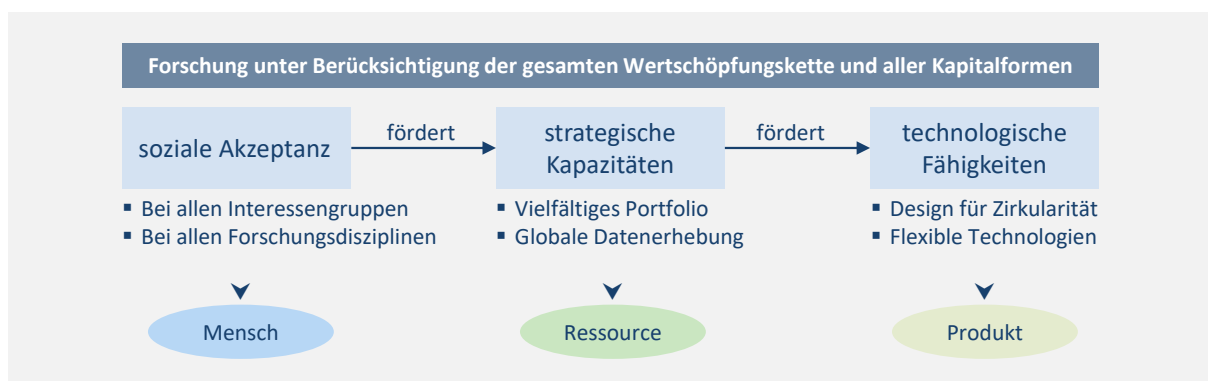
- **Technologische Innovationen allein reichen für das Gelingen der Transformation nicht aus**, sondern müssen in zirkuläre Geschäftsstrategien integriert werden.
- **Um den Übergang voranzutreiben, sind zirkuläre Geschäftsmodelle erforderlich**, die sowohl die interne Zusammenarbeit als auch die Zusammenarbeit im gesamten Liefernetzwerk steuern. Sie stellen den Kunden als Nutzer und nicht als Verbraucher in den Mittelpunkt und sichern wirtschaftliche, soziale und ökologische Vorteile.
- **Eine breite Palette von Endprodukten und Dienstleistungen, die sich an den Bedürfnissen der Kunden orientiert**, ist wichtig für einen widerstandsfähigen Forst-Holz-Sektor.
- **Widerstandsfähige, zirkuläre Wertschöpfungsnetze hängen von verschiedenen, zuverlässigen Partnern ab**, die Wissen und Ressourcen austauschen und kombinieren, um gemeinsame Lösungen und technologische Innovationen zu entwickeln.
- **Eine verlängerte Lebensdauer für Produkte und Ressourcen** soll das Ziel einer innovativen Ressourcennutzung sein. Sie gelingt durch innovatives Produktdesign, Netzwerke von kaskadierende Wertschöpfungsketten und den Verkauf von Dienstleistungen anstelle von Produkten.
- **Langfristige Planung und die Antizipation von Veränderungen** sind für das Überleben von Unternehmen unerlässlich. Von zentraler Bedeutung sind deshalb die vorausschauende Forschung und der Dialog mit allen Beteiligten (Mitarbeitern, Partnern, Kunden, Wissenschaft, Politik).
- **Der Aufbau von Vertrauen innerhalb der Lieferkette** kann den Übergang beschleunigen. Dafür sind Kommunikation, Weiterbildung und die Vereinbarung von Regeln wesentlich.

2.4 Unterstützung aus der Forschung

2.4.1 Aufbau sozialer Akzeptanz, strategischer Kapazitäten und technologischer Fähigkeiten

Die Frage, wer bei der Umstellung des Wirtschaftssystems auf eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie zu den **Gewinnern und Verlierern** zählt, ist von entscheidender Bedeutung für die Akzeptanz dieser Transformation (58). Die langfristigen Vorteile eines Übergangs sollten für alle Beteiligten, von der Öffentlichkeit über die Unternehmen bis hin zur Regierung, aufgezeigt werden (19, 27, 49). In der aktuellen Forschung dominiert jedoch die Unternehmensperspektive mit einem Schwerpunkt auf Recycling- und Abfallmanagementstrategien. Innovative Design- oder Geschäftsmodelle, die zudem auch die Verbraucherperspektive berücksichtigen, hätten einen viel größeren Einfluss auf den Erhalt des Ressourcenwerts. Dennoch wird zu diesen Aspekten derzeit noch selten geforscht. **Es liegt in der Verantwortung der Wissenschaft, nicht nur neue Technologien¹ zu entwickeln, sondern auch Ideen für die Akzeptanz und den Betrieb solcher Modelle** (5, 47, 68) (Abb. 7).

Abb. 7 Eine ausgewogenere Forschung könnte die Transformation unterstützen. Bislang konzentriert sich die Forschung auf technologische Innovationen und übersah dabei weitgehend die sozialen und strategischen Veränderungen, die für die Systemumstellung erforderlich wären.



Neben dem Logistikmanagement (13) ist das Wissen um die Ressourcenbeschaffung eine der wichtigsten strategischen Kompetenzen in der Forst- und Holzwirtschaft (13, 43). Für **verlässliche Informationen über das potenzielle Angebot** ist ein Einblick in die komplexen Abhängigkeitsverhältnisse zwischen den Beteiligten unerlässlich (12). Ein breites Spektrum digitaler Technologien kann heute die Akteure und Sektoren der Lieferkette integrieren und liefert detaillierte (Echtzeit-)Informationen über Materialien und Produkte (27, 32). Um weltweit vergleichbare Daten über biobasierte Materialien (10, 23), sowie über die Zusammensetzung und Qualität von Altholz (Endprodukt und Industrieholz) zu erhalten (24, 67), sind Wissensaustausch und offene Datenbanken erforderlich. Ein **proaktives, integriertes Ressourcenmanagement**, das die Nutzung von Rohstoffen bei minimalen wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Kosten maximiert (27, 31), wird so möglich.

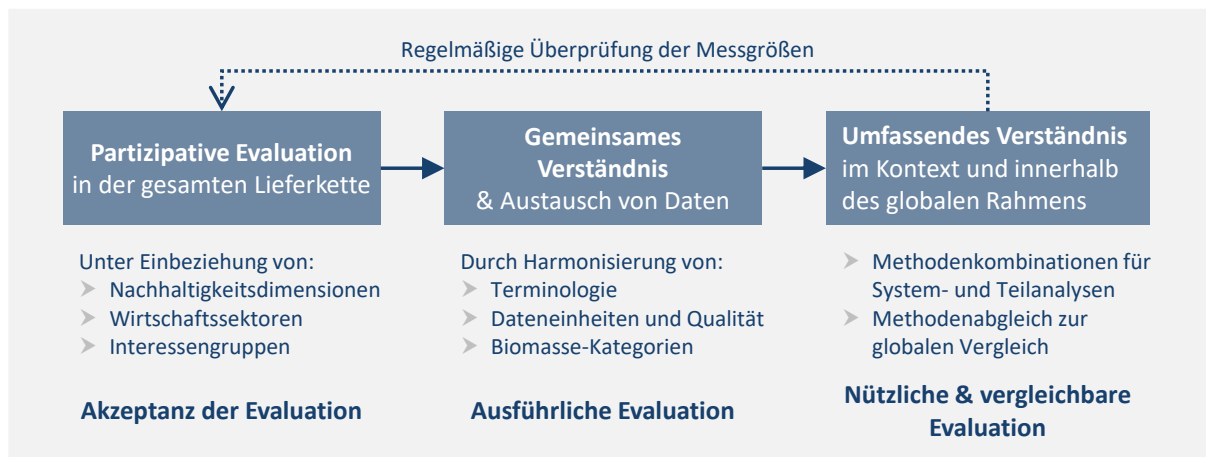
¹ Integration neuer Technologien in die bestehende industrielle Infrastruktur durch Kompatibilität mit bestehenden Produktions-, Verarbeitungs- und Recyclingsystemen (47).

Investitionen in angepasste Verarbeitungs- und Herstellungsverfahren (3, 10) können **zu einem möglichst einfachen Design führen** (24). Würden trennbare, erneuerbare und nicht erneuerbare Materialien² weniger stark vermischt, würde dies die Wiederverwendung erleichtern (23, 35, 67, 71). Ergänzend wären wirksame **Verwertungs- und Auftrenntechnologien**³ interessant, die auf einer besseren Kenntnis der Zusammensetzung von Altholz beruhen (10, 25).

2.4.2 Bewertung der Fortschritte auf dem Weg zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie

Angeichts der Komplexität, die es zu bewältigen gilt (Abb. 8), gibt es weder ein Standardverfahren noch eine für alle Bedingungen geeignete Methode zur Überprüfung der Fortschritte auf dem Weg zu einer nachhaltigen Kreislauf-Bioökonomie (32, 35, 47, 72). Die nachhaltige Holzproduktion und -verwendung erstreckt sich über mehrere Wirtschaftssektoren und berücksichtigt Akteure der Wertschöpfungskette auf globaler Ebene, über längere Zeiträume und unter Einbeziehung aller drei Nachhaltigkeitsdimensionen (58, 61). Dabei zielt sie sowohl auf quantitatives als auch qualitatives Wachstum aller Formen von Kapital – also Natur-, Wirtschafts- und Humankapital (49). Eine nachhaltig umgesetzte Kaskadennutzung ist somit eine kontextabhängige Integration von Strategien zum Erhalt von Ressourcen (40, 52). Weil der Materialfluss unterschiedlich gestaltet werden kann (u. a. Produktlebensdauer, Anzahl der Recyclingzyklen, Entsorgung am Ende des Lebenszyklus) sind Kompromisse und Konflikte zwischen den Beteiligten zu erwarten. Damit alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigt und die Bewertungsergebnisse akzeptiert werden, ist daher ein partizipativer Ansatz zur Bewertung der Fortschritte wichtig (34, 54, 58, 61, 73). Der Austausch von Daten über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg würde die Entwicklung von Datenbanken erlauben, die eine vielfältige Nutzung ermöglichen (58) und auch die Chance auf einen einfachen Vergleich von Studien bieten (74).

Abb. 8 Die Bewertung der Fortschritte auf dem Weg zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie erfordert eine Kombination von Sichtweisen und Methoden, um die Komplexität zu berücksichtigen. Inspiriert durch (54, 58).



² Biologisch abbaubare Materialien mit möglichst wenig Zusatzstoffen (wie Leime, Farben, Lacke, Holzbehandlungsmittel) ermöglichen es, biologische Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufe zu schließen, die Regeneration der Wälder zu gewährleisten und gleichzeitig die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu verringern. Nicht biologisch abbaubare Ressourcen sollten so lange wie möglich in den Kreislauf zurückgeführt werden, um ihren Wert zu erhalten und die Deponierung zu minimieren (21, 24, 35, 67, 70).

³ Die Sortierung der verschiedenen und kontaminierten Materialien kann mit spektrometrischen Detektoren, Dichte- oder magnetischen Methoden erfolgen. Die Reinigung kann mit biophysikalischen (z. B. Temperatur) oder biologischen (unter Verwendung von Holzerfallsbakterien und -pilzen) Ansätzen erfolgen. Es wurden zwar verschiedene Patente entwickelt, aber ein industrielles Verfahren steht noch aus (67).

Systemanalysen sollten, zumindest in der Übergangszeit, ein wesentlicher Bestandteil der Fortschrittsbewertung sein, wenn zuverlässige und vollständige Daten für die Wertschöpfungsnetzwerke fehlen (58). Die Modellierung vernachlässigt die Komplexität des realen Lebens, sodass die Ergebnisse der Indikatorenbewertung nur ein theoretisches Potenzial darstellen (55, 74). **Für ein umfassendes Verständnis⁴ des Fortschritts sollte eine Bewertung von Kennzahlen daher mit einer Systemanalyse kombiniert werden** (5, 20, 21, 46, 73, 75). Nur eine Systembetrachtung der verschiedenen Materialflüsse, die sich über die Netzwerke der Lieferketten erstrecken, kann eine Vorstellung vom Stand der Transformation vermitteln. Sie kann außerdem Wege zur einer wachsenden Kaskadennutzung aufzeigen sowie zur Anpassung von Investitionen, Politikgestaltung und Anreizen (5, 68, 75). Die Kombination von Techniken und Indikatoren⁵ kann die Entscheidungsfindung erleichtern, indem sie individuelle Schwächen umgeht und Stärken verbindet (22, 61).

Die Ökobilanz (LCA) ist die vorherrschende Methode zur Bewertung der Umweltauswirkungen von Holzprodukten. Obwohl es Vorgaben der Internationalen Organisation für Normung⁶ gibt, variieren die LCA-Studien in ihrem Aufbau (55, 74, 76). Gesellschaftlich relevante Überlegungen werden nur unzureichend berücksichtigt und die Ergebnisse bleiben unklar (27, 41, 61, 74).⁷ **Ein großes Manko bei der Überwachung des Fortschritts** (im Laufe der Zeit und zwischen verschiedenen Sektoren und Orten) der Transformation **ist derzeit die fehlende Harmonisierung (77) von sowohl der Terminologie⁸ (23, 32) als auch der Daten** (Methoden, Einheiten, Qualität) (51, 75, 78).

Es besteht kein Bedarf an neu entwickelten Indikatoren⁹ und Bewertungsrahmen,¹⁰ sie müssen lediglich harmonisiert (61) und nach Prioritäten geordnet werden (58): Es gibt viele nützliche Indikatoren für die nachhaltige Waldbewirtschaftung, für die nachhaltige Entwicklung, die Bioökonomie und die zirkuläre Wertschöpfung, die alle eng miteinander verknüpft sind. Das liegt daran, dass die Wälder viele verschiedene Ökosystemleistungen erbringen und der Forst-Holz-Sektor sehr erfahren in ihren Monitoring ist (58).¹¹ Bestehende Kennzahlen müssen nur angepasst werden, um festzustellen, wo Änderungen erforderlich sind, damit alle Vorteile einer zirkulären Bioökonomie genutzt werden können (23, 24). Da die bestehenden Indikatoren häufig für internationale Zwecke entwickelt wurden, **sollten für standortabhängige Aspekte lokale**

⁴ Methoden wie z. B. die Exergieanalyse sind einfacher zu vergleichen als die Ökobilanz, vernachlässigen aber die Systemkomplexität, da sie nur einen Teil der tatsächlichen Auswirkungen beschreiben. Das thermodynamische Konzept bewertet Ressourcen nicht über ihren energetischen Wert hinaus und würde daher nur die Holzproduktion als nützlichen Output des Bodens zählen und nicht die Auswirkungen auf die Bodenproduktivität oder den Ressourcenabbau aufzeigen (21).

⁵ Ökobilanzielle Wirkungskategorien können als Indikatoren für die Auswirkungen und Abhängigkeiten von bioökonomischen Aktivitäten auf Ökosysteme interpretiert werden (41).

⁶ So wird z. B. darauf hingewiesen, dass der LCA-Ansatz vollständig konsekutiv sein sollte und dass eine Systemerweiterungsmethode empfohlen wird (21, 74).

⁷ Während positive Auswirkungen der Kaskadennutzung auf Kategorien wie globale Erwärmung, Nutzung fossiler Energieträger, Flächennutzung, Toxizität und Nutzung biotischer Ressourcen nachgewiesen wurden, sind die Auswirkungen u. a. auf Wassernutzung, Ozonabbau, Eutrophierung und Böden noch unklar (74). Unsichere Ergebnisse ergeben sich auch aus (i) mangelnder praktischer Erfahrung mit wiederverwendetem (massivem) Holz und (ii) dem Zeithorizont von Kaskadensystemen, der bis zu 100 Jahre und mehr betragen kann (z. B. wiederverwendetes Bauholz, das ein zweites Mal als Massivholz in Möbeln wiederverwendet wird) (21).

⁸ Zum Beispiel die Terminologie der verschiedenen Strategien der Ressourcenerhaltung oder der Holzverarbeitungsrückstände.

⁹ Hinzu kommt, dass es zwar eine übermäßige Anzahl von Indikatoren gibt, aber häufig Daten fehlen (72, 78). So erschwert beispielsweise der Mangel an Daten über die aktuellen Produktbestände einer Volkswirtschaft eine genaue Bestimmung der Lebenszeitfunktionen (55).

¹⁰ So könnte beispielsweise der Status von Umweltmanagementsystemen als Indikator für den Grad der Einführung der zirkuläre Wertschöpfung verwendet werden (8). Der Logical Framework for a Sustainability Assessment (LOFASA) wird als ganzheitlicher Ansatz für eine indikatorbasierte Nachhaltigkeitsbewertung vorgeschlagen (78).

¹¹ Die in den 90er Jahren aufgestellten Indikatoren für die nachhaltige Waldbewirtschaftung wurden ein Jahrzehnt später unter Beteiligung verschiedener Sektoren (Umwelt, Energie, Wasser, Bioökonomie usw.) überarbeitet, was den hohen Anteil forstbezogener Indikatoren bei der Überwachung der Fortschritte in der Bioökonomie erklärt (58).

Daten und Fachkenntnisse genutzt werden. So erhalten die Interessenten relevantere Informationen, die sowohl praktikabel als auch exakt sind (61). Die Kombination von Indikatoren muss im Einklang stehen mit nationalen/regionalen Prioritäten, in Verbindung mit sozioökonomischen, ökologischen, geografischen und kulturhistorischen Rahmenbedingungen (58). Voraussetzung für das Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung ist, dass weder die spezifischen Ziele noch der Pfad festgelegt sind (58, 73). **Das Bewertungssystem für eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie sollte daher ein flexibles, regelmäßig überarbeitetes Instrument sein,** das sich an veränderte Rahmenbedingungen anpassen lässt (58, 78).

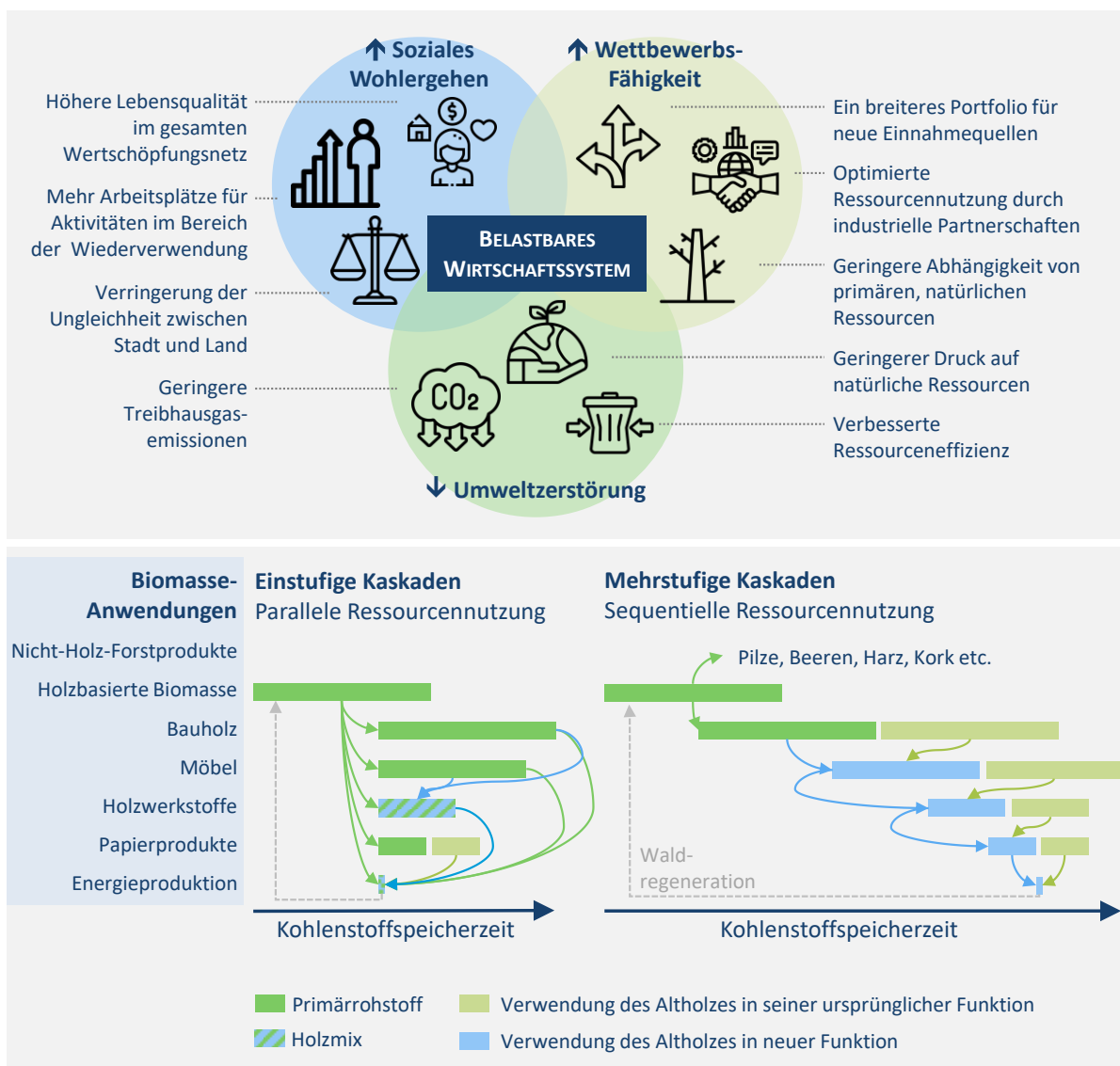
ZUSAMMENFASSUNG DER AKTUELLEN EMPFEHLUNGEN FÜR DIE FORSCHUNG

- **Koordinierte Forschung zur Beschleunigung von Innovationen** zu einer zirkulären Wertschöpfung durch (i) Entwicklung einer einheitlichen Definition für alle Forschungsdisziplinen, (ii) Berücksichtigung der verschiedenen Strategien, Sektoren, Interessengruppen und Perspektiven, einschließlich unternehmerischer, aber auch ökologischer und sozialer Aspekte.
- **Im Zentrum jeder Wirtschaft stehen die Menschen** entlang der gesamten Wertschöpfungskette, die von den Vorteilen einer Umstellung überzeugt werden müssen.
- **Darstellung, wie vielfältig das Produktportfolio sein kann**, indem zuverlässige Informationen über das potenzielle Ressourcenangebot in dem komplexen Netz der Lieferketten bereitgestellt werden.
- **Eine internationale Datenauswertung** von Produkten, Ressourcen (neuwertig, bereits genutzt, Nebenprodukte) und ihrer Qualität würde ein proaktives und integriertes Ressourcenmanagement ermöglichen. Wissensaustausch und digitale Technologien können diese Analysen erleichtern.
- **Design für eine breite Palette von zirkulären Produkten, und Entwicklung von Leitlinien für Produkt- und Prozessdesign und innovative Technologien**, um die Vielfalt der verwendeten Ressourcen, ihre Funktionalität und Nutzungsdauer zu maximieren.

3 Stärken und Schwächen

3.1 Stärken: Der potenzielle Nutzen

Abb. 9 Die potenziellen Vorteile eines Übergangs zu einer nachhaltigen zirkulären Bioökonomie. Strategien für den Werterhalt von Ressourcen, die die Nutzung von Holz in mehrstufigen Kaskaden ermöglichen, können Arbeitsplätze, Ressourcenversorgung und gesunde Ökosysteme sichern.



Wirtschaftlicher Wettbewerbsvorteil durch widerstandsfähige Wertschöpfungsnetzwerke

Resilienz durch eine geringere Abhängigkeit von der (forstlichen) Biomasseproduktion (23) ist damit verbunden, dass Holz in Kaskaden verwendet wird, die das Holzangebot erweitern (3, 24). Auf diese Weise können Unternehmen Versorgungsrisiken besser bewältigen, während gleichzeitig die Nutzung natürlicher Ressourcen ausgeglichen wird, auf die alle Formen von Kapital angewiesen sind (4). **Eine optimierte Nutzung von Ressourcen in industriellen symbiotischen Netzwerken** (13, 33) bringt den Firmen zusätzliche Flexibilität, sodass sie besser

auf sich schnell verändernde externe Faktoren reagieren können (27, 70). Der Austausch von primären Rohstoffen und wiedergewonnenen Ressourcen, von Wasser und Energie, Technologien, Infrastruktur und Dienstleistungen zwischen voneinander abhängigen Industriezweigen könnte zu einer **geringeren Abhängigkeit von externen Ressourcen** führen und damit zu **niedrigeren Kosten** (33, 47, 52, 53, 66, 70).

Die reguläre Holznutzung erfolgt heute jedoch in einer lediglich ein- oder zweistufigen Kaskade (3, 24, 67), sodass das wirtschaftliche Potenzial von mehrstufigen Kaskaden weitgehend ungenutzt bleibt (10, 20) (Abb. 9). Zirkuläre Ansätze könnten den Forst-Holz-Sektor beleben und **neue Einnahmequellen** schaffen (13, 19, 53), indem sie das volle Spektrum potenzieller Biomasseanwendungen (24, 26) und Dienstleistungen nutzen, wie zum Beispiel die Bereitstellung von lizenziertem Wissen für andere Unternehmen (25, 47). **Eine breite Palette von Produkten (mit höherem Mehrwert)** (13, 23, 27) würde den Schwerpunkt in der Fertigung von der schnellen Produktion von Waren für gesättigte Massenmärkte wegführen (25). Es ist die Kombination von Effizienz- und Suffizienzstrategien, die die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit steigert (25, 49), indem sie kontinuierlich Werte schöpft, erhält und neue schafft (32), und zwar im Interesse der Allgemeinheit (18).

Geringere Umweltbelastung während des gesamten Produktlebenszyklus

Eine erhöhte Nachfrage nach Biomasse könnte zu einem erhöhten Druck auf die Holzressourcen führen. Eine nachhaltig umgesetzte, zirkuläre Bioökonomie, die weniger von primären Rohstoffen abhängig ist, könnte diesen **Druck auf die natürlichen Ressourcen verringern** (24, 33, 35, 47, 70). Eine Kaskadennutzung von Holz erhöht die Material- und Energieeffizienz und könnte sich im Vergleich zur linearen Nutzung von Primärholz positiv auf die Landnutzung und die biologische Vielfalt auswirken (21, 31, 32, 70) sowie **Ökosystemleistungen begünstigen** (3). Weitere Umweltvorteile ergäben sich aus der Minimierung der Deponierung und damit der potenziellen Bodenverschmutzung. Außerdem können Nährstoffkreisläufe geschlossen werden, indem Abfälle aus der Industrie und der Forstwirtschaft zur pH-Korrektur und Düngung des Bodens verwendet werden (70).

Eine gesteigerte Ressourceneffizienz geht zudem mit einem geringeren Verbrauch fossiler Brennstoffe (als Energieträger und Ausgangsstoff für Chemikalien wie Klebstoffe) einher (21, 31), was zu einer **Verringerung der Treibhausgasemissionen** führt (33, 52). Diese würden sich auch bei der Nutzung erneuerbarer Energiequellen ergeben, die kein weiteres Wertschöpfungspotenzial haben (24, 52, 70), sowie aus der Substitution fossiler Produkte durch forstbasierte Produkte (10). Um die Regenerationsfähigkeit der Biomasse (35) und damit die Kohlenstoffneutralität (4) zu gewährleisten, ist jedoch eine längere Zeit der Kohlenstoffspeicherung (24) erforderlich.

Steigerung der Lebensqualität im Wertschöpfungsnetzwerk

In einer zirkulären Wertschöpfung, in der das geerntete Holz optimal genutzt wird, sind **mehr und vielfältigere Jobchancen** zu erwarten. Eine arbeitsintensivere Wirtschaft könnte die menschliche Arbeitskraft, die vergänglichste aller Ressourcen, effektiver nutzen (24, 32, 33, 66, 70). Neue Lieferketten und Produktionsprozesse könnten die **lokale, regionale oder nationale Selbstversorgung stärken** und die Symbiose innerhalb und zwischen den Wirtschaftssektoren maximieren (24, 52, 62).

Auch das Gefälle zwischen städtischen und ländlichen Gebieten (z. B. bei Beschäftigung, Einkommen, Wertschöpfung, Bildung) **könnte durch die Transformation abnehmen** (33, 58). Nichtholzprodukte aus dem Wald können beispielsweise eine zentrale Rolle in der ländlichen Entwicklung spielen, wenn ihr volles Potenzial in einer zirkulären Bioökonomie anerkannt wird (45). Eine höhere Lebensqualität im gesamten Kaskadennetzwerk könnte sowohl den Produzenten als auch den Nutzern zugutekommen. Sinnvolle Arbeit, die Produktion eines größeren Portfolios und der **Zugang zu teuren Produkten** bieten dem Verbraucher Wahlmöglichkeiten. Wiederaufbereitete Produkte werden weniger kosten als neue, ebenso wie Produkte, die als Dienstleistung und nicht als Eigentum geliefert werden (47, 66).

3.2 Schwachstellen: das Fehlen eines ganzheitlichen Zielkonzeptes

Die unklare Bedeutung der zirkulären Ökonomie

Das Wort „Zirkularität“ wird häufig verwendet, aber seine Bedeutung bleibt meist unklar. Bislang gibt es keine allgemein akzeptierte Terminologie zu diesem Thema. Damit die zirkuläre Wertschöpfung erfolgreich umgesetzt werden kann, muss zwischen den Forschungsdisziplinen und den verschiedenen Ländern jedoch ein Konsens über die Bedeutung des Begriffs herrschen, genauso über die Möglichkeiten des Werterhalts von Ressourcen und den Bezug zur Nachhaltigkeit (6, 29). **Das Fehlen einer harmonisierten Terminologie behindert eine ausgewogenere Forschung,** die aber notwendig ist, wenn Innovationen in Richtung einer nachhaltigen zirkulären Wertschöpfung gelenkt werden sollen. Alle Elemente der Wertschöpfungskette, die mehrere Sektoren umfassen, sollten berücksichtigt werden (53, 59).

Die Nichtbeachtung des Ist-Zustands

Die Möglichkeiten zur Kaskadennutzung werden bei bereits vorhandenen Materialien, Produkten und Technologien (die also noch nicht im Hinblick auf eine solche Nutzung entwickelt wurden) anders aussehen, als bei innovativen Varianten. Die **derzeitigen Produktionstechnologien** sind beispielsweise möglicherweise noch nicht in der Lage, recycelte Materialien (auf wirtschaftliche Weise) zu verarbeiten (29, 66). Hinzu kommen die aktuellen Preise für Energieholz, die aktuellen Regelungen sowie die **schwankende Verfügbarkeit und Qualität von massivem Altholz**, die eine Wiederverwendung erschweren. Holzprodukte enthalten zudem oft einen Materialmix und/oder Schadstoffe (3, 68). Die Produktgestaltung mit sekundären Materialien und Komponenten birgt auch **Risiken für die menschliche Gesundheit und Sicherheit** (32, 46). Diese werden entweder durch toxische Altstoffe (verbotene Chemikalien, die aufgrund der langen Lebensdauer und/oder der Wiederverwendung noch vorhanden sind) verursacht oder durch höhere Kontaminationswerte, die bei der Vermischung von Materialien bei der Abfallentsorgung entstehen (29, 63). Die Kombination von wertvollen Ressourcen und gefährlichen Stoffen in Abfällen führt häufig zum Downcycling, d. h. zur Verwendung in weniger anspruchsvollen Funktionen als ursprünglich (63).

Ungewisser Nutzen

Sinnvolle Umweltauswirkungen können behindert werden, wenn möglichen **Rebound-Effekten** keine Aufmerksamkeit geschenkt wird (19, 26, 32). Rebound-Effekte entstehen beispielsweise, wenn zirkuläre Innovationen zu einem Anstieg von Produktion und Verbrauch führen und sie somit die ursprüngliche Optimierung der Ressourceneffizienz zunichtemachen (29, 46). Ein weiteres Beispiel ist die Vergiftungsgefahr bei der Verwendung potenziell gefährlicher Schadstoffe, die sich entlang der Kaskade anreichern könnten. Dies würde dann die Vorteile der Wiederverwendung von Holz zunichtemachen (53, 63).

Das Fehlen einer an die zirkuläre Wertschöpfung angepassten internationalen Standardisierung von Prozessen, Produkten und Vorschriften behindert die stoffliche Nutzung von wiedergewonnenem Holz (3, 43). Eine verbesserte Struktur der Codes des Harmonisierten Systems (HS) der Weltzollorganisation würde den Handel mit Waren und Dienstleistungen der zirkulären Wertschöpfung ermöglichen, genauso Zollverfahren und Kategorisierungen für Finanzen und Investitionen (62).

Rahmenbedingungen für die Produktsubstitution wurden vorgeschlagen, um die Produktgestaltung mit biobasierten Materialien zu unterstützen (32). Die Auswirkungen eines solchen Ersatzes fossiler Produkte durch forstbasierte Produkte sind jedoch bislang nicht vollständig untersucht. Das Verständnis der Umweltauswirkungen ist auf die Klima- und Produktebene beschränkt, und es bestehen weiterhin **Wissenslücken hinsichtlich der Auswirkungen der Substitution** auf andere Umweltfaktoren und auf der Ebene von Märkten und Ländern, sowie in globaler Perspektive (10, 28, 73).

Die unbekanntenen Gewinner und Verlierer

Mit den betroffenen globalen Wertschöpfungsketten und Märkten sind **geopolitische Risiken** verbunden. Wenn Länder sich stark selbst versorgen, kann dies zu Handelsprotektionismus oder Handelsliberalisierung führen (13, 62). Die Liberalisierung des Handels birgt das Risiko, dass Länder mit niedrigem Einkommen zur Müllhalde für minderwertige, giftige Abfälle werden (62). Den Regierungen wird daher empfohlen, den internationalen Handel in ihren Strategien für die zirkuläre Wertschöpfung zu berücksichtigen (10), damit ein nachhaltiger Übergang auch einen gerechten Übergang mit sich bringt (29, 62). **Leakage-Effekte**, wie der Export von Abfällen, behindern die erfolgreiche Umsetzung einer zirkulären Wertschöpfung (6). Auch die Überschreitung der ökologischen Tragfähigkeit von Wäldern im Ausland zum Schutz der heimischen Wälder ist ein solcher Leakage-Effekt (3, 79).

Der Wettbewerb um Ressourcen könnte auch zum Ersatz traditioneller Holzprodukte durch nicht-erneuerbare Materialien führen (10, 28). Wenn politische Maßnahmen integriert werden, die den Transformationsprozess vorantreiben sollen, besteht die Gefahr einer Desintegration der Forstpolitik: Die im Vergleich zu anderen Wirtschaftssektoren relativ schwache Verhandlungsmacht des Forst-Holz-Sektors wirft die Frage auf, ob die Interessen der Forstakteure geschützt werden müssen (42). Um zu vermeiden, dass die Transformation durch **etablierte wirtschaftliche Interessen** innerhalb und außerhalb des Holzsektors kontrolliert wird, sollten die verschiedenen Perspektiven aller Beteiligten zusammengetragen werden (18, 38).

Trotz ihrer geringen Gewinnspannen könnten KMU von einer zirkulären Bioökonomie profitieren, aber auch herausgefordert werden. Der Aufbau von Netzwerken untereinander gilt als ihre wichtigste Innovationsstrategie (46, 47). KMU verfügen über viel Know-how über zirkuläre Wertschöpfung (25). Sie können sich in Öko-Industrieparks zusammenschließen (industrielle Symbiose) (8) und sowohl mit Partnern innerhalb als auch außerhalb ihrer Wertschöpfungskette kooperieren, etwa mit Forschungszentren. Sie würden so Teil eines lokalen (50) als auch internationalen Lieferkettennetzwerks (47).

Die Herausforderung der Verflechtung

Eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie erfordert die Antizipation potenzieller Veränderungen auf jeder Stufe der Wertschöpfungskette, von der Waldbewirtschaftung bis zur Verbrauchernachfrage (10, 24, 50). Um alle Kosten zu internalisieren, sollten die Folgen des Ressourcenkreislaufs zeit- und raumübergreifend bewertet werden (10, 29, 46), denn **in hohem Maße miteinander verzahnte Fragestellungen sind mehr als wahrscheinlich** (24, 32, 63). Doch es herrscht ein großes Informationsdefizit über die komplexen Abhängigkeitsverhältnisse zwischen den Akteuren (12): Sie sind weltweit und in einer Vielzahl von Sektoren tätig, von der Forst- und Holzwirtschaft über die Wasser- und Abfallwirtschaft, bis hin beispielsweise zu den Bereichen Energie, Gesundheit, Bildung und Logistik (31, 32, 43).

Die Logistik stellt die zirkuläre Wertschöpfung vor bedeutsame wirtschaftliche und verwaltungstechnische Herausforderungen. Unterschiedliche Lieferströme (für neue und gebrauchte Produkte, ihre Ressourcen und Nebenprodukte), Transportwege und -mittel sowie verstreute Anlagen (z. B. für Sammlung, Lagerung, Recycling, Sortierung und Dekontaminierung) müssen bewältigt werden (19, 26). Die Planung der Rückwärtslogistik (reverse logistics) ist dann von entscheidender Bedeutung, denn sie verbindet die verschiedenen Akteure entlang der Lieferkette miteinander und stellt eine Kaskadennutzung sicher (13, 32). Wo es räumlich möglich ist, können die Anlagen in der Nähe von Terminals für Langstreckentransporte angesiedelt werden (43). Alternativ können diese Aktivitäten lokal und in kleinem Maßstab gehalten werden: Sie finden dann nahe an den Nutzern statt und verwenden vielfältige, sekundäre Ressourcen, die lokal verstreut sowie in relativ geringen Mengen vorhanden sind [15].

4 Ein Leitfaden für den kollektiven Dialog über die Bedeutung eines möglichen Übergangs für den Forst-Holz-Sektor

DIE CHARTA FÜR HOLZ 2.0 IN DEUTSCHLAND ALS VORBILD FÜR MULTI-STAKEHOLDER-KOOPERATIONEN

Die Zusammenarbeit zwischen allen Akteuren des Forst-Holz-Sektors sollte gestärkt werden, um Innovationen im Bereich der zirkulären Wertschöpfung zu fördern und das Bewusstsein der Verbraucher für deren Produkte zu schärfen, denn damit steigt auch die Marktakzeptanz (10). Eine Angleichung der Ziele der verschiedenen Interessengruppen (Zivilgesellschaft, öffentlicher und privater Sektor) ist erforderlich, um die Vorteile einer zirkulären Wertschöpfung auszubauen und umzusetzen (29). In Deutschland bietet die Charta für Holz 2.0 ein ideales Diskussionsformat für die Forst- und Holzwirtschaft. Die Charta wurde 2017 ins Leben gerufen, um eine Plattform für einen intensiven Dialog und gemeinsames Handeln zu schaffen. Sie bringt Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft zusammen – ein einzigartiges Beispiel für die Zusammenarbeit und den Austausch von Best Practices (www.charta-fuer-holz.de).

4.1 Welche Teile des Konzepts der nachhaltigen zirkulären Wertschöpfung können genutzt werden, um eine nachhaltige Ressourcenversorgung des Forst-Holz-Sektors jetzt und in Zukunft zu gewährleisten?

Mit dem Aufkommen der Bioökonomie und der zirkuläre Wertschöpfung hat der Holzverbrauch zugenommen (z. B. für die Energieerzeugung, für Baumaterialien oder Chemikalien). **Die Kaskadennutzung von Holz erweitert die Verfügbarkeit von Biomasse**, was eine mögliche Unterversorgung verhindern kann (67, 73). Ein großes Potenzial liegt zudem in der Entwicklung von Technologien zur Zersetzung von Produkten, Komponenten und Materialien für die Wiederverwendung (25, 47, 67). Vor einigen Jahrzehnten wurde sogar gezeigt, dass die **Wiederverwendung von Gütern dem Recycling von Materialien wirtschaftlich überlegen ist** (25). Die Kosten für die Lagerung und Verbrennung von kontaminierten Holzabfällen beispielsweise sind sehr hoch (67). **Doch bislang werden nur geringe Mengen an hochwertigem Altholz für die weitere Verwendung zurückgewonnen** (20).

Der Erlass einer Verordnung für eine strenge Holznutzungshierarchie birgt jedoch das Risiko unbeabsichtigter Folgen. Die Behörden wären gezwungen, immer wieder Anpassungen vorzunehmen, was die Unsicherheit für Investoren erhöhen würde. Vorgeschriebene Mustern zur Ressourcennutzung könnten den Wandel außerdem auch durch Rechtsvorschriften behindern (30): Abfallvorschriften können ungewollt das Downcycling unterstützen (63), indem sie die Nachfrage nach Abfallströmen stagnieren lassen und das bestehende Abfallsystem festschreiben, da es keinen Anreiz zur Verringerung der Abfallproduktion gibt (46). **Abfall oder Restholz sollten nicht definiert werden:** Ein bestimmtes Material, das heute noch Abfall ist, kann morgen durch Innovationen schon ein Hauptprodukt sein – abhängig von seiner Funktionalität am Ende der Lebensdauer, der Nachfrage und dem Kontext (30, 46).

➔ **Stellen Sie sich die Auswirkungen einer Neudefinition des Begriffs "Abfall" vor.** Wieviel der heutigen Wald- und Holzabfälle stellt kein Gesundheits- oder Sicherheitsrisiko dar? Wäre es möglich, den Begriff "Abfall" aus allen Vorschriften zu streichen? Wie sollte die neue Terminologie aussehen, um so viele Innovationen wie möglich zu ermöglichen, ohne Schaden anzurichten?

Weltweit steigt die Nachfrage nach Holz, sowohl für die materielle als auch für die energetische Nutzung. Die veränderte Kundennachfrage, die steigende Produktionseffizienz und die Wiederverwendung von Ressourcen könnten jedoch **die Ressourcenkonkurrenz mit traditionellen Holzprodukten abschwächen** (10, 28). Der Einblick in das potenzielle Anwendungsspektrum von neuen und gebrauchten Ressourcen kann die Lebensdauer der Ressourcen verlängern, insbesondere wenn sie in kaskadierenden Netzwerken wiederverwendet werden (19, 26). Technische Verfahren könnten dazu beitragen, Beschränkungen aufzuheben, die bislang die Lebensdauer von Holzprodukten (z. B. im Bauwesen) verringern (55). Langlebige Anwendungen sowie Papierprodukte könnten

dann aus Material hergestellt werden, das bereits zuvor langfristig genutzt wurde (24). Auch in ökologischer Hinsicht wird die Schonung von Ressourcen empfohlen, sowohl für die stoffliche als auch für die energetische Nutzung, damit den Bestand jetzt und für die Zukunft zu sichern. **Biomasse sollte deshalb vorrangig für die menschlichen Grundbedürfnisse verwendet werden, angepasst an Zeit und Ort**, weniger aber für nicht-lebensnotwendige Produkte. Dies erfordert ein breites Engagement der Beteiligten (22, 23).

Rundholz wird weltweit zu 49 % unmittelbar für die Energieerzeugung genutzt (78). Holzabfälle werden in Europa hauptsächlich auf Deponien¹ und durch Verbrennung entsorgt und erst danach stofflich oder energetisch verwertet. In Deutschland wird zwar der größte Teil des Altholzes recycelt, aber primär für die Energieerzeugung eingesetzt. **Der Papiersektor ist heute der einzige Sektor mit einem hohen Anteil zirkulärer Wertschöpfung**: Der größte Teil des Altpapiers wird in der Papierproduktion wiederverwendet (3, 24, 67).

➔ **Stellen Sie sich die Auswirkungen einer kontextabhängigen Kaskadennutzung vor.** Was sind wesentliche forstbasierte Produkte, für wen, wann? Wie können die Ressourcen so verteilt werden, dass das Überleben des Waldes (und damit die Versorgung mit Holz) gewährleistet ist und gleichzeitig der Nutzen (für wen?) maximiert wird? Welche Faktoren müssten, abhängig vom Kontext, bei dieser Zuteilung berücksichtigt werden?

4.2 Welche Teile des Konzepts der nachhaltigen zirkulären Wertschöpfung können genutzt werden, um eine nachhaltige Nutzung von forstbasierten Produkten jetzt und in Zukunft zu gewährleisten?

Neue Geschäftsmodelle, die nicht länger auf die Massenproduktion eines bestimmten Artikels setzen, sondern auf die Fertigung vieler verschiedener Produkte, könnten die Widerstandsfähigkeit des Forst-Holz-Sektors erhöhen. Unternehmensstrategien, die darauf beruhen, enorme Ressourcenvorräte auf den Markt zu werfen, sind nicht mehr tragfähig. Komplexe globale Lieferketten, die durch verschiedene Unsicherheiten geprägt sind, verlangen nach einem großen Portfolio von Endprodukten (mit höherer Wertschöpfung), um eine Vielzahl von Märkten zu erreichen (13, 43, 47, 53). Durch einen Technologietransfer könnte sich so das volle Potenzial des Forst-Holz-Sektors entfalten und dessen internationale Wettbewerbsfähigkeit steigern (50). Der Entwicklung multipler Produktionspfade für die künftige Anwendung würde es ermöglichen, einige Produktlinien überflüssig zu machen (24). Weil einige Produkte sehr langlebig sind, werden neue Produkte, die die alten Ressourcen nutzen, erst mit Verzögerung auf den Markt kommen (51).

Generell kann die Nutzung aller alternativen Ressourcen, die Vielfalt von Weich- und Hartholzarten, frischer, Rest- und wiederverwendeter Biomasse, **die Holzversorgung sichern und neue Produkte hervorbringen.** Technologien, die so flexibel sind, dass sie unterschiedliche Ressourcen verarbeiten können, werden dann von Vorteil sein (3, 23, 43, 47, 57). Bioraffinerien zum Beispiel, die eine Vielzahl an unterschiedlichen Ressourcen verwenden können und daraus eine breite Produktpalette herstellen,² können einen tragfähigen Market Pull erzeugen und deshalb wirtschaftlich rentabel sein (27, 53). Derartige Anlagen können Holzgrundstoffe (Zellulose, Hemizellulose, Lignin) extrahieren und daraus beispielsweise medizinische (Arzneimittel), chemische (Enzyme, Tenside, Kunststoffe) oder energetische (Biogas, Ethanol, Wärme) Produkte herstellen sowie Textilfasern (27, 73).

Alternative Formen der Waldnutzung sollten als Chance gesehen werden statt als Einschränkung der Verwendung von Frischholz. Denn sie könnten fossile Materialien zum Teil ersetzen, dadurch Treibhausgasemissionen verringern und zudem auch **potenzielle Konflikte zwischen den Akteuren vermeiden**

¹ In der EU gibt es zwar einen Plan für den schrittweisen Ausstieg aus der Deponierung von Siedlungsabfällen (mit einem Höchstwert von 10 % im Jahr 2035) als Teil der zirkulären Wertschöpfungspolitik (51).

² Dies könnte Chancen für groß angelegte Bioenergieprojekte bieten, deren Erfolg von einer ganzjährig stabilen Versorgung in Bezug auf Menge, Qualität und Preis abhängt, und dies über Jahrzehnte (43).

(10, 44, 48). Dazu gehören zum Beispiel die Verwendung von Laubholz als Werkstoff anstatt als eine Energiequelle (12, 73) und auch die Nutzung von Nichtholzprodukten aus dem Wald (10, 45, 80). Der Grad und Wert dieser Nutzung wird derzeit möglicherweise unterschätzt, weil darüber Daten fehlen, jedoch könnte sie künftig eine zentrale Rolle in der Forst- und Holzwirtschaft und der ländlichen Entwicklung spielen (45, 80).

➔ **Stellen Sie sich die Auswirkungen einer Diversifizierung des Portfolios im Forst-Holz-Sektor vor.** Wie lässt sich die Forderung nach einer größeren Produktvielfalt in Einklang bringen mit der Forderung, weniger nicht-lebensnotwendige Produkte herzustellen, um die Ressourcenversorgung abzusichern? Wäre ein breiteres Produktportfolio machbar? Für wen und wie? Wie könnten Diversifizierungspfade aussehen? Würden sie die versprochene Widerstandsfähigkeit gegenüber Krisen garantieren?

Innovative Geschäftsmodelle sind der Schlüssel zu einem Übergang zu nachhaltigeren Produktions- und Verbrauchssystemen (47). Eine verstärkte Zusammenarbeit der Akteure stellt dabei das Schlüsselement dar (26). **Bei der nachhaltigen Entwicklung geht es nicht nur um das Redesign von Produkten, sondern auch um den Wandel von Organisationen**, um sie aus ihren Silos zu befreien. Die Beziehungen innerhalb und zwischen Regierung, Unternehmen und Zivilgesellschaft sollten gefördert werden, um gemeinsam öffentlichen Wert zu schaffen (18, 25). Der **Austausch und die Kombination von Informationen und Wissen** könnten Wettbewerbsvorteile bringen (12, 34) und den Übergang beschleunigen (25), denn so werden unter anderem Zweifel beseitigt über die Sicherheit, Effizienz und Traditionen (3, 32). Die Forschung sollte sich nicht nur koordinieren, um Wissenslücken in technischen Fragen zu schließen (12), sondern auch, um sich ökologischen und sozialen Aspekten zu widmen, die bisher wenig beachtet wurden (5, 29).

Der Schwerpunkt sollte daher auf der Sicherstellung der Produktionskapazitäten (wie Arbeitskräfte, Fabriken, Rohstoffe und Know-how) liegen, um **Investitionen für den Wandel bestmöglich zu nutzen**, und nicht darauf, ob wir sie uns leisten können (18). Wir brauchen qualifizierte Arbeitskräfte, die mit allen Tätigkeiten vertraut sind, die mit einer verlängerten Lebensdauer von Produkten zusammenhängen. Dies erfordert eine **Aufwertung der Berufsausbildung (25, 66) und der Bildungsprogramme** (z. B. für Architekten und Bauingenieure) (3, 6, 10). Das Vertrauen der Hersteller in den Umgang mit zurückgewonnenen Materialien wird zusammen mit ihren technischen Fähigkeiten und durch Qualitätsstandards steigen. Werden diese gemeinsam von allen Partnern entwickelt, können sie **Unsicherheiten über Produkteigenschaften und Verfahren beseitigen** (27, 32).

➔ **Stellen Sie sich vor, welche Auswirkungen die Umstrukturierung von Organisationen auf eine stärkere Zusammenarbeit hätte.** Was würde eine neue Geschäftsstrategie, die auf Kollaboration über die gesamte Wertschöpfungskette hinwegsetzt, konkret bedeuten? Wer wären die verschiedenen Kooperationspartner? Was könnten die verschiedenen Ziele der Zusammenarbeit sein, für welche Partner? Welche Konsequenzen (Risiken, Chancen) sind zu erwarten?

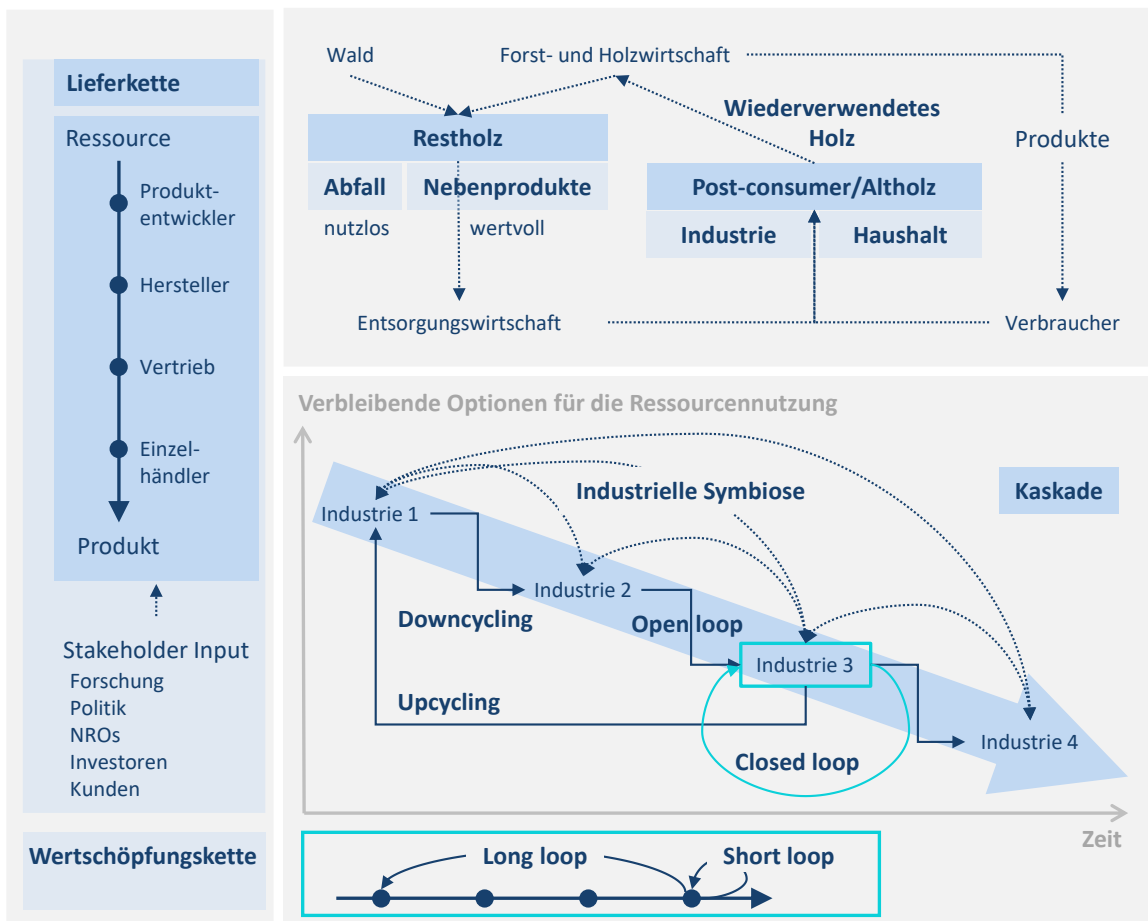
5 Glossar

ANMERKUNG:

Die Terminologie im Forst-Holz-Sektor (59, 77) sowie im Bereich der zirkuläre Wertschöpfung (23, 32) ist unklar und bei weitem nicht harmonisiert. **Die Definitionen sind oft vage, überschneiden sich und werden austauschbar verwendet** (59). Es gibt keine eindeutigen Definitionen, da sich die Terminologie im Laufe der Zeit weiterentwickelt (6, 27) und sich gesellschaftlichen Veränderungen (Perspektiven, Erkenntnisse, Herausforderungen, Prioritäten) anpasst (58). So veranschaulicht beispielsweise die Bioökonomie-Strategie der Europäischen Union diese kontinuierliche **Entwicklung der Terminologie und ihrer Bedeutung**: In der jüngsten Aktualisierung wird die Bioökonomie nicht mehr nur als Ersatz fossiler Ressourcen durch Bioressourcen verstanden, sondern sie zielt dort zusätzlich auch auf zirkuläre Wertschöpfung und Nachhaltigkeit ab (10, 58).

Es ist nicht das Ziel dieses Glossars, diese Frage abschließend zu klären, sondern es soll lediglich eine gewisse Klarheit über häufig verwendete Worte schaffen.

Abb. 10 Verdeutlichung des Zusammenhangs zwischen einigen Begriffen.



NOTIZ: Die Ordnung der Begriffe folgt der englischen Version.

- **Bioökonomie:** sektorübergreifende Produktions- und Verbrauchssysteme (11), die zumindest teilweise (78) auf erneuerbaren biobasierten Ressourcen anstelle von fossilen Ressourcen basieren, wobei Wälder eine Schlüsselrolle spielen (58). Im Gegensatz zu einer zirkuläre Wertschöpfung, die eine Änderung des Lebensstils befürwortet, konzentriert sich eine Bioökonomie auf die Art der verwendeten Ressourcen und nicht darauf, wie diese genutzt werden (27). Landnutzungsänderungen im Zusammenhang mit der Bioökonomie können zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen führen. Die (forstlichen) Ökosystemleistungen werden neben der Bereitstellung materieller Ressourcen in einer Bioökonomie nicht immer berücksichtigt. Außerdem sind biobasierte Ressourcen möglicherweise nicht in allen Umweltaspekten positiv. Daher ist eine Bioökonomie weder unbedingt nachhaltig noch zirkulär und kann sogar sehr ressourcenintensiv sein (4, 35, 39, 41).
- **Biomasse:** erneuerbare stoffliche Ressourcen (78).
- **Bioressourcen:** auch Biomasse genannt, erneuerbare materielle Ressourcen (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen und deren Produkte) (81).
- **Geschäftsmodelle:** die Grundlagen eines Unternehmens, die festlegen, welche Art von Wert geschaffen wird, auf welche Weise und für wen. Geschäftsmodelle zielen auf die Bedürfnisse der Kunden ab, um durch den strategischen Einsatz von Unternehmensressourcen, Technologien und Beziehungsnetzwerken Wettbewerbsvorteile zu erzielen (47).
- **Nebenprodukt:** Während der Begriff „Restholz“ keine Bewertung impliziert, sind Nebenprodukte gefragt und haben einen Marktwert (77). Industrielle Nebenprodukte werden häufig nach dem Herkunftssektor kategorisiert (Sägewerk, Holzwerkstoffindustrie, verarbeitende Industrie, Zellstoff und Papier) (75).
- **Kaskadennutzung:** eine Strategie, die darauf abzielt, Rohstoffe so lange, so oft und so effizient wie möglich nacheinander zu nutzen (10), wobei der Durchsatz von Produkten und Reststoffen aus verschiedenen Prozessen entlang und über Lieferketten hinweg aufeinander abgestimmt wird (53). Die Kaskadennutzung gewährleistet eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie, die die Holzversorgung aufwertet und sichert, indem sie alle Optionen für das Ressourcenmanagement am Ende des Lebenszyklus (R-Strategien) in einem Begriff zusammenfasst (40, 53).
- **Zirkuläre Bioökonomie:** die nachhaltige Produktion natürlicher Ressourcen durch sequentielle Nutzung über verschiedene Lebenszyklen und Anwendungen hinweg und anschließende Rückführung in das Ökosystem (24). Das Ökosystem wird in den Mittelpunkt gestellt und nicht nur die Ressourcen, wodurch sowohl die Abhängigkeit als auch die Auswirkungen einer Bioökonomie auf die Ökosystemleistungen anerkannt werden (4, 41). Die Konflikte und Synergien zwischen den verschiedenen potenziellen Biomassennutzungen zeigen, dass eine zirkuläre Wertschöpfung und eine Bioökonomie, die das Ökosystem im weiteren Sinne nicht berücksichtigen, nicht ausreichen, um das Ziel eines globalen Ressourcenmanagements zu erreichen, das die verschiedenen ökologischen Herausforderungen bewältigen kann (23, 47, 73). Selbst eine kreislauforientierte Bioökonomie ist jedoch nicht automatisch nachhaltig, weshalb auch die soziale Dimension im Mittelpunkt stehen sollte (4, 50).
- **Zirkuläres Geschäftsmodell:** Ein fokussiertes Unternehmen schafft, erfasst und liefert gemeinsam mit seinen Partnern Werte, um die Ressourceneffizienz zu erhöhen, indem es die Lebensdauer von Produkten und Halbwerten verlängert und so ökologische, soziale und wirtschaftliche Vorteile realisiert (19).
- **Zirkuläre Wertschöpfung:** ein Wirtschaftssystem, das auf eine nachhaltige Entwicklung abzielt, indem es die Nutzungsdauer von Ressourcen maximiert und die Verwendung von neuen und nicht erneuerbaren Ressourcen minimiert (62, 82, 83). Das Wirtschaftswachstum wird vom Ressourcenverbrauch abgekoppelt, indem in jede Materialeinheit ein Maximum an Arbeit gesteckt wird (langlebiges Design, Wiederverwendung, Wartung, Reparatur, Aufarbeitung, Wiederaufbereitung, Recycling) und in jeder Phase minimale Abfälle entstehen (von der Verwendung von nicht-giftigen Abfällen im Design bis hin zu Verpackung und Transport). Eine zirkuläre Wertschöpfung ist jedoch nicht per se nachhaltig (4, 24, 33, 52), da das Hauptaugenmerk auf

wirtschaftlichem Wohlstand und nicht auf der Umwelt liegt und das menschliche Wohlbefinden nur selten berücksichtigt wird (4, 52). Darüber hinaus ist eine so genannte enge zirkuläre Wertschöpfung, die nicht alle alternativen Nutzungsmöglichkeiten von Ressourcen ausschöpft, möglicherweise nicht nachhaltig, da sie nicht so lange wie möglich konserviert oder Mehrwert schafft (8, 33, 52).

- **Zirkularität:** der Zustand eines bestimmten Systems, einer Organisation, eines Produkts oder eines Prozesses, in dem die Ressourcenströme und Werte erhalten bleiben und gleichzeitig eine nachhaltige Entwicklung gefördert wird (83).
- **Cradle-to-Cradle:** ein Produktions- und Dienstleistungsmodell, das auf einem Design für Fülle (erneuerbar, langlebig, wiederverwendbar) basiert, Materialien recycelt, um Abfälle zu minimieren, und wirtschaftliche, soziale und ökologische Vorteile generiert (84). Auf diese Weise stellt es einen Rahmen für eine nachhaltige zirkuläre Bioökonomie dar (35). Cradle-to-Cradle kann auch ein Anhaltspunkt für die Systemgrenze einer Ökobilanz sein (andere Optionen: cradle to grave/gate, gate to gate) (41).
- **Downcycling:** Umwandlung von Abfallmaterial in ein wertvolleres Produkt, wobei jedoch die Zahl der verbleibenden Optionen für die Erhaltung des Ressourcenwerts durch Aufbrechen oder Abbau des Materials verringert wird.
- **Ökodesign:** Produktentwicklung mit geringeren Umweltauswirkungen während des gesamten (erweiterten) Lebenszyklus. Ökodesign-Produkte nutzen intelligent: (i) Materialien und Behandlungen (z.B. keine erdölbasierten Klebstoffe), (ii) Herstellungsprozesse (z.B. ohne Rückstände oder flexibel, um mehrere Teile des Baumes zu verwenden), (iii) Designoptionen (z.B. modulares Design, das den Lebenszyklus durch Kaskadennutzung verlängert) (10).
- **Foresight:** Ein Prozess, der darauf abzielt, alternative zukünftige Entwicklungen besser zu verstehen, indem eine Reihe von Methoden eingesetzt wird, um die möglichen Optionen für die Zukunft aufzuzeigen und Diskussionen anzuregen. Das Ziel besteht nicht darin, genau vorherzusagen, was in der Zukunft passieren wird, sondern das Bewusstsein für alternative Wege zu schärfen (48).
- **Forst-Holz-Sektor:** alle wirtschaftlichen Aktivitäten (Industrien), einschließlich der Produktion von Waren und Dienstleistungen, die auf forstbasierten Ressourcen (Bäumen, Holz und Nichtholzprodukten) beruhen. Es gibt jedoch keine allgemein anerkannte Definition des Forst-Holz-Sektors (85).
- **Forstbasierte Bioökonomie:** die Gesamtheit der wirtschaftlichen Tätigkeiten vom Anbau und der Ernte bis zur Verarbeitung, dem Verkauf, der Wiederverwendung und dem Recycling von Holz und Nichtholzprodukten aus dem Wald sowie der damit verbundenen Dienstleistungen. Es gibt jedoch keine international anerkannte Definition (59).
- **Grüne Wirtschaft:** nachhaltige Produktion und nachhaltiger Verbrauch, Eindämmung des Klimawandels und der Umweltzerstörung, Verbesserung der Ökosystemleistungen und Förderung des menschlichen Wohlergehens auf sozial integrative Weise (11, 17).
- **Industrielle Symbiose:** der Austausch von Ressourcen und Nebenprodukten, Technologien, Infrastrukturen, Dienstleistungen und Energie zwischen voneinander abhängigen Industrien. Er ist erforderlich, um eine kaskadenartige Nutzung von Materialien und Produkten zu erreichen (70).
- **LCA:** Lebenszyklusanalysen (Life Cycle Analyses) oder Ökobilanzen sind bewährte Instrumente zur Bewertung der verschiedenen Auswirkungen (ökologisch, wirtschaftlich, sozial) von Produkten während ihres gesamten Lebenszyklus. Sie können die Auswirkungen der Aktivitäten der zirkulären Bioökonomie auf die Nachhaltigkeit bewerten. Derzeit werden jedoch nicht alle gesellschaftlich relevanten Aspekte und Lebenszyklusstadien gleichermaßen gut integriert, wenn überhaupt (41, 61, 76).
- **Leakage-Effekt:** eine Verlagerung der Umweltbelastung von einem Ökosystem, einem Standort, einem Produkt usw. auf ein anderes. Deshalb ist ein ganzheitlicherer Ansatz erforderlich, um zu vermeiden, dass unbeabsichtigte Folgen die politischen Ziele untergraben (86).

- **Lock-in-Effekt:** Entscheidungen, Ereignisse oder Ergebnisse, die zu einem späteren Zeitpunkt die Anpassung, Abschwächung oder andere Maßnahmen und Optionen einschränken (87).
- **Kreisläufe:** Verlangsamende (langlebiges Design), schließende (Recycling), verengende (weniger Ressourcenverbrauch pro Produkt) (6, 32).
 - **Geschlossene Kreisläufe (*closed loops*):** Recycling innerhalb desselben Produktsystems
 - **Offene Kreisläufe (*open loops*):** Recycling innerhalb eines anderen Produktsystems
 - **Lange Kreisläufe (*long loops*):** R-Strategien, die am wenigsten wünschenswert sind, da sie die Gesamtströme von Materialabfällen verwalten, was oft zu einem Downcycling führt, welches aber als Input für kürzere Kreisläufe dienen kann
 - **Mittlere Kreisläufe (*medium loops*):** R-Strategien, die von Unternehmen durchgeführt werden, mit einer nur indirekten Verbindung zum Verbraucher. Sie bieten verschiedene Aufwertungsstrategien für gebrauchte Produkte
 - **Kurze Kreisläufe (*short loops*):** R-Strategien, die am meisten zu bevorzugen sind, da sie nahe am Verbraucher bleiben und die Lebensdauer von Ressourcen erhöhen, indem sie diese mit höchstmöglichem Wert über mehrere Zyklen hinweg nutzen
- **Market Pull:** die Bedürfnisse der Kunden schaffen auf dem Markt eine Nachfrage nach bestimmten Produkten (19, 53).
- **Offene Innovation:** die Kultur einer Organisation, die für den Austausch von Dienstleistungen und/oder Wissen über ihre Grenzen hinweg offen ist, was eine breite Interaktion zwischen den Akteuren ermöglicht. Sie erleichtert so das Schaffen von komplexem Wissen, neuen Produkten und anderen Innovationen zur Erfüllung künftiger Kundenbedürfnisse (65).
- **R-Strategien:** Optionen zum Erhalt des Ressourcenwerts. Sie leiten die Geschäftsmodelle in einer zirkuläre Wertschöpfung und ersetzen die End-of-Life-Strategie (Extraktion, Verarbeitung, Abfall) linearer Geschäftsmodelle (6, 52). Definitionen von R-Strategien aus (6, 54):
 - **Verwerten:** Abfall wird als Energiequelle oder wertvolle biochemische Verbindung genutzt.
 - **Recyclen:** Gewinnung von Rohstoffen aus weggeworfenen Materialien/Produkten durch Zerstörung der ursprünglichen Produktstruktur (Schreddern, Schmelzen usw.). Recycling kann innerhalb desselben Produktsystems (geschlossener Kreislauf) oder in einem anderen Produktsystems (offener Kreislauf) stattfinden und Post-Verbraucher-Abfälle (sekundäres Recycling) oder Post-Produzenten-Abfälle (primäres Recycling) umfassen.
 - **Reduzieren:** weniger verbrauchen, mit mehr Sorgfalt nutzen, Reparieren und Teilen (Verbraucher), reduzierter Einsatz oder Verzicht bei Energie, giftigen Stoffen (67), Rohstoffen und Produkten, Abfall reduzieren (Hersteller).
 - **Renovieren:** Die Struktur eines Produkts wird beibehalten, aber seine Funktion wird durch Verbesserung oder Modernisierung auf den neuesten Stand gebracht (z.B. durch Austausch oder Reparatur von Bauteilen).
 - **Ablehnen:** Verzicht statt Minimierung von Kauf und Verbrauch (Verbraucher), Verzicht auf Produktfunktionen, alternativ: Angebot der gleichen Funktion mit einem radikal anderen Produkt, Verzicht auf primäre oder gefährliche Materialien oder verschwenderische Produktionsverfahren (Hersteller).
 - **Wiederaufbereiten:** Zerlegung ausgemusterter Produkte, um die Einzelteile in neuen Produkten mit derselben Funktion zu verwenden (die dieselbe Qualität wie ein neues Produkt bieten).
 - **Reparieren:** Reparatur und Wartung defekter Produkte, um ihre Lebensdauer zu verlängern und die Nutzung der ursprünglichen Funktion zu ermöglichen.

- **Umfunktionieren:** Verwendung von ausrangierten Produkten/Bauteilen für neue Produkte mit einer anderen Funktion oder Verwendung von ausrangierten Produkten für eine andere Funktion (Wiederverwendung im offenen Kreislauf).
- **Umdenken:** das Entwickeln neuer Ideen und Lösungen zur Bereitstellung bestimmter Produktfunktionen.
- **Wiederverwenden:** Weiterverwendung von Produkten, die noch in gutem Zustand sind und ihre ursprüngliche Funktion erfüllen. Austausch unter Nutzern oder durch Sammler und Händler.
- **Rebound-Effekt:** ein Anstieg des Verbrauchs als unbeabsichtigter Nebeneffekt von Maßnahmen zur Verbesserung der Umwelteffizienz (auf politischer, marktbezogener und/oder technologischer Ebene). Er verringert somit das Verbesserungspotenzial und wird verursacht durch Reaktionen im Verhalten („das gute Gefühl, grün zu sein“) und/oder im System (Senkung des Preises und/oder des Energieverbrauchs; Veränderungen in Bezug auf Zeit, Raum, Ressourcen oder Technologien) (88).
- **Restholz:** ein unvermeidbarer Rest eines jeden Produktionsprozesses (77). *Industriesthölzer* sind hauptsächlich Reste aus Sägewerken, Anlagen zur Zellstoffproduktion sowie aus anderen Betrieben zur Holzverarbeitung (73). *Waldrestholz* ist das stehende oder gefällte Holz, das nach dem Holzeinschlag vor Ort verbleibt (89), sowie die Rinde (die Entrindung erfolgt vor der Holzverarbeitung) (53).
- **Sekundäre Holzressourcen:** Nebenprodukte aus Sägewerken, Holzreste aus der Holzverarbeitung, Schwarzlauge aus der Papierindustrie, Altholz (73).
- **Interessengruppen:** alle Personen oder Parteien, die in einem Prozess bestimmte Interessen haben. Die Interessengruppen einer zirkulären Bioökonomie sind alle Akteure entlang der Lieferkette, von den Waldbewirtschaftern bis zu den Kunden, sowie Forschungsgruppen, Investoren, politische Entscheidungsträger und Nichtregierungsorganisationen.
- **Lieferkette:** der Lebenszyklus eines Produkts aus technischer Sicht (73), einschließlich aller Organisationen, die durch vor- und nachgelagerte Verbindungen an der Bereitstellung des Produkts beteiligt sind (34, 83).
- **Nachhaltige zirkuläre Bioökonomie:** ein Wirtschaftssystem, das erneuerbare Ressourcen und ihre Produkte auf erneuerbare Weise beschafft, verarbeitet, verteilt und nutzt und dabei sowohl die langfristige Regenerationsfähigkeit des Ökosystems aufrechterhält als auch einen maximalen sozioökonomischen Nutzen erbringt (4, 35). (vgl. "zirkuläre Wertschöpfung", "Bioökonomie", "zirkuläre Bioökonomie")
- **Nachhaltig:** die Art und Weise der Ressourcennutzung bei maximalem, sozioökonomischem Nutzen und minimalen Umweltauswirkungen (40), Sie gewährleistet den Fortbestand natürlicher und menschgemachter Systeme in gerechter Weise (87).
- **Technology-Pull:** Bewusstsein und Akzeptanz der Kunden für innovative Technologien auf dem Markt (19, 26).
- **Technology-Push:** Wissenschaft und Technologie treiben Innovationen für noch nicht existierende Märkte voran (19, 53).
- **Upcycling:** Umwandlung von Abfallmaterial in ein wertvolleres Produkt, wobei die Anzahl der verbleibenden Optionen für den Erhalt des Ressourcenwerts hoch bleibt, indem die Materialstruktur erhalten bleibt.
- **Wertschöpfungskette:** der Lebenszyklus eines Produkts aus wirtschaftlicher Sicht (73), einschließlich der gesamten Abfolge von Aktivitäten oder Parteien, die durch die Bereitstellung eines Produkts Werte schaffen oder erhalten (83) (z. B. auch Kunden, Forschungsteams und politische Entscheidungsträger).
- **Abfall:** Ein bestimmtes Material kann zu jeder Zeit Abfall oder Ressource sein, je nach (i) der Funktionalität am Ende der Lebensdauer, (ii) der Nachfrage, (iii) dem Kontext (kulturell, geografisch, rechtlich) (46). Wenn ein Restprodukt eines Produktionsprozesses nutzlos und unverkäuflich ist, wird es als Abfall bezeichnet (77). Waldreste, die nach dem Holzeinschlag vor Ort verbleiben, werden daher als *Nachernteabfälle bezeichnet* (89).

- **Altholz, Post-Verbraucher-Holz, wiederverwendetes Holz:** Holz, das nach der Nutzung durch Industrie oder Haushalte entsorgt wurde und aus Verpackungen, von Baustellen oder Abbruchhalden, kommunalen Mülldeponien oder direkt aus der Holzindustrie stammt (wenn die Holzverarbeitungsrückstände über entsprechende Unternehmen entsorgt wurden) (77) und das von der Industrie wiederverwendet werden kann (75).
- **Zero Waste:** ein Instrument für den Übergang zu einer zirkuläre Wertschöpfung (8)

6 Bibliography/Referenzen

1. Kuenkel P. *The Art of Leading Collectively – Co-creating a Sustainable, Socially Just Future*. Chelsea Green, USA; 2016.
2. UNECE-FAO. *Circularity concepts in forest-based industries*. Geneva: United Nations and the Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2021.
3. Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik. *Die Anpassung von Wäldern und Waldwirtschaft an den Klimawandel*. Berlin; 2021.
4. Tan ECD, Lamers P. *Circular Bioeconomy Concepts—A Perspective*. *Frontiers in Sustainability*. 2021;2(53).
5. Schoggl JP, Stumpf L, Baumgartner RJ. *The narrative of sustainability and circular economy - A longitudinal review of two decades of research*. *Resour Conserv Recy*. 2020;163.
6. Reike D, Vermeulen W, Witjes S. *The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options*. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017;135.
7. FAO. *The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies*. Rome: FAO; 2022
8. Marrucci L, Daddi T, Iraldo F. *The integration of circular economy with sustainable consumption and production tools: Systematic review and future research agenda*. *J Clean Prod*. 2019;240.
9. Meadows DH. *Thinking in systems : a primer*. White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing; 2008.
10. Verkerk PJ, Hassegawa, M., Van Brusselen, J., Cramm, M., Chen, X., Imperato Maximo, Y., Koç,, M. L, M., Tekle Tegegne, Y. *The role of forest products in the global bioeconomy – Enabling substitution by wood-based products and contributing to the Sustainable Development Goals*. Rome: FAO on behalf of the Advisory Committee on Sustainable Forest-based Industries (ACSEFI); 2021.
11. Paletto A, Biancolillo I, Bersier J, Keller M, Romagnoli M. *A literature review on forest bioeconomy with a bibliometric network analysis*. *Journal of Forest Science*. 2020;66:265-79.
12. Auer V, Rauch P. *Developing and evaluating strategies to increase the material utilisation rate of hardwoods: a hybrid policy Delphi-SWOT analysis*. *Eur J Wood Wood Prod*. 2021.
13. Mobtaker A, Ouhimmou M, Audy JF, Rönqvist M. *A review on decision support systems for tactical logistics planning in the context of forest bioeconomy*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021;148:111250.
14. Rockström J, Klum M. *Big World, Small Planet. Abundance within Planetary Boundaries.*: Yale University Press; 2015.
15. Schumacher EF. *Small is beautiful: economics as if people mattered*. New York: Harper & Row; 1911-1977.
16. Stahl WR. *Wirtschaftliche Strategien der Dauerhaftigkeit*. ICOMOS – Hefte des Deutschen Nationalkomitees 1996;Bd. 21:47-53.
17. D'Amato D. *Sustainability Narratives as Transformative Solution Pathways: Zooming in on the Circular Economy*. *Circular Economy and Sustainability*. 2021;1(1):231-42.
18. Mazzucato M. *Mission Economy. A moonshot guide to changing capitalism*. Allen Lane; 2021.
19. Reim W, Parida V, Sjödin DR. *Circular Business Models for the Bio-Economy: A Review and New Directions for Future Research*. *Sustainability-Basel*. 2019;11(9).
20. Taskhiri MS, Jeswani H, Geldermann J, Azapagic A. *Optimising cascaded utilisation of wood resources considering economic and environmental aspects*. *Computers & Chemical Engineering*. 2019;124:302-16.
21. Risse M, Weber-Blaschke G, Richter K. *Resource efficiency of multifunctional wood cascade chains using LCA and exergy analysis, exemplified by a case study for Germany*. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017;126:141-52.
22. Arodudu O, Holmatov B, Voinov A. *Ecological impacts and limits of biomass use: a critical review*. *Clean Technol Envir*. 2020;22(8):1591-611.
23. Muscat A, de Olde EM, Ripoll-Bosch R, Van Zanten HHE, Metz TAP, Termeer CJAM, et al. *Principles, drivers and opportunities of a circular bioeconomy*. *Nature Food*. 2021;2(8):561-6.

24. Mabee WE. Chapter 4 - Conceptualizing the circular bioeconomy. In: Stefanakis A, Nikolaou I, editors. *Circular Economy and Sustainability*: Elsevier; 2022. p. 53-69.
25. Stahel W. History of the Circular Economy. The Historic Development of Circularity and the Circular Economy. In: Eisenriegler, editor. *The Circular Economy in the European Union*: Springer, Cham.; 2020. p. 7-19.
26. Salvador R, Puglieri FN, Halog A, de Andrade FG, Piekarski CM, De Francisco AC. Key aspects for designing business models for a circular bioeconomy. *J Clean Prod.* 2021;278.
27. Venkatesh G. Circular Bio-economy—Paradigm for the Future: Systematic Review of Scientific Journal Publications from 2015 to 2021. *Circular Economy and Sustainability.* 2021.
28. Hasegawa M, Van Brusselen J, Cramm M, Verkerk PJ. Wood-Based Products in the Circular Bioeconomy: Status and Opportunities towards Environmental Sustainability. *Land.* 2022;11(12):2131.
29. Corvellec H, Stowell AF, Johansson N. Critiques of the circular economy. *Journal of Industrial Ecology.* 2022;26(2):421-32.
30. Olsson O, Roos A, Guisson R, Bruce L, Lamers P, Hektor B, et al. Time to tear down the pyramids? A critique of cascading hierarchies as a policy tool. *WIREs Energy and Environment.* 2018;7(2):e279.
31. D'Amico G, Szopik-Depczyńska K, Beltramo R, D'Adamo I, Ioppolo G. Smart and Sustainable Bioeconomy Platform: A New Approach towards Sustainability. *Sustainability-Basel.* 2022;14(1):466.
32. de Lima FA, Seuring S, Sauer PC. A systematic literature review exploring uncertainty management and sustainability outcomes in circular supply chains. *International Journal of Production Research.* 2021:1-34.
33. Lazaridou DC, Michailidis A, Trigkas M. Exploring Environmental and Economic Costs and Benefits of a Forest-Based Circular Economy: A Literature Review. *Forests.* 2021;12(4).
34. Berardi PC, Peregrino de Brito R. Supply chain collaboration for a circular economy - From transition to continuous improvement. *J Clean Prod.* 2021:129511.
35. Navare K, Muys B, Vrancken KC, Van Acker K. Circular economy monitoring - How to make it apt for biological cycles? *Resour Conserv Recy.* 2021;170.
36. Zwiers J, Jaeger-Erben M, Hofmann F. Circular literacy. A knowledge-based approach to the circular economy. *Culture and Organization.* 2020;26(2):121-41.
37. Cabrera D, Cabrera L. Frameworks for Transdisciplinary Research: Framework #4. *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society.* 2018;27(2):200-.
38. Cramer J. *Elementaire Deeltjes-16. Milieu.* Amsterdam: Amsterdam University Press; 2014.
39. Jarre M, Petit-Boix A, Priefer C, Meyer R, Leipold S. Transforming the bio-based sector towards a circular economy - What can we learn from wood cascading? *Forest Policy Econ.* 2020;110.
40. Mair C, Stern T. Cascading Utilization of Wood: a Matter of Circular Economy? *Curr for Rep.* 2017;3(4):281-95.
41. D'Amato D, Gaio M, Semenzin E. A review of LCA assessments of forest-based bioeconomy products and processes under an ecosystem services perspective. *Sci Total Environ.* 2020;706.
42. Ohmura T, Creutzburg L. Guarding the For(es)t: Sustainable economy conflicts and stakeholder preference of policy instruments. *Forest Policy Econ.* 2021;131:102553.
43. Auer V, Rauch P. Wood supply chain risks and risk mitigation strategies: A systematic review focusing on the Northern hemisphere. *Biomass and Bioenergy.* 2021;148:106001.
44. Schulz T, Lieberherr E, Zabel A. How national bioeconomy strategies address governance challenges arising from forest-related trade-offs. *Journal of Environmental Policy & Planning.* 2021:1-14.
45. Sacchelli S, Borghi C, Fratini R, Bernetti I. Assessment and Valorization of Non-Wood Forest Products in Europe: A Quantitative Literature Review. *Sustainability-Basel.* 2021;13(6):3533.
46. Greer R, von Wirth T, Loorbach D. The Waste-Resource Paradox: Practical dilemmas and societal implications in the transition to a circular economy. *J Clean Prod.* 2021;303:126831.
47. D'Amato D, Veijonaho S, Toppinen A. Towards sustainability? Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. *Forest Policy Econ.* 2020;110:101848.
48. Heiskanen A, Hurmekoski E, Toppinen A, Näyhä A. Exploring the unknowns – State of the art in qualitative forest-based sector foresight research. *Forest Policy Econ.* 2022;135:102643.
49. Stahel WR. The circular economy. *Nature.* 2016;531(7595):435-8.

50. Falcone PM, Tani A, Tartiu VE, Imbriani C. Towards a sustainable forest-based bioeconomy in Italy: Findings from a SWOT analysis. *Forest Policy Econ.* 2020;110:101910.
51. Heräjärvi H, Kunttu J, Hurmekoski E, Hujala T. Outlook for modified wood use and regulations in circular economy. *Holzforschung.* 2020;74(4):334-43.
52. Campbell-Johnston K, Vermeulen WJV, Reike D, Brullot S. The Circular Economy and Cascading: Towards a Framework. *Resources, Conservation & Recycling: X.* 2020;7:100038.
53. Gregg JS, Jürgens J, Happel MK, Strøm-Andersen N, Tanner AN, Bolwig S, et al. Valorization of bio-residuals in the food and forestry sectors in support of a circular bioeconomy: A review. *J Clean Prod.* 2020;267:122093.
54. Morsetto P. Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling.* 2020;153:104553.
55. Budzinski M, Bezama A, Thrän D. Estimating the potentials for reducing the impacts on climate change by increasing the cascade use and extending the lifetime of wood products in Germany. *Resources, Conservation & Recycling: X.* 2020;6:100034.
56. Toppinen A, D'Amato D, Stern T. Forest-based circular bioeconomy: matching sustainability challenges and novel business opportunities? *Forest Policy Econ.* 2020;110.
57. Miletzky F, Wagenführ A, Zscheile M. *Holzbasierte Bioökonomie. Das System Bioökonomie: Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2020. D. Thrän und U. Moesenfechtel (Hrsg.); 2020.*
58. Linser S, Lier M. The Contribution of Sustainable Development Goals and Forest-Related Indicators to National Bioeconomy Progress Monitoring. *Sustainability-Basel.* 2020;12:2898.
59. Piplani M, Smith-Hall C. Towards a Global Framework for Analysing the Forest-Based Bioeconomy. *Forests.* 2021;12(12).
60. UNECE/FAO. Circularity concepts in forest-based industries – key findings. Rome: Economic Commission for Europe, Committee on Forests and the Forest Industry. Food and Agriculture Organization, European Forestry Commission; 2021 22 to 25 November 2021. Contract No.: ECE/TIM/2021/8–FO:EFC/2021/8.
61. May N, Guenther E, Haller P. Environmental Indicators for the Evaluation of Wood Products in Consideration of Site-Dependent Aspects: A Review and Integrated Approach. *Sustainability-Basel.* 2017;9:1897.
62. Barrie J, Schröder P. *Circular Economy and International Trade: a Systematic Literature Review. Circular Economy and Sustainability.* 2021.
63. Johansson N, Krook J. How to handle the policy conflict between resource circulation and hazardous substances in the use of waste?: Three countries' regulations on contaminants in waste and their implications for resource circulation. *Journal of Industrial Ecology.* 2021;25.
64. Arekrans J, Sopjani L, Laurenti R, Ritzen S. Barriers to access-based consumption in the circular transition: A systematic review. *Resour Conserv Recy.* 2022;184:106364.
65. Hansen E, Kangas J, Hujala T. Synthesis towards Future-Fittest for mature forest sector. *Canadian Journal of Forest Research.* 2020;51.
66. Stahel W. *The product life factor.* 1984.
67. Besserer A, Troilo S, Girods P, Rogaume Y, Brosse N. Cascading Recycling of Wood Waste: A Review. *Polymers.* 2021;13:1752.
68. Szichta P, Risse M, Weber-Blaschke G, Richter K. Potentials for wood cascading: A model for the prediction of the recovery of timber in Germany. *Resources, Conservation and Recycling.* 2022;178:106101.
69. Kirchherr J, Bauwens T, Ramos TB. Circular disruption: Concepts, enablers and ways ahead. *Business Strategy and the Environment.* 2022;32:1005-1009.
70. Silva FA, Simioni FJ, Hoff DN. Diagnosis of circular economy in the forest sector in southern Brazil. *Sci Total Environ.* 2020;706.
71. Metc J, McAlloone, T. C., Pigosso, D. C. A. A Look into Circular Economy Research: Exploring the Bio and Techno Cycles and the Need for Dual Circularity. *Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED21); 16-20 August 2021; Gothenburg, Sweden.*
72. Diaz-Balteiro L, Romero C, García de Jalón S. An analysis of the degree of circularity of the wood products industry in Europe. *Journal of Industrial Ecology.* 2022; 26:1350–1363.
73. Weber-Blaschke G. *Nachhaltige Forst- und Holzwirtschaft als Basis der Bioökonomie. Ökologie und Bioökonomie.* 48. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil; 2019 p. 31-46.

74. Thonemann N, Schumann M. Environmental impacts of wood-based products under consideration of cascade utilization: A systematic literature review. *J Clean Prod.* 2018;172:4181-8.
75. Marques A, Cunha J, De Meyer A, Navare K. Contribution Towards a Comprehensive Methodology for Wood-Based Biomass Material Flow Analysis in a Circular Economy Setting. *Forests.* 2020;11:106.
76. Tanguay X, Essoua Essoua GG, Amor B. Attributional and consequential life cycle assessments in a circular economy with integration of a quality indicator: A case study of cascading wood products. *Journal of Industrial Ecology.* 2021; 25:1462–1473.
77. Saal U, Weimar H, Mantau U. Wood Processing Residues. In: *Advances in biochemical engineering/biotechnology.* 166. Springer International Publishing; 2017.
78. Iost S, Geng N, Schweinle J, Banse M, Brüning S, Jochem D, et al. Setting up a bioeconomy monitoring: Resource base and sustainability. *Thünen Working Paper 2020;149.*
79. Dieter M, Weimar H, Iost S, Englert H, Fischer R, Günter S, et al. Assessment of possible leakage effects of implementing EU COM proposals for the EU Biodiversity Strategy on forestry and forests in non-EU countries. *Thünen Working Paper 2020;159.*
80. Lovrić M, Mutke S, Górriz Mifsud E, Martínez de Arano I, Pettenella D, Vidale E, et al. Non-timber forest products and the European bioeconomy: status and transition pathways. 2022. p. 17-29.
81. Iost S, Geng N, Weimar H, Schweinle J, Jochem D, Banse N, et al. German bioeconomy: economic importance and concept of measurement. *German Journal of Agricultural Economics (Online).* 2019;68:275-88.
82. Cecchin A, Salomone R, Deutz P, Raggi A, Cutaia L. What Is in a Name? The Rising Star of the Circular Economy as a Resource-Related Concept for Sustainable Development. *Circular Economy and Sustainability.* 2021;1(1):83-97.
83. Kroder JM. ISO WD2 59020 Measuring and assessing circularity. Geneva: ISO; 2021. Contract No.: ISO/TC 323/WG 3 N 99.
84. Ogunmakinde OE, Sher W, Egbelakin T. Circular economy pillars: a semi-systematic review. *Clean Technol Envir.* 2021;23(3):899-914.
85. Lebedys A, Li Y. Contribution of the Forestry Sector to National Economies, 1990-2011. Rome: Forest Economics, Policy and Products Division, Forestry Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2014.
86. Accountability Framework. Definitions for success. How the right definitions can help the EU meet its policy aims and improve feasibility to implement the deforestation regulation. 2022.
87. IPCC. Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. *Climate Change 2014: Synthesis Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, RK Pachauri and LA Meyer (eds)].* Geneva, Switzerland: IPCC; 2014. p. 117-30.
88. Maxwell D, Owen P, McAndrew. L, Muehmel K, Neubauer A. Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment. 2011.
89. Kuhn A. Forest residue and waste utilization within a circular bioeconomy: assessing non-energy utilization alternatives in the Fort St. John timber supply area: Royal Roads University; 2021.

Thünen Report

Bereits in dieser Reihe erschienene Hefte – *Volumes already published in this series*

1 - 85	siehe http://www.thuenen.de/de/infothek/publikationen/thuenen-report/
91	Cora Vos, Claus Rösemann, Hans-Dieter Haenel, Ulrich Dämmgen, Ulrike Döring, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Annette Freibauer, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, Bernhard Osterburg, Roland Fuß Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2020 Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2020
92	Kurt-Jürgen Hülsbergen, Harald Schmid, Hans Marten Paulsen (eds) Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben
93	Heike Peter, Cornelia Toppel, Annett Steinführer Wohnstandortentscheidungen in einer wohnbiographischen Perspektive : Eine explorative Studie in ländlichen und großstädtischen Kontexten
94	Daniel Ziche, Erik Grüneberg, Winfried Riek, Nicole Wellbrock Comparison of the LUCAS 2015 inventory with the second National Forest Soil Inventory : Comparability and representativeness of two soil inventories conducted in Germany
95	Fanny Barz Boats don't fish, people do – A sociological contribution towards holistic fisheries bycatch management
96	Jacob Jeff Bernhardt, Lennart Rolfes, Peter Kreins, Martin Henseler Ermittlung des regionalen Bewässerungsbedarfs für die Landwirtschaft in Bayern
97	Uwe Krumme, Steffi Meyer, Isabella M. F. Kratzer, Jérôme C. Chladek, Fanny Barz, Daniel Stepputtis, Harry V. Strehlow, Sarah B. M. Kraak, Christopher Zimmermann STELLA - Stellnetzfisherei-Lösungsansätze : Projekt-Abschlussbericht
98	Anne Alix, Dany Bylemans, Jens Dauber, Peter Dohmen, Katja Knauer, Lorraine Maltby, Christoph J. Mayer, Zélie Pepiette, Balthasar Smith (eds) Optimising agricultural food production and biodiversity in European landscapes Report of an online-Workshop
99	Andreas Tietz, Antje G. I. Tölle „Bauernland in Bauernhand“: Gutachten im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
100	Marlen Haß, Claus Deblitz, Florian Freund, Peter Kreins, Verena Laquai, Frank Offermann, Janine Pelikan, Viktoriya Sturm, Johannes Wegmann, Thomas de Witte, Friedrich Wüstemann, Maximilian Zinnbauer Thünen-Baseline 2022 – 2032: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland
101	Daniel Stepputtis, Thomas Noack, Uwe Lichtenstein, Constanze Hammerl, Juan Santos, Bernd Mieske Verringerungen von Kunststoffmüll aus der Krabbenfischerei durch Netzmodifikationen – Dolly Rope Suspension (DRoS) : Projekt-Abschlußbericht



- 102** Elke Brandes, Martin Henseler, Peter Kreins, Gholamreza Shiravani, Björn Tetzlaff, Frank Wendland, Andreas Wurpts
**Modellierung von Mikroplastikeinträgen und Migrationspfaden im Einzugsgebiet der Weser :
 MOMENTUM – Weser**
- 103** Susanna Esther Hönle
**Wie gelingt eine ambitionierte Agrarklimaschutzpolitik?
 Eine vergleichende Analyse nationaler Ansätze zur Integration des Sektors Landwirtschaft in die
 Klimapolitik am Beispiel Uruguays und Deutschlands**
- 104** Marcel Dehler
**Maßnahmen zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes – Anpassungsoptionen, Kosten und
 Möglichkeiten zur umweltpolitischen Steuerung**
- 105** Mirko Liesebach (ed.)
**Beiträge von Forstpflanzenzüchtung und Forstgenetik für den Wald von Morgen : 7. Tagung der Sektion
 Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 12. bis 14. September 2022 in Ahrensburg Tagungsband**
- 106** Samuel Ferreira Balieiro
**Modeling regional supply responses using farm-level economic data and a biophysical model:
 a case study on Brazilian land-use change**
- 107** Heino Fock, Robin Dammann, Finn Mielck, Gerd Kraus, Rebecca A. M. Lauerburg, Alfonso López González, Pernille
 Nielsen, Margarethe Nowicki, Matthias Pauli, Axel Temming
**Auswirkungen der Garnelenfischerei auf Habitats und Lebensgemeinschaften im Küstenmeer der
 Norddeutschen Bundesländer Schleswig-Holstein, Hamburg und Niedersachsen (CRANIMPACT)**
- 108** Maximilian Zinnbauer, Max Eysholdt, Martin Henseler, Frank Herrmann, Peter Kreins, Ralf Kunkel, Hanh Nguyen,
 Björn Tetzlaff, Markus Venohr, Tim Wolters, Frank Wendland
**Quantifizierung aktueller und zukünftiger Nährstoffeinträge und Handlungsbedarfe für ein
 deutschlandweites Nährstoffmanagement – AGRUM-DE**
- 109** Nele Schmitz, Andreas Krause, Jan Lüdtko
**Critical review on a sustainable circular bio-economy for the forestry sector : Zirkuläre Bioökonomie in der
 Forst- und Holzwirtschaft für eine nachhaltige Entwicklung - Eine wissenschaftliche Einordnung**





THÜNEN

Thünen Report 109

Herausgeber/Redaktionsanschrift

Johann Heinrich von Thünen-Institut

Bundesallee 50

38116 Braunschweig

Germany

www.thuenen.de

ISBN 978-3-86576-257-3



9 783865 762573