



Ökonomische Resilienz auf Bestandesebene quantifizieren

Im öffentlichen Diskurs wird der Begriff der „Resilienz“ derzeit immer häufiger gebraucht – längst nicht nur, aber eben auch im Kontext einer klimaangepassten, störungsresistenten Waldbewirtschaftung und Forstplanung. Häufig bleibt der Begriff jedoch diffus und unzureichend definiert, was seiner historischen Genese in verschiedenen Fachgebieten geschuldet ist. Damit er jedoch in forstfachlichen Debatten und der öffentlichen Kommunikation nicht lediglich Worthülse bleibt, soll mit diesem Beitrag ein methodischer Rahmen präsentiert werden, Resilienz im forstökonomischen Kontext zu definieren und zu quantifizieren.

TEXT: JONATHAN FIBICH, CAROLA PAUL, RUPERT SEIDL, THOMAS KNOKE



Foto: J. Strobel

Abb. 1: Die historische Produktivität ist nicht gleichbedeutend mit ökonomischer Resilienz.

Ähnlich wie der Begriff der Nachhaltigkeit einige Jahrzehnte zuvor erfährt der Begriff der Resilienz derzeit eine bemerkenswert ansteigende Aufmerksamkeit: Ursprünglich als reiner Fachbegriff innerhalb der psychologischen Forschung verwendet, breitete er sich zunächst über die Ingenieurwissenschaften in die ökologischen Disziplinen aus. Seit einigen Jahren findet er zunehmend Eingang in den allgemeinen Sprachgebrauch und in öffentliche Diskurse: Im forstlichen Kontext sei etwa die Forderung nach mehr „Klima-Resilienz“ genannt, welche nicht nur von zahlreichen Akteuren geäußert, sondern in zunehmendem Maße wissenschaftlich betrachtet wird [1, 2].

Nicht immer wird der Begriff klar definiert, vielmehr wird unter diesem eine Reihe von Konzepten mit Bezug zu Störungen verwendet. In diesem Zusammenhang kann es leicht zu Missverständnissen und Fehlinterpretationen für die konkrete forstliche Planung kommen. Eine Reihe von Arbeiten hat entsprechende konzeptionelle Eingrenzungen und Definitionen für die forstliche Anwendung zusammengefasst [3, 4].

Die Berücksichtigung von Resilienz als Ziel forstlicher Planung erfordert naturgemäß eine konkrete Auslegung des Begriffs: Wie auch das Ziel der forstlichen Nachhaltigkeit erst anhand verschiedener Nachhaltigkeits operationalisier- und damit realisier-

bar wird, bedarf auch das Ziel forstlicher Resilienz eines methodischen Rahmens, um ebendiese zu quantifizieren, Zielzustände zu definieren und das Ausmaß ihrer Erreichung einzuschätzen. Im vorliegenden Artikel soll ein möglicher Ansatz vorgeschlagen werden, die ökonomische Resilienz von Waldbeständen zu quantifizieren. Dieser Ansatz wird im Anschluss anhand einer einfachen Simulation demonstriert: Zwei verschiedene Waldbausysteme werden hinsichtlich der ihnen innewohnenden ökonomischen Resilienz verglichen. Die Darstellung stützt sich

Schneller ÜBERBLICK

- » **Resilienz wird häufig als Ziel nachhaltiger Waldbewirtschaftung genannt;** die zur Umsetzung notwendigen klaren Konzepte fehlen jedoch noch weitgehend
- » **Ökonomische Resilienz kann auf Bestandesebene anhand jener Zeitspanne gemessen werden,** die zur Regenerierung des Waldwerts nach einer schwerwiegenden Katastrophe auf ein Referenzniveau notwendig ist
- » **Die Etablierung präventiver Vorauverjüngung erhöht** die ökonomische Resilienz eines Waldbestandes gegenüber Störungen

auf eine kürzlich erschienene Publikation in einer englischsprachigen Fachzeitschrift [5].

Ein Konzept zur Quantifizierung ökonomischer Resilienz

Kern des hier vorzustellenden Quantifizierungskonzepts ist ein Resilienz-Begriff, welcher auf das Verhalten eines Systems (hier: eines Waldbestandes) nach einer starken Störung abzielt. Konkret dient die Erholungszeit, die eine zu bewertende Kenngröße benötigt, um nach einem Störungsereignis auf ein gewisses Referenzniveau zurückzukehren, als Weiser für die dem Bestand inwohnende Resilienz (Abb. 2). Als zu betrachtende Kenngröße bietet sich im ökonomischen Kontext der Waldwert an (hier: der kommerzielle Erwartungswert des Holzbestandes und des Waldbodens).

Dieser ökonomische Wert eines Waldbestandes ergibt sich beispielhaft aus der Summe aller vom Betrachtungszeitpunkt aus zu erwartenden und auf diesen Zeitpunkt diskontierten Zahlungen. Im Interesse einer kompakten Darstellung wird im Folgenden unterstellt, dass sich derartige Zahlungen lediglich aus den Kosten der Kulturbegründung und erntekostenfreien Holzerlösen ergeben. Für das einfachste Beispiel der Kahlschlagsbewirtschaftung folgt der Waldwert damit einer zyklischen Entwicklung: Auf die Minima unmittelbar vor Kulturbegründung folgen Phasen des Anstiegs, bis der Waldwert unmittelbar vor der Endnutzung ein Maximum erreicht und danach wieder zum Ausgangsniveau zurückkehrt. Betrachtet man nun eine starke, nicht vorhersehbare und damit nicht ex ante in den Waldwert einpreisable Störung (etwa hervorgerufen durch ein außergewöhnliches Trockenheitsereignis wie z. B. in den Jahren 2018 bis 2020) auf Bestandesebene, so führt diese zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Verminderung dieses Waldwerts. Diese Verminderung ergibt sich zunächst durch eine unmittelbare Verschlechterung der Absatzsituation mit Blick auf das

„Das voraus-verjüngte Waldbausystem hat höhere ökonomische Resilienz gegenüber Störungen.“

JONATHAN FIBICH

anfallende Schadholz, welche durch höhere Aufarbeitungskosten, geringere Holzqualität und – insbesondere bei ausgedehnten Störungen – durch ein Überangebot mit damit verbundenem Preisverfall am Holzmarkt hervorgerufen wird (vgl. [6 bis 8]). Ein weiterer Aspekt, der zu einer Verminderung des Waldwerts beiträgt, ist der durch den Abgang des aufstockenden Bestandes bedingte Verlust seiner Restproduktivität; schließlich kommt die Störung einer vorzeitigen Endnutzung vor Erreichen der optimalen Umtriebszeit gleich. Hinzu kommt außerdem die notwendige Neubegründung, welche nicht nur früher als ursprünglich geplant, sondern häufig auch zu höheren Kosten

als unter gewöhnlichen Umständen erfolgen muss.

In den der Störung folgenden Jahren steigt der Waldwert wieder an: Ertragreiche Altdurchforstungen und Endnutzungen rücken näher, die verkürzten Wartezeiten bis zur Nutzung führen zu wachsenden Barwerten. Nach einer bestimmten Zeitspanne erreicht der Waldwert wieder ein gewisses, vorab zu definierendes Referenzniveau, etwa den durchschnittlichen Waldwert über eine Umtriebszeit ohne außergewöhnliche Störungen: Diese zur Regeneration nötige Zeitspanne, im Folgenden als „Erholungszeitraum“ bezeichnet, dient als Weiser der einem Bestand eigenen ökonomischen Resilienz.

Es liegt nahe, dass die Länge dieser Zeitspanne durch verschiedene Faktoren beeinflusst wird. Während sich viele dieser Faktoren weitestgehend dem Einfluss der Bewirtschaftenden entziehen (so etwa das Alter des Bestandes zum Zeitpunkt der Störung oder die Reaktion der Holzmärkte auf die anfallende Schadholzmenge), existieren doch einige praktische Möglichkeiten, die Reaktionsgeschwindigkeit im Fall einer Störung zu erhöhen: Naheliegender ist etwa die Etablierung von Voraus-Verjüngung in vormals gleichaltrigen Beständen, welche im Störungsfall zumindest auf einem Teil der Fläche einen Wuchsvorsprung vor nachträglich begründeter Verjüngung haben

und damit eine schnellere Regeneration gewährleisten. Der ökonomische Wert und die Höhe dieser absoluten Zeitersparnis als Ausdruck des Resilienzgewinns soll im Folgenden beispielhaft quantifiziert werden.

Voraus-Verjüngung vs. Kahlschlagsregime

Gegenstand der folgenden Betrachtung ist die Frage, in welchem Maße die Etablierung von Voraus-Verjüngung die ökonomische Resilienz in Anbetracht außergewöhnlicher Störungsereignisse erhöhen kann. Vor diesem Hintergrund ist zwischen gewöhnlicher Hintergrundmortalität und außergewöhnlichen Störungen zu unter-

Entwicklung des Waldwerts vor/nach einer Störung

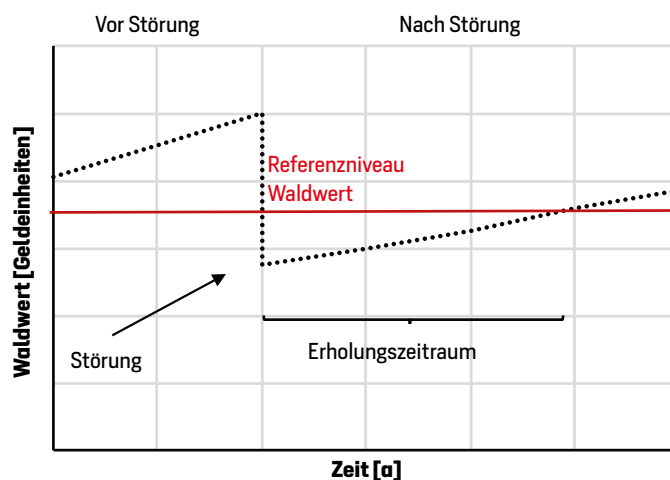


Abb. 2: Schematische Darstellung der Waldwert-Entwicklung vor und nach einer außerplanmäßigen Störung. Das Störungsereignis führt zu einem Einbrechen des Waldwerts unter ein definiertes Referenzniveau (hier: der durchschnittliche Waldwert über eine Umtriebszeit ohne außergewöhnliche Störungen). Anschließend wird ein bestimmter Erholungszeitraum benötigt, um dieses Referenzniveau wieder zu überschreiten.



scheiden: Hintergrundmortalität ist für den Bewirtschafter aus empirischen Beobachtungen heraus gewissermaßen erwartbar, in statistischen Modellen abbild- und damit in langfristige Planung integrierbar (vgl. [9]), etwa über eine Anpassung der Umtriebszeiten [7]. Außergewöhnliche Störungsereignisse im Sinne dieses Artikels übersteigen im Schadensausmaß die übliche Hintergrundmortalität dagegen deutlich. Sie ereignen sich – wie etwa überregionale Sturm- und Dürreereignisse – aus Bewirtschaftenden-Perspektive zudem in hohem Maße unvorhersehbar. Um den Einfluss von Voraus-Verjüngung auf die bestandeseigene Resilienz in Anbetracht derartiger Extremereignisse zu modellieren, optimieren wir zunächst zwei Behandlungsregime mit Blick auf deren Bodenertragswert: Als Benchmark-System dient, gewissermaßen als „Business as usual“-Szenario, ein einfaches Kahlschlagssystem mit Neupflanzung nach jeder Umtriebszeit. Letztere wird so gewählt, dass der Bodenertragswert des Bestandes maximiert wird. Die oben beschriebene Hintergrundmortalität wird in dieser Optimierung explizit berücksichtigt, die beschriebenen Extremereignisse wegen ihrer Unvorhersehbarkeit jedoch nicht.

Dieses Kahlschlagsregime dient als Vergleichssystem für ein alternatives Behandlungsregime, im Zuge dessen auf Teilflächen bereits vor Erreichen der eigentlichen Umtriebszeit Lochhiebe ausgeführt werden, um innerhalb dieser anschließend die erwähnte Voraus-Verjüngung zu etablieren. Im Interesse der Vergleichbarkeit mit dem Kahlschlagssystem wird hier eine Begründung zu regulären Kulturkosten unterstellt (wir ignorieren also die wahrscheinlich mögliche Naturverjüngung).

Wesentliche Ergebnisse der Störungssimulationen

Tab. 1: Das Alternativsystem regeneriert seinen Waldwert in allen simulierten Fällen schneller als das Kahlschlagssystem, die absolute Zeitersparnis steigt mit dem Bestandesalter bei Kalamitätseintritt. Gleiches gilt für den Kapitalwert, der sich aus der beschleunigten Erholung ergibt.

Quelle: Knoke et al. [5]

Alter bei Störung [a]	Zeitraum bis Waldwert \geq Referenzwert [a]		Kapitalwert der schnelleren Erholung [€ ha ⁻¹]
	System Vorausverjüngung	System Kahlschlag	
40	27	33	1.733
50	25	33	2.277
60	23	34	3.063
70	16	33	4.534

Der verbleibende Bestand reagiert in der Simulation auf die Auflichtung mit einer moderaten Wuchsbeschleunigung, während die neu begründete Voraus-Verjüngung durch reduzierte Lichtverfügbarkeit zunächst in ihrem Wachstum gehemmt ist. Im Falle einer starken Störung wird ein Überleben der Voraus-Verjüngung und ein Wechsel zur vollen Wuchsleistung unterstellt, die übrige Kahlfäche wird regulär in Kultur gebracht. Auch für das Alternativregime wird der Bodenertragswert unter Berücksichtigung der üblichen Hintergrundmortalität maximiert – im Gegensatz zum Kahlschlagsregime wird jedoch eine einheitliche Umtriebszeit zugunsten einer flexiblen Zuordnung der Lochhiebe zu verschiedenen Zeitpunkten aufgegeben. Optimiert wird stattdessen die zeitliche Abfolge und Größe der Lochhiebe unter Berücksichtigung der Wachstumsreaktion des verbleibenden Bestandes. Dabei folgen wir bereits publizierten Konzepten [10].

Beide Modelle wurden unter Verwendung von statistischen Wachstumsfunktionen für Fichte [11] parametrisiert. Die berücksichtigte Hintergrundmortalität wurde mithilfe alters- und standortsabhängiger Überlebensfunktionen [9] modelliert, für Holzerlösfunktionen [12] sowie entsprechende Reduktionsfaktoren im gewöhnlichen Mortalitäts- sowie im starken Störungsfall [5 bis 7] wurde ebenfalls auf publizierte Literaturwerte zurückgegriffen. Die hinterlegte Wuchsanantwort des verbleibenden Bestandes basiert auf Durchforstungsversuchen [13]. Weitere Informationen zum Modellierungs- und Optimierungsvorgang finden sich in der Originalpublikation [5].

Nachdem mit Umtriebszeit, Lochhiebgröße und -frequenz gewissermaßen die waldbaulichen Parameter bei-

der Systeme optimiert sind, können die Auswirkungen starker Störungsereignisse auf die jeweiligen Waldwertentwicklungen betrachtet und die jeweiligen ökonomischen Resilienzen entsprechend der oben erläuterten Methodik quantifiziert werden. Hierzu werden verschiedene diskrete Schadereignisse simuliert, wobei jeweils ein vollständiger Ausfall des Altbestandes unterstellt wird, die vorhandene Voraus-Verjüngung das Schadereignis jedoch überlebt. Für den Altbestand wird aufgrund erhöhter Aufarbeitungskosten und schwieriger Absatzsituation ein erntekostenfreier Holzerlös von 0 € ha⁻¹ unterstellt, wie er bei überregionalen Schadereignissen in der Vergangenheit häufig Realität war. Die Simulationen starten dabei auf unbestocktem Waldboden. Für das Alternativsystem wird ein Mindestalter, ab dem Lochhiebe frühestens möglich sind, von 30 Jahren definiert. Simuliert wurden starke Störungsereignisse für Bestandesalter von 40 bis 70 Jahren. Als Referenzniveau des Waldwerts dient in beiden Systemen der durchschnittliche Waldwert einer störungsfreien Umtriebszeit des Kahlschlagssystems.

Ergebnisse

Generell weist der Waldwert des Alternativsystems mit Voraus-Verjüngung eine schnellere Regeneration nach den simulierten Störungsereignissen auf; die ökonomische Resilienz ist nach der obigen Definition damit höher als im Kahlschlagssystem. Die Höhe dieses Resilienz-Gewinns hängt jedoch vom Störungszeitpunkt ab (vgl. Tab. 1): Tritt das Störungsereignis etwa im Alter 70 auf, erreicht der Waldwert des vorausverjüngten Alternativ-Systems 17 Jahre früher das Referenzniveau. Der Wert dieser schnelleren Erholung lässt sich als Kapitalwert mit 4.534 € ha⁻¹ quantifizieren (Berechnungsdetails in [5]). Ursächlich für die schnellere Erholung ist die Anwesenheit der Voraus-Verjüngung, welche bei Ausfall des Hauptbestandes bereits einen ökonomischen Wert darstellt – das Alternativsystem ist in der Lage, den erlittenen Produktivitätsverlust schneller auszugleichen. Die Bestandesstruktur vor Störungseintritt stellt in diesem Falle eine wichtige Komponente der ökonomischen Resilienz dar.

Betrachtet man dagegen starke Störungen in niedrigeren Bestandesaltern, so verlieren die genannten Struktureffekte zunehmend an Bedeutung: Im optimierten Alternativsystem finden vor dem Alter 60 keine Lochhiebe statt, sodass beide Systeme vor Eintritt des Schadereignisses identische Strukturen aufweisen. Dennoch erholt sich der Waldwert des Alternativsystems schneller: Zurückzuführen ist dieser Effekt auf die (evidenzbasierte) Modellannahme der Wuchsbeschleunigung verbleibender Bestandesteile nach den Verjüngungsvorbereitenden Lochhieben. Diese Wuchsbeschleunigungen führen, auf einen langfristigen Zeitraum bezogen, zu einer ökonomischen Überlegenheit des Alternativsystems jenseits der oben beschriebenen Struktureffekte.

Diskussion

In der vorliegenden Modellkalkulation werden zwei wesentliche Komponenten ökonomischer Resilienz auf Bestandesebene identifiziert: Strukturbasierte Resilienz wirkt gewissermaßen über Diversifikation: Überlebt ein gewisser Anteil des Bestandes ein auftretendes Störungsereignis, verkürzt sich dadurch zwangsweise die Zeitspanne, welche zum Erreichen des Referenzwertes notwendig ist. Die Annahme, das vorhan-

dene Voraus-Verjüngung derartige Ereignisse stets vollständig überlebt ist als solche sicher sehr pauschal und kritikwürdig – ein vollständiger Ausfall erscheint jedoch noch deutlich weniger realistisch. Zumindest bei schweren Windwurf- und Insekten-Störungen kann im Regelfall zumindest von einem teilweisen Überleben vorhandener Voraus-Verjüngung ausgegangen werden, sodass sich die strukturelle Resilienz-Komponente unter realen Bedingungen zwar ggf. reduzieren, ein gewisses Niveau jedoch beibehalten wird.

Die zweite Komponente ergibt sich aus der ökonomischen Überlegenheit des Alternativsystems gegenüber dem Kahlschlagsregime, welche maßgeblich von der Wuchsanwort des Altbestandes auf erfolgreiche lochhiebartige Auflichtungen abhängt. Diese Komponente dürfte damit in hohem Maße von der betrachteten Baumart abhängig sein, da nicht alle Baumarten in der Lage sind, die abfallende Bestandesdichte in gleichem Maße in Wuchsbeschleunigung umzusetzen. Eine Reihe weiterer Faktoren bleibt im Rahmen einer derartigen Modellkalkulation ebenfalls zwangsweise unberücksichtigt: So dürfte die Attraktivität des Alternativsystems weiter steigen, wenn die Etablierung der Vorausverjüngung (etwa bedingt durch angepasste Wildbestände) zu geringeren

Kosten als den regulären Kulturkosten möglich ist. Die Fokussierung auf ökonomische Gesichtspunkte ist als Novum der Arbeit zu sehen, da sich bisherige Arbeiten zur Resilienz im Wald zu großen Teilen auf ökologische Kenngrößen beziehen. Eine Ausweitung der hier vorgestellten Methodik auf weitere Ökosystemleistungen und Funktionen (neben der Bereitstellung von Einkommen etwa Kohlenstoffspeicher, Habitatqualität etc.) ist in weiteren Schritten möglich.

Die Autoren wollen den Resilienz-Begriff also keineswegs als ausschließlich ökonomische Kenngröße interpretieren, sehen jedoch ökonomische Resilienz als einen wichtigen und bisher vernachlässigten Baustein des resilienten Waldmanagements. Der hier vorgestellte Ansatz liefert über die Quantifizierung der ökonomischen Resilienz einen wichtigen Beitrag zur breiteren Anwendung des Resilienzkonzeptes in Fragen der Waldbewirtschaftung unter Störungsrisiko.

Literaturverzeichnis:

[1] MATALLANA-RAMIREZ, L. P.; WHETTEN, R. W.; SANCHEZ, G. M.; PAYN, K. G. (2021): *Breeding for Climate Change Resilience: A Case Study of Loblolly Pine (Pinus taeda L.) in North America* *Front. Plant Sci.* 12 606908. [2] PARDOS, M.; DEL RÍO, M.; PRETZSCH, H.; JACTEL, H., et al. (2021): *The greater resilience of mixed forests to drought mainly depends on their composition: Analysis along a climate gradient across Europe* *Forest Ecology and Management* 481 118687. [3] NIKINMAA, L.; LINDNER, M.; CANTARELLO, E.; GARDINER, B., et al. (2023): *A balancing act: Principles, criteria and indicator framework to operationalize social-ecological resilience of forests* *Journal of Environmental Management* 331 117039. [4] NIKINMAA, L.; LINDNER, M.; CANTARELLO, E.; JUMP, A. S.; SEIDL, R.; WINKEL, G.; MUYS, B. (2020): *Reviewing the Use of Resilience Concepts in Forest Sciences* *Curr. Forestry Rep.* 6 61–80. [5] KNOKE, T.; PAUL, C.; GOSLING, E.; JARISCH, I.; MOHR, J.; SEIDL, R. (2023): *Assessing the Economic Resilience of Different Management Systems to Severe Forest Disturbance* *Environ. Resour. Econ.* 84 343–81. [6] DIETER, M. (2001): *Land expectation values for spruce and beech calculated with Monte Carlo modelling techniques* *Forest Policy and Economics* 2 157–66. [7] MÖLLMANN, T. B.; MÖHRING, B. (2017): *A practical way to integrate risk in forest*

management decisions *Annals of Forest Science* 74 75. [8] FUCHS, J. M.; HITTEBECK, A.; BRANDL, S.; SCHMIDT, M.; PAUL, C. (2022): *Adaptation strategies for spruce forests – economic potential of bark beetle management and Douglas fir cultivation in future tree species portfolios* *Forestry: An International Journal of Forest Research* 95, 229–46. [9] BRANDL, S.; PAUL, C.; KNOKE, T.; FALK, W. (2020): *The influence of climate and management on survival probability for Germany's most important tree species* *Forest Ecology and Management* 458 117652. [10] MESSERER, K.; KACPROWSKI, T.; KOLO, H.; BAUMBACH, J.; KNOKE, T. (2020): *Importance of considering the growth response after partial harvesting and economic risk of discounted net revenues when optimizing uneven-aged forest management* *Can. J. For. Res.* 50 487–99. [11] PRETZSCH, H.; BIBER, P.; SCHÜTZE, G.; UHL, E.; RÖTZER, T. (2014): *Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870* *Nat Commun* 5 4967. [12] PAUL, C.; BRANDL, S.; FRIEDRICH, S.; FALK, W.; HÄRTL, F.; KNOKE, T. (2019): *Climate change and mixed forests: how do altered survival probabilities impact economically desirable species proportions of Norway spruce and European beech?* *Annals of Forest Science* 76 14. [13] HÄRTL, F.; HAHN, A.; KNOKE, T. (2010): *Integrating neighbourhood effects in the calculation of optimal final tree diameters* *JFE* 16 179–93.



Jonathan Fibich

jonathan.fibich@tum.de

beschäftigt sich an der Professur „Waldinventur und nachhaltige Nutzung“ der TU München, welche von

Prof. Dr. Thomas Knoke geleitet wird, mit Fragestellungen forstlicher Resilienz und dem Einfluss von Wildverbiss auf Ökosystemleistungen.

Prof. Dr. Rupert Seidl leitet die benachbarte Professur „Ökosystemdynamik und Waldmanagement in Gebirgslandschaften“,

Prof. Dr. Carola Paul leitet die Abteilung „Forstökonomie und nachhaltige Landnutzungsplanung“ der Georg-August-Universität Göttingen.