



Bewertung seltener Nadelbaumarten anhand robuster Pareto-Kurven

Die Fokusverschiebung im forstlichen Management, weg von der reinen Holzproduktion hin zu mehr Widerstandsfähigkeit und Multifunktionalität in unseren Wäldern, wird Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung nach sich ziehen. Hierbei werden insbesondere Douglasie und Weißtanne, die derzeit nur einen geringen Anteil in mitteleuropäischen Wäldern einnehmen, als produktive Alternativen zur Fichte diskutiert und bereits großflächig angepflanzt. Dieses Vorgehen wird gleichzeitig unter Biodiversitäts-Gesichtspunkten hinterfragt, wobei die tatsächlichen Trade-offs des dabei unterstellten Zielkonflikts unklar sind.

TEXT: BENJAMIN GANG, JONATHAN FIBICH, ISABELLE JARISCH, THOMAS KNOKE

Um zu mehr Objektivität in der skizzierten Debatte über die Produktivität, den Einfluss auf Biodiversität und über die Widerstandsfähig-

keit dieser Baumarten beizutragen, haben wir in dieser Arbeit sogenannte Pareto-Kurven entworfen. Diese zeigen alle potenziellen Baum-

artenmischungen (sogenannte Portfolios) bei zwei konkurrierenden Zielsetzungen auf, wobei sich für jeden Punkt der Kurve keine der beiden Zielsetzungen durch Anteilsveränderung mehr verbessern lässt, ohne die jeweils andere Zielsetzung zu verschlechtern. Dabei bilden die Baumarten-Portfolios einer Pareto-Kurve alle denkbaren Gewichtungen beider Zielsetzungen ab. Anhand dieser Kurven untersuchen wir die finanzielle Performance bei verschiedenen Niveaus der Zielerreichung für ein Bündel an Biodiversitätsindikatoren; jeweils unter Einbeziehung beziehungsweise Ausschluss von Tanne und Douglasie.

Die in dieser Studie betrachteten Portfolios setzen sich potenziell aus sechs Baumarten zusammen. Vier da-



Foto: S. Kienlein

Abb. 1: Üppige Tannenverjüngung unter Fichten-Tannen-Altbestand

Schneller ÜBERBLICK

- » **Pareto-Kurven geben im Vorhinein** Informationen zu verschiedenen Zielsetzungen in der forstbetrieblichen Planung
- » **Entlang der Effizienzkurve kann kein Ziel verbessert werden**, ohne das andere zu verschlechtern
- » **Douglasie und Tanne verbessern die ökonomische Performance**, ohne die Biodiversität stärker zu beeinträchtigen

von sind bereits auf großen Flächen in der deutschen Forstwirtschaft etabliert (Fichte [*Picea abies*], Buche [*Fagus sylvatica*], Kiefer [*Pinus sylvestris*] und Eiche [*Quercus robur*]) und zwei können gegenwärtig mit weniger als 2%-Anteil an der Waldfläche in Deutschland als eher selten angesehen werden (Tanne [*Abies alba*] und Douglasie [*Pseudotsuga menziesii*]). Gerade Douglasie und Tanne könnten aber für den zukünftigen Waldaufbau eine immer wichtigere Rolle spielen [1].

Unser neuartiger Ansatz, Pareto-Kurven zu generieren, die zudem die Unsicherheit der verwendeten Indikatoren berücksichtigen, kann nützliche Einblicke in die Trade-offs (Konflikte) verschiedener Ökosystemleistungen und der Eignung von (bisher seltenen) Baumarten bieten.

Pareto-Kurven

Der italienische Ökonom Vilfredo Pareto beschäftigte sich mit Fragen der Ressourcenallokation und ökonomischer Effizienz. Neben der heute als „Pareto-Prinzip“ bekannten Beobachtung, wonach in vielen Situationen 80 % des Outputs durch 20 % des Inputs erreicht werden, gilt er als Erfinder der sogenannten Pareto-Effizienz. Diese liegt in einer gegebenen Situation vor, wenn keine Handlungsoption existiert, die den Erfüllungsgrad des einen Zieles erhöht, ohne dabei den Erfüllungsgrad eines anderen zu senken. Übertragen auf Landnutzungs-Allokationen (etwa im Kontext forstlicher Baumartenwahl) lässt sich ein Bündel Pareto-effizienter Verteilungen in Form sogenannter Pareto-Kurven visualisieren [2]. Alle Punkte auf dieser Kurve gelten als

„Pareto-Kurven visualisieren Zielkonflikte zwischen konkurrierenden Ökosystemleistungen im Kontext der Baumartenwahl.“

BENJAMIN GANG

effiziente Lösungen, oberhalb der Kurve sind nicht erreichbare Werte und alle Punkte unterhalb der Kurve stellen ineffiziente Lösungen dar (Abb. 2). In der forstlichen Forschung wurden die Pareto-Kurven beispielsweise in Portugal angewendet, um die Auswirkungen von konkurrierenden Zielsetzungen vorab aufzuzeigen [3]. Mit der Darstellung aller effizienten

Pareto-Kurve mit zwei Zielsetzungen

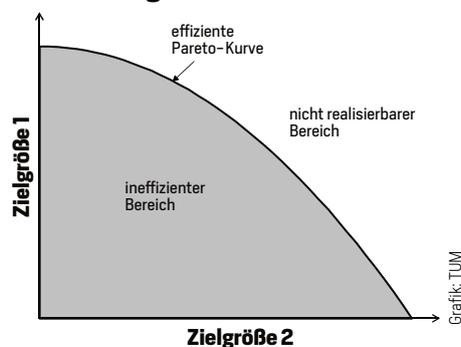


Abb. 2: Schematische Darstellung einer Pareto-Kurve mit zwei Zielsetzungen

Lösungen, bekommen Entscheidungsträger ex ante Informationen, in welchem Konkurrenzverhältnis die betrachteten Ziele zueinander stehen und wie sich eine konkrete Baumartenmischung auf deren Erfüllungsgrade auswirken. Daher sind diese Kurven interessant für die moderne Forstplanung, die immer mehr Zielsetzungen simultan verfolgt.

Methodik

Grundlage für unsere Pareto-Kurven ist eine multikriterielle, robuste Optimierung, die auf linearer Programmierung basiert [4]. Die verwendeten Ziel-Indikatoren werden durch eine Min-Max-Normalisierung vergleichbar gemacht. Somit können verschiedene Zielsetzungen mit unterschiedlichen Einheiten integriert werden. Neben dem erwarteten Zielwert (N) des Indikators für jede Baumart wird auch ein pessimistischer Wert berücksichtigt, welcher anhand der Standardabweichung (S) des Indikators und einem variablen Risikofaktor (m) geschätzt wird. Die Standardabweichung stammt aus Monte-Carlo-Simulationen. Mit unserem robusten Ansatz minimieren wir dann die maximale Distanz (β) zwischen dem bestmöglichen Indikatorwert und dem bei bestimmten Mischungsverhältnissen tatsächlich erreichbaren Wert des Portfolios für die finanzielle Performance (repräsentiert durch die Bodenrente). Weil alle Kombinationen zwischen erwarteten und pessimistischen Zielwerten der verschiedenen Baumarten betrachtet werden, gibt es keine Baumart, die für alle Kombinationen den maximalen Zielwert aufweist. Daher tendiert die Optimierung

Indikatorwerte und Standardabweichung

Tab. 1: Baumartenspezifische Indikatorwerte [N] und deren Standardabweichung [S], die in der Optimierung verwendet wurden

Baumart	Ökonomischer Indikator		Biodiversitätsindikatoren					
	Bodenrente [€ ha ⁻¹ y ⁻¹]	S ^s	Herbivore Arten [N]	S ₁ ^b	Saproxylische Käfer [N]	S ₂ ^b	Zersetzungsrate Totholz [g cm ⁻³]	S ₃ ^b
Buche	8	33	333	53	14	1,9	0,069	0,043
Eiche	-3	31	913	227	26	4,3	0,021	0,021
Douglasie	530	199	33	1	19	2,6	0,002	0,027
Kiefer	-38	45	410	75	18	2,5	0,015	0,023
Fichte	201	85	353	58	21	3	0,035	0,034
Tanne	187	60	207	22	8	0,9	0,02	0,02

zu Mischungen, um optimale Kompromisse bei Unsicherheit über die zukünftigen Zielwerte zu erreichen [5]. Zielfunktion der Optimierung ist somit die Minimierung von β , der sogenannten Underperformance, welche von den Anteilen der Baumarten in dem Portfolio abhängt. Es werden insgesamt alle möglichen Kombinationen berechnet, also $26 = 64$ Kombinationen je Indikator, sodass sich bei vier Indikatoren und sechs Baumarten 256 Szenarien ergeben. Nachdem das Portfolio nur für die Bodenrente optimiert wird, wird das geforderte Niveau der „Biodiversitäts-Performance“ nun schrittweise (in 5-Prozent-Schritten) durch eine Restriktion erhöht und es erfolgt eine neuerliche Maximierung der Bodenrente. Unter „Performancewert“ verstehen wir eine relative Zielerreichung, die zwischen null Prozent (das Portfolio erreicht nur das Minimum eines Indikators, z. B. der Anzahl saproxylicher Käfer) und 100 % variieren kann (das Portfolio erreicht das Maximum des Indikators).

Daraus ergibt sich dann eine Pareto-Effizienzkurve für die zwei konkurrierenden Zielsetzungen. Um zusätzlich die Performance der zwei unterrepräsentierten Nadelbaumarten zu bewer-

Pareto-Kurven mit Biodiversitätsindikatoren

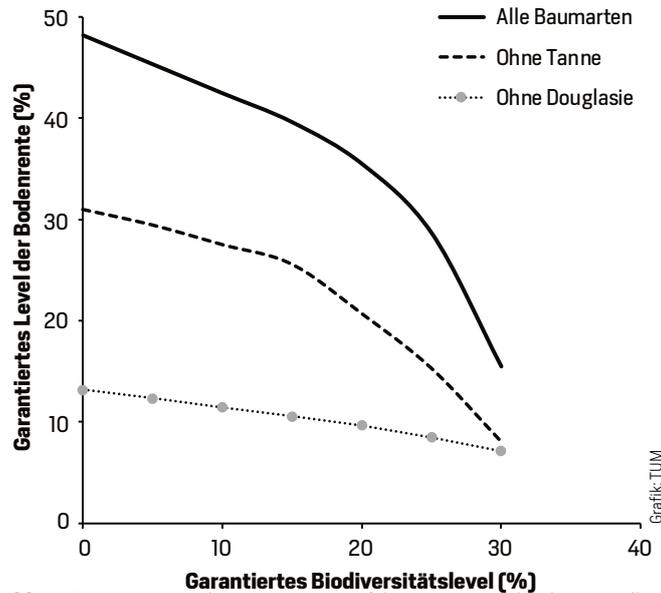


Abb. 3: Pareto-Kurven der Baumartenportfolios unter Berücksichtigung aller Biodiversitätsindikatoren

ten, bilden wir die Pareto-Kurven zuerst mit allen Baumarten, dann einmal ohne Tanne und einmal ohne Douglasie ab.

Verwendete Indikatoren

Um die finanzielle Performance zu bewerten, haben wir die Bodenrente (Annuität des Bodenertragswertes) der sechs verschiedenen Baumarten als Indikator mit der jeweiligen Standardabweichung ausgewählt (Tab. 1) [6]. Die zweite berücksichtigte Zielgröße in unserer Studie ist die Biodiversität. Um hier eine Bandbreite ver-

schiedener Aspekte abzudecken, haben wir beispielhaft drei verschiedene, qualitative Biodiversitätsindikatoren, die sich aus Inventurdaten ableiten und nach Baumart unterscheiden lassen, gewählt (Anzahl an herbivoren Arten, Anzahl saproxylicher Käfer, Zersetzungsrates Totholz) [7, 8]. Diese werden zu einem Bündel und Biodiversitätsindikatoren zusammengefasst und so in die Optimierung integriert. Als Präferenzrichtung wird bei allen Indikatoren „mehr ist besser“ angenommen (Tab. 1).

Auswirkungen von Biodiversität auf die ökonomische Leistungsfähigkeit

Die relative Bodenrente zeigt einen Abfall (y-Achse), je weiter das geforderte garantierte Biodiversitätslevel (x-Achse) erhöht wird (Abb. 3). Bis zu einem gewissen Kippunkt („tipping point“) bei ca. 20 % garantierter Biodiversitätsperformance sinkt die Kurve langsam, danach fällt der ökonomische Faktor durch jede zusätzliche Einheit an Biodiversität deutlich steiler ab. Ein Garantiewert für die Biodiversität von 20 % besagt, dass dieses Portfolio mindestens einen flächengewichteten Indikatorwert erbringt, welcher das Minimum um 20 Prozentpunkte des Abstandes zwischen dem maximal erreichbaren Wert und dem minimalen Wert übersteigt. Die maximal garantierte, relative Bodenrente beträgt 48 %. Diese sinkt bei einem geforderten Biodiversitätslevel von 30 % bis auf 15 % ab (Abb. 3).

Die Pareto-Kurve ohne Tanne (schwarz gestrichelt) liegt insgesamt auf einem deutlich geringeren ökonomischen Niveau als die Kurve mit Tanne, der Verlauf jedoch ist ähnlich, wie bei der Kurve mit allen Baumarten. Das bedeutet, dass alle untersuchten Biodiversitätsniveaus mit deutlich geringeren Bodenrenten verbunden sind, als es unter Einbeziehung der Tanne der Fall war. Das Abknicken der Kurve ohne Tannenbeteiligung ist etwas früher ab etwa 15 % geforderter Biodiversität zu er-

Baumartenzusammensetzung und Bodenrente

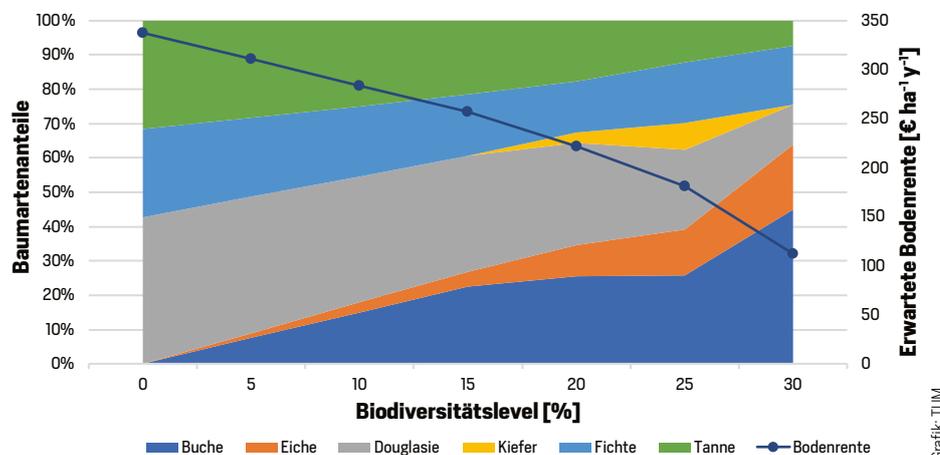


Abb. 4: Baumartenzusammensetzung und zu erwartende Bodenrente bei einer schrittweisen Erhöhung des geforderten Biodiversitätsniveaus

kennen. Ohne Douglasie (grau gepunktet) ist der Ausgangspunkt der Maximalwert der relativen Bodenrente um 35 % Punkte reduziert im Vergleich zu den Portfolios mit Douglasie.

Baumartenzusammensetzung und Opportunitätskosten

Weitere Ergebnisse, die wir aus der Optimierung bekommen sind die optimale Baumartenzusammensetzung und die Opportunitätskosten bei Erhöhung des gewünschten Biodiversitätsniveaus. Opportunitätskosten sind in diesem Fall die Kosten die der Waldbewirtschafterin entstehen, weil sie nicht das ökonomisch vorteilhafteste Baumartenportfolio bewirtschaftet. Sie muss von diesem Optimum abweichen, um die Erreichung erhöhter Biodiversitätsziele zu ermöglichen. Der optimale Laubholzanteil wächst mit zunehmender geforderter Biodiversität an. Bei dem maximal möglichen Biodiversitätswert wird das Portfolio von Buche dominiert (45 % an der Gesamtfläche), der Laubholzanteil beträgt dann insgesamt 63 %. Durch den Vergleich des rein ökonomisch optimierten Portfolios lassen sich die Opportunitätskosten mit 225 €/ha/a (entgehende Bodenrente) beziffern (Abb. 4).

Schlussfolgerungen und Ausblick

Unsere Ergebnisse zeigen, dass Douglasie und Tanne einen positiven Einfluss auf die finanzielle Leistungsfähigkeit von künftigen Waldportfolios haben können, wenn man Portfolios mit identisch gefordertem Biodiversitätslevel vergleicht (zumindest mit den hier untersuchten Beispielindikatoren). Bei einer rein ökonomischen Optimierung, die die Biodiversität außer Acht lässt, wird die Portfoliozusammensetzung von Nadelbäumen dominiert, insbesondere von der Douglasie, aber auch Fichte und Tanne sind enthalten. Die Douglasie zeigt eine gute ökonomische Performance und ist daher eine

Literaturhinweise:

Download des Literaturverzeichnisses in der digitalen Ausgabe von AFZ-DerWald (<https://www.digitalmagazin.de/marken/afz-derwald>) sowie unter: www.forstpraxis.de/downloads

interessante Baumart für wirtschaftlich orientierte Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer, da sie auch resistenter als die Fichte ist. Außerdem wird deutlich, dass eine Veränderung der Zielsetzung hin zu mehr Biodiversität die Baumartenvielfalt fördert. Insbesondere Laubhölzer wie Buche oder Eiche sind wichtige Bausteine in einem Portfolio, welches die Biodiversität als Zielsetzung mitberücksichtigt. Eine Erhöhung der geforderten Biodiversitätsleistung verschiebt die Zusammensetzung des Portfolios schrittweise in Richtung Laubholz.

Die Pareto-Kurven zeigen deutlich, ab welchem Punkt das ökonomische Ziel stärker eingeschränkt wird, wenn die Biodiversität weiter erhöht wird. Ab circa 20 % des geforderten Biodiversitätslevels (das entspricht einem Laubholzanteil von circa 35 %) nimmt die finanzielle Leistungsfähigkeit des Portfolios stark ab. Dieser Wendepunkt wird durch unsere Pareto-Kurven visualisiert und kann damit Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger im forstlichen Management unterstützen. Auch die Bewertung von seltenen Baumarten kann durch die vorgestellte Methodik nachvollziehbar durchgeführt werden und auf weitere Baumarten, wie z. B. Edellaubhölzer oder Zedern, übertragen werden. In Zukunft können auch weitere Leistungen wie Kohlenstoffspeicherung oder Wasserspende der Baumarten in die Optimierung integriert werden.

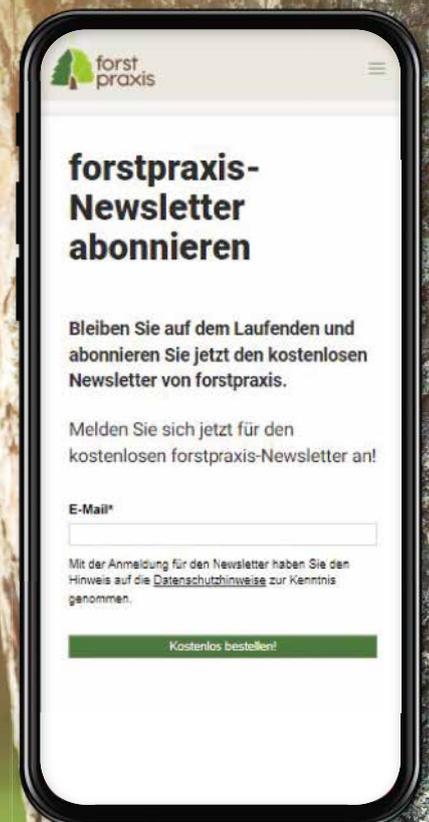


Benjamin Gang

benjamin.gang@tum.de

ist Mitarbeiter der Bayerischen Forstverwaltung und abgeordnet an die Professur für Waldinventur und nachhaltige Nutzung der TU München. **Jonathan Fibich** und **Isabelle Jarisch** sind Doktoranden an der Professur, die von **Prof. Dr. Thomas Knoke** geleitet wird.

Nie mehr auf dem Holzweg – mit dem Newsletter von *forstpraxis.de*



[forstpraxis.de/
newsletter](https://forstpraxis.de/newsletter)