

Von der Holzproduktion hin zur Multifunktionalität von Wäldern – Zielkonflikte und Lösungsansätze

Carola Paul

Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt den Wandel des Waldes vom reinen Holzlieferanten zum multifunktionalen Ökosystem mit ökonomischen, ökologischen und sozialen Leistungen. Er fragt, wie die Waldbewirtschaftung diese Multifunktionalität fördern kann und wie wissenschaftliche Methoden bei Lösungsstrategien helfen. Das Kaskadenmodell verdeutlicht den Unterschied zwischen Multifunktionalität von Ökosystemfunktionen und -leistungen. Die typische Zielsetzung der mitteleuropäischen Forstwirtschaft, möglichst viele Leistungen auf derselben Fläche zu erbringen, ist durch Flächenknappheit bedingt, führt aber zu Zielkonflikten auf verschiedenen Skalen. Der Text systematisiert aktuelle Ansätze zur Quantifizierung von Multifunktionalität und zeigt anhand eines Beispiels, wie empirische, Simulations- und Optimierungsmethoden bei der Entwicklung von Kompromisslösungen unterstützen können. Wichtige Hebel sind die Berücksichtigung von Unsicherheiten bei Entscheidungen, die Förderung der Diversifizierung, z. B. durch Baumartenwahl auf Betriebs- bzw. Landschaftsebene, sowie die Einbindung partizipativer Prozesse. Dabei sollte der Wald sowohl als öffentliches als auch als privates Gut betrachtet werden und Verlagerungseffekte sollten in einer globalisierten Welt berücksichtigt werden. Ein Pluralismus von Ansätzen, nicht ein einziges Paradigma, unterstützt die multifunktionale Waldbewirtschaftung.

Summary

From timber production to the multifunctionality of forests: conflicting goals and potential solutions

This article describes the transformation of the forest from a mere source of timber to a multifunctional ecosystem that provides economic, ecological, and social services. It examines how forest management can promote this multifunctionality and how scientific methods can support the development of solution strategies. The cascade model illustrates the distinction between the multifunctionality of ecosystem functions and ecosystem services. The typical management objective in Central European forestry to provide as many services as possible on the same plot of land is driven by land scarcity but leads to conflicting goals at multiple scales. The text systematises current approaches to quantifying multifunctionality and uses an example to show how empirical, simulation, and optimisation methods can support the development of compromise solutions. Key levers include accounting for uncertainties in decision-making, promoting diversification, e.g., of tree species composition at the stand and landscape levels, and incorporating participatory processes. In this context, the forest should be viewed as both public and private good, and leakage effects in a globalised world should be considered. Multiple approaches, rather than a single paradigm, underpin multifunctional forest management.

Der Beitrag basiert auf einem von der Autorin überarbeiteten Transkript ihres Vortrags vom 24. März 2026 in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

✉ Prof. Dr. Carola Paul, Georg-August-Universität Göttingen, Abteilung Forstökonomie und nachhaltige Landnutzungsplanung, Büsgenweg 3, 37077 Göttingen; carola.paul@uni-goettingen.de

Einführung

In der öffentlichen Wahrnehmung ist der Wald schon lange nicht mehr nur Lieferant von Holz als Rohstoff. Die gesellschaftlichen Ansprüche an den Wald werden vielfältiger. Gerne wird in diesem Zusammenhang der Wald als »Alleskönner« beschrieben, als Ökosystem, das zugleich wirtschaftliche, ökologische und soziale Funktionen erfüllt. Die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. hat beispielhaft Zahlen für Deutschland zusammengestellt¹: Auf ca. 11,5 Mio. Hektar stellt der Wald demnach pro Hektar (d.h. pro 100 m × 100 m) und Jahr 4,6 m³ Holz zur stofflichen Nutzung, 2,1 m³ Energieholz, 3 t O₂, ~10 t CO₂-Aufnahme und 3 Mio. Liter gefiltertes Wasser bereit. In Deutschland arbeiten insgesamt rund 900 000 Beschäftigte im Cluster Forst und Holz (davon 50 000 in der Forstwirtschaft und 110 000 in der Holzbe- und -verarbeitung) und damit mehr als in der Automobilindustrie. Pro Hektar und Jahr werden rund 16 000 Euro Umsatz im Cluster Forst & Holz erzielt und gleichzeitig durchschnittlich 50 laufende Meter Wanderwege zur Verfügung gestellt. – So beeindruckend und positiv diese vielfältigen Leistungen sind, zeigt bereits diese kurze Übersicht, welches Konfliktpotenzial im Wald herrscht.

Die Frage, inwieweit aktuelle Waldbewirtschaftungskonzepte die sogenannte »Multifunktionalität« bewahren und fördern können, bleibt offen. Dieser Beitrag will und kann diese Frage nicht endgültig beantworten, soll aber die Basis für eine konstruktive Diskussion schaffen. Hierfür sollen vier Fragen dienen.

1. Was ist Multifunktionalität?
2. Warum Multifunktionalität? – Notwendigkeit, Paradigma oder Erfolgsgeschichte?
3. Wie lässt sich Multifunktionalität messen?
4. Wie lassen sich Lösungsansätze und Strategien systematisch ableiten?

Multifunktionalität aus unterschiedlichen Perspektiven

Der Begriff Multifunktionalität wird häufig uneinheitlich und damit teilweise missverständlich verwendet. Um verschiedene Definitionen voneinander abzugrenzen, hilft das Bild der Kaskade (Abb. 1). Wälder sind sozial-ökologische Systeme, in denen die ökologische und die menschliche Sphäre eng miteinander verbunden sind. Biodiversität und natürliche Prozesse stellen die Grundlage dar, die im ökologischen (Sub)system Ökosystemfunktionen hervorbringen, wie z. B. die Nettoprimärproduktion oder Nährstoffkreisläufe. Die Ökosystemfunktionen bilden wiederum die Grundlage für Ökosystemleistungen. Diese Leistungen sind nach der Internationalen Klassifikation von Ökosystemleistungen (CICES; Haines-Young 2023) in drei Hauptkategorien unterteilt: Versorgungsleistungen (z. B. Holzgewinnung), Regulierungsleistungen (z. B. Kohlenstoffbindung, Wasserregulierung) und kulturelle Leistungen (z. B. Erholung, ästhetische Wertschätzung). Während die Ökosystemfunktionen ihre Funktionalität innerhalb der ökologischen Sphären entfalten, entsteht die Ökosystemleistung erst im Zusammenspiel mit dem sozioökonomischen System, d. h. also im Kontext menschlicher Bedürfnisse, Werte und Präferenzen. Denn nicht alle Leistungen werden gleichwertig bewertet: Was als wertvoll gilt, hängt von gesellschaftlichen, kulturellen und ökonomischen Kontexten ab. Außerdem kann sich diese Beurteilung im Laufe der Zeit erheblich verändern. Die Wälder, die in den deutschen Nachkriegsjahren in den 1940er bis 1950er Jahren begründet wurden, sollten auch vielfältige, wenn auch andere Bedürfnisse mit anderer Gewichtung erfüllen als heute. So ist die Multifunktionalität nicht nur ein ökologisches Phänomen, sondern auch ein sozial konstruierter Prozess. Aus diesem Grund unterscheidet z. B. Manning et al. (2018) zwischen der Multifunktionalität von Ökosystemfunktionen – der Vielfalt an natürlichen Funktionen – und der Multifunktionalität von Ökosystemleistungen – der menschlich bewerteten und genutzten Leistungen, die in der Gesellschaft einen wirtschaftlichen oder kulturellen Wert haben. Diese Differenzierung ist entscheidend, da ein unterschiedliches Verständnis auch zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen für Politik und Gesellschaft führt. In der Ökologie bezieht sich Multifunktionalität häufig auf die Be-

1 Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, 12.05.20226: Ökosystemleistungen des Waldes (Grafik), <https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/oekosystemleistungen-des-waldes> [abgerufen 18.06.2026].

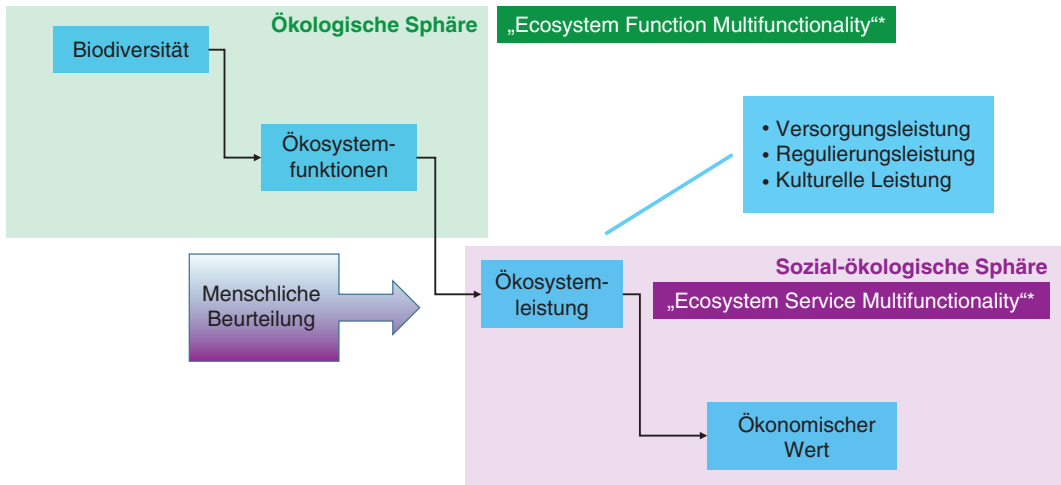


Abb. 1. Visualisierung des Kaskadenmodells der Multifunktionalität; Erläuterungen s. Text. * für Begriffsdefinition s. Manning et al. (2018). – Nach Potschin & Haines-Young (2016) in Anlehnung an eine Abbildung in Paul et al. (2020).

reitstellung von Ökosystemfunktionen, während interdisziplinäre Arbeiten sich häufig auf die Multifunktionalität von Ökosystemleistungen beziehen.

Multifunktionalität im Wald: Notwendigkeit, Paradigma oder Erfolgsgeschichte?

Die Annahme bzw. Hypothese, welche sich aus der in Abb. 1 dargestellten Kaskade ableiten lässt, ist, dass der Erhalt vielfältiger biologischer, biophysikalischer und geophysikalischer Prozesse und Strukturen (hier vereinfacht unter »Biodiversität« dargestellt) auch zu höheren Ökosystemleistungen und damit Wohlfahrt (hier vereinfacht »ökonomischer Wert«) für Menschen führt. Im Umkehrschluss könnte man dann davon ausgehen, dass ein System, das für menschliche Wohlfahrt optimiert ist, auch einen hohen ökologischen Wert hat. Ein Beispiel für diese Annahme ist die sog. Kielwassertheorie in der Forstwirtschaft. Sie ist geprägt vom Gedanken, dass »die meisten Wohlfahrtswirkungen im Kielwasser einer normalen Forstwirtschaft folgen« und »vom wohlgepflegten Wirtschaftswald optimal erfüllt werden« (Rupf 1960).

Die Theorie gilt zwar als widerlegt (s. Ausführungen von Knoke et al. 2025a). Die grundlegende Idee, dass möglichst viele Ökosystemleistungen gleichzeitig auf derselben Fläche erbracht wer-

den sollen und können, prägt jedoch weiterhin unsere Bewirtschaftungskonzepte. Wenn wir uns die letzten Jahrzehnte unseres Handelns ansehen, müssen wir uns fragen, ob der daraus entstandene Wald tatsächlich multifunktional ist. Dazu einige (bewusst) plakative Zahlen:

- Laut der Bundeswaldinventur sind 77 % der Waldfläche in Deutschland zwei- oder mehrschichtig aufgebaut und 79 % sind mit Mischbeständen bestockt. Der Totholzanteil hat in den letzten 10 Jahren um fast die Hälfte zugenommen, auch schon vor den Kalamitäten von 2018–2020 (BMEL 2024).
- 49 % der Waldbiotoptypen zeigen mit Blick auf den Artenschutz eine negative Entwicklung (Wirth et al. 2024), was nicht oder nicht ausschließlich an der Waldnutzung liegt, sondern auch am Klimawandel und z. B. an stofflichen Einträgen menschlichen Ursprungs.
- Pro m³ Holz können 2,2 produktive forstwirtschaftliche Arbeitsstunden finanziert werden (Dög et al. 2025). In den 1970er Jahren lag die Zahl noch bei ca. 8 Arbeitsstunden. Wenn Holz die Haupt- oder einzige Einkommensquelle ist, wird allein schon deshalb ein bestimmter Holzeinschlag benötigt, um gut ausgebildetes Personal für eine multifunktionale Forstwirtschaft bezahlen zu können.
- Der Reinertrag pro ha und Jahr ohne Förderung lag im Privat- und Körperschaftswald

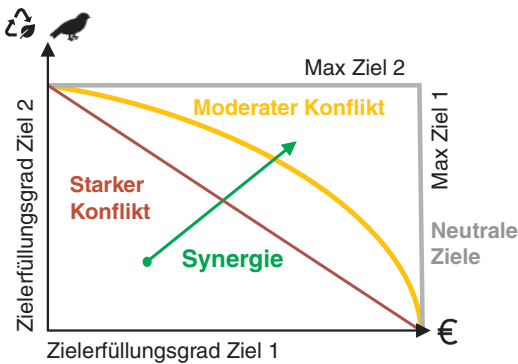


Abb. 2. Theoretische Beziehungen zwischen verschiedenen Zielen im Wald, symbolhaft dargestellt am Beispiel zwischen Einkommen aus der Holzproduktion (Ziel 1) und Biodiversität oder regulierenden Ökosystemleistungen (Ziel 2). Weitere Erläuterung siehe Text. – Verändert nach Knoke et al. (2025a).

im Zeitraum 2014–2023 zwischen –23 und +165 Euro (BMLEH 2025). Auch dies bedeutet, dass die Möglichkeiten für waldbauliche Investitionen begrenzt sind, und es stellt sich die Frage der Wettbewerbsfähigkeit aktueller Waldbewirtschaftungskonzepte.

Das Konzept der Multifunktionalität, alles auf möglichst kleiner Fläche gleichzeitig bereitzustellen, ist hierbei ein mitteleuropäisches »integratives« Konzept. Weltweit sind 7 % der Waldfläche intensiv bewirtschaftete Plantagen und 30–40 % des weltweit gehandelten (Industrie)holzes stammen aus Plantagenwäldern (FAO 2020). In Neuseeland, einem der größten Holzexporteure auf dem Weltmarkt, finden wir beispielsweise einerseits sehr große, intensiv bewirtschaftete Plantagen, zum überwiegenden Teil mit Kiefern (*Pinus radiata*), Douglasien und Eukalyptus. Andererseits stehen 28 % der Waldfläche unter Schutz (Segregationskonzept). Dass dies für Deutschland keine echte Alternative wäre, zeigt ein Flächenvergleich: Während in Deutschland umgerechnet 7,3 Bürger pro ha Waldfläche leben, sind es in Neuseeland nur 0,3. Das heißt, Multifunktionalität ist eine Frage der räumlichen Skala und (auch) der Knappheit von Landressourcen. In Deutschland müssen auf einer kleinen, beschränkten Fläche viele verschiedene Ziele realisiert werden, daher ist die deutsche Forstwirtschaft immer mit hohen Zielkonflikten behaftet.

Zur Analyse dieser ist eine klare Definition von Zielkonflikten hilfreich. Die Wechselwirkungen von Zielen können nach Knoke et al. (2025a) wie in Abb. 2 beschrieben werden. Neutrale Ziele (grau) sind voneinander unabhängig und können ohne gegenseitige Beeinträchtigung maximiert werden. Starke Zielkonflikte (rot) führen zu einem anteiligen Verlust bei der anderen Zielerreichung. Dies ist z.B. bei den Zielen »Aufbau von Holzvorrat« und »Erhöhung der Biodiversität bestimmter Artengruppen mit besonderen Habitatsansprüchen« der Fall. Bei moderaten Zielkonflikten (gelb) muss zwar auch für die eine Zielerreichung der Erfüllungsgrad eines anderen Ziels reduziert werden. Dabei ist der relative Verlust im Erreichungsgrad zunächst jedoch gering (z.B. für Ziel 2 bei steigendem Wert von Ziel 1). Je höher jedoch der eingeforderte Erreichungsgrad für Ziel 1 ist, desto stärker sinkt die Erfüllung für Ziel 2. Dies sind die Konflikte, die uns in der Wissenschaft besonders interessieren, da sie ein Potenzial für Abmilderung haben und damit Strategien entwickelt werden können. Die grüne Linie zeigt z.B., wie ein Punkt in Richtung einer komplementären Zielerfüllung gehoben wird, z.B. durch Anpassungen im waldbaulichen Verfahren. Die Evidenz und Datengrundlage für die Erstellung derartiger Analysen fehlen jedoch häufig. Knoke et al. (2025a) haben in einer umfangreichen Analyse 90 Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Waldökosystemleistungen untersucht, von denen nach Experteneinschätzung 50 % Konflikte zeigen und nur 26 % komplementär-synergistische Beziehungen aufwiesen.

Wie lässt sich Multifunktionalität messen und vergleichen?

Aus wissenschaftlicher Perspektive werden verschiedene Konzepte diskutiert (Manning et al. 2018, Hölting et al. 2019, Kaim et al. 2020, Neyret et al. 2023, Knoke et al. 2025b), um Multifunktionalität zu messen und z.B. zwischen verschiedenen Bewirtschaftungsformen zu vergleichen (Abb. 3.). Als erster Schritt müssen die Indikatoren ausgewählt werden, die z.B. Ökosystemfunktionen, Ökosystemleistungen, betriebliche Kennzahlen oder volkswirtschaftliche Kennzahlen repräsentieren. Letztere gehen weit über die Bereitstellung von Holz hinaus, werden jedoch nur in wenigen Studien ausreichend

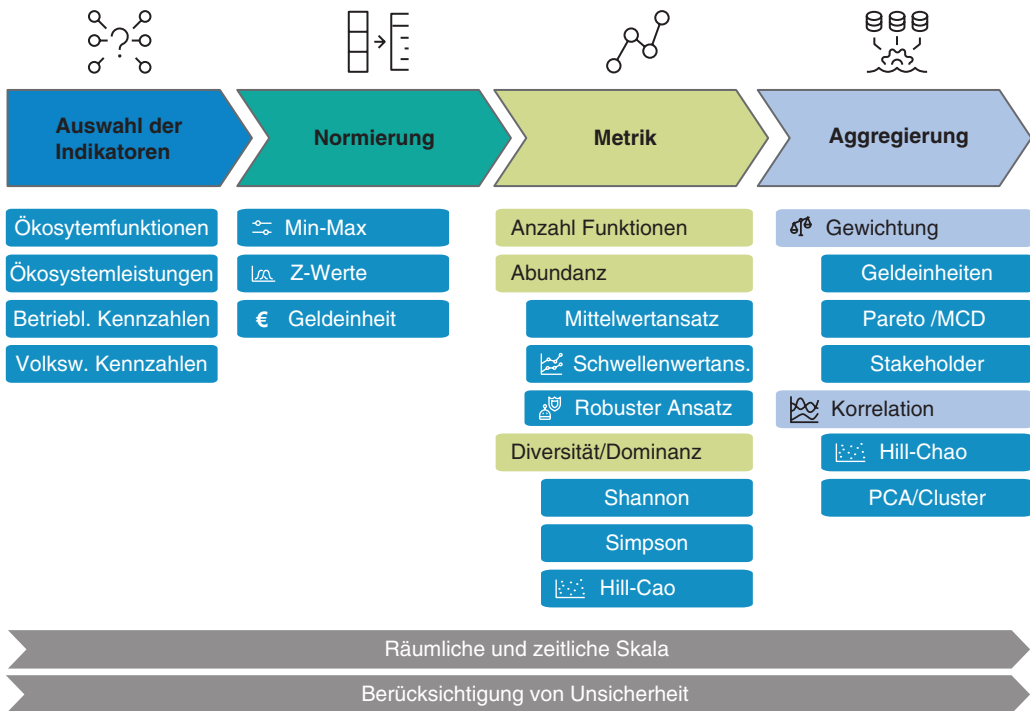


Abb. 3. Schritte zur Quantifizierung der Multifunktionalität. Erläuterungen siehe Text. Die Nennung von Methoden ist beispielhaft und nicht abschließend. – Eigene Darstellung basierend auf Hölting et al. (2019), Manning et al. (2018), Knoke et al. (2025b).

berücksichtigt. Um die Indikatoren vergleichen zu können, lassen sie sich z. B. in Geldeinheiten umrechnen. Das hat aber den Nachteil, dass allein die Methode, mit der eine bestimmte Ökosystemleistung in Geldeinheiten umgerechnet wird, bereits eine starke Gewichtung hat (Paul et al. 2020). In der Wissenschaft werden daher eher andere Normierungen wie z. B. der Minimal-Maximal-Ansatz, bei dem alle Werte auf Zahlen zwischen 0 (niedrigste Werte) und 1 (höchste Werte) umgerechnet werden, oder eine z-Wert-Normalisierung (Abweichung eines Messwerts vom Mittelwert) gewählt. Als dritter Schritt muss Multifunktionalität in einer Metrik zusammengefasst und damit schließlich definiert werden: Soll lediglich eine bestimmte Anzahl an Funktionen erfüllt werden oder ist, analog zu Biodiversitätsmaßen, die Abundanz gemeint? Hierbei könnte angestrebt werden, möglichst viele Funktionen im Mittelwert gut zu erfüllen, einen gewissen Schwellenwert für alle Funktionen zu erreichen oder selbst im schlechtesten Fall

bestimmter Unsicherheitsszenarien immer noch eine möglichst hohe Erfüllung zu gewährleisten. Eine alternative Möglichkeit der Bewertung ist die Verwendung bestimmter Diversitätsmaße, z. B. einer hohen Vielfalt an Funktionen, die möglichst ähnlich hoch zu erfüllen sind. Bei diesen drei Berechnungsschritten zeigt sich jedoch, dass Multifunktionalität nur sehr schwer objektiv messbar ist. Denn bereits die Auswahl der Indikatoren für Funktionen und/oder Leistungen kann das Ergebnis beeinflussen, insbesondere wenn die ausgewählten Funktionen stark korreliert sind. Eine zusätzliche Gewichtung bestimmter Funktionen/Indikatoren kann die Bewertung der Multifunktionalität deutlich beeinflussen. Um diesen Prozess zu objektivieren, können alle theoretisch möglichen Kombinationen an Gewichtungen im Rahmen von Pareto-Analysen oder multikriteriellen Entscheidungsmethoden (MCD, Kaim et al. 2020) illustriert und analysiert werden. Im Rahmen partizipativer Prozesse können die Auswahl der Indikatoren und deren Ge-

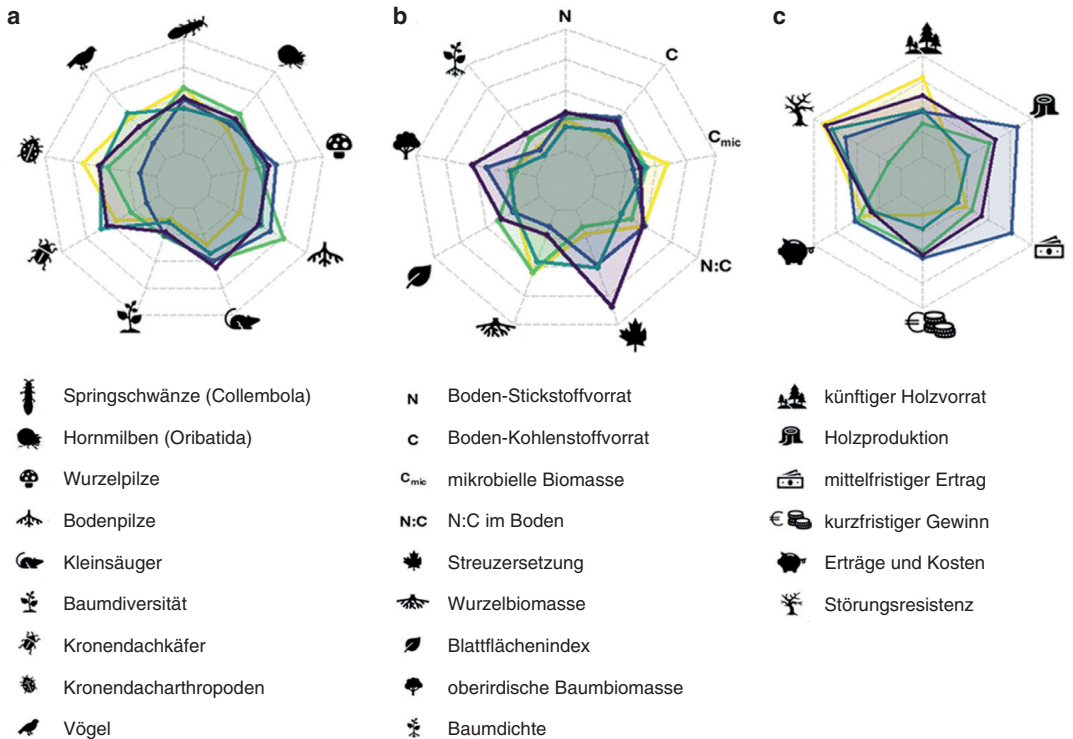


Abb. 4. Indikatoren der Biodiversität (a) und der Ökosystemfunktion (b) und betrieblisch-ökonomische Indikatoren (c) in verschiedenen Altbeständen von Buche (■), Fichte (■), Douglasie (■), Buche/Fichte (■) und Buche/Douglasie (■). Min-max-normierte Werte. – Nach Topanotti et al. (2024).

wichtung durch Entscheidungsträger festgelegt werden. Entscheidend bei der Quantifizierung und Interpretation der Multifunktionalität in gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen ist, ob die räumliche und zeitliche Betrachtungsebene klar definiert ist und ob und wie Unsicherheiten in der Funktionserfüllung berücksichtigt werden.

Wie lassen sich Lösungsansätze und Strategien systematisch ableiten?

Im Folgenden sollen die Quantifizierung von Multifunktionalität und die damit verbundene Bewertung verschiedener, waldbaulicher Handlungsalternativen an einem Beispiel dargestellt werden. Die Frage lautet, ob die Anreicherung von Buche mit Nadelholz (Fichte, Douglasie) zu einer höheren Multifunktionalität führt. Hierzu können Forschungsergebnisse aus dem DFG-Graduiertenkolleg 2300 »Enrico« herangezogen werden (Topanotti et al. 2024). Auf 40 Probestellen in Niedersachsen wurden fünf

Bestandstypen (Buche, Fichte und Douglasie in Reinbeständen sowie Buche-Fichte- und Buche-Douglasie-Mischungen) untersucht. Als Indikatoren für die Multidiversität wurden acht Artengruppen, von Bodenorganismen bis zu Kleinsäugetieren und Vögeln, sowie die pflanzliche Artenvielfalt im Unterstand bestimmt. Als Indikatoren für die Ökosystemfunktions-Multifunktionalität wurden neun Parameter ausgewählt, u.a. Bodenstickstoff, ober- und unterirdischer Kohlenstoff, mikrobielle und Wurzelbiomasse und Zersetzung der Streu, und als Indikatoren für die Ökonomische Multifunktionalität sechs Parameter, u.a. Holzertrag, mittelfristiger Ertrag und Störungsanfälligkeit des Bestandes. Gemessen wurde, wie viele Funktionen über ein bestimmtes Mindestmaß hinaus erreicht wurden.

Der Vergleich der min-max-normierten Indikator-Erfüllungsgrade für Rein- und Mischbestände (Abb. 4, Topanotti et al. 2024) zeigt, dass kein Bestandstyp klar dominiert. Stattdessen weist jeder der fünf Bestandstypen bei unterschiedli-

chen Indikatoren gute Ergebnisse auf. So bietet der Buchenreinbestandstyp z. B. ein gutes Habitat für Kronendacharthropoden und der Fichtentyp für Bodenpilze, der Douglasientyp schneidet bei der Streuzersetzung und der Buche-Douglasien-Mischbestandstyp bei der oberirdischen Biomasse der Bäume am besten ab. Der Douglasientyp punktet in Bezug auf Holzertrag und der Buche-/Douglasientyp auf geringe Störungsanfälligkeit (Abb. 4, Topanotti et al. 2024). Dies zeigt bereits, dass es Zielkonflikte innerhalb der drei Gruppen Biodiversität, Ökosystemfunktions-Multifunktionalität und ökonomische Multifunktionalität, d.h. entlang der Kaskade aus Abb. 1 gibt. Die Mischungen (Buche-Fichte, Buche-Douglasie) scheinen dabei ein guter Kompromiss zu sein.

Bei der Auswahl waldbaulicher Handlungsalternativen geht es also weniger darum, die Option zu finden, die für alle Funktionen am besten abschneidet, als eher jene zu identifizieren, die Zielkonflikte zwischen verschiedenen Sphären reduziert. Eine solche Strategie zeigt Abb. 5. Hier werden die Multidiversität, die Ökosystemfunktions-Multifunktionalität und die ökonomische Multifunktionalität (berechnet als Hill-Chao-Metrik der einzelnen Indikatorgruppen) für die Bestandstypen, relativ zum Buchenreinbestand (Schnittpunkt der gestrichelten Linie) dargestellt (für Details s. Topanotti et al. 2024). Liegt die relative Abweichung im positiven Bereich (jeweils rechtes oberes Viereck), handelt es sich um eine »Win-win-Situation«, d.h., die Multidiversität bzw. die Multifunktionalität der Ökosystemfunktionen hat im Vergleich zum reinen Buchenbestand jeweils zugenommen. Diese Form der Darstellung kann zeigen, ob eine Bewirtschaftungsform Zielkonflikte abmildern oder verbessern kann, die insbesondere zwischen ökonomischer (bereitstellender Leistungen) und Ökosystem-Multifunktionalität bestehen. In dem vorgestellten Fall würden es z. B. die Mischungen (Buche/Douglasie und Buche/Fichte) schaffen, die Zielkonflikte aller drei Dimensionen etwas abzumildern (Topanotti et al. 2024).

Aber auch hier spielt die räumliche Skala eine Rolle. Viele Zielkonflikte können auch dadurch abgepuffert werden, dass verschiedene Bestandstypen auf einer höheren Skala, d.h. der Betriebs- oder der Landschaftsebene, kombiniert werden. Entsprechend zeigt Abb. 6 die Wechselwirkung der beiden Ziele ökonomische Performance (hier die Annuität als jährlicher Holz-

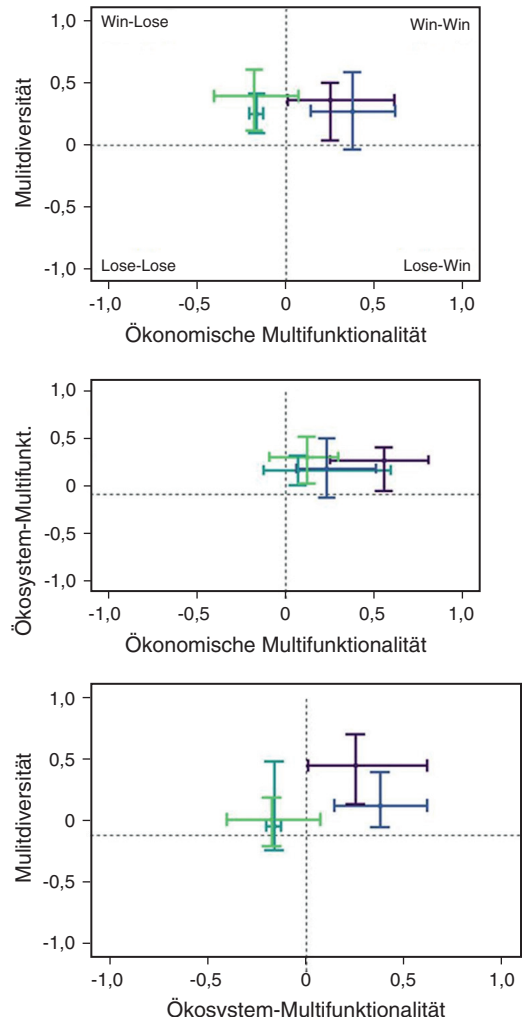


Abb. 5. Auswirkungen von Nadelbäumen, in Misch- und Reinbeständen, im Vergleich zu Buchen-Reinbeständen auf Multidiversität, Ökosystem-Multifunktionalität und ökonomische Multifunktionalität. Die farbigen Punkte und Linien (Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall) stellen die proportionale Abweichung dar, die sich aus der Anreicherung von Buchenbeständen (jeweils Schnittpunkt der gepunkteten Nulllinien) mit Nadelbäumen oder aus reinen Nadelholzbeständen ergibt (■ Fichte, ■ Douglasie, ■ Buche/Fichte, ■ Buche/Douglasie). Schließt das 95%-Konfidenzintervall den Wert Null nicht ein, weist dies auf signifikante Unterschiede im Vergleich zu reinen Buchenbeständen hin. Die Werte –1 und 1 entsprechen einer Abnahme bzw. Zunahme um 100 % in Bezug auf Multidiversität, Ökosystem-Multifunktionalität und ökonomische Multifunktionalität im Vergleich zu reinen Buchenbeständen. Metrik: Hill-Chao-Nummern. – Nach Topanotti et al. (2024).

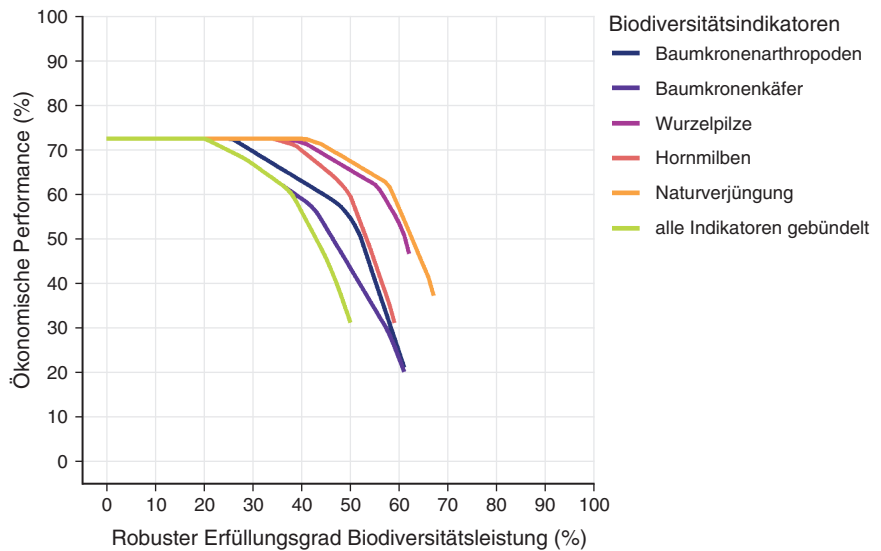


Abb. 6. Beziehung zwischen den Zielsetzungen Biodiversität (verschiedene Artengruppen-Indikatoren, Naturverjüngung) und ökonomischer Performance (Annuität der Holzproduktion als Indikator). Gezeigt sind die Erfüllungsgrade (in Prozent des maximal möglichen Erfüllungsgrades), die unter verschiedenen Unsicherheitsszenarien (aufgrund der Schwankung der Bereitstellung in Raum und Zeit) durch verschiedene Kombinationen aus Bestandstypen auf Landschaftsebene mindestens erreicht werden können. – Aus Klenke et al. (2026), basierend auf den Daten aus Tropanotti et al. (2024).

produktionswert) und der Biodiversitätsleistung, basierend auf den gleichen Bestandstypen und Datengrundlagen wie Abb. 5. Allerdings zeigt die Linie keine einzelnen Bestandstypen, sondern diejenige Kombination aus den 5 Bestandstypen auf Betriebs- oder Landschaftsebene, welche für jeden geforderten Zielerfüllungsgrad für das Ziel Biodiversität (x-Achse) die höchste ökonomische Performance erlaubt. Die Optimierung erlaubt zudem die Einbeziehung von Unsicherheiten in der Zielerfüllung (s. hierzu Knoke et al. 2025b, Klenke et al. 2026). Die Kurvenverläufe illustrieren einen moderaten Zielkonflikt, obwohl nur die »Bestandstypenportfolios« dargestellt werden, die den Zielkonflikt bereits am besten abmildern. Außerdem hängt die Stärke des Zielkonflikts stark von den betrachteten Biodiversitätsindikatoren ab. Der optimierte »Mix« an Bestandstypen ist für niedrige geforderte Erfüllungsgrade der Biodiversitätsindikatoren durch Douglasienreinbestände und Buche-Douglasien-Mischbestände geprägt. Je höher der geforderte Erfüllungsgrad für Biodiversität ist, desto mehr Bestandstypen werden integriert und desto höher sind die Anteile der Mischbestände. Dies zeigt, dass neben der Vielfalt

an Baumarten im Bestand selbst auch die Vielfalt an Bestandstypen auf höherer räumlicher Skala bedeutsam ist, selbst wenn dies Reinbestände und Bestandstypen mit unsicherer Zielerfüllung umfasst. Diese Diversifizierung ist jedoch entscheidend, um vielfältige und unsichere Ziele auszugleichen.

Fazit: Strategien und Hebel zur Verringerung von Zielkonflikten

Zusammenfassend lassen sich drei wichtige Hebel für das Management der Multifunktionalität von Wäldern hervorheben.

Knappheit: Multifunktionalität ist zunächst eine Frage der Knappheit. Aufgrund der knappen Landressourcen ist sie in Deutschland eine Notwendigkeit. Um zu entscheiden, welche Zielkonflikte wie auseinandergelagert werden können und welche eingegangen werden müssen, ist die räumliche und zeitliche Skala entscheidend. Dies führt zur räumlichen und zeitlichen Priorisierung. Dieser Weg, der mit der Waldfunktionenkartierung schon lange gemacht wird, ist entscheidend, auch wenn Anpassungen durch sich ändernde

Ansprüche an diese Funktionen notwendig sind. Wir brauchen dazu ein pragmatisches Set an Indikatoren und Methoden, um Multifunktionalität zu dokumentieren, zu planen und zu kontrollieren. Entsprechende Ansätze werden auch auf EU-Ebene gefordert.

Präferenzen: Wir müssen uns im Klaren sein, dass sich einerseits die Bereitstellung von Ökosystemleistungen in Wäldern ändert, andererseits aber auch die Nachfrage nach diesen Leistungen. Diversifizierung ist dabei eine zentrale betriebliche Strategie, auch (aber nicht ausschließlich) auf derselben Fläche, und die Einbeziehung von Unsicherheiten in die Planung kann Zielkonflikte bereits abmildern. Auf politischer Ebene bedeutet dies, dass sich Multifunktionalität zwar regulieren lässt, es aber notwendig ist, die Hürden für Diversifizierung, Risikoversorge und Flexibilität in der Bewirtschaftung abzubauen (s. auch Knoke et al. 2025a). Dialog und partizipative Entscheidungsfindung sind zentral, um Zielkonflikte langfristig abzubauen. Möglicherweise können auch interaktive Modellierungen hier zukünftig eine größere Rolle zur Objektivierung von Diskussionen spielen.

Verfügungsrechte, Externalitäten: Wald und viele Ökosystemleistungen sind öffentliche Güter, was die Konflikte so hart und schwierig macht. Rund die Hälfte des Waldes ist in privatem Eigentum, daher sind Freiwilligkeit und finanzielle Anreize entscheidend. Auf globaler Ebene sind Verlagerungseffekte (»Leakage«) zu beachten, da die Entscheidungen, die wir hier treffen, auch auf den Wald in anderen Teilen der Welt Einfluss haben.

Multifunktionalität als Paradigma wird uns nicht weiterbringen, aber Pluralismus und strategische Planung helfen (auch) im Wald.

Danksagung

Die vorgestellte Forschungsarbeit ist Teil des Graduiertenkollegs GRK2300, finanziert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Ich danke Julia Klenke, Larissa Topanotti und Thomas Knoke, die durch ihre Forschungsarbeiten diesen Beitrag möglich gemacht haben.

Literatur

- BMEL. 2024. Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der vierten Bundeswaldinventur. – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, 59 S. <https://www.bmleh.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/vierte-bundeswaldinventur.html> [abgerufen 07.04.2026]
- BMLEH. 2025. Die wirtschaftliche Lage der forstwirtschaftlichen Betriebe. Buchführungsergebnisse 2023. – Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat, Referat 723 – Statistik, Planungsgrundlagen, Bonn, 23 S. <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/0113002-2023.pdf> [abgerufen 07.04.2026]
- Dög, M., F. W. Möbius, B. Möhring & C. Paul. 2025. Der Betriebsvergleich Westfalen-Lippe im WJ 2024. – AFZ DerWald, 23/2025.
- FAO. 2020. Global Forest Resources Assessment 2020. Main Report. – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 166 S. DOI: [10.4060/ca9825en](https://doi.org/10.4060/ca9825en)
- Haines-Young, R. 2023. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.2 Guidance on the application of the revised structure; www.cices.eu [abgerufen 18.06.2026]
- Hölting, L., S. Jacobs, M. R. Felipe-Lucia, J. Maes, A. V. Norström, T. Plieninger & A. F. Cord. 2019. Measuring ecosystem multifunctionality across scales. – Environmental Research Letters, 14: 124083. DOI: [10.1088/1748-9326/ab5ccb](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5ccb)
- Kaim, A., M. Strauch & M. Volk. 2020. Using stakeholder preferences to identify optimal land use configurations. – Frontiers in Water, 2: 579087. DOI: [10.3389/frwa.2020.579087](https://doi.org/10.3389/frwa.2020.579087)
- Klenke, J., V. von Groß, J. M. Fuchs, L. R. Topanotti, B. Wildermuth, C. A. Rivera Pérez, J.-Z. Lu, L. E. Likulunga, T. Knoke & C. Paul. 2026. Balancing biodiversity and economics: Using robust Pareto-optimisation to quantify ecological-economic trade-offs in German mixed beech forests. – Ambio. DOI: [10.1007/s13280-026-02441-8](https://doi.org/10.1007/s13280-026-02441-8)
- Knoke T., B. Kleinschmit, J. Bauhus, M. Dieter, E. Endres, N. Farwig, A. Hafner, R. Kätzel, F. Lang, M. Lindner, P. Meyer, J. Müller, U. Schraml, U. Seeling & G. Weber-Blaschke. 2025a. Jenseits des Kielwassers: Zielkonflikte und Synergien multifunktionaler Waldbewirtschaftung. – Gutachten des Wissenschaftlichen Beirates für Waldpolitik (Hrsg.), November 2025. Berlin, 103 S. https://www.bmleh.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/waldpolitik/multifunktionale-waldbewirtschaftung.html [abgerufen 07.04.2026]
- Knoke, T., P. Biber, T. Schula, J. Fibich & B. Gang. 2025b. Minimising the relative regret of future forest landscape compositions: The role of close-to-nature stand types. – Forest Policy and Economics, 171: 103410. DOI: [10.1016/j.forpol.2024.103410](https://doi.org/10.1016/j.forpol.2024.103410)

- Manning, P., F. van der Plas, S. Soliveres, E. Allan, F. T. Maestre, G. Mace, M. J. Whittingham & M. Fischer. 2018. Redefining ecosystem multifunctionality. – *Nature Ecology & Evolution*, 2: 427–436. DOI: [10.1038/s41559-017-0461-7](https://doi.org/10.1038/s41559-017-0461-7). Erratum in: *Nature Ecology & Evolution*, 2018, 2: 1515. DOI: [10.1038/s41559-018-0660-x](https://doi.org/10.1038/s41559-018-0660-x)
- Neyret, M., S. Peter, G. Le Provost, S. Boch, A. L. Boesing, J. M. Bullock, N. Hölzel, V. H. Klaus, T. Kleinebecker, J. Krauss, J. Müller, S. Müller, C. Ammer, F. Buscot, M. Ehbrecht, M. Fischer, K. Goldmann, K. Jung, M. Mehring, T. Müller, S. C. Renner, P. Schall, M. Scherer-Lorenzen, C. Westphal, T. Wubet & P. Manning. 2023. Landscape management strategies for multifunctionality and social equity. – *Nature Sustainability*, 6: 391–403. DOI: [10.1038/s41893-022-01045-w](https://doi.org/10.1038/s41893-022-01045-w)
- Paul, C., N. Hanley, S. T. Meyer, C. Fürst, W. W. Weisser & T. Knoke. 2020. On the functional relationship between biodiversity and economic value. – *Science Advances*, 6(5): eaax7712. DOI: [10.1126/sciadv.aax7712](https://doi.org/10.1126/sciadv.aax7712)
- Potschin, M. & R. Haines-Young. 2016. Defining and measuring ecosystem services. – In: Potschin, M., R. Haines-Young, R. Fish, R. K. Turner (eds.): *Routledge Handbook of Ecosystem Services*: 25–44.
- Rupf, H. 1960. Wald und Mensch im Geschehen der Gegenwart. – *Allgemeine Forstzeitschrift*, 15(38): 545–552.
- Topanotti, L. R., J. M. Fuchs, M. Albert, J. Schick, A. Penanhoat, J.-Z. Lu, C. A. Rivera Pérez, E. C. Foltran, S. Appleby, B. Wildermuth, T. Stucken-berg, L. E. Likulunga, J. Glatthorn, A. Schuldt, A. Polle, N. Balkenhol, S. Scheu, C. Ammer, C. Paul & N. Guerrero-Ramírez. 2024. Enhancing economic multifunctionality without compromising multidiversity and ecosystem multifunctionality via forest enrichment. – *Science Advances*, 10: eadp6566. DOI: [10.1126/sciadv.adp6566](https://doi.org/10.1126/sciadv.adp6566)
- Wirth, C., H. Bruelheide, N. Farwig, J. Marx & J. Settele (Hrsg.). 2024. *Faktencheck Artenvielfalt*. – Oekom, München, 96 S. DOI: [10.14512/9783987263378](https://doi.org/10.14512/9783987263378)

Diskussion

A. Fischer: Multifunktionalität habe ich immer gesehen als Leistungen, die ein Ökosystem für jemanden, nämlich den Menschen, bringt. Das ist das, was Sie als sozioökonomische oder ökonomische Multifunktionalität bezeichnet haben. Neu war mir der Begriff der Ökosystem-Multifunktionalität. Bedeutet das, welche Leistungen das System bringt, damit bestimmte Tier- und Pflanzenarten darin leben können? Aber das ist doch einfach das Ökosystem.

C. Paul: Ich beziehe mich hier auf die Ökosystemfunktions-Multifunktionalität. Diese bezieht sich auf die Funktionalität des Ökosystems als Ganzes, betrachtet aber dabei für die Quantifizierung eben einzelne Funktionen des Ökosystems. Beispielsweise wurde im letzten Jahrzehnt viel Forschung zum Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und Multifunktionalität der Ökosystemfunktionen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass Artenvielfalt bestimmte Ökosystemfunktionen (wie z.B. die Nettoprimärproduktion) positiv beeinflusst, andere Ökosystemfunktionen dabei aber bei höheren Artenzahlen, z.B. von Gräsern in Agrarökosystemen, negativ beeinflusst werden. Alle diese Funktionen sind aber natürlich entscheidend, um die Funktionalität des Gesamt-Ökosystems zu erhalten. Wir sehen Multifunktionalität meist aus dem menschlichen Blick, aber es ist dennoch wichtig, dass die Funktionalität eines Ökosystems ohne die menschliche Beurteilung erhalten bleibt. Wenn wir über Ökosystemleistungen sprechen, müssen wir uns im Klaren sein, dass wir damit meist einen Teil ausklammern, der für das Funktionieren des Ökosystems wichtig ist, aber für uns keinen direkten messbaren Nutzen erzeugt.

R. Mosandl: Das Optimierungssystem, das Sie vorgestellt haben, ist in sich schlüssig. Aber ich frage mich, wie man es in die Praxis umsetzen kann, nachdem die Standorte und auch die Menschen, die die Verfügungsgewalt über diese Standorte haben, so unterschiedlich sind. Wie nutzen Sie dieses Optimierungssystem? Welche konkreten Hilfsmittel gibt es dafür?

C. Paul: Ich halte die Modelle für wichtig, wenn wir gemeinsam mit den Akteuren vor dem Computer sitzen und herausfinden, was nach der Faktenlage (die natürlich nie komplett ist) das bestmögliche Erreichbare ist und dass dahinter eine gewisse Unsicherheit steckt. Wenn wir das zusammennehmen, können wir die Faktoren, sei es ein Bestockungsziel oder eine bestimmte Waldstruktur oder Sonstiges, gewichten. Dann ist es manchmal ein Aha-Erlebnis, zu sehen, dass z.B. Bestandstypen enthalten sind, die man nicht erwartet hätte, weil man innerlich eigentlich einem anderen Paradigma folgt. Auch wir Wissenschaftler sind ja nicht ganz frei und haben unsere Vorstellungen, was richtig und was falsch ist. Aber ein Computer ist nicht emotional geprägt und hat von sich aus keine Meinung oder Vorstellung und liefert dann zum Teil unerwartete Ergebnisse. Wir haben es als sehr hilfreich erlebt, dass zumindest ein Dialog startet, weil man eine andere Diskussionsgrundlage hat.

F. Thonfeld: Ist Multifunktionalität dann als Kompromiss zu verstehen oder ist es vielleicht auch ein Mehrgewinn dadurch, dass die verschiedenen Akteure aufeinander schauen?

C. Paul: Die Antwort würde ich gern in zwei Bereiche teilen. Ich habe mich darauf bezogen, dass man Multifunktionalität messen und damit zu einer objektiven Zielgröße machen kann. In diesem Bereich würde ich sagen, Multifunktionalität ist fast immer ein Kompromiss, da eine Situation, in der alle Faktoren positiv korreliert sind, normalerweise nicht auftritt. Das andere ist, wie Akteure auf Multifunktionalität blicken oder wie sie einzelne Faktoren gewichten. Auch da ist ein Kompromiss notwendig. Eine komplette Win-win-Situation gibt es in kleinen Situationen, wie ich es am Beispiel der Mischbestände gezeigt habe, aber normalerweise wird es immer ein Kompromiss sein.

F. Thonfeld: Gibt es eine optimale Planungsgröße? Das Ganze hat ja eine Skalenabhängigkeit.

C. Paul: Für mich ist die Planungsgröße diejenige, über die ein Akteur Entscheidungsgewalt

hat, also z.B. ein Forstbetrieb, der wiederum unterschiedlich groß sein kann. Die politische Skalenebene ist eine andere, dabei ist die Frage der Regulierung und der Priorisierung wichtig. Multifunktionalität hat immer sehr viel mit Priorisierung zu tun, die auf verschiedenen Skalenebenen passiert, die aber nicht zu einer Regulierung führen darf, die die Flexibilität zu sehr einschränkt. Das ist ein schwieriges Spannungsfeld. Wir können mit den Modellen auch Möglichkeiten für Kompensations- oder Anreizmechanismen ausrechnen, die geeignet sind, um verschiedene Ziele zu erreichen.

J. Jacob: Als Leiter eines großen Forstbetriebs beschäftigt mich die Frage von Herrn Mosandl auch. Multifunktionalität wird vor Ort typischerweise gelebt, indem man bei der Behandlung eines bestimmten Waldbestands in bestimmten Situationen ganz konkrete Entscheidungen trifft. Können Sie sich vorstellen, dass mit dem Ansatz, den Sie dargestellt haben, realistischweise eine Entscheidungshilfe verbunden sein könnte für einen Waldbewirtschafter, der vor Ort vor der Frage steht, wie er seinen Bestand gerade ausformen soll? Die Baumartenwahl ist ja kein zu jeder Zeit frei gestaltbarer Faktor, sondern wir arbeiten an einem Werk, das wir von Vorgängern übernommen haben und das wir an Nachfolgerinnen und Nachfolger weitergeben werden. Die Baumarten können daher nicht sozusagen wie Farben abgemischt werden, um einen bestimmten Farbton zu erzielen. Ich stelle es mir daher schwierig vor, die Ergebnisse des Modells

in tatsächlich praktisch nutzbare Anwendungen zu transformieren.

C. Paul: Gerade in der Ertragsplanung oder Forsteinrichtung können diese Modelle sehr konkret unterstützen. Solche Beispiele existieren auch. Ein aktuelles konkretes Beispiel ist z. B., wie wir mit natürlicher Sukzession auf Schadflächen umgehen: Wie viel soll gepflanzt werden, wie viel Struktur brauchen wir? Das Interessante für uns ist dann, wo wir die Multifunktionalität erreichen wollen. Wenn ich mir zum Beispiel einen großen staatlichen Betrieb ansehe: Was würde ein Modell vorschlagen, egal ob im Verjüngungs- oder im Pflegeverfahren, wenn ich Multifunktionalität auf der Skala der gesamten Betriebsebene oder auf der Skala der Bestandsebene sehe? Daraus lassen sich ganz konkrete Maßnahmen ableiten, je nachdem, ob ich das eine oder das andere will oder priorisiere.

R. Mosandl: Mich erinnert das etwas an das »zukunftsorientierte forstliche Entscheidungsunterstützungssystem« (ZEUS), das wir an der TU München entwickelt hatten und bei dem wir im Grunde die gleichen Probleme hatten." Wir haben zwar alle möglichen Kriterien eingebaut, aber die Erwartungshaltung war einfach zu groß, nach dem Motto »Wo ist der Knopf, auf den ich drücken muss, damit ich endlich eine Entscheidung bekomme?«. Aber die Entscheidung kann man jemanden nicht abnehmen, sondern wir können nur eine Bandbreite von Möglichkeiten aufzeigen.

2 Mosandl, R. & B. Felbermeier. 2004. Konzeption des Verbundprojektes ZEUS. – Ökosystem Management, 1: 1–6; <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1254187/1254187.pdf> [abgerufen 09.04.2026].