



Dialogfeld 4: Holzbeschaffung und nachhaltige Holznutzung



Holz im Brennpunkt – Möglichkeiten und Grenzen von Lebenszyklusanalysen

Bericht über die 60. Ausgabe des LCA Diskussionsforums vom 4. Dezember 2015
an der ETH Zürich

Lucienne Rey, texterey.ch

Bern, Januar 2016

Inhalt

1.	Über die Veranstaltung	3
2.	EXECUTIVE SUMMARY	4
3.	Neue Inventardaten für die europäische Holzwertschöpfungskette	7
4.	Herausforderungen methodischer Art	7
5.	Biogene Kohlenstoffflüsse und ihre Auswirkungen auf das Klima	8
6.	Änderungen in der Biodiversität richtig einschätzen	8
7.	Zum ökologischen Fussabdruck von Holzhäusern	9
8.	Bioenergie: Wirkungsabschätzungen auf dem Prüfstand	10
9.	Von der Leichtbauweise mit Holz zur Bioraffinerie – innovative Holzprodukte unter der Lupe	11
10.	Das Gesamtsystem Wald und seine Auswirkungen auf das Klima	13
11.	Fazit und Ausblick	14

Informationen zur Veranstaltung / Dokumentation:

www.lcaforum.ch

Mit dem wachsenden Interesse der Konsumgesellschaft für nachhaltige Produkte und Energie steigt auch die Nachfrage nach Holz. Immer mehr drängt sich dabei die Frage auf, wie Holz und Holzprodukte auf eine ökologische Art bereitgestellt werden können. Das Diskussionsforum bot neue Perspektiven auf diese Frage, indem es verschiedene Ansätze der Lebenszyklusanalyse unter die Lupe nahm und dabei auch mit einigen Mythen aufräumte. Lebenszyklusanalysen (engl: Life Cycle Assessment, LCA) sind systematische Analysen der Umweltwirkungen von Produkten während ihres ganzen Lebensweges von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung.

1. Über die Veranstaltung

Die 60. Ausgabe des LCA Diskussionsforums an der ETH Zürich am 4. Dezember 2015 widmete sich ganz der ökologischen Nutzung der Ressource Holz (www.lcaforum.ch). Den Anstoss zu diesem thematischen Fokus gab der Abschluss einiger Untersuchungen zur ökologischen Nutzung von Holz in der Schweiz im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 66 „Ressource Holz“ des Schweizerischen Nationalfonds (SNF). Die Resultate wurden zusammen mit weiteren Expertenvorträgen erstmals einer breiteren Öffentlichkeit vorgestellt.

Die mit dem Titel „Environmental Use of Wood Resources“ überschriebene und von der ETH (Bernhard Steubing, Niko Heeren und Florian Suter) und der EMPA (Roland Hischier) gemeinsam organisierte Veranstaltung zog Referentinnen und Referenten aus ganz Europa an. Auch das Publikum war bunt gemischt: Von 70 Teilnehmerinnen und Teilnehmern reisten 30 aus dem Ausland an. Die vorgestellten Projekte gewährten denn auch aufschlussreiche Einblicke in Fragestellungen und Innovationen, die derzeit die Fachwelt in der Schweiz und im näheren und fernen Europa beschäftigen.

Vier Themenblöcke befassten sich aus unterschiedlichem Blickwinkel mit der LCA von Holz und Holzprodukten. Nebst Datenbanken für Ökobilanzen (Block 1) kam die Weiterentwicklung der Methoden zur Wirkungsabschätzung zur Sprache (Block 2). Berechnungen zum ökologischen Fussabdruck verschiedener innovativer Holzprodukte verbanden die Forschung mit der Praxis (Block 3). Die in Block 4 vorgestellten Projekte betrachteten die ganze (oder grosse Teile) der Holzwertschöpfungskette. Neben dem Waldmanagement gehört dazu auch die Holzverwendung (in Produkten oder zur Energiegewinnung).



60. Ausgabe des LCA Diskussionsforums an der ETH Zürich, 4. Dezember 2015

2. EXECUTIVE SUMMARY

Die ökologische Nutzung und Verwendung der Holzressourcen stand im Mittelpunkt der 60. Ausgabe des LCA Discussion Forums, die mit rund 70 Teilnehmenden aus dem In- und Ausland am 4. Dezember an der ETH Zürich stattfand. Die Vorträge unterstrichen das klimaschützende Potenzial der Holzbranche und zeigten die beeindruckenden Möglichkeiten von Lebenszyklusanalysen (LCA), wiesen aber auch auf ungelöste methodische Probleme hin.

Den Anstoss zu diesem thematischen Fokus gab der Abschluss einiger Untersuchungen zur ökologischen Nutzung von Holz in der Schweiz im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 66 „Ressource Holz“ des Schweizerischen Nationalfonds (SNF). Die Resultate wurden zusammen mit weiteren Expertenvorträgen erstmals einer breiteren Öffentlichkeit vorgestellt.

In vier Themenblöcken leuchtete das Forum verschiedene Aspekte von LCA (für: Life Cycle Analysis bzw. Ökobilanzen) aus. Nebst Datenbanken für Ökobilanzen (Block 1) kam die Weiterentwicklung der Methoden zur Wirkungsabschätzung zur Sprache (Block 2). Berechnungen zum ökologischen Fussabdruck verschiedener innovativer Holzprodukte verbanden die Forschung mit der Praxis (Block 3), während Block 4 aus der systemischen Perspektive unterschiedliche Formen des Waldmanagements und der Holzverwendung sowie die jeweiligen ökologischen Folgen auslotete.

2.1 Herausforderungen methodischer Art

Hinter jeder LCA stehen umfangreiche Datensätze, die etwa die Umweltauswirkungen verschiedener Holzerntemethoden oder unterschiedlicher Holzprodukte beziffern. Die soeben abgeschlossene Aktualisierung der ecoinvent-Datenbank, die vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) mitfinanziert wurde, ermöglicht es, die Wertschöpfungskette von Holz noch genauer als bisher abzubilden. Allerdings gibt es nach wie vor Potenzial zu weiteren Präzisierungen, indem noch nicht alle Stoffflüsse erfasst sind. Methodische Fragen stellen sich auch im Hinblick darauf, wie Systemgrenzen gezogen und der zeitliche Betrachtungshorizont gewählt wird. Die Interaktionen zwischen den naturräumlichen Prozessen und die durch Menschen vorgenommenen Eingriffe sind schwer zu fassen, und je nach gewählter Methode können die Ergebnisse diametral unterschiedlich ausfallen: Während der eine Ansatz unter Umständen dem Ersatz eines Produktes durch eine holzbasierte Alternative einen sehr günstigen Einfluss auf das Klima bescheinigt, kann ein anderer Ansatz zur entgegengesetzten Schlussfolgerung kommen. Zur höheren Präzision von LCA trägt bei, wenn auch natürliche Abbauprozesse von Treibhausgasen bzw. die Effekte aus der Biosphäre berücksichtigt werden. Die Berechnungen werden damit freilich nicht einfacher. Aber sie stellen letztlich eine genauere Evaluation allfälliger Massnahmen zur Senkung des Ausstosses von Treibhausgas in Aussicht und mindern somit die Gefahr, dass Geld in Klimaschutzmassnahmen investiert wird, die nur wenig bewirken oder gar kontraproduktiv sind. Werden LCA mit anderen Ansätzen wie beispielsweise der Artenzahl-Areal-Modellen und Vulnerabilitätsindikatoren verbunden, gestatten sie Rückschlüsse darauf, wie verschiedene Formen der Landbewirtschaftung die Biodiversität beeinflussen – und zwar in globalem, regionalem und lokalem Massstab. Die Ergebnisse dieser Betrachtung unterstreichen, dass gerade bei Holzprodukten, die oftmals weit weg von ihrem Ursprungsort konsumiert werden, eine globale Sicht angezeigt ist, um die durch sie verursachten Umweltschäden richtig einzuschätzen. *(Referierende: Frank Werner, Umwelt und Entwicklung; Frida Røyne, SP Sweden; Francesco Cherubini, NTNU Norway; Abhishek Chaudhary, ETH Zürich.)*

2.2 Zum ökologischen Fussabdruck von Holzhäusern und Bioenergie

Wenn Holz ressourcen- und energieintensive Materialien ersetzt, hat dies positive Auswirkungen auf das Klima – so der Grundtenor verschiedener Analysen aus dem In- und Ausland. In der Schweiz eröffnen sich damit bei der Renovation der bestehenden Bausubstanz positive Potenziale, die sich auch mit Zahlen untermauern lassen. Norwegischen Erfahrungen zufolge wirkt sich insbesondere das leichte Gewicht von Holz positiv aus, weil es damit u.a. möglich wird, beim Ersatz von Gebäuden die bestehenden Fundamente wieder zu verwenden und darauf Bauten zu errichten, die höher sind (also mehr Stockwerke zählen) als die abgebrochenen Häuser. Beim Vergleich funktional äquivalenter Gebäude sollten daher nicht nur Eigenschaften wie Lärmdämmung und Feuerschutz überprüft werden, sondern auch das Gewicht grössere Beachtung finden. Holz verfügt indes nicht nur als Baumaterial über klimafreundliche Eigenschaften, sondern auch als energetische Ressource. Im Kanton Waadt könnten 10 bis 15 Prozent des Energiebedarfs mit Holz abgedeckt werden. Allerdings sind die in Frage kommenden Heiztechniken unterschiedlich effizient; am besten schneidet die Umwandlung von Holz in Gas ab – vorausgesetzt, die dabei anfallende Restwärme wird ebenfalls genutzt. Die positiven Klimaeffekte von Holz als Energieträger bestätigen sich in einer Studie aus Bayern. Wenn sich die Betrachtung allerdings nicht auf den Ausstoss von Treibhausgas beschränkt, sondern auch die Emission von Feinstaub in den Blick nimmt, sind die Auswirkungen der Nutzung von Energieholz auf die Umwelt nicht mehr rundum positiv. Dennoch hätte ein gänzlicher Verzicht auf die Verwendung von Holz als Energieträger zur Folge, dass die Umwelt in Bayern gegenüber dem heutigen Stand um zusätzliche 6,4 Millionen Tonnen Treibhausgas belastet würde. Solche Zahlen belegen, dass LCA äusserst hilfreich sind, um die Folgen politisch definierter Zielwerte aufzuzeigen. *(Referierende: Niko Heeren, ETH Zürich; Lars Tellnes, Norwegian Wood Technology; Denis Bochatay, Quantis; Christian Wolf, TU München.)*

2.3 Von der Leichtbauweise mit Holz zur Bioraffinerie – innovative Holzprodukte unter der Lupe

Die Forschung arbeitet derzeit an neuen Holzprodukten, die ihren Weg in die Baubranche finden könnten. Die innovativen Panels und Platten bestechen durch positive Eigenschaften wie einen geringen Feuchtigkeitsgehalt und günstige Wärmedämmeigenschaften. Im einen vorgestellten Fall, dem Material «holzpur», kann auf eine chemische Behandlung oder auf den Einsatz von Leim verzichtet werden. In der LCA schneidet dieses Produkt deutlich besser ab als vergleichbare verleimte Platten. Bei den ebenfalls präsentierten ultraleichten Platten, die ihr leichtes Gewicht einem Kern aus biogenem Schaum verdanken, werden die positiven Effekte für das Klima dadurch etwas gemindert, dass der derzeit verwendete Schaumstoff höhere ökotoxische Belastungen zur Folge hat. Dabei gilt es, bei der Beurteilung von Holzprodukten ihren ganzen Lebensweg bzw. die ganze Holzkaskade im Blick zu behalten. Positive Eigenschaften, die das Holz in der Gebrauchsphase aufweisen muss, werden nämlich oft durch (chemische) Behandlungen in der Produktionsphase erzielt. Die Belastung der Umwelt wiederum erfolgt nicht selten auch bei der Entsorgung. Labels könnten der Baubranche als Unterstützung dienen, um besonders umweltfreundliche Produkte auszuwählen. Derzeit wird an der Entwicklung entsprechender Standards gearbeitet. Nach verschiedenen Zeithorizonten aufgeschlüsselte LCAs, die ausserdem zwischen unterschiedlichen Forststrukturen unterscheidet, können dazu dienen, die klimatischen Auswirkungen von Wald und Holzprodukten genauer zu erfassen. Dass der Ersatz fossiler Energie und Produkte durch Holz eine wirkungsvolle Möglichkeit darstellt, den Klimawandel zu mindern, bestätigt freilich auch dieser Ansatz. Bioraffinerien erlauben es, Holz nicht nur direkt als Ausgangsmaterial für den Bau oder für Verpackungsmaterial zu verwenden, sondern so umzuwandeln, dass es als Ersatz einer ganzen Palette von erdölbasierten Stoffen dienen kann. Die

dazu erforderlichen chemischen Prozesse sind allerdings oft energie- und ressourcenintensiv, und in der Regel kann das Endprodukt über verschiedene Reaktionsketten erzeugt werden. Für ein Unternehmen wäre es hilfreich zu wissen, welche Reaktionsketten am wirtschaftlichsten sind und es gestatten, die Reststoffe, die beim einen Schritt anfallen, für weitere Zwecke zu verwenden. Die neu entwickelte „Waldbox“ gestattet es, die verschiedenen in Frage kommenden Herstellungsverfahren miteinander zu vergleichen und bereits bei der Planung entsprechender Anlagen Effizienz und Umweltauswirkungen unterschiedlicher Bioraffineriekonzepte zu evaluieren. (Referierende: Philippe Stolz, treeze Ltd.; Christelle Ganne-Chédeville, Berner Fachhochschule; Andreja Kutnar, University of Primorska; Merten Morales, ETH Zürich; Antti Kilpeläinen, University of Eastern Finland.)

2.4 Das Gesamtsystem Wald und seine Auswirkungen auf das Klima

Optimierte Forstwirtschaftskonzepte, die den Wald in der ganzen Schweiz im Blick behalten, könnten die klimafreundlichen Effekte einer verstärkten Holznutzung maximieren. Den systemischen Blick über die gesamte Holzproduktion und -nutzung in der Schweiz ermöglicht die Verbindung von Materialflussanalysen und LCA. Die verschiedenen mit Holz hergestellten Produkte haben einen nachweislich unterschiedlichen Impact auf das Klima. Noch kaum positiv auf die Treibhausgasemissionen wirkt sich die gegenwärtige Nutzung von Altholz aus; dabei hat die Holznutzung in der Kaskade erwiesenermassen günstige Auswirkungen auf den Klimawandel, sofern energieintensive Materialien ersetzt werden und das Holz am Ende seines Lebenszyklus' in die Energiegewinnung gelangt. Weitet sich der Blick von der Schweiz auf ganz Europa aus, bestätigen sich die vorteilhaften Umweltauswirkungen von Wäldern und von einer verstärkten Holznutzung. LCA gestatten dabei nach Forsttyp und Waldmanagementsystem differenzierte Aussagen und können so angelegt werden, dass sie auch für unterschiedliche zeitliche Betrachtungshorizonte zutreffende Ergebnisse liefern. Somit lässt sich die Dynamik der Wälder besser verstehen. Werden auch noch ökonomische Indikatoren (etwa Holzpreis oder Arbeitslosenzahl) in die Betrachtung einbezogen, stellen LCA-gestützte Simulationen wirkungsvolle Instrumente bereit, um frühzeitig die Wirkung politischer Eingriffe abzuschätzen und aufzudecken, wenn verschiedene Massnahmen einander entgegenwirken oder über einen längeren Zeitraum betrachtet kontraproduktive Kraft entfalten. (Referierende: Florian Suter, ETH Zürich; Giuseppe Cardellini, KU Leuven; Frank Werner, Umwelt und Entwicklung.)

2.5 Fazit und Ausblick

Die abschliessende Paneldiskussion unterstrich, dass eine Auseinandersetzung mit räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen von LCA die Methode weiterbringen dürfte. Allerdings wurde auch die Befürchtung laut, die zunehmend komplexer werdenden Berechnungen könnten verwirrend und nur noch schwer zu kommunizieren sein. Im Hinblick auf ihre Wirkungskraft in der Praxis ist es entscheidend, dass sich auch vielschichtige Ergebnisse auf einfachere „Take-Home-Botschaften“ herunterbrechen lassen. Nicht zuletzt sollen Forschende mehr in den Dialog mit ihren wichtigsten Stakeholdern investieren, um Entscheidungen in Wirtschaft und Politik mit neuen Erkenntnissen aus den LCA aktiv beeinflussen zu können.

3. Neue Inventardaten für die europäische Holzwertschöpfungskette

Die Fachleute aus der Praxis durften zu Beginn des 60. LCA Forums erfreut zur Kenntnis nehmen, dass die Inventare zu holzbezogenen Daten in der internationalen Ökobilanzdatenbank ecoinvent (Version 3.2) soeben aktualisiert und beträchtlich angereichert wurden. Das vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) mitfinanzierte Update deckt sechs verschiedene Bereiche der Wertschöpfungskette von der Forstwirtschaft über Produkte aus der Sägerei bis zur Entsorgung in der Kehrichtverbrennung ab. Die Daten zu den Waldbewirtschaftungsverfahren werden nun nicht mehr allein aus Deutschland alimentiert, sondern umfassen auch Angaben aus Schweden und der Schweiz. Gegenüber der früheren Version von ecoinvent wurde die Wertschöpfungskette auch dadurch modifiziert, dass die Produkte aus den Sägewerken differenziert und der Bereich der Konservierung von gelagertem Holz mit Holzschutzmitteln ausgedehnt wurde. Neu gibt es zudem Daten für unterschiedliche – mithin realistischere – Holzdichten, sodass sich Schrumpfungsprozesse abbilden lassen. Die Berechnungen werden dadurch zwar komplexer, aber auch robuster. Schliesslich wurden entlang der Prozesskette ein paar Nebenprodukte eingefügt, die teilweise für die Schweiz nicht relevant sind, wohl aber für andere Länder. Die treibenden Kräfte bleiben gleich, können aber dank präziserer Daten besser auf verschiedene Kontexte (auch in anderen Ländern) angewendet werden.

In der Fragerunde wurde deutlich, dass ein weiterer Ausbau der Daten aus Sicht der Anwender wünschenswert wäre. Ein Ziel müsste es auch sein, die neuen ecoinvent-Daten in die Liste der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB) einfließen zu lassen. (*Referent: Frank Werner, Umwelt & Entwicklung*)

4. Herausforderungen methodischer Art

Der Frage, wie bei der LCA von Holzprodukten klimatisch bedingten Effekten Rechnung getragen wird, ging eine ausgedehnte Literaturanalyse nach. Zu bedenken gilt es dabei, dass die Annahme, es gebe einen klimaneutralen Konsum, wegen zeitlicher Verschiebungen nur bei einem langen Betrachtungshorizont zutrifft: Denn die Speicherleistung des Waldes kann sich im Lauf der Zeit verändern wie überhaupt die Landnutzung an einem gegebenen Standort. Zudem spielt die Albedo eine Rolle, indem unbedeckter Boden anders reagiert als bewachsener. Solche Faktoren fallen ins Gewicht – werden aber von den vorhandenen Inventardaten nur teilweise abgedeckt. Wenn etwa herkömmlicher Treibstoff mit Bioethanol verglichen wird, kann dies bei einer LCA zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen führen, die davon abhängen, ob klimarelevante Daten (insbesondere Störungen des Bodenhaushaltes, Albedo und biogener CO₂-Ausstoss) einbezogen werden oder nicht. Wird die häufig verwendete Umweltbewertung des Status quo mit einer dynamischen, vorausschauenden LCA verglichen, treten die Unterschiede noch deutlicher zutage. Eine Studie, die analysiert, welche Auswirkungen der Ersatz von Benchmark-Produkten durch holzbasierte Alternativen auf das Klima nach sich zieht, zeigt auf, dass sich die Ergebnisse erheblich unterscheiden, je nachdem, welcher LCA-Ansatz angewendet wird. Im Extremfall kann beispielsweise die eine Studie dem Ersatz von Methanol aus Naturgas durch Biomethanol massiv positive Klimaeffekte bescheinigen, während die Untersuchung mit einem anderen LCA-Ansatz zum Schluss kommt, die Umweltwirkung sei extrem klimaschädlich. Je nach Methode können also die Ergebnisse diametral entgegengesetzt ausfallen. Dies, weil noch nicht wirklich klar ist, wie der Wald mit dem Klima interagiert und wie diese Interaktionen innerhalb der Ökobilanzierung zweckmässig abgebildet werden können. Auch sind die Auswirkungen der Gewinnung von

Biomasse ungewiss. Entsprechend eignen sich die bestehenden Modelle schlecht, um diese Interaktion abzubilden, und die Frage muss offenbleiben, wie die Forschung mit den bestehenden Unzulänglichkeiten umgehen soll.

In der Diskussion bestätigte sich, dass die vom Menschen verursachten klimatischen Impacts von den natürlichen unterschieden werden müssten. Auch wäre es wichtig, beim Impact von Kohlenstoff aus unterschiedlichen Quellen und Aktivitäten Prioritäten setzen zu können. Jedenfalls besteht kein Zweifel, dass es Raum für Präzisierungen an den bestehenden LCA-Ansätzen gibt. (*Referentin: Frida Røyne, SP Sweden*)

5. Biogene Kohlenstoffflüsse und ihre Auswirkungen auf das Klima

Holz aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung galt lange Zeit als klimaneutral. Neuere Arbeiten belegen, dass dies nicht zwangsläufig der Fall ist, denn durch die Entnahme und Oxidation von Holz zu CO₂, etwa bei der Verbrennung, entsteht eine Klimawirkung so lange, bis das CO₂ wieder in Form von Biomasse gebunden ist. Untersuchungen zeigen, dass klimatische Bedingungen wie etwa durchschnittliche Jahrestemperatur und Niederschlagsmenge den relativen Beitrag einer genutzten Menge Holz zur globalen Erwärmung erheblich beeinflussen. Ebenfalls relevant sind in dieser Betrachtung die Art der angepflanzten Bäume, ihre Umtriebszeit und die Rate der weggeräumten Rückstände. Damit aber noch nicht genug der Schwierigkeiten. Denn die Auswirkungen von Holzprodukten auf das Klima variieren auch in Abhängigkeit ihrer Lebensdauer. Als Faustregel gilt, dass das globale Treibhauspotenzial bei null liegt, wenn das CO₂ halb so lange im Produkt gespeichert bleibt, wie die Umtriebszeit der Pflanze, die den dafür erforderlichen Rohstoff liefert. Verschiedene Mythen, welche die Auseinandersetzung mit der globalen Erwärmung prägen, werden durch die Forschung widerlegt: So ist die Frage zu verneinen, ob CO₂, das am einen Ort durch die Abholzung von Wald freigesetzt wird, durch die Speicherung von Treibhausgas an einem anderen Ort ausgeglichen wird. Dies widerspräche einer konsistenten Definition der Systemgrenzen. Die bisherigen Forschungsergebnisse unterstreichen, dass klimarelevante biologisch-physikalische Faktoren unbedingt in Ökobilanzen mit einbezogen werden müssen, weil sonst die Gefahr besteht, dass Geld in Klimaschutzprojekte fließt, die nur wenig bewirken oder gar kontraproduktiv sind.

In der Diskussion bestätigte sich, dass es erforderlich wäre, bei einer LCA vermehrt über die Auswahl des Betrachtungszeitraums nachzudenken. (*Referent: Francesco Cherubini, Norwegian Institute of Science and Technology NTNU*)

6. Änderungen in der Biodiversität richtig einschätzen

Der methodische Teil des Forums schloss mit einer Arbeit ab, die auf verschiedenen Skalen (lokal / regional / global) die Auswirkungen der Landnutzung auf die Biodiversität quantifiziert. Bei der lokalen Betrachtung zeigte sich, dass die Intensität der Waldbewirtschaftung die Anzahl der Tier- und Pflanzenarten beeinflusst. Flächen mit Kahlschlag weisen nur noch rund die Hälfte an Arten auf, die im naturnahen Wald zu finden sind. Für die Analyse auf regionaler Ebene wurden Artenzahl-Areal-Modelle mit Vulnerabilitätsindikatoren kombiniert. Dieser Ansatz gestattet es, weltweit Regionen auszuweisen, die aufgrund von Landnutzung besonders stark vom Rückgang an Biodiversität bedroht sind. Tropische Gebiete und insbesondere Inseln sind besonders stark

durch Biodiversitätsverlust betroffen; dies in erster Linie, weil sie eine hohe Anzahl bedrohter Arten beheimaten. Schliesslich untersuchte die Studie, wie sich die globale Produktion von Rundholz auf die Artenvielfalt auswirkt. Als Beispiel für ein Land mit hohen Artenverlusten pro Kubikmeter geerntetes Holz wurde Madagaskar genannt. Demgegenüber würde Indien geringere Verluste riskieren, weil das meiste Holz aus Plantagen stammt, die naturnahen Wälder aber weitgehend ungestört bleiben. Die Ergebnisse unterstreichen, dass bei importierten Holzprodukten eine globale Sicht angezeigt ist, um die Umweltschäden richtig einzuschätzen. Eine Schwierigkeit bei der Bewertung sind Datenlücken über die weltweite Waldnutzungsintensität sowie taxonomischer Gruppen wie Pilze und Bakterien. Die Erkenntnisse liefern einen wesentlichen Beitrag zum Projekt «Life cycle management of wood in Switzerland: Methods, tools and environmental decision support», das unter der Leitung von Stefanie Hellweg an der ETH Zürich im Rahmen des NFP 66 durchgeführt wurde.

In der Diskussion wurde auf Studien hingewiesen, die darauf hindeuten, dass in extensiv bewirtschafteten Wäldern zum Teil ähnlich viele Arten leben wie in Naturwäldern. Die Schweiz befindet sich im weltweiten Vergleich insofern in einer privilegierten Lage, als dass hier die Ernteerträge relativ hoch sind und es gleichzeitig kaum endemische Arten gibt, die verloren gehen können. Allerdings verändert sich die Artenzusammensetzung oft auf Kosten der einheimischen Arten. Aufgrund wechselnder Lichtverhältnisse können sich z.B. im bewirtschafteten Forst zwar Arten ansiedeln, die mehr Helligkeit benötigen; dafür verschwinden andere, die die Sonneneinstrahlung meiden. Verschiebungen der Arten sind schwer zu erfassen. Die verschiedenen Skalen von Biodiversitätsverlust sind aus unterschiedlichen Gründen wichtig: Ein globaler Verlust von Arten ist irreversibel und sollte daher im Vordergrund der Betrachtung stehen. Jedoch ist auch die lokale Biodiversität von Bedeutung, um das Funktionieren der Ökosysteme zu gewährleisten. (*Referent: Abhishek Chaudhary, ETH Zürich*)

7. Zum ökologischen Fussabdruck von Holzhäusern

Müssen Gebäude renoviert oder erneuert werden, stellt sich die Frage, welche Rolle Holz dabei spielen könnte und welche ökologischen Vorteile ein vermehrter Einsatz dieser nachwachsenden Ressource mit sich brächte. Diese Fragen u.a.m. standen im Zentrum der Untersuchungen im bereits erwähnten Projekt von Stefanie Hellweg und ihrem Team im NFP 66. Die Verknüpfung mehrerer Datensätze gestattet es, ein Inventar des bestehenden Schweizer Gebäudeparks zu erstellen, das – in Abhängigkeit von Haustyp und Baujahr – Rückschlüsse auf die verwendeten Baumaterialien zulässt. Dies wiederum erlaubt es, die zukünftigen Massenströme aufgrund von Neubau, Sanierung und Abriss abzuschätzen und Annahmen über die Materialien zu treffen, die dabei anfallen sowie verwendet werden könnten. In die Wirkungsanalyse fliessen ferner auch Annahmen über den Bedarf an Heizenergie ein, der u.a. aufgrund eines simulierten Vergleichs von Massiv- und Holzgebäuden ermittelt wurde. Dabei zeigt sich, dass massive Gebäude Wärmeenergie zwar besser speichern als funktional gleichwertige Holzgebäude, sodass ein Holzhaus über das ganze Jahr hindurch geringfügig mehr Heizenergie benötigt. Dafür wird beim Bau eines Holzhauses etwa nur die Hälfte an Treibhausgasen für die Produktion der verwendeten Materialien ausgestossen. Gemäss der vorgestellten Sensitivitätsanalyse schneidet das Holzhaus über den ganzen Lebenszyklus betrachtet in den meisten Fällen besser ab als ein gleichartiges Gebäude aus Beton oder Ziegeln. Im nächsten Schritt sollen nun noch Zukunftsszenarien gerechnet werden; ausschlaggebend werden dabei unterschiedliche Renovations- und Neubauraten und verschiedene Dämmstandards im Wohnungsbau sein.

In der Diskussion stiess auf Interesse, dass es die verwendete Methode auch gestatten würde, regional differenzierte Aussagen zum Einsatz von Holz im Gebäudepark zu treffen. Auch ist es das Ziel, die Verfügbarkeit von Altholz aus der bestehenden Bausubstanz für eine anschliessende materielle oder energetische Nutzung zu ermitteln. (*Referent: Niko Heeren, ETH Zürich*)

Forschungsarbeiten aus Norwegen untermauern den positiven Umwelteffekt von Holz beim Gebäudebau. In Bergen wurde dieses Jahr ein 14-stöckiges Hochhaus aus Holz fertiggestellt. Das darin gespeicherte CO₂ entspricht der Menge, die zehn Millionen Autos ausstossen würden, wenn sie über die in unmittelbarer Nachbarschaft gelegene Puddefjordsbrücke fahren. Auch im Vergleich verschiedener Typen von Fussböden stossen solche aus Beton mehr als doppelt so viel CO₂ aus wie solche aus Holz. Besonders vorteilhaft wirkt sich das geringe Gewicht von Holz aus; Holzgebäude wiegen nur etwa ein Drittel von Bauten aus Beton und Stahl. Das gestattet es, beim Ersatz von Bauwerken alte Fundamente zu verwenden, was den CO₂-Ausstoss erheblich mindert. Daher wäre es nötig, beim Vergleich funktionell äquivalenter Gebäude nicht nur Feuerschutz und Geräuschdämmung zu berücksichtigen, sondern auch Gewicht und Volumina der Materialien und Bauten. Damit die Materialforschung in die Praxis einfliessen kann, braucht es allerdings verbindliche Standards. Gegenwärtig finden diese beim Bauen noch wenig Beachtung, sodass sich die neu entstehenden Holzgebäude schlecht beurteilen lassen. Doch aufgrund ihres geringen Gewichts verfügen Bauteile aus Holz auf jeden Fall über ein erhebliches klimafreundliches Potenzial, wenn sie Elemente aus Beton ersetzen. (*Referent: Lars Tellnes, Norwegian Institute of Wood Technology*)

8. Bioenergie: Wirkungsabschätzungen auf dem Prüfstand

Mit dem energetischen Potenzial vorhandener Holzreserven setzt sich eine Untersuchung auseinander, die auf den Kanton Waadt fokussiert. Der Holzverbrauch im Kanton Waadt nimmt stetig zu – aber der Vorrat ist begrenzt. Bei der Umsetzung der Energiestrategie könnte Holz als erneuerbare Ressource dennoch eine bedeutende Rolle spielen, vorausgesetzt, es wird möglichst effizient verwendet. Die Berechnungen ermitteln ein erhebliches Potenzial; aktuell könnten 10 Prozent und unter den Bedingungen der neuen Energiepolitik gar 15 Prozent des Energiebedarfs in der Waadt mit Holz abgedeckt werden. Die verwendeten Technologien der Umwandlung von Holz in Energie (mobile Pellet-Herstellung, vorgetrocknete Pellets, Umwandlung zu Gas, Pyrolyse) sind freilich nicht alle gleich wirkungsvoll. Am besten schneidet die Umwandlung zu Gas um, die im Vergleich zu einer konventionellen Heizung mit Holzchips 26 Prozent mehr Ertrag bringt – allerdings unter der Bedingung, dass die beim Umwandlungsprozess anfallende Restwärme ebenfalls verwendet wird. Auch im Hinblick auf die Umweltfolgen schneidet die Umwandlung von Holz zu Gas vorteilhaft ab. LCA belegen somit ihren Wert für gut fundierte politische Entscheidungen; Holz sollte demnach prioritär in Elektrizität umgewandelt und die Restwärme zu Heizzwecken verwendet werden. Die Untersuchung wird nun weitergehen und befasst sich mit der Frage, wie viele der bestehenden Heizsysteme im Kanton Waadt ersetzt werden und durch andere Heiztechnologien ausgetauscht werden sollen. (*Referent: Denis Bochatay, Quantis*)

Auch in Bayern geht man der Frage nach, wie die Nutzung von Energieholz im Hinblick auf die Umweltfolgen optimiert werden könnte. Denn in Bayern liefert Holz 83 Prozent der Heizenergie aus erneuerbaren Quellen. Wird der ganze Lebenszyklus der unterschiedlichen Arten von Energieholz in den Blick genommen, schneidet das in Holzöfen traditionell verwendete Spaltholz beim Ausstoss

von Treibhausgas vorteilhaft ab – dies, weil sich eine aufwendige Zubereitung erübrigt und weite Transportwege entfallen, da sich die Verbraucher meist in der näheren Umgebung damit eindecken können. Wird hingegen auf den Ausstoss von Feinstaub fokussiert, liefern die traditionellen Holzöfen mit Spaltholz das schlechteste Ergebnis. In der Gesamtbilanzierung zeigt sich, dass das gesamthaft in Bayern verwendete Energieholz zwar nur für 1,7 Prozent des beim Heizen ausgestossenen Treibhausgases verantwortlich ist, dafür aber für 80 Prozent der Feinstaubemissionen. Das Bayerische Energiekonzept sieht nun vor, den Einsatz von Energieholz um 15 Prozent zu steigern. Dies hätte zur Folge, dass zwar zwei Prozent weniger Treibhausgas freigesetzt würden, der Ausstoss von Feinstaub aber um mehr als 11 Prozent zunähme. Beim gänzlichen Verzicht auf Holz als Energielieferant wiederum müsste vermehrt mit leichtem Heizöl, Erdgas und Strom geheizt werden; die Umwelt würde dadurch gegenüber dem aktuellen Stand um 6,4 Millionen Tonnen Treibhausgas mehr belastet. Aus der Untersuchung wird auch klar, dass Holz unter Mobilisierung aller verfügbaren Quellen höchstens ein Viertel der Energie aus erneuerbaren Quellen ausmachen kann.

Die Studie belegt einmal mehr, dass LCA äusserst nützlich sind, wenn es darum geht, politische Ziele zu beurteilen. In der Diskussion bestätigten sich aber auch die Grenzen der Interventionsmöglichkeiten: Traditionelle Holzöfen, die mit Spaltholz heizen, sind zwar wenig effizient und stossen viel Feinstaub aus; sie sind aber insbesondere in ländlichen Gebieten weit verbreitet, und es würde eine Generation dauern, um sie zu ersetzen. Zudem ist der Wechsel von Spaltholz auf Pellets technisch nicht ohne weiteres zu bewältigen. Bei politischen Entscheidungen spielt der Zeitfaktor in der Regel eine grosse Rolle. So besteht die beste kurzfristige Massnahme derzeit darin, das Bestehende zu bewahren. Denn die meisten Leute finden derzeit ihr Brennholz im näheren Umkreis, während die aufwendig zubereiteten Pellets möglicherweise aus Kanada oder Russland eingeführt würden. (*Referent: Christian Wolf, TU München*)

9. Von der Leichtbauweise mit Holz zur Bioraffinerie – innovative Holzprodukte unter der Lupe

Gegenwärtig wird in verschiedenen Labors an Holzfaserplatten und Wandverkleidungselementen geforscht, und es lohnt sich, deren Auswirkungen auf die Umwelt nachzugehen. Vorgestellt wurden namentlich das Produkt „holzpur“, eine Platte aus Fichten- und Tannenholz, die ohne Leim und Holzschutzmittel auskommt (Referent: Philippe Stolz, treeze GmbH) und eine ultraleichte Spanplatte, deren Kern aus biogenem Schaumstoff besteht (Referent: Christelle Ganne-Chédeville, Berner Fachhochschule). Das letztere Produkt wird derzeit unter der Leitung von Heiko Thoemen im Rahmen des NFP 66 entwickelt. Untersuchungen bestätigen das klimafreundliche Potenzial der beiden Produkte. Die holzpur-Platte schneidet in der LCA deutlich besser ab als konventionelle verleimte Platten; vorteilhaft wirkt sich insbesondere der vergleichsweise geringere Landverbrauch bei der Rohstoffgewinnung, und dass für den Trocknungsprozess nicht viel Energie aufgewendet werden muss. Bei den ultraleichten Platten gilt es, verschiedene Effekte gegeneinander abzuwägen. Zwar ist ihr Treibhauspotenzial geringer als dasjenige der konventionellen Spanplatten. Negativ ins Gewicht fällt, dass die ökotoxische Belastung höher ist, weil für die Herstellung des Schaumstoffes Polylactide (PLA) verwendet werden.

Wird Holz behandelt, um seine Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse zu verbessern, bleibt das ebenfalls nicht ohne Einfluss auf die Umwelt. Es können dazu unterschiedliche Verfahren zur Anwendung gelangen (thermische, chemische oder auf Imprägnierung beruhende

Methoden). Zwar sollen die positiven Effekte der Behandlung in der Regel während der Gebrauchsweise zum Tragen kommen; die Modifikation des Holzes als solche geschieht aber in der Produktionsphase, und die Umweltbelastung fällt möglicherweise erst in der Entsorgung an. Wenn die Umweltfolgen von behandeltem Holz ermittelt werden sollen, gilt es also, die ganze Nutzungskaskade zu berücksichtigen. Für die Praxis – d.h. für den Einsatz im Bau – wäre es wichtig, anerkannte Labels zu haben, um Produkte auswählen zu können, die auf möglichst umweltfreundliche Weise behandelt wurden. Derzeit finden Diskussionen statt, um entsprechende Standards zu entwickeln, die eine einheitliche Zertifizierung der Produkte ermöglichen würden. (Referentin: *Andreja Kutnar, University of Primorska*)

Holz dient nicht nur als Baustoff oder als Energieträger, sondern kann auch als Basismaterial für andere Stoffe wie Chemikalien genutzt werden; man spricht bei diesem Ansatz auch von Bioraffinerien. Der Knackpunkt dabei ist, dass die Umwandlung von Holz zum Endmaterial über unterschiedliche Reaktionsketten erfolgen kann. Veranschaulichen lässt sich dies am Beispiel von Zucker, der sich bspw. über den Einsatz von Säure (Holzverzuckerung) oder durch den enzymatischen Aufschluss von Holz herstellen lässt. Im Vergleich mit Zucker aus Zuckerrüben zeigt sich, dass die unterschiedlichen Methoden für die Zuckerherstellung aus Holz bei weitem nicht gleich wirtschaftlich sind. Es wäre also von Vorteil, über ein Instrument zu verfügen, das einen frühzeitigen Vergleich der verschiedenen Reaktionsketten von Holz in verschiedene erwünschte Ausgangsmaterialien gestattet. Weil es für eine Firma kaum wirtschaftlich ist, bloss ein Produkt herzustellen, muss man danach trachten, die Nebenprodukte aus der einen Reaktion für weitere Nutzungen zu verwenden. LCA können dazu beitragen, den Ansatz der Bioraffinerie zu verbessern. Das neu entwickelte Konzept der «Wald-Box» – ein Tool zur Beurteilung verschiedener holzbasierter chemischer Produktionsketten – wiederum erlaubt es, bereits bei der Planung entsprechender Anlagen Effizienz und Umweltauswirkungen verschiedener Bioraffineriekonzepte zu evaluieren. (Referent: *Merten Morales, ETH Zürich*)

In Finnland wird Holz intensiv genutzt, und LCA können dazu dienen, die Biomassenproduktion unter verschiedenen Bedingungen zu simulieren, den biogenen und den durch Menschen verursachten Treibhausgasausstoss zu modellieren und die Klimafolgen unterschiedlicher Waldnutzungskonzepte zu berechnen. Aus solchen Berechnungen lassen sich bspw. Empfehlungen ableiten, wie die Altersverteilung im Baumbestand auszusehen hätte, die sich am günstigsten auf das Klima auswirken würde. Angaben zum CO₂-Ausstoss in der Bio- und in der Anthroposphäre helfen, die Rolle des Waldes bei der Minderung der Klimaerwärmung besser zu verstehen. Auf jeden Fall lässt sich durch LCA-Ergebnisse belegen, dass der Ersatz fossiler Energie und Produkte durch Holz eine wirkungsvolle Möglichkeit darstellt, den Klimawandel zu mindern. Ein grösserer Holzvorrat oder der Einsatz von Dünger könnte dazu beitragen, die positive Auswirkung der Holznutzung auf das Klima sogar noch zu verstärken. Allerdings wandeln sich die Effekte auf das Klima im Lauf der Zeit und in Abhängigkeit der Waldstruktur. (Referent: *Antti Kilpeläinen, University of Eastern Finland*)

10. Das Gesamtsystem Wald und seine Auswirkungen auf das Klima

Holz ist multifunktional und kann für mannigfaltige energetische und materielle Zwecke genutzt werden. Somit kann eine nachhaltige Waldbewirtschaftung dem Klimawandel entgegenwirken und die Verwendung von Holz die Nachfrage nach energieintensiven Materialien verringern. Zurzeit nimmt der Holzvorrat in den Schweizer Wäldern jedoch zu, und es braucht neue Strategien, um den Wald so zu nutzen, dass er möglichst viel zur Minderung der Klimaerwärmung beiträgt. Um optimale Forstwirtschafts- und Holzverwendungskonzepte entwickeln zu können, braucht es den systemischen Blick über die gesamte Holzproduktion und -nutzung in der Schweiz. Dieser wurde beim Projekt von Stefanie Hellweg und ihrem Forscherteam im NFP 66 durch eine Verbindung von Materialflussanalysen und LCA ermöglicht. Das derzeit genutzte Holz wird zu rund 50 Prozent als Energieholz genutzt, während je ein Viertel zur Herstellung von Papier und für Möbel und Gebäudeelemente verwendet werden. Mithilfe statistischer Daten konnten die Gesamtmenge der produzierten Güter und ihre Auswirkungen auf die Umwelt ermittelt werden; besonders stark ins Gewicht fällt der grossen Mengen wegen die Herstellung von Papier und die holzbasierte Energieerzeugung, wobei die verschiedenen Bewertungsmethoden zu jeweils recht unterschiedlichen Gewichtungen kommen. Auch wurde untersucht, wie die unterschiedliche Herkunft von Holz die Umweltauswirkungen der erzeugten Produkte beeinflusst. Der gegenwärtige Einsatz von Altholz in der Schweiz schlägt sich noch kaum positiv auf das Klima nieder, da zurzeit damit grösstenteils Frischholz ersetzt wird. Die Holzverwendung in der Kaskade kann jedoch günstige Umweltauswirkungen haben, sofern dabei energieintensive Materialien ersetzt werden und am Ende des Lebenszyklus das Holz ohne grössere Einschränkungen in die Energiegewinnung gelangt. Eine vermehrte Holznutzung in der Schweiz hätte demnach positive Umwelteffekte, allerdings nur, wenn bei der Beurteilung alle Auswirkungen im Blick behalten werden (z.B. neben dem Treibhausgasausstoss auch der Feinstaub), Holz ressourcen- und energieintensive Materialien wie Beton ersetzt und es so verwendet wird, dass es am Ende noch zur Energiegewinnung genutzt werden kann. (Referent: Florian Suter, ETH Zürich)

Auch in der europäischen Perspektive kann dem Wald eine wichtige Rolle im Kampf gegen die Klimaerwärmung zukommen. Das zeigen Szenarien, die im internationalen Projekt FORMIT ermittelt wurden (FORMIT für: FOREst management strategies to enhance the MITigation potential of European forests). Die Berechnungen beruhen dabei auf dynamischen LCA. Ausgangspunkt bildete ein Inventar von 49 hauptsächlich in Europa vorhandenen unterschiedlichen Waldsystemen mit verschiedenen Speziesgruppen (von unbewirtschafteten Wäldern bis zu Plantagen mit kurzer Umlaufzeit). Ausgehend von dieser Grundlage wurde sodann in einer umfassenden Umfrage die räumliche Verteilung der verschiedenen Forstbewirtschaftungssysteme untersucht. Erhoben wurden die unterschiedlichsten Aspekte der Bewirtschaftung wie etwa der eingesetzte Maschinenpark, der verwendete Treibstoff, die Methode der Holzernte etc. Die ermittelten Daten gestatten es, die Umweltauswirkungen (gerechnet in CO₂-Äquivalenten) pro Hektar der verschiedenen Waldbewirtschaftungstypen zu berechnen. Die Ergebnisse lassen sich auf die verschiedenen Länder (und letztlich damit auch pro Einwohner) herunterrechnen. Die zeitlich differenzierte LCA hilft, die Dynamik der Wälder besser zu verstehen; sie zeigt auch, dass es in erster Linie die Speicherwirkung des Waldes ist, welche für das Klima relevant ist, während der Einfluss des Waldbewirtschaftungssystems von vergleichsweise untergeordneter Bedeutung ist. (Referent: Giuseppe Cardellini, KU Leuven)

Eine Studie, die darauf abzielte, die künftige Bedeutung des Waldes und der Holznutzung zur Minderung des Treibhauseffektes zu erfassen, ging von vier Szenarien aus, die von je einer

unterschiedlich intensiven Holznutzung sowie von einem unterschiedlichen Einsatz des Holzes (Energieholz vs. Produktion von Gütern) ausgingen. Im Zentrum stand die Frage, welche Folgen diese Szenarien bis zum Jahr 2030 für das Klima hätten. Es stellt sich heraus, dass die Forstwirtschaft bzw. die Nutzung holzbasierter Produkte, wie sie durch die EU-Zielsetzung im Bereich der Bioenergie gefordert wird, deutlich positive Effekte auf die Umwelt bzw. insbesondere den Klimawandel hätten; Holzprodukte schneiden dabei über den ganzen Lebenszyklus betrachtet besser ab als funktionell äquivalente CO₂-lastige Güter. Auf den ersten Blick überraschend mutet an, dass ein Zuwachs des Holzvorrats – mithin eine stark reduzierte Holznutzung – zwar mit Blick auf den Ausstoss von Treibhausgasen von allen Szenarien kurz- bis mittelfristig am besten abschneidet. Allerdings ginge dieses Szenario mit erhöhten Emissionen ausserhalb der EU sowie mit einer Verdoppelung des Holzpreises bis 2020 und mit erhöhter Erwerbslosigkeit in der Forstwirtschaft einher. Am meisten Auftrieb gäbe der Forst- und Holzbranche ein Ansatz, der verhindert, dass frisch geschlagenes Holz als erstes zur Energiegewinnung verfeuert würde. Die Untersuchung belegt das komplexe Wechselspiel zwischen der Speicherleistung des Waldes, den Klimaauswirkungen der produzierten Güter und den ökologischen Folgen einer Substitution der Rohstoffe, denn diese verschiedenen Effekte können einander zuwiderlaufen. Politische Massnahmen zum Schutz des Klimas müssen also sehr sorgfältig entworfen werden, damit unbeabsichtigte Folgen vermieden werden können. Auch gilt es zu berücksichtigen, dass der Wald als CO₂-Speicher einer anderen zeitlichen Dynamik unterliegt als etwa der Substitutionseffekt aus dem Ersatz von Gütern durch holzbasierte Produkte. In der langfristigen Betrachtung zieht nämlich die reduzierte Waldnutzung ungünstige Klimafolgen nach sich, weil die Substitutionswirkung von CO₂-lastigen Gütern entfällt und die Mortalität ungenutzter Wälder erhöht ist. Dem Zeithorizont der Betrachtungen gilt es demnach ebenfalls grosse Beachtung zu schenken. (*Referent: Frank Werner, Umwelt & Entwicklung*)

11. Fazit und Ausblick

In der abschliessenden Paneldiskussion waren sich die Teilnehmenden – Stefanie Hellweg (ETH Zürich), Klaus Richter (TU München), Martin Riediker (Präsident der Leitungsgruppe NFP 66), Hansueli Schmid (Lignum) und Frank Werner (Umwelt und Entwicklung) – einig, dass es sinnvoll wäre, Materialien auf Erdölbasis und Treibstoff durch Holz zu ersetzen, sofern die Produkte klug entworfen und möglichst wenig durch Chemikalien belastet sind und auch von den Ingenieuren akzeptiert werden. Zudem ist es geboten, über die Landesgrenzen hinaus zu schauen und zu überprüfen, welche Folgen der Abbau von Holz sowie die Erzeugung von Produkten anderswo nach sich ziehen. Auch ist es wichtig, die zeitliche Dynamik der Prozesse abzubilden. Die verwendeten LCAs ermöglichen eine ganzheitlichere Sichtweise der Zusammenhänge. Solche Modelle sind allerdings schwer zu vermitteln, und im Panel wurde die Befürchtung laut, dass die komplexen Berechnungen die Menschen verwirren können. Die Wissenschaft hat den unbestrittenen Auftrag, die komplexe Realität möglichst zutreffend abzubilden; sie sollte aber auch in der Lage sein, ihre Erkenntnisse in einfachere „Take-Home-Botschaften“ herunterzubrechen. Nicht zuletzt sollen Forschende mehr in den Dialog mit ihren wichtigsten Stakeholdern investieren, um zu verstehen, wie Entscheidungen in Wirtschaft und Politik getroffen werden. Nur so wird es ihnen gelingen, die Entscheidungen mit neuen Erkenntnissen aus den LCAs aktiv zu beeinflussen.