Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 172 (2021)

Heft: 1

Artikel: Bioökonomie im waldbasierten Sektor : inkrementeller oder disruptiver Wandel?

Autor: Stern, Tobias / Wenger, Julia / Asada, Raphael

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1097231

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bioökonomie im waldbasierten Sektor: inkrementeller oder disruptiver Wandel?

Tobias Stern	Universität Graz, Institut für Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung (AT)*
Julia Wenger	Universität Graz, Institut für Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung (AT)
Raphael Asada	Universität Graz, Institut für Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung (AT)
Claudia Mair-Bauernfeind	Universität Graz, Institut für Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung (AT)
Verena Haas	Universität Graz, Institut für Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung (AT)
Martin Popowicz	Universität Graz, Institut für Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung (AT)
Lea Ranacher	Wood K plus (AT)
Franziska Hesser	Wood K plus (AT)
Michael Kriechbaum	Universität Graz, Institut für Systemwissenschaften, Innovations- und Nachhaltigkeitsforschung (AT)

Bioökonomie im waldbasierten Sektor: inkrementeller oder disruptiver Wandel?

Innovationen als treibende Kraft des Wandels sollen in der Vision einer waldbasierten Bioökonomie zu einer Stärkung der Wirtschaft, einer Verringerung der Emissionen, neuen Geschäftsmöglichkeiten und Beschäftigung führen. Der Beitrag geht der Frage nach, welche Veränderungen von den im Kontext einer waldbasierten Bioökonomie häufig genannten Innovationen ausgehen und inwiefern diese den Wald- und Holzsektor systemrelevant verändern könnten. Dazu wurden mit einer systematischen Literaturrecherche die relevanten Innovationsfelder identifiziert und die Triebkräfte, Eintrittsbarrieren und Potenziale für den Sektor analysiert. Es wurden sechs Innovationsfelder identifiziert und analysiert. Viele dieser Innovationsfelder lassen radikalen Charakter weitgehend vermissen, zeigen aber gleichzeitig durchaus Potenziale für das Erreichen der Ziele einer Bioökonomie. Die betrachteten Innovationen führen eher zu einer partiellen Erweiterung des waldbasierten Sektors und damit zu neuen sektoralen Landschaften.

Keywords: multi-level perspective, sustainability transition, niche innovation, socio-technical regime, literature review

doi: 10.3188/szf.2021.0016

* Merangasse 18, AT-8010 Graz, E-Mail tobias.stern@uni-graz.at

Im europäischen Raum steht die Umgestaltung der Wirtschaft hin zu einer Bioökonomie auf der politischen Agenda (z.B. EC 2018). Obwohl die Erwartungen hoch sind, weiss man noch wenig über die wirtschaftlichen Folgen (Wesseler & von Braun 2017) und die Erfassung ihrer Auswirkungen (Asada & Stern 2018). Die politische Vision der Bioökonomie strebt eine umfassende Nachhaltigkeit hinsichtlich ihrer ökologischen, ihrer wirtschaftlichen und ihrer sozialen Dimension an (Staffas et al 2013), wobei in der europäischen Bioökonomiestrategie die Innovation als treibende Kraft des Wandels definiert wird (EC 2018). Die Europäische Kommission erwartet etwa eine Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Ressourcen, eine Verringerung der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), die Schaffung neuer Geschäftsmöglichkeiten, eine wachsende globale Marktführerschaft der Europäischen Union (EU) sowie einen Impuls für Wirtschaft und Beschäftigung im ländlichen Raum (Imbert et al 2017). Diese Vielfalt von Zielen innerhalb der Vision führt mitunter zum Dilemma konkurrierender Ziele (Boehlje & Bröring 2011).

Waldbasierte Bioökonomie

Die Rohstoffe der Bioökonomie können aus agrarischer, forstlicher oder aquatischer Biomasse gewonnen werden. Das Forcieren der sogenannten waldbasierten Bioökonomie begründet sich in der potenziell hohen, jahreszeitlich unabhängigen Rohstoffverfügbarkeit und im Vorteil, dass Holz nicht in unmittelbarer Konkurrenz zu Nahrungs- und Futtermitteln steht. Lignozellulose gilt als das am häufigsten vorkommende terrestrische Pflanzenmate-

rial (Li & Takkellapati 2018). In Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Bioraffinerien macht sie etwa 60% aller genannten Rohstoffe aus (Wenger & Stern 2019). Die mitteleuropäische Forst- und Holzwirtschaft sieht sich mit strukturellen Veränderungen der globalen Märkte konfrontiert, was Näyhä et al (2014) als wichtigen Treiber für die Selbsterneuerung dieser Branche beschreiben. Werden etwa Zellstofffabriken zu Bioraffinerien umgewandelt und das Produktportfolio entsprechend erweitert, so scheinen Mehreinnahmen von 43 bis 128% möglich (Stern et al 2015). Derartige Bioraffinerien sind aber nur eine Möglichkeit von vielen, die Vision einer waldbasierten Bioökonomie voranzutreiben, denn viele verschiedene Technologien – alte wie neue – erlauben es, mit Holz andere Materialien wie Stahl, Beton und Erdöl zu ersetzen.

Die Multi-Level-Perspektive

Die Erneuerung des waldbasierten Sektors im Sinne einer Bioökonomie weckt naturgemäss Erwartungen betreffend neue Technologien und Anwendungen (Stern et al 2018). Radikale Innovationen haben jedoch oft Schwierigkeiten, in bestehenden Märkten Fuss zu fassen, da sie selten in etablierte sektorale Systeme passen und ihre Verbreitung die bestehenden Strukturen disruptiv verändern kann.

Die sogenannte Multi-Level-Perspektive (MLP) vermittelt ein konzeptuelles Verständnis für den Ablauf von Veränderungsprozessen bzw. darüber, welche Bedingungen zusammentreffen müssen, damit die Eintrittsbarrieren für radikale Innovationen überwunden werden können (Geels 2004, Geels et al 2017; Abbildung 1). Laut diesem Ansatz sind etablierte Sektoren geprägt von stabilen soziotechnischen Systemen, bestehend aus historisch gewachsener Infrastruktur und gefestigten Akteursnetzwerken. Stabilisierend wirken nicht nur Pfadabhängigkeiten und Lock-in-Effekte (Rosenbloom et al 2019, Unruh 2000), sondern auch das geltende soziotechnische Regime, also die (Markt-)Regeln, Normen, Routinen und Erwartungshaltungen. Aufgrund ihrer Rigidität verändern sich etablierte soziotechnische Systeme nur in kleinen Schritten (inkrementelle Veränderungsprozesse). Gegenüber radikalen Innovationen sind sie weitgehend unempfänglich. Radikale Innovationen werden deshalb hauptsächlich in Nischen entwickelt und erprobt. Nischen bieten Akteuren einen vom etablierten System geschützten Experimentierraum für die Entwicklung neuer Ideen, Technologien und Anwendungen (Schot & Geels 2008). Lernprozesse, neue Akteursnetzwerke und die Formierung von alternativen soziotechnische Visionen spielen eine Schlüsselrolle in der Entwicklung von Innovationen in der Nische (Smith & Raven 2012, Kriechbaum et al 2018). Für die Diffusion der Innovationen aus der Nische werden günstige Gelegenheiten («Windows of Opportunities») benötigt (Geels & Schot 2007). Diese ergeben sich, wenn etablierte soziotechnische Systeme von innen her (z.B. aufgrund von Widersprüchen innerhalb des Regimes) oder von aussen her destabilisiert werden. Für Letzteres spielt die «soziotechnische Landschaft» eine wesentliche Rolle. Diese bildet alle externen Entwicklungen ab, die weder von den Akteuren aus der Nische noch von denen des etablierten soziotechni-

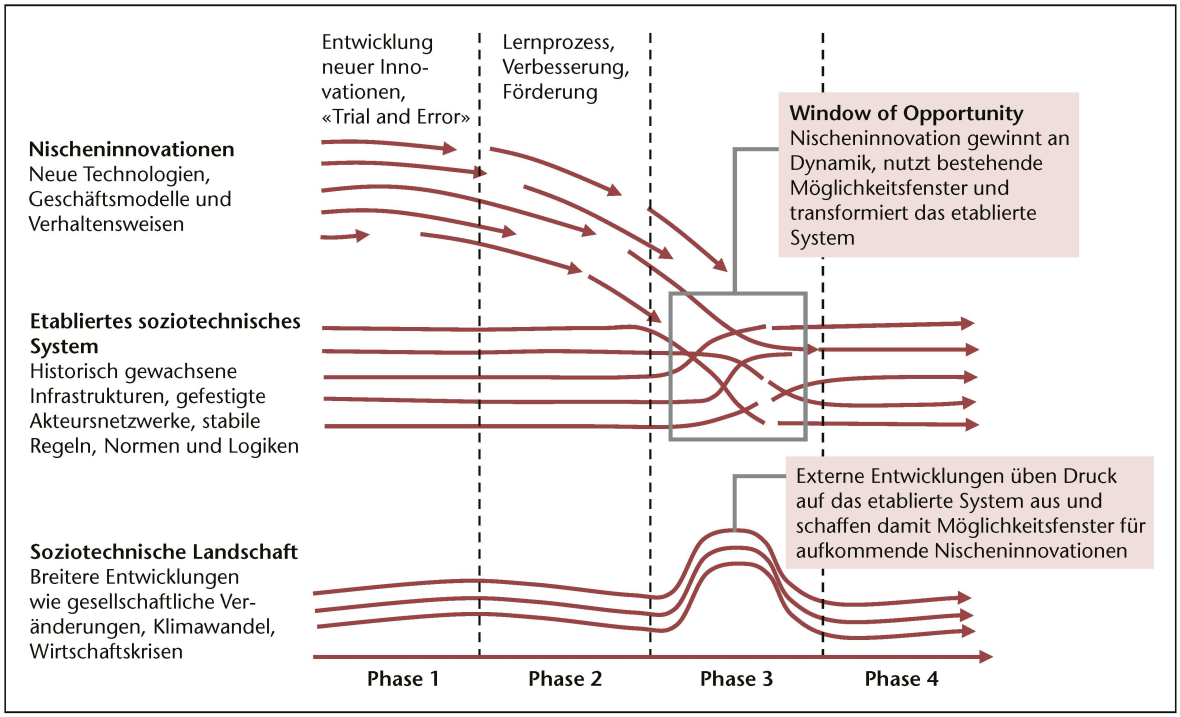

Abb 1 *Soziotechnischer Wandel nach dem Verständnis der Multi-Level-Perspektive.* Darstellung aus Geels et al 2017: 1243, verändert

schen Systems beeinflusst werden können, aber auf diese beide Ebenen einwirken. Beispiele für solche Entwicklungen sind gesellschaftliche Veränderungen, Klimawandel oder Wirtschaftskrisen. Wenn Entwicklungen auf der Landschaftsebene das etablierte soziotechnische System von aussen schwächen, können Innovationen und neue Verhaltensweisen aus der Nische diffundieren und so das soziotechnische System grundlegend verändern (sog. Transition).

Die MLP wurde bereits in mehreren Studien zur Bioökonomie herangezogen. Zum Beispiel kombinierten Falcone et al (2020) in ihrer Studie über die waldbasierte Bioökonomie in Italien den Ansatz mit einer SWOT-Analyse. Die Autoren konnten damit ein besseres Verständnis für den Reifegrad von Nischeninnovationen und deren Eintrittsbereitschaft in das etablierte soziotechnische System entwickeln sowie den Einfluss von nischenexternen Entwicklungen auf die System- und die Landschaftsebene abschätzen.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, 1) die relevanten Innovationsfelder im Hinblick auf die Transition des Wald- und Holzsektors zu einer waldbasierten Bioökonomie zu identifizieren, 2) die möglichen Veränderungen zu skizzieren, die von den im Kontext häufig genannten Innovationen ausgehen, und 3) zu beurteilen, ob diese Innovationen den Sektor systemrelevant verändern werden.

Material und Methoden

Für die Analyse wurde in Scopus®, der weltweit grössten Datenbank für Zusammenfassungen (Abstracts) wissenschaftlicher Literatur (Aghaei Chadegani et al 2013), systematisch nach Beiträgen zu waldbasierten Anwendungen und Produktinnovationen für die Bioökonomie, zu Anreizen und Hindernissen für deren Diffusionsprozess sowie zu potenziellen Auswirkungen gesucht. Es wurden folgende Suchbegriffe gewählt (Suchanfrage am 24. April 2020): *TITLE-ABS-KEY ([wood* OR forest*] AND [innovation*] AND [bioeconom* OR «bio-economy» OR bioref*] AND [product OR products]) AND (LIMIT-TO [DOCTYPE, «ar»] OR LIMIT-TO [DOCTYPE, «re»] OR LIMIT-TO [DOCTYPE, «ch»] OR LIMIT-TO [DOCTYPE, «bk»]).*

Es konnten 46 Beiträge identifiziert werden, von denen durch Lesen der Titel und Zusammenfassungen 24 ausgewählt wurden. Aus diesen Veröffentlichungen wurden waldbasierte Produktinnovationen identifiziert und zu Innovationsfeldern gruppiert. Aufgrund der Vielzahl von erwähnten Produktinnovationen wurden jene herausgegriffen, die mehrfach (d.h. in mindestens vier Publikationen) erwähnt worden waren und denen hohes Potenzial (Neuigkeitsgrad, soziotechnische Auswirkungen, Märkte) zugesprochen wird. Nicht näher berücksichtigt wurden etwa die Kategorien Papier und Zellstoff (Zellulose), Lebens- und Futtermittel, Dünger, Pharma/Medizin und Kosmetik. Anschliessend wurden die identifizierten Innovationsfelder hinsichtlich Triebkräfte, Barrieren und Potenziale beschrieben. Für eine Einschätzung der Potenziale (Substitutionseffekte, Arbeitsplätze) wurden für diese zusätzlich die Ergebnisse vergleichender multiregionaler Input-Output-Analysen nach der Methodik von Asada et al (2020) dargestellt. Zum Schluss wurden die Ergebnisse mittels Innovationsmatrix (Henderson & Clark 1990) im Sinne ihres disruptiven Potenzials bewertet. Die gewählte Innovationsmatrix berücksichtigt den Neuigkeitsgrad und die Auswirkungen der jeweiligen Technologie auf die vorherrschenden Geschäftsmodelle des waldbasierten Sektors und charakterisiert damit Innovationen hinsichtlich ihres systemverändernden Charakters. Die Positionierung der einzelnen Innovationsfelder muss dabei eher vage und schematisch bleiben, relative Muster (die Positionierung der Innovationsfelder zueinander) können aber erkannt werden.

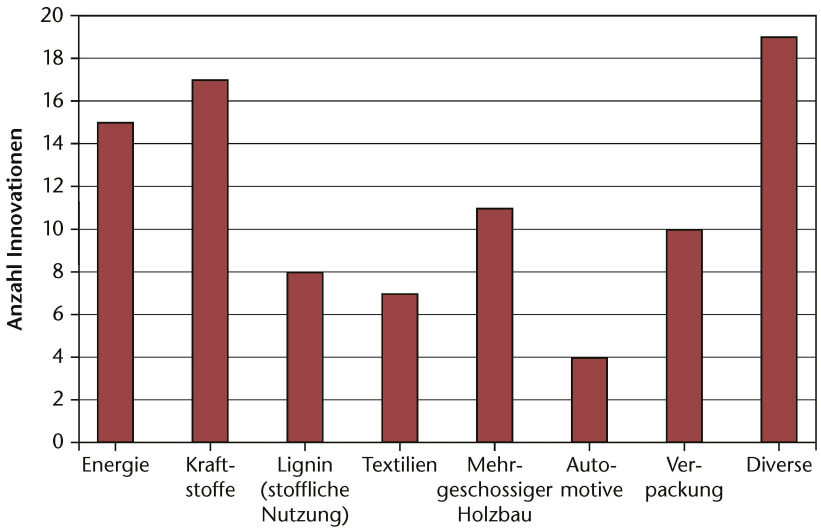

Abb 2 *Anzahl genannter waldbasierter Innovationen der Bioökonomie in den untersuchten 24 wissenschaftlichen Beiträgen nach Innovationsfeld (wobei Energie und Kraftstoffe nur hier getrennt betrachtet werden).*

Ergebnisse

Insgesamt wurden sechs Innovationsfelder identifiziert. Es sind dies Energie/Kraftstoffe, Lignin, Textilien, mehrgeschossiger Holzbau, Automotive und Verpackung (Abbildung 2).

Energie und Kraftstoffe

In Anbetracht des hohen Beitrags fossiler Energieträger zu den globalen THG-Emissionen besteht der Bedarf für eine Substitution eben dieser durch erneuerbare Energieträger. Biomasse aus der Forst- und Landwirtschaft sowie aus Abfallströmen kann

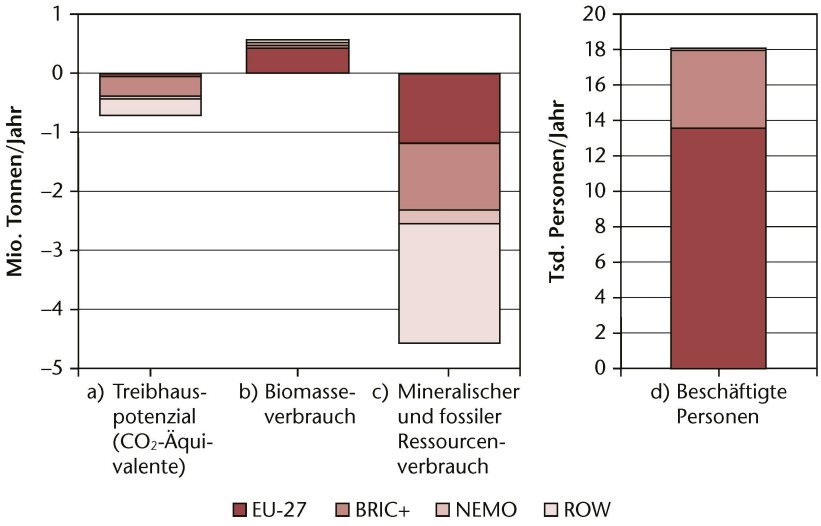

Abb 3 *Absolute Substitutionseffekte durch Nutzung von Biomasse im Elektrizitäts- und Gassektor (eigene Berechnung nach der Methodik von Asada et al 2020). Die Indikatoren umfassen a) das Treibhauspotenzial, b) den Biomasseverbrauch, c) den mineralischen und fossilen Ressourcenverbrauch und d) die Anzahl Beschäftigter nach Regionen (EU-27; BRIC+ [Brasilien, Russland, Indien, China, Indonesien, Taiwan]; NEMO [Australien, Kanada, Japan, Südkorea, Mexiko, Türkei, USA]; ROW [Rest der Welt]).*

eine wichtige Rolle als Quelle erneuerbarer Energie spielen (Hänninen et al 2018). Bioenergie machte 2018 rund 10% der globalen Primärenergieversorgung aus (IEA 2020). In der EU lag die Nutzung von Bioenergie im Jahr 2016 bei 134 Mtoe (Mandley et al 2020). Eine künftige stärkere Nutzung von Biomasse in europäischen Energiesektoren lässt positive Effekte bezüglich THG-Emissionen sowie der Anzahl beschäftigter Personen erwarten (Abbildung 3).

Die in Forschungsarbeiten behandelten Holzenergieanwendungen sind vielfältig (z.B. Nutzung von Prozesswärme, Kraft-Wärme-Kopplung, Biodiesel, Bioethanol, Pyrolyseöl). Anreize für die Verwendung biobasierter Energieträger sind zum Beispiel

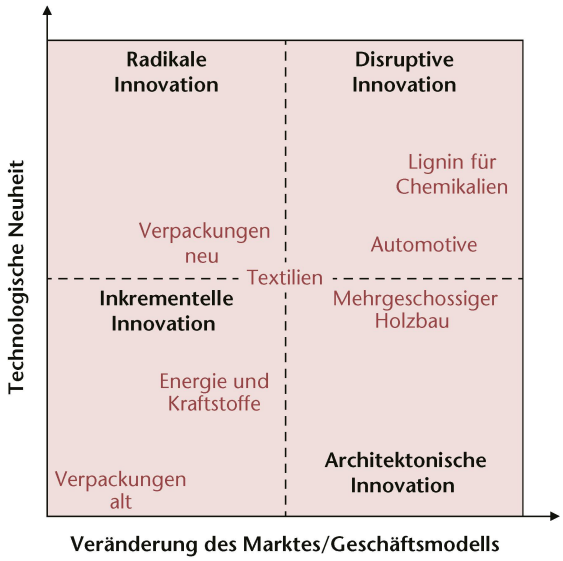

Abb 4 *Schematische Positionierung der betrachteten Innovationsfelder in einer in Anlehnung an Henderson & Clark (1990) und Davila et al (2006) gestalteten Innovationsmatrix.*

die mögliche Verbesserung der betrieblichen Energieeffizienz und Autonomie sowie das Bedienen etablierter und wachsender Märkte mit relativ wenig Prozessaufwand (z.B. Holzpellets). Hindernisse für den Einsatz von Biomasse als Energieträger sind die Investitionskosten und der starke Wettbewerb mit fossilen Brennstoffen (Malico et al 2019). Ob die Energiegewinnung aus Holz einen positiven Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten kann, insbesondere zu den Themen Klima und Biodiversität, wird mitunter kritisch hinterfragt (Ranacher et al 2017, Van Dael et al 2017).

Das Innovationsfeld Energie und Kraftstoffe beinhaltet gleichermassen technologische als auch wirtschaftliche Neuerungen, wobei der wesentlich grössere Teil der genannten Produkte und Technologien bereits als etabliert und weiteres Wachstum als relativ gering bezeichnet werden kann. Der durch dieses Innovationsfeld hervorgerufene Wandel im waldbasierten Sektor ist damit hauptsächlich inkrementeller Natur (Abbildung 4).

Lignin (stoffliche Nutzung)

Die chemische Industrie ist für die Produktion ihrer zahlreichen Produkte stark von fossilen Ressourcen abhängig (De Jong et al 2012). Der Anteil biobasierter chemischer Produkte in der EU wird auf etwa 3% geschätzt, wobei vor allem Zucker-/Stärke- und Ölpflanzen als Ausgangsbasis dienen (Spekreijse et al 2019). Bei der Produktion von Zellstoff wird im Wesentlichen nur die Zellulose stofflich genutzt. Sie macht etwa 40 bis 50% des Holzes aus. Dahingegen werden andere wichtige Holzbestandteile wie das Lignin (18–35%) kaum gezielt verwertet (Michels & Wagemann 2010). Lignin wird zum grössten Teil (ca. 98%) am Standort verbrannt, um Prozesschemikalien zurückzugewinnen und Energie bereitzustellen, wobei weltweit jährlich geschätzte 50 Millionen Tonnen technisches Lignin anfallen (Isikgor & Becer 2015). Die Verbesserung der Energieeffizienz in Zellstofffabriken ermöglicht es, einen Teil des erzeugten technischen Lignins stofflich zu nutzen, ohne die erforderliche Energieversorgung zu beeinträchtigen (Holladay et al 2007). Aus den etwa 2% des Lignins, die aus den Ablaugen isoliert und kommerziell genutzt werden (Isikgor & Becer 2015), werden hauptsächlich Tenside, Binde- und Dispergiermittel sowie Betonzusatzstoffe produziert (Dessbesell et al 2020). Beforscht wird eine Vielzahl zusätzlicher Anwendungen, zum Beispiel die Nutzung des Lignins für unterschiedliche Harze und Schäume (als Phenolersatz) und für Karbonfasern, Komposite und Blends. Volatile Erdölpreise sowie die steigende Nachfrage nach umweltfreundlichen Produkten fördern die stoffliche Nutzung von Lignin (Spekreijse et al 2019).

Umweltanalysen deuten auf mögliche Umweltvorteile von Ligninprodukten hin: Beispielsweise kann mit der Substitution von fossilbasiertem

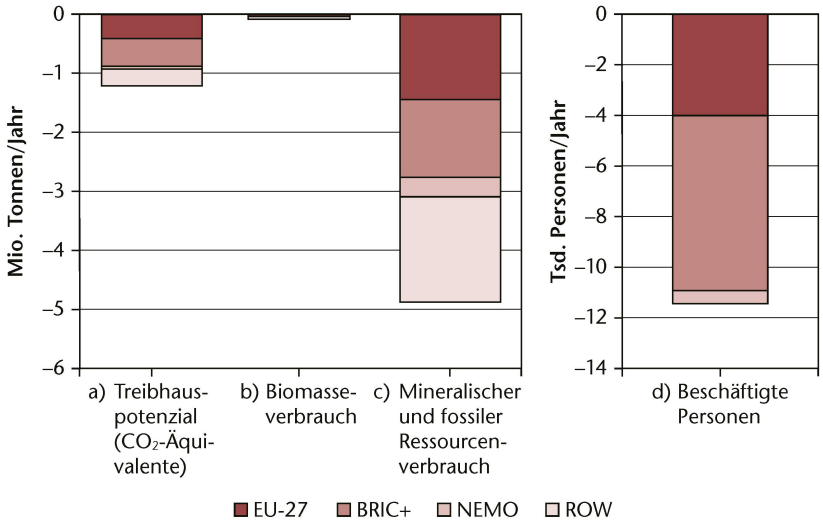

Abb 5 *Absolute Substitutionseffekte durch Nutzung von Lignin für Produkte der chemischen Industrie (nach Asada et al 2020). Für die Abkürzungen und weitere Erklärungen siehe Abbildung 3.*

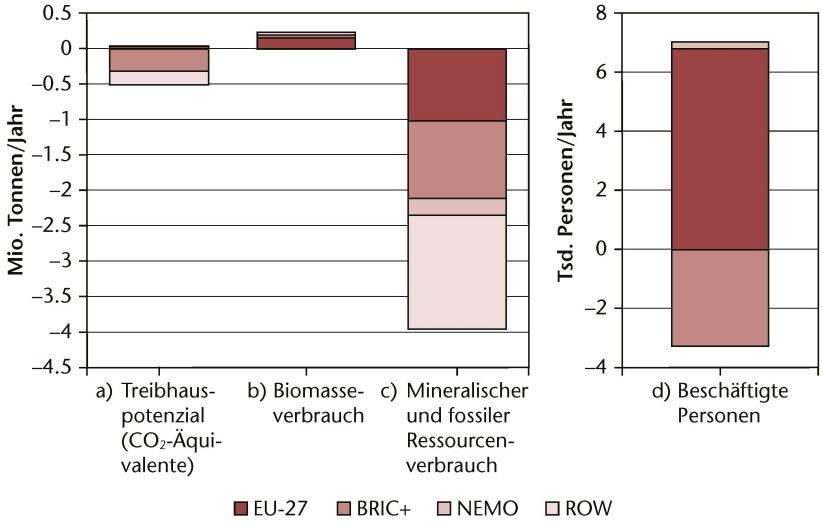

Abb 6 *Absolute Substitutionseffekte durch Nutzung von holzbasierten Textilfasern (nach Asada et al 2020). Für die Abkürzungen und weitere Erklärungen siehe Abbildung 3.*

Phenol-Formaldehyd durch ligninbasiertes bei der Produktion von Harzen für die Verklebung von Plattenwerkstoffen je nach Technologie 36 bis 97% der Produktionsenergie eingespart werden (Lettner et al 2018). Mit der künftigen Verwendung von Lignin in chemischen Produkten könnten Umwelteffekte deutlich reduziert werden. Damit einher ginge möglicherweise aber auch ein Rückgang der Beschäftigtenzahl (Asada et al 2020; Abbildung 5). Niedrige Rohölpreise, die Komplexität und Eigenheiten des Sektors sowie die Schwierigkeit, funktional äquivalente Substitute herzustellen, sind einige Hindernisse bei der Entwicklung von ligninbasierten Produkten (Bozell 2008). Es bedarf noch weiterer Entwicklungen im soziotechnischen System, zum Beispiel hinsichtlich anwendungstechnischer Aspekte (Wenger et al 2020).

Wenn die stoffliche Ligninnutzung erfolgreich umgesetzt werden kann, hat sie, ausgehend von der Zellstoffindustrie, das Potenzial, radikale und disruptive Veränderungen im waldbasierten Sektor auszulösen (Abbildung 4).

Textilien

Die textile Wertschöpfungskette ist stark globalisiert und spielt eine wichtige Rolle in der Weltwirtschaft (Strähle & Müller 2017). Im Jahr 2016 betrug der weltweite Verbrauch an Textilien erstmals rund 100 Millionen Tonnen, und bis 2020 wird eine jährliche Wachstumsrate von 3% erwartet (The Fiber Year Consulting 2017). Aufgrund des hohen Verbrauchs von Textilien erzeugt der Sektor ernstzunehmende Umweltbelastungen (Muthu 2014). Von den weltweit verbrauchten Fasern machten im Jahr 2018 synthetische Polymere wie Polyester und Polyamid 63% des Gesamtverbrauchs aus. Bei den Fasern aus natürlichen Polymeren dominiert mit Abstand die Baumwolle. Obwohl diese ein nachwachsender Rohstoff ist, ist ihre Produktion mit erheblichen Umweltauswirkungen in Bezug auf Wasserverbrauch, Landnutzung und Pestizideinsatz verbunden (Ütebay et al 2019). Holzbasierte Zellulosefasern, insbesondere aus dem Lyocellprozess, können einen Beitrag zur Reduktion dieser Auswirkungen leisten (Sayyed et al 2019). Holzbasierte Zellulosefasern (nebst Lyocell z.B. auch Viskose und Modal) hatten 2018 einen Anteil von 6.3% am weltweiten Faserverbrauch (Lenzing Gruppe 2019).

Eine erhöhte Nutzung von Holz für Textilien weist global ein Reduktionspotenzial für THG-Emissionen auf (Abbildung 6). Wegen der mit der Substitution einhergehenden Verlagerung von Lieferketten nach Europa ist unklar, wie sich die THG-Emissionen auf unserem Kontinent verändern werden (Asada et al 2020).

Die Technologien für die Nutzung von Holz als Rohstoff für Textilfasern sind bereits etabliert, auch wenn der Marktanteil noch relativ gering ist. Es ist zu erwarten, dass die bestehenden Technologien insbesondere im Bereich neuer Anwendungstechnik (neue Märkte) weiterentwickelt werden und der Marktanteil weiter zunehmen wird. Entsprechend wird der dadurch im waldbasierten Sektor ausgelöste Wandel indifferent beurteilt (Abbildung 4).

Mehrgeschossiger Holzbau

Bauprodukte aus Holz weisen in der Regel geringere THG-Emissionen auf als etwa Beton oder Stahl (Leskinen et al 2018). Der Bausektor stellt für die Holzindustrie den grössten zusammenhängenden Markt in Sachen Wertschöpfung dar, insbesondere da Holz traditionell für den Bau von Einfamilienhäusern verwendet wird (UNECE/FAO 2019). Schätzungen zum Marktanteil der mehrgeschossigen Holzrahmenbauweise betragen für die führenden Länder Schweden und Finnland 3 bis 15% bzw. 10% (Hurmekoski et al 2015). Das Vereinigte König-

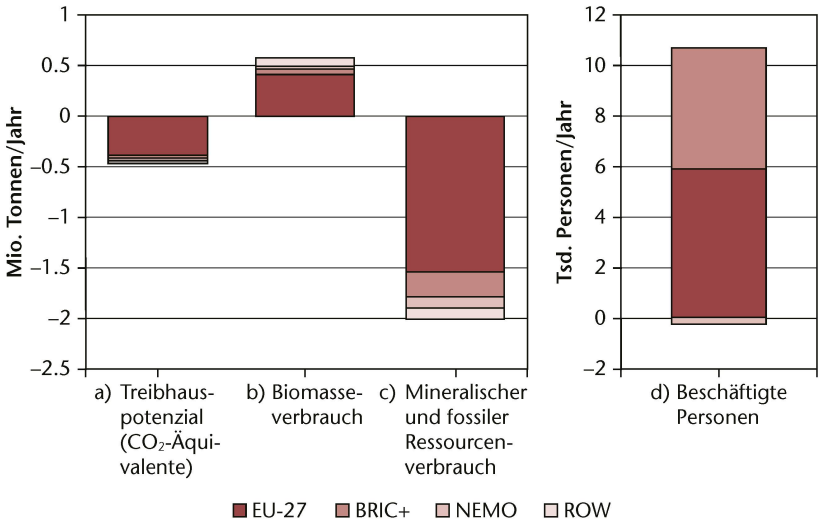

Abb 7 *Absolute Substitutionseffekte durch Nutzung von Holz im mehrgeschossigen Bau (nach Asada et al 2020). Für die Abkürzungen und weitere Erklärungen siehe Abbildung 3.*

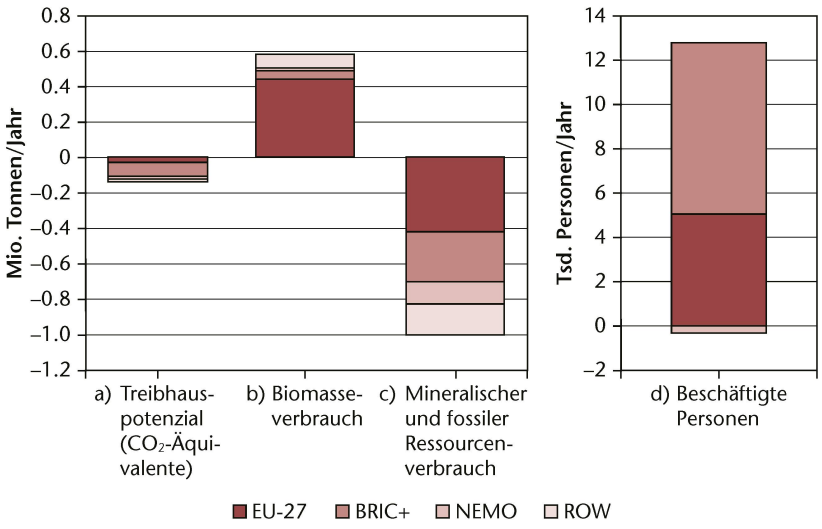

Abb 8 *Absolute Substitutionseffekte durch Nutzung von Holz in der Fahrzeugindustrie (nach Asada et al 2020). Für die Abkürzungen und weitere Erklärungen siehe Abbildung 3.*

reich und Österreich weisen einen Marktanteil der Holzrahmenbauweise im Wohnungs- bzw. Einfamilienhausbau von 25% bzw. 40% auf, wobei der Anteil mehrgeschossiger Holzkonstruktionen weit darunter liegt (Hurmekoski et al 2015). In den meisten Ländern Europas handelt es sich beim mehrgeschossigen Holzbau derzeit noch um eine technologische Nische. Eine künftige Mehrverwendung von Holz im europäischen Bausektor lässt vergleichsweise deutliche Einspareffekte bezüglich THG-Emissionen bei gleichzeitigem Wachstum der Beschäftigtenzahlen erwarten (Asada et al 2020; Abbildung 7).

Die Entwicklung von innovativen Holzwerkstoffen wie Brettsperrholz und Brettschichtholz hat in den letzten Jahrzehnten zusammen mit der Entwicklung industrieller Vorfertigungsprozesse und der Standardisierung von Holzbauteilen die Verwendung von Holz in mehrgeschossigen Gebäuden wettbewerbsfähiger gemacht (UNECE/FAO 2019). Neben der technischen Entwicklung spielen auch ökonomische Aspekte in der Entwicklung eine Rolle. Etwa werden die Möglichkeiten der Servicierung, d.h. des Anbietens von Dienstleistungen anstelle von Sachgütern, explizit im Zusammenhang mit vorgefertigten Holzelementen auf der Ebene individueller Firmen, Liefernetzwerke und soziotechnischer Systeme untersucht (Pelli & Lähtinen 2020).

Ähnlich dem Innovationsfeld Textilien sind die wesentlichen Technologien für den mehrgeschossigen Holzbau bereits auf dem Markt etabliert. Neben der Weiterentwicklung im Bereich der Anwendungstechnik sind die Potenziale dieses Innovationsfelds insbesondere in der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle zu erwarten (Abbildung 4).

Automotive

Die Automobilindustrie steht unter wachsendem Druck, die THG-Emissionen ihrer Flotte zu reduzieren (EC 2014). Um die Emissionen während der Nutzungsphase zu senken, ist Gewichtsreduktion durch Leichtbau ein wichtiger Hebel (Delogu et al 2017). Leichtbaumaterialien für den Fahrzeugbau sind heute hochfeste Stähle, Aluminium, Magnesium, Glas- oder Kohlefaserverbundwerkstoffe (Mair-Bauernfeind et al 2020). Holz hingegen wird im Fahrzeugbau üblicherweise nicht mehr verwendet (Omar 2011). Allerdings werden biobasierte Materialien, vor allem in Form von Naturfaserverbundwerkstoffen, für zum Beispiel die Innenausstattung von Fahrzeugen eingesetzt (Partanen & Carus 2016). In den letzten Jahren wurde die Idee, Holz auch wieder im Fahrzeugbau zu nutzen, aufgegriffen und in diversen Forschungsprojekten weiterverfolgt (z.B. HAMMER, NIOS oder WoodC.A.R.). Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass Holz aus technischer Sicht vielversprechend ist (Müller et al 2019) und durch Substitution eines Stahlbauteils durch ein Multimaterialsystem auf Holzbasis das Gewicht des Fahrzeugs reduziert werden kann (Kohl et al 2016).

Eine künftige Verwendung von Holz im europäischen Fahrzeugbau weist ein, wenngleich moderates, Potenzial zur Reduktion von THG-Emissionen auf. Mit Blick auf die sozioökonomische Dimension dürfte die Innovation einen positiven Effekt auf die Beschäftigtenzahlen haben (Asada et al 2020; Abbildung 8).

Dieses Innovationsfeld steht vor technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen und ist demnach noch nicht etabliert. Entsprechend besteht noch erhebliches und damit disruptives Veränderungspotenzial für den waldbasierten Sektor (Abbildung 4).

Verpackungen

Pulidindi & Prakash (2018) schätzen den globalen Markt für Verpackungsmaterialien auf über 900 Milliarden US-Dollar (im Jahr 2016) und erwar-

ten ein Wachstum von 3% bis 2024. Papier und Pappe sind die dominierenden Materialien im Verpackungsmarkt, jedoch gewinnen Kunststoffe zunehmend an Bedeutung (Neil-Boss & Brooks 2013). Ein Bedarf für nachhaltige Verpackungslösungen entsteht als Reaktion auf ambitionierte politische Ziele zur Abfallminimierung (Korhonen et al 2020). Neben konventionellen holzbasierten Verpackungen (z.B. Papier, Pappe, Paletten) werden seit vielen Jahren auch innovative Verpackungsmaterialien beforscht, zum Beispiel biobasierte Folien, etwa aus Hemizellulosen (Kamm & Kamm 2004). Die Kombination von adäquaten mechanischen Eigenschaften und hervorragenden Barriereeigenschaften machen solche Folien zum Beispiel für die Lebensmittelindustrie attraktiv (Ledl et al 2014). Der Verpackungssektor konnte aufgrund mangelhafter Datenlage für die multiregionale Input-Output-Analyse nicht berücksichtigt werden.

In diesem Innovationsfeld ist vor allem die Differenz zwischen der etablierten Stellung des Sektors (in Abbildung 4 als «Verpackung alt» bezeichnet) und dem Potenzial neuer Anwendungen («Verpackung neu») zu beachten. Im Bereich der etablierten Verpackungslösungen gibt es wenig Potenzial für systemische Veränderungen. Innovative, funktionelle Verpackungslösungen hingehen weisen ein erhebliches technologisches Potenzial auf; inwiefern dieses auch zu neuen Märkten und Geschäftsmodellen führen kann, ist gegenwärtig noch nicht so eindeutig.

Diskussion und Schlussfolgerung

Bioökonomische Innovationen, die derzeit in der Literatur genannt werden, zeigen durchaus Potenziale für die Erreichung der Ziele einer Bioökonomie (Abbildungen 3, 5–8), wie die Reduktion von THG-Emissionen, den Ersatz fossiler Rohstoffe oder die Schaffung von Arbeitsplätzen (Asada et al 2020). Neben technisch neuen Ansätzen ermöglichen einige technisch im Ansatz etablierte Innovationsfelder die Entwicklung neuer Märkte und Geschäftsmodelle, wirklich disruptiven Charakter weisen aber nur einzelne Innovationsfelder aus (Abbildung 4). Diese Beobachtung lässt sich relativ gut mit dem Umstand erklären, dass es überwiegend die etablierten Akteure des waldbasierten Sektors selbst sind, die die Innovationen vorantreiben (Hansen & Coenen 2017). Aufgrund von Routinen, Pfadabhängigkeiten und Lock-ins bedürfen radikale Veränderungen in der Regel der Initiative von systemfremden Akteuren (Geels 2004). Die Erforschung der ambivalenten Rolle von etablierten Akteuren im Kontext der Bioökonomie steht erst am Anfang (z.B. Strøm-Andersen 2019). Sie sollte sicherlich Teil der zukünftigen Forschungsagenda zur Bioökonomie sein.

Klar ist, dass die betrachteten Innovationen eher zu einer partiellen Erweiterung des waldbasierten Sektors führen, insbesondere durch die Verbesserung dessen Wettbewerbsfähigkeit mit konkurrierenden Rohstoffen (z.B. im mehrgeschossigen Holzbau). Dies entspricht der Entwicklung von neuen sektoralen Landschaften, wie sie etwa von Bjöhle & Bröring (2011) genannt wurden. Von jenen in der Literatur häufig genannten Innovationen erscheinen am ehesten die Verwendung von Lignin als Rohstoff für die chemische Industrie und der Einsatz von Holz in Automotiven dazu geeignet, auch systemische Veränderungen im waldbasierten Sektor zu bewirken. ■

Eingereicht: 29. Mai 2020, akzeptiert (mit Review): 12. November 2020

Literatur

AGHAEI CHADEGANI A, SALEHI H, YUNUS MM, FARHADI H, FOOLADI M, FARHADI M ET AL (2013) A comparison between two main academic literature collections: Web of science and scopus databases. Asian Soc Sci 9 (5): 18–26.

ASADA R, STERN T (2018) Competitive bioeconomy? Comparing bio-based and non-bio-based primary sectors of the world. Ecol Econ 149: 120–128.

ASADA R, CARDELLINI G, MAIR-BAUERNFEIND C, WENGER J, HAAS V ET AL (2020) Effective bioeconomy? A MRIO-based socioeconomic and environmental impact assessment of generic sectoral innovations. Technol Forecast Soc Chang 153: 119946.

BOEHLJE M, BRÖRING S, (2011) The increasing multifunctionality of agricultural raw materials: three dilemmas for innovation and adoption. Int Food Agribus Man 14: 1–16.

BOZELL JJ (2008) Feedstocks for the future – biorefinery production of chemicals from renewable carbon. Clean Soil Air Water 36: 641–647.

DAVILA T, EPSTEIN M, SHELTON R (2006) Making innovation work: how to manage it, measure it, and profit from it. Upper Saddle River/NJ: Wharton School Pub. 334 p.

DE JONG E, HIGSON A, WALSH P, WELLISCH M (2012) Product developments in the bio-based chemicals arena. Biofuel Bioprod Bior 6: 606–624.

DELOGU M, ZANCHI L, DATTILO CA, PIERINI M (2017) Innovative composites and hybrid materials for electric vehicles lightweight design in a sustainability perspective. Mater Today Commun 13: 192–209.

DESSBESELL L, PALEOLOGOU M, LEITCH M, PULKKI R, XU CC (2020) Global lignin supply overview and kraft lignin potential as an alternative for petroleum-based polymers. Renew Sustainable Energy Rev 123: 109768.

EC (2018) A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Brussels: European Commission, COM 673final. 14 p.

EC (2014) Emission performance standards for new passenger cars. Brussels: European Commission, Regulation (EC) No 443/2009.

FALCONE PM, TANI A, TARTIU VE, IMBRIANI C (2020) Towards a sustainable forest-based bioeconomy in Italy: Findings from a SWOT analysis. For Pol Econ 110: 101910.

GEELS FW (2004) From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. Res Policy 33: 897–920.

GEELS FW, SCHOT J (2007) Typology of sociotechnical transition pathways. Res Policy 36: 399–417.

GEELS FW, SOVACOOL BK, SCHWANEN T, SORRELL S (2017) Sociotechnical transitions for deep decarbonization. Science 357 (6357): 1242–1244.

HÄNNINEN R, HURMEKOSKI E, MUTANEN A, VIITANEN J (2018) Complexity of assessing future forest bioenergy markets – review of bioenergy potential estimates in the European Union. Curr For Rep 4 (1): 13–22.

HANSEN T, COENEN L (2017) Unpacking resource mobilisation by incumbents for biorefineries: the role of micro-level factors for technological innovation system weaknesses. Technol Analysis Strat Manage 29: 500–513.

HENDERSON RM, CLARK KB (1990) Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. Admin Sci Quart 35: 9–30.

HOLLADAY JE, WHITE JF, BOZELL JJ, JOHNSON D (2007) Top value added chemicals from biomass, volume II: results of screening for potential candidates from biorefinery lignin. Richland/WA: Pacific Northwest National Laboratory, PNNL-16983. 87 p.

HURMEKOSKI E, JONSSON R, NORD T (2015) Context, drivers, and future potential for wood-frame multi-story construction in Europe. Technol Forecast Soc Chang 99: 181–196.

IEA (2020) Outlook for biogas and biomethane. Paris: International Energy Agency. 93 p.

IMBERT E, LADU L, MORONE P, QUITZOW R (2017) Comparing policy strategies for a transition to a bioeconomy in Europe: the case of Italy and Germany. Energ Res Soc Sci 33: 70–81.

ISIKGOR FH, BECER CR (2015) Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. Polymer Chem 6: 4497–4559.

KAMM B, KAMM M (2004) Biorefinery – systems. Chem Biochem Engineer Quart 18 (1): 1–6.

KOHL D, LINK P, BÖHM S (2016) Wood as a technical material for structural vehicle components. Procedia CIRP 40: 557–561.

KORHONEN J, KOSKIVAARA A, TOPPINEN A (2020) Riding a Trojan horse? Future pathways of the fiber-based packaging industry in the bioeconomy. For Pol Econ 110: 101799.

KRIECHBAUM M, LOPEZ PROL J, POSCH A (2018) Looking back at the future: dynamics of collective expectations about photovoltaic technology in Germany & Spain. Technol Forecast Soc Chang 129: 76–87.

LEDL C, STARY P, SCHWARZBAUER P, STERN T (2014) Substitution potential of bio-based packaging films in food industries. Jahrb Österr Ges Agrarökon 24: 161–170.

LENZING GRUPPE (2019) Annual Report 2018. Lenzing: Lenzing Aktiengesellschaft. 158 p.

LESKINEN P, CARDELLINI G, GONZÁLEZ-GARCÍA S, HURMEKOSKI E, SATHRE R ET AL (2018) Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. Joensuu: European Forest Institute, From Science to Policy 7. 28 p.

LETTNER M, SOLT P, RÖSSIGER B, PUFKY-HEINRICH D, JÄÄSKELAINEN AS ET AL (2018) From wood to resin-identifying sustainability levers through hotspotting lignin valorisation pathways. Sustainability 10: 2745.

LI T, TAKKELLAPATI S (2018) The current and emerging sources of technical lignins and their applications, Biofuel Bioprod Bior 12: 756–787.

MAIR-BAUERNFEIND C, ZIMEK M, LETTNER M, HESSER F, BAUMGARTNER RJ ET AL (2020) Comparing the incomparable? A review of methodical aspects in the sustainability assessment of wood in vehicles. Int J Life Cycle Assess. doi: 10.1007/s11367-020-01800-1

MALICO I, NEPOMUCENO PEREIRA R, GONÇALVES AC, SOUSA AMO (2019) Current status and future perspectives for energy production from solid biomass in the European industry. Renew Sustainable Energ Rev 112: 960–977.

MANDLEY SJ, DAIOGLOU V, JUNGINGER HM VAN VUUREN DP, WICKE B (2020) EU bioenergy development to 2050. Renew Sustainable Energ Rev 127: 109858.

MICHELS J, WAGEMANN K (2010) The German lignocellulose feedstock biorefinery project. Biofuel Bioprod Bior 4: 263–267.

MÜLLER U, JOST T, KURZBÖCK C, STADLMANN A, WAGNER W ET AL (2019) Crash simulation of wood and composite wood for future automotive engineering. Wood Mater Sci Eng 7: 1–13.

MUTHU SS (2014) Assessing the environmental impact of textiles and the clothing supply chain. Burlington: Elsevier, Woodhead Publishing Series in Textiles. 212 p.

NÄYHÄ A, HETEMÄKI L, STERN T (2014) New products outlook. In: Hetemäki L, editor. Future of the European forest-based sector: structural changes towards bioeconomy. Joensuu: European Forest Institute, What Science Can Tell Us 6. pp. 43–54.

NEIL-BOSS N, BROOKS K (2013) Unwrapping the packaging industry: seven factors for success. London: EYGM Limited. 24 p.

OMAR MA (2011) The automotive body manufacturing systems and processes. Chichester: Wiley 372 p.

PARTANEN A, CARUS M (2016) Wood and natural fiber composites current trend in consumer goods and automotive parts. Reinforced Plastics 60: 170–173.

PELLI P, LÄHTINEN K (2020) Servitization and bioeconomy transitions: insights on prefabricated wooden elements supply networks. J Clean Prod 244: 118711.

PULIDINDI K, PRAKASH A (2018) Packaging materials market size by material (paper & cardboard, rigid plastic, metal, flexible Plastic, glass, wood, textile) [....] GMI2482. Delaware: Global Market Insights. 480 p.

RANACHER L, STERN T, SCHWARZBAUER P (2017) Do wood products protect the climate? Public perception of the forestbased sector's contribution to climate change mitigation. Aust J For Sci 134: 281–298.

ROSENBLOOM D, MEADOWCROFT J, CASHORE B (2019) Stability and climate policy? Harnessing insights on path dependence, policy feedback, and transition pathways. Energ Res Soc Sci 50: 168–178.

SAYYED AJ, DESHMUKH NA, PINJARI DV (2019) A critical review of manufacturing processes used in regenerated cellulosic fibres: viscose, cellulose acetate, cuprammonium, LiCl/DMAc, ionic liquids, and NMMO based lyocell. Cellulose 26: 2913–2940.

SCHOT J, GEELS FW (2008) Strategic niche management and sustainable innovation journeys: Theory, findings, research agenda, and policy. Technol Analysis Strat Manage 20: 537–554.

SMITH A, RAVEN R (2012) What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability. Res Pol 41: 1025–1036.

SPEKREIJSE J, LAMMENS T, PARISI C, RONZON T, VIS M (2019) Insights into the European market for bio-based chemicals: analysis based on 10 key product categories. Luxembourg: Publications Office European Union. 162 p.

STAFFAS L, GUSTAVSSON M, MCCORMICK K (2013) Strategies and policies for the bioeconomy and bio-based economy: an analysis of official national approaches. Sustainability 5: 2751–2769.

STERN T, LEDL C, BRAUN M, HESSER F, SCHWARZBAUER P (2015) Biorefineries' impacts on the Austrian forest sector: a system dynamics approach. Technol Forecast Soc Chang 91: 311–326.

STERN T, RANACHER L, MAIR C, BERGHÄLL S, LÄHTINEN K ET AL (2018) Perceptions on the importance of forest sector innovations: biofuels, biomaterials, or niche products? Forests 9: 255.

STRÄHLE J, MÜLLER V (2017) Key aspects of sustainability in fashion retail. In: Strähle J, editor. Green Fashion Retail. Singapore: Springer, Springer Series in Fashion Business 30. pp. 7–26.

STRØM-ANDERSEN N (2019) Incumbents in the transition towards the bioeconomy: the role of dynamic capabilities and innovation strategies. Sustainability 11: 5044.

THE FIBER YEAR CONSULTING (2017) The Fiber Year 2017. World Survey on Textiles & Nonwovens (No. 17). Freidorf: The Fiber Year GmbH. 206 p.

UNECE/FAO (2019) Forest products annual market review, 2017–2018. Geneva: UNECE/FAO Forestry and Timber Section. 153 p.

UNRUH GC (2000) Understanding carbon lock-in. Energy Policy 28: 817–830.

ÜTEBAY B, ÇELIK P, ÇAY A (2019) Effects of cotton textile waste properties on recycled fibre quality. J Clean Prod 222: 29–35.

VAN DAEL M, LIZIN S, SWINNEN G, VAN PASSEL S (2017) Young people's acceptance of bioenergy and the influence of attitude strength on information provision. Renewable Energy 107: 417–430.

WENGER J, STERN T (2019) Reflection on the research on and implementation of biorefinery systems – a systematic literature review with a focus on feedstock. Biofuel Bioprod Bior 13: 1347–1364.

WENGER J, HAAS V, STERN T (2020) Why can we make anything from Lignin except money? Towards a broader economic perspective in Lignin research. Curr For Rep. doi: 10.1007/s40725-020-00126-3

WESSELER J, VON BRAUN J (2017) Measuring the bioeconomy: economics and policies. Ann Rev Resource Econ 9: 275–298.

La bioéconomie dans le secteur de la forêt et du bois: changement progressif ou perturbateur?

Dans la vision d'une bioéconomie basée sur la forêt, l'innovation en tant que moteur du changement devrait conduire au renforcement économique, à la réduction des émissions, à de nouvelles opportunités commerciales et à l'emploi. Le document explore la question de savoir quels changements émanent des innovations fréquemment mentionnées dans le contexte d'une bioéconomie basée sur la forêt et dans quelle mesure ces innovations pourraient changer le secteur de la forêt et du bois d'une manière systémiquement pertinente. A cette fin, une recherche documentaire systématique a été menée afin d'identifier les domaines d'innovation pertinents et d'analyser les forces motrices, les barrières à l'entrée et les potentiels pour le secteur. Six domaines d'innovation ont été identifiés et analysés. Nombre de ces domaines d'innovation sont largement dépourvus de caractère radical, mais présentent en même temps un potentiel pour atteindre les objectifs d'une bioéconomie. Les innovations envisagées tendent à conduire à une expansion partielle de la filière forêt-bois et donc à de nouveaux paysages sectoriels.

Bioeconomy in the forest-based sector: incremental or disruptive change?

Innovations as a driving force for change in the vision of a forest-based bioeconomy should lead to a stronger economy, reduced emissions, new business opportunities and employment. This paper explores the question of which changes emanate from the innovations frequently mentioned in the context of a forest-based bioeconomy and to what extent these innovations could change the forest and timber sector in a systemically relevant way. To this end, a systematic literature search was conducted to identify the relevant fields of innovation and to analyze the driving forces, entry barriers and potentials for the sector. Six fields of innovation were identified and analyzed. Many of these fields of innovation lack a radical character but at the same time show potential for the achievement of the goals of a bioeconomy. The innovations under consideration tend to lead to a partial expansion of the forest-based sector and thus to new sectoral landscapes.