

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 167 (2016)

Heft: 1

Artikel: Wirtschaftliche Konsequenzen waldbaulicher Strategien zur Bewältigung des Klimawandels

Autor: Pauli, Bernhard / Stöckli, Barbara / Rosset, Christian

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097420>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 01.05.2026

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

Wirtschaftliche Konsequenzen waldbaulicher Strategien zur Bewältigung des Klimawandels

Bernhard Pauli Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (CH)*
Barbara Stöckli Impuls AG (CH)
Christian Rosset Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (CH)

Wirtschaftliche Konsequenzen waldbaulicher Strategien zur Bewältigung des Klimawandels

Der Klimawandel stellt die Schweizer Waldwirtschaft vor grosse wirtschaftliche Herausforderungen. Dabei stellt sich die Frage, welche Waldbaustrategien sich am besten eignen, um den wirtschaftlichen Erfolg auch unter neuen klimatischen Bedingungen zu gewährleisten und mögliche Ausfallrisiken zu minimieren. Im Rahmen des Forschungsprogramms Wald und Klimawandel wurde ein Modell entwickelt, das die monetären Auswirkungen von vier Waldbaustrategien ermittelt. Es handelt sich dabei um eine ertragsorientierte, eine risikomindernde, eine kostenmeidende und eine Referenzstrategie. Die auf das Schweizer Mittelland bezogenen Ergebnisse zeigen, dass die verschiedenen Waldbaustrategien den wirtschaftlichen Erfolg stark beeinflussen. Eine ertragsorientierte beziehungsweise eine risikomindernde Strategie scheint wirtschaftlich am erfolgversprechendsten. «So weiter wie bisher» stellt die schlechteste Strategie dar. Politik und Forstwirtschaft sind nun gefordert, die richtigen Massnahmen einzuleiten.

Keywords: climate change, economic consequences, adaptation strategies, Swiss Central Plateau
doi: 10.3188/szf.2016.0039

* Länggasse 85, CH-3052 Zollikofen, E-Mail bernhard.pauli@bfh.ch

Die Analyse der Konsequenzen des Klimawandels für den Wald stellt seit einigen Jahren ein wichtiges Forschungsfeld in den Schweizer Waldwissenschaften dar. Der Fokus liegt primär auf naturwissenschaftlichen Fragestellungen. In den Wirtschaftswissenschaften hat man sich diesem Thema bisher noch nicht mit der gleichen Intensität gewidmet. Ziel eines im Rahmen des Forschungsprogrammes «Wald und Klimawandel» geförderten Projektes war es deshalb, einen Beitrag zur Schliessung der festgestellten Forschungslücke zu leisten. Konkret ging es darum, eine Methode zu entwickeln und anzuwenden, die es ermöglicht, verschiedene Strategien der Waldwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel unter Berücksichtigung der im Zeitverlauf entstehenden Kosten und Erlöse¹ ökonomisch zu bewerten. Der Fokus lag auf der durch den Klimawandel notwendig werdenden Anpassungsphase der Schweizer Wälder. Die nach der Anpassungsphase entstehende Gleichgewichtsphase blieb unberücksichtigt. Die Ende der Betrachtungsperiode zu erwartenden Waldwerte wurden jedoch separat dargestellt und flossen in die Gesamtbewertung ein.

Für das Projekt wurden drei Hypothesen formuliert:

1. Der Klimawandel führt zu Mehrkosten für die Waldbewirtschaftung
2. Unterschiedliche Waldbaustrategien beeinflussen die Höhe dieser Mehrkosten
3. Eine Strategie, welche die sich aus dem Klimawandel ergebenden Produktionsrisiken aktiv vermindert, ist aus ökonomischer Sicht besser als ein bewusstes Inkaufnehmen der Risiken

Als Perimeter für die Erstanwendung des entwickelten Modells wurde das Schweizer Mittelland (231 300 ha Wald) gewählt. Diese Grossregion ist die produktivste und aus ökonomischer Sicht bedeutendste Waldregion der Schweiz, in der sieben der insgesamt acht wirtschaftlich wichtigen Waldbaumarten der Schweiz stocken (Brändli 2010).

¹ Kosten stehen für den monetär bewerteten Verbrauch von Produktionsfaktoren. Erlöse bezeichnen den in Geldeinheiten ausgedrückten Wert von Gütern und Dienstleistungen (Schneck et al 1998).

Material und Methoden

Naturale Parameter

Die dem Modell zugrunde liegenden historischen Klimadaten stammen von MeteoSchweiz. Die erwarteten Veränderungen der klimatischen Parameter (Temperatur und Niederschlag) für die Jahre 2030, 2050, 2070 resultieren aus Frei (2004), OcCC (2007) und Ecoplan (2007).

Die Sturmdaten, inklusive der angefallenen Schadhohlmengen von 1895 bis 2009, resultieren aus Usbeck et al (2010). Historische Käferholzdaten von 1984 bis 2008 wurden von Waldschutz Schweiz zur Verfügung gestellt. Die Waldbranddaten von 1974 bis 2009 wurden der Waldbrandstatistik des Bundesamtes für Statistik entnommen.

Der heutige Waldzustand als Ausgangslage für die Simulation der Waldentwicklung basiert auf dem dritten schweizerischen Landesforstinventar (LFI3; Brändli 2010). Die waldwachstumskundlichen Annahmen basieren auf den Schweizer Ertragstabellen (EAFV 1983).

Wahl des Bestockungsziels und Definition der Waldbaustrategien

Im Rahmen des Projektes PorTree haben Zimmermann et al (2015) die Vorkommenswahrscheinlichkeiten der verschiedenen Baumarten pro LFI-Stichprobenpunkt bis zum Jahr 2080 modelliert. Auf dieser Basis wurde ein dem Klimawandel angepasstes Bestockungsziel definiert. In einem ersten Schritt

wurden für jede LFI-Stichprobe die aktuellen Grundflächenanteile der Baumarten näherungsweise bestimmt. Danach wurden den Stichproben die heutige und die zukünftige Vorkommenswahrscheinlichkeit für jede Baumart zugeordnet. Nach der Zuordnung wurde für jede Stichprobe die Differenz zwischen der Vorkommenswahrscheinlichkeit im Jahr 2080 (P_{2080}) und der Vorkommenswahrscheinlichkeit heute (P_{heute}) ermittelt. Diese Differenzen bildeten die Basis für den Entscheid, ob und, falls ja, mit welchem Anteil die Baumart zukünftig im Bestockungsziel vertreten sein sollte. In Abhängigkeit von der zugrunde gelegten Waldbaustrategie wurden im Rahmen der Simulationen die Anteile der Baumarten am Bestockungsziel bei negativer Differenz abgesenkt und bei positiver Differenz erhöht (Tabelle 1).

Aufgrund von aus der waldbaulichen Literatur abgeleiteten Empfehlungen sowie eigenen Überlegungen wurden für die Simulation insgesamt vier Waldbaustrategien definiert:

- Die Referenzstrategie behält auch unter Klimawandel die heutige Baumartenverteilung gemäss LFI3 bei und lässt die Umtriebszeiten wie heute in der Praxis beobachtet.

Im Gegensatz dazu handelt es sich bei den drei anderen Strategien um Adaptationsstrategien, bei welchen das Bestockungsziel sukzessive an die im Zuge des Klimawandels ändernden standörtlichen Bedingungen angepasst wird (Tabelle 1). Dabei wird grundsätzlich darauf verzichtet, gross in Waldumbauprogramme zu investieren (z.B. Brang & Rigling

Wenn-Bedingung	Dann-Regel für die kostenmeidende Strategie	Dann-Regel für die risikomindernde Strategie	Dann-Regel für die ertragsorientierte Strategie
Differenz ($P_{2080}-P_{heute}$) ist kleiner als -0.66	Der Anteil der Baumart wird auf 20% ihres heutigen Anteils verringert.		
Differenz ($P_{2080}-P_{heute}$) liegt zwischen -0.66 und -0.34	Der Anteil der Baumart wird auf 33% ihres heutigen Anteils verringert.		
Differenz ($P_{2080}-P_{heute}$) liegt zwischen -0.33 und -0.1	Der Anteil der Baumart wird auf 67% ihres heutigen Anteils verringert.		
Differenz ($P_{2080}-P_{heute}$) liegt zwischen -0.1 und 0.1	Der heutige Anteil wird beibehalten.		
Differenz ($P_{2080}-P_{heute}$) liegt zwischen 0.1 und 0.33	Der Anteil der Baumart wird um 33% erhöht.		
Differenz ($P_{2080}-P_{heute}$) liegt zwischen 0.34 und 0.66	Der Anteil der Baumart wird um 67% erhöht.		
Differenz ($P_{2080}-P_{heute}$) ist grösser 0.66	Der Anteil der Baumart wird um 100% erhöht.		
Wenn die Summe der neu errechneten Baumartenanteile für Nadelholz = 0			Ins Bestockungsziel werden je 10% Douglasie und Fichte aufgenommen.
Wenn der Eichenanteil >75% des gesamten Baumartenanteils ausmacht	Das Bestockungsziel besteht aus 100% Eiche.		
Wenn der Eichenanteil <75% des gesamten Baumartenanteils ausmacht	Eiche wird aus dem Bestockungsziel entfernt.		
Die Summe der neu berechneten Baumartenanteile ist kleiner als 1	Alle Baumartenanteile werden gleichmässig erhöht, bis 100% erreicht werden.		
Die Summe der neu berechneten Baumartenanteile ist grösser als 1	Alle Baumartenanteile werden gleichmässig reduziert, bis 100% erreicht werden.		

Tab 1 Entscheidungsregeln zur Bestimmung des Bestockungsziels. Basis: Vorkommenswahrscheinlichkeiten der Baumarten aus Zimmermann et al (2015). P_{2080} : Vorkommenswahrscheinlichkeit im Jahr 2080, P_{heute} : Vorkommenswahrscheinlichkeit heute (LFI3; Brändli et al 2010).

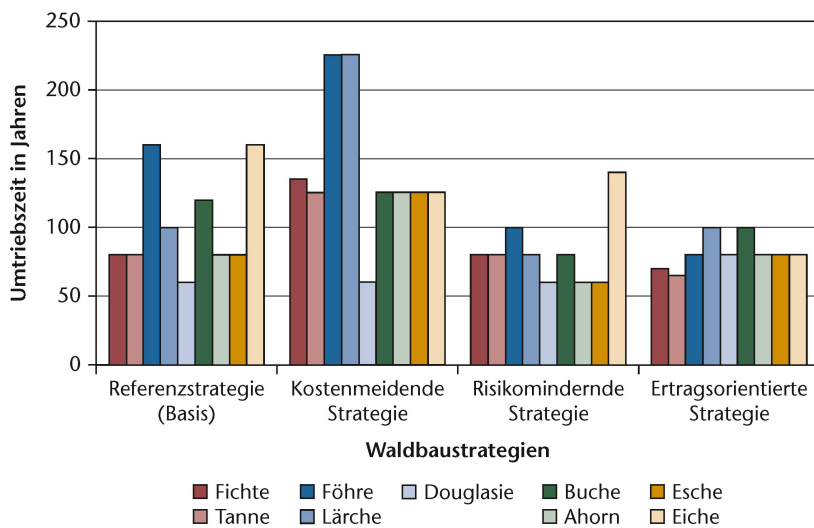


Abb 1 Umtriebszeiten für die in der Simulation berücksichtigten Baumarten je Waldbaustrategie.

2008), und es werden die sich im naturnahen Waldbau ergebenden Handlungsspielräume möglichst ausgenutzt (z.B. Schütz 1999). Die drei Adaptationsstrategien unterscheiden sich im Bestockungsziel (Nadelholz- und Eichenanteil; Tabelle 1) sowie in der Umtriebszeit (und damit in der Geschwindigkeit der Anpassungsmassnahmen; Abbildung 1).

- Die kostenmeidende Strategie zielt darauf ab, den erntekostenfreien Erlös zu maximieren. Entsprechend werden die Umtriebszeiten für alle Baumarten eher hoch angesetzt. Es wird auf aktive Umbaumaassnahmen, die nicht im Rahmen der plangemässen Walderneuerung durchführbar sind, verzichtet. Eine minimale Lenkung biologischer Prozesse, bei der die Qualitätsanforderungen gerade noch erfüllt sind, steht im Vordergrund.
- Die risikomindernde Strategie versucht den sich durch den Klimawandel ergebenden Risiken durch eine vergleichsweise stärker laubholzorientierte Baumartendiversifikation (Buchen- und Eichenanteil) sowie mit einer Senkung der Umtriebszeiten zu begegnen.
- Der ertragsorientierten Strategie liegt ein stärker ökonomisch ausgerichtetes Baumartenportfolio zugrunde, wobei nebst den finanziellen Renditeüberlegungen auch die Risikokosten berücksichtigt werden (Knocke & Hahn 2007, Beinhofer 2009, Beinhofer & Knocke 2010). Die konkrete Umsetzung dieser Strategie basiert auf einem höheren Nadelholz-

anteil als bei den anderen zwei Adaptationsstrategien sowie einer ökonomisch intendierten Senkung der Umtriebszeiten.

Wirtschaftliche Parameter

Die dem Modell zugrunde gelegten historischen Holzpreise stammen vom Bundesamt für Statistik und vom Staatsforstbetrieb Bern. Da künftige Holzpreisentwicklungen nur bedingt von Vergangenheitswerten abgeleitet werden können, wurden bei der Modellentwicklung drei Szenarien definiert, die einen steigenden, einen fallenden und einen gleich bleibenden Holzpreis beschreiben (Tabelle 2).

Die Holzerntekosten wurden mithilfe des Produktivitätsmodells Hepromo (Erni & Frutig 2004) ermittelt. Da ihre Entwicklung innerhalb des Betrachtungszeitraums nicht sinnvoll abgeschätzt werden konnte, wurden gleichbleibende Holzerntekosten angenommen. Zur Beschreibung der Pflanz-, Pflege- und Wildschutzkosten wurden die Pauschalansätze des Kantons Bern (KAWA 2006) verwendet.

Modellentwicklung

Ziel des Projektes war es, kausale beziehungsweise systemische Zusammenhänge natürlicher, waldbaulicher und wirtschaftlicher Parameter für den wirtschaftlichen Erfolg der Waldbewirtschaftung zu ermitteln und das Zusammenspiel in einem Ursache-Wirkungs-Modell zusammenzufassen. Hierfür wurde zunächst der Einfluss des Klimawandels auf die Parameter und den wirtschaftlichen Erfolg simuliert. Auf der Grundlage der gewonnenen Ergebnisse wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf künftige Kosten und Erlöse in der Waldbewirtschaftung abgeschätzt. Die konkrete Umsetzung erfolgte auf der Basis von drei voneinander unabhängigen Simulationen, einer Schadflächensimulation, einer waldbaulichen Simulation und einer Holzpreissimulation (Abbildung 2).

Die Einschätzung der künftigen Sturmereignisse in Abhängigkeit von der Temperatur- und Niederschlagsentwicklung gestaltete sich schwierig, da die klimawandelbeeinflusste Entwicklung der Sturmhäufigkeit in der Literatur umstritten ist (Albrecht et al 2008 vs. Usbeck et al 2010). Aus diesem Grund wurden zwei Szenarien entworfen. Im ersten wird eine gleichbleibende Wahrscheinlichkeit grosser Sturmereignisse angenommen ($p = 0.0278$;

Holzpreisszenario	Jahr									
	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
Preise historisch	Die künftigen Holzpreise bewegen sich im Rahmen der Holzpreise der letzten zehn Jahre. Es gibt keinen Trend.									
Preissenkung	0.45%	1.30%	2.20%	3.09%	3.95%	4.85%	5.70%	6.55%	7.45%	8.32%
Preisanstieg	2%	6%	10%	14%	18%	22%	26%	30%	34%	38%

Tab 2 Holzpreisszenarien. Für die Szenarien «Preissenkung» respektive «Preisanstieg» wird der Holzpreis des Szenarios «Holzpreis historisch» um den für die jeweilige Periode angegebenen Prozentwert erhöht respektive reduziert.

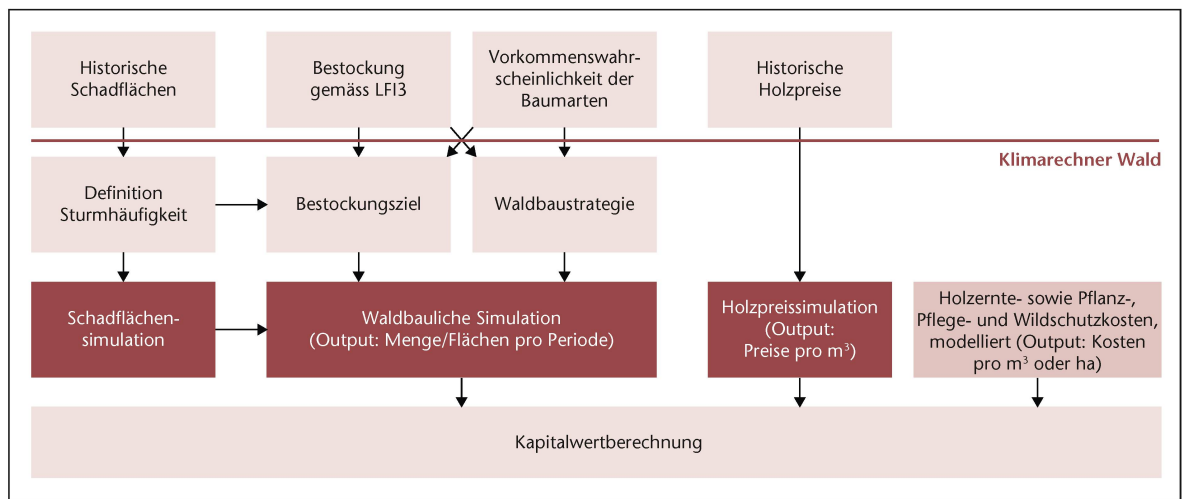


Abb 2 Grafische Darstellung des Modellaufbaus. Historische Schadflächen: Usbeck et al (2010), Waldschutz Schweiz, Waldbrandstatistik; Bestockung gemäss LF13: Brändli (2010); Vorkommenswahrscheinlichkeit der Baumarten: Zimmermann et al (2015); Historische Holzpreise: Bundesamt für Statistik, Staatsforstbetrieb Bern; Holzerntekosten: Erni & Frutig (2004); Pflanz- und Pflegekosten: KAWA (2006).

Zeitraum 2010 bis 2100). Im zweiten Szenario erhöht sich die Wahrscheinlichkeit grösserer Sturmereignisse schrittweise von $p = 0.0278$ in der Vergangenheit auf $p = 0.05$ im Jahr 2100. Für Stürme der Stärke von «Lothar» geht die Münchner Rück (2001) von einer periodischen Wiederkehr von 15 Jahren aus. Insofern kann die dem Modell zugrunde gelegte Wahrscheinlichkeit von $p = 0.05$ mit einer periodischen Wiederkehrdauer starker Stürme von 20 Jahren als eher konservativ bezeichnet werden. Die folgenden Ergebnisse basieren ausschliesslich auf dem Szenario einer Verdoppelung der Sturmhäufigkeit.

Zur Schätzung der gesamten Schadflächen wurde eine Monte-Carlo-Simulation mit jeweils 10000 Wiederholungen durchgeführt, bei welcher Sturmzeiten zufällig gezogen wurden (Ziehung mit Zurücklegen). Der Zusammenhang zwischen den Klimaeinflüssen, Sturmschäden und Sommertrocknis sowie den daraus resultierenden Schäden durch Borkenkäfer und Waldbrand wurde über Regressionsanalysen hergeleitet.

Die waldbauliche Simulation erfolgte mit einer auf Microsoft ACCESS basierenden Version von WIS.2 (Rosset 2005), in der Folge als «WIS Klima» bezeichnet. «WIS Klima» lässt die Bäume in jeder Teilfläche gemäss den in den Ertragstafeln (EAFV 1983) beschriebenen Wachstumsgesetzen wachsen und weist Durchforstungsmengen pro Teilfläche aus. Zusätzlich wird die Nutzungsmenge bestimmt, welche von der Baumartenverteilung, dem Baumalter, der Wüchsigkeit des Standorts, der Zwangsnutzungsfläche und der nachhaltigen Verjüngungsfläche abhängig ist. Die Entwicklungen in den einzelnen Teilflächen werden anschliessend addiert, sodass eine Gesamtträumungsfläche (unterteilt nach Zwangsnutzungen und Normalnutzungen) bestimmt werden kann.

Pro Waldbaustrategie wurden 30 Waldentwicklungsszenarien simuliert. Diese Szenarien öff-

nen in Abhängigkeit von naturalen Risikoereignissen einen Fächer möglicher Entwicklungen von Normal- und Zwangsnutzung. Da der Schwerpunkt der Arbeit auf den ökonomischen Aspekten des Klimawandels liegt, wird in diesem Beitrag auf die Darstellung der waldbaulichen Simulationen verzichtet.

Ableitung des Kapitalwerts

Die ökonomische Bewertung der Ergebnisse aus der waldbaulichen Simulation (Jahr 2010 bis 2100) erfolgt mittels Kapitalwertberechnung. Diese weist die folgende allgemeine Form auf (Thommen 2008, verändert):

$$C_0 = -I + \sum_{t=1}^T (R_t) \times (1+i)^{-t} + L \times (1+i)^{-T} \quad 1)$$

wobei:

- C_0 Kapitalwert
- I Anfangsinvestition, d.h. der Waldwert zu Simulationsbeginn
- R_t Gesamter Rückfluss je Periode; setzt sich zusammen aus dem Rückfluss aus der Holzernte pro Sortiment (R_{HE}) sowie den Pflanz- und Pflegekosten, berechnet für jede Periode
- i Zinssatz
- t Periode
- T Gesamter Investitionszeitraum
- L Liquidationserlös, d.h. Waldwert am Ende des Simulationszeitraums

Die Unsicherheiten im Hinblick auf die Holzpreisentwicklung sowie der zu erwartenden Kalamitätsschäden wurden mittels Monte-Carlo-Simulation abgedeckt (vgl. hierzu auch Höllner 2009). Die Simulationsergebnisse stellten die Basis für die Kapitalwertberechnungen dar.

Der Klimarechner Wald bildet in einem ersten Schritt die Flächendifferenzen pro Periode aus den simulierten Waldentwicklungen mit (F_{mitCC}) und ohne Klimawandel (F_{ohneCC}).

$$\partial F = F_{mitCC} - F_{ohneCC}$$

Dieser Schritt wird für jede der vier Waldbastrategien und die je 30 Waldentwicklungsszenarien ausgeführt. In einem nächsten Schritt werden den ermittelten Flächen entsprechend Baumart, Baumalter und Wüchsigkeit des Standorts, unterschiedliche Vorräte und Sortimenten zugewiesen. Die Sortimenten sind abhängig von der Qualität des Holzes und dem Brusthöhendurchmesser.

Den so definierten Sortimenten können dann Holzpreise und Erntekosten zugeordnet werden. Zudem werden den Jungbeständen baumartenspezifische Pflegekosten und den Räumungsbeständen Pflanz- und Wildschutzkosten zugewiesen. Bei den Pflanzkosten wird davon ausgegangen, dass sich Tanne, Esche und Buche zu 100% natürlich verjüngen. Fichte, Föhre und Bergahorn verjüngen sich auf der Hälfte der Fläche selber, Douglasie, Lärche und Eiche müssen flächig gepflanzt werden.

Dies erlaubt schliesslich die Berechnung des Rückflusses über die Perioden. Der Rückfluss aus der Holznutzung wurde wie folgt ermittelt:

$$R_{HE} = N \times (P - K_{HE}) + ZN \times (P - A_{ZN} - [K_{HE} + Z_{ZN}]) \quad 3)$$

wobei:

- R_{HE} Rückfluss aus der Holznutzung pro Sortiment
- N Normalnutzung in m^3
- ZN Zwangsnutzung in m^3
- P Holzpreis
- K_{HE} Kosten für die Holzernte
- A_{ZN} Preisabzug für Zwangsnutzungen
- Z_{ZN} Holzerntekostenzuschlag für Zwangsnutzungen

Die Ergebnisse aus den Kapitalwertberechnungen können im Modell als Kapitalwerte beziehungsweise als Kapitalwertdifferenzen und Annuitäten am Ende des Betrachtungszeitraums dargestellt werden.

2) Da Kapitalwertberechnungen über derartig lange Zeiträume aufgrund der wenig voraussehbaren Entwicklung von Kosten und Erlösen durchaus kritisch zu sehen sind (vgl. z.B. Hostettler & Deegen 2009), standen primär die Kapitalwertdifferenzen verschiedener Varianten im Analysefokus.

Ergebnisse

Vergleich der Kapitalwertdifferenzen

Als Input für die Kapitalwertberechnungen dienten die Differenzen der ermittelten Bestandeswerte aus den 30 Waldentwicklungsszenarien, jeweils unter der Annahme, dass der Klimawandel stattfindet oder nicht stattfindet. Die Kapitalwerte wurden unter Annahme eines Zinses von 2% und 0% sowie dreier unterschiedlicher Holzpreisszenarien simuliert. Für jedes der verwendeten 30 Waldentwicklungsszenarien wurde eine Monte-Carlo-Simulation mit 500 Ziehungen durchgeführt, bei welcher die Holzpreise schwankten. Die vier unterschiedlichen Waldbastrategien wurden dabei immer parallel simuliert, um Ergebnisdifferenzen, die auf unterschiedliche Zufallspreise zurückzuführen gewesen wären, zu vermeiden.

In Abbildung 3 sind für einen Zinssatz von 2% die Resultate aus dem Vergleich der vier Waldbastrategien dargestellt. Alle Ergebnisse befinden sich im Negativbereich der Ordinatenachse. Dies bedeutet, dass sich bei allen Waldbastrategien im Schweizer Mittelland klimabedingte Erlöseinbussen ergeben.

Im Falle eines Anstiegs der Holzpreise ist für die Referenzstrategie in der Hälfte der Fälle mit Einbussen von mindestens 200 Mio. CHF zu rechnen (Abbildung 3, rechts). Der Median für die kostenmeidende Strategie liegt bei -168 Mio. CHF und derjenige der risikomindernden Strategie bei

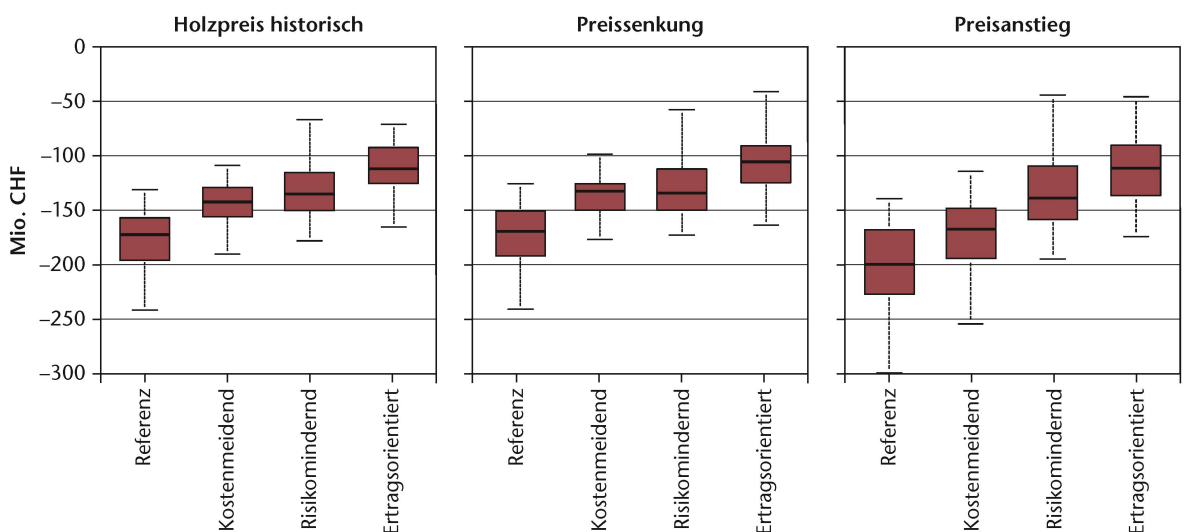


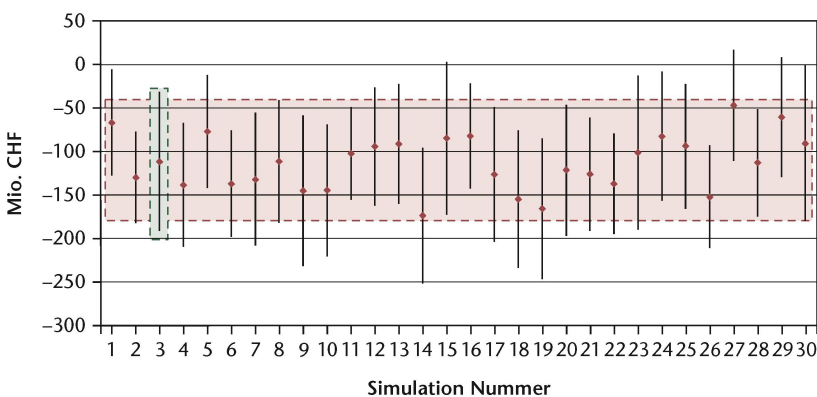
Abb 3 Wirtschaftliche Folgen der vier Waldbastrategien (Referenzstrategie und drei Adaptationsstrategien). Dargestellt sind die Kapitalwertdifferenzen zwischen einer Entwicklung ohne und einer Entwicklung mit Klimawandel für alle drei Holzpreisszenarien bei einem Zins von 2% (Median und Quantile).

Holzpreis historisch	Referenz	Kostenmeidend	Risikomindernd	Ertragsorientiert
Referenz	–	p-Wert = 3.6e-05	p-Wert= 1.1e-06	p-Wert= 5.5e-12
Kostenmeidend	p-Wert = 3.6e-05	–	p-Wert= 0.106	p-Wert= 2.3e-06
Risikomindernd	p-Wert = 1.1e-06	p-Wert = 0.106	–	p-Wert= 0.017
Ertragsorientiert	p-Wert = 5.5e-12	p-Wert = 2.3e-06	p-Wert = 0.017	–

Preissenkung	Referenz	Kostenmeidend	Risikomindernd	Ertragsorientiert
Referenz	–	p-Wert = 5.7e-06	p-Wert = 3.4e-06	p-Wert = 5.5e-12
Kostenmeidend	p-Wert = 5.7e-06	–	p-Wert = 0.467	p-Wert = 2.2e-05
Risikomindernd	p-Wert = 3.4e-06	p-Wert = 0.467	–	p-Wert = 0.013
Ertragsorientiert	p-Wert = 5.5e-12	p-Wert = 2.2e-05	p-Wert = 0.013	–

Preisanstieg	Referenz	Kostenmeidend	Risikomindernd	Ertragsorientiert
Referenz	–	p-Wert = 0.0049	p-Wert = 1.1e-08	p-Wert = 3.6e-13
Kostenmeidend	p-Wert = 0.0049	–	p-Wert = 0.0004	p-Wert = 4.8e-09
Risikomindernd	p-Wert = 1.1e-08	p-Wert = 0.0004	–	p-Wert = 0.0462
Ertragsorientiert	p-Wert = 3.6e-13	p-Wert = 4.8e-09	p-Wert = 0.0462	–

Tab 3 Paarweiser Vergleich der Mittelwerte der Kapitalwertdifferenzen der vier Waldbaustrategien mit dem Wilcoxon-Test für die drei Holzpreisszenarien (Zins 2%, p value adjustment method: holm). Kursiv: Unterschiede zwischen den Waldbaustrategien sind nicht signifikant.



--- Standardabweichung eines Waldentwicklungsszenarios (Mass für Holzmarktrisiko)
 - - - Standardabweichung der Mittelwerte aller Waldentwicklungsszenarien (Mass für naturales Risiko)

Abb 4 Mittelwerte und Standardabweichungen der Einzelergebnisse der Berechnung (Kapitalwertdifferenzen) für die 30 verwendeten Waldentwicklungsszenarien bei der ertragsorientierten Waldbaustrategie (Szenario Holzpreisanstieg, Zins 2%).

Holzpreisszenario	Waldbaustrategie			
	Referenz	Kostenmeidend	Risikomindernd	Ertragsorientiert
Holzpreis historisch				
Anzahl tiefste Sd	3	7	13	7
Anzahl höchste Sd	14	5	3	8
Median Sd (Mio. CHF)	64	58	52	58
Preissenkung				
Anzahl tiefste Sd	4	7	14	5
Anzahl höchste Sd	14	5	2	9
Median Sd (Mio. CHF)	61	56	49	55
Preisanstieg				
Anzahl tiefste Sd	3	8	13	6
Anzahl höchste Sd	14	6	4	6
Median Sd (Mio. CHF)	81	70	64	71

Tab 4 Median der Standardabweichungen (Sd) und Anzahl höchste und tiefste Standardabweichungen der Berechnung (Kapitalwertdifferenzen) der 30 Waldentwicklungsszenarien nach Holzpreisszenario in Schweizer Franken (Zins 2%) als Mass für das Holzmarktrisiko.

–140 Mio. CHF. Am geringsten sind die wirtschaftlichen Konsequenzen bei der ertragsorientierten Strategie. Hier wurden in der Hälfte der Fälle Einbußen von 112 Mio. CHF oder weniger ermittelt. Für die Holzpreisszenarien «historisch» und «Preissenkung» ergeben sich ähnliche Verhältnisse, jedoch auf anderem Niveau. Bei einem Zins von 0% vergrößert sich die Kapitalwertdifferenz bei allen Waldbaustrategien, d.h., die wirtschaftlichen Konsequenzen werden stärker bewertet (nicht dargestellt).

Der paarweise Vergleich der Mittelwerte der Kapitalwertdifferenzen zeigt, dass sich die meisten Verteilungen signifikant unterscheiden (Tabelle 3). Ausnahmen bilden lediglich die risikomindernden und kostenmeidenden Strategien im Falle der Holzpreisszenarien «historisch» und «Preissenkung».

Beurteilung von Unsicherheiten und Risiken

Das Eintreten der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Kapitalwertdifferenzen ist stets mit Unsicherheiten behaftet. Hauptgründe hierfür sind die Schwankungen bei den Holzpreisen (Holzmarktrisiken) sowie bei abiotisch und biotisch bedingten Schadereignissen (naturale Risiken). Beide Risiken wurden getrennt ermittelt.

Holzmarktrisiken

Als Mass für das Holzmarktrisiko wird die Standardabweichung je Waldentwicklungsszenario betrachtet (Abbildung 4, schwarze Linien). Diese resultiert aus der in der Monte-Carlo-Simulation simulierten Schwankung der Holzpreise. Aus den Standardabweichungen der 30 Waldentwicklungsszenarien wurde in der Folge der Median errechnet. Dieser darf als Mass für das Holzmarktrisiko einer Waldbaustrategie betrachtet werden. Dabei gilt: Je kleiner der Median ist, desto geringer ist der holzmarktbedingte Schwankungsbereich.

Ein Vergleich der vier Waldbaustrategien zeichnet folgendes Bild (Tabelle 4): Der Median der 30 Standardabweichungen ist bei der risikomindernden Strategie jeweils am niedrigsten und bei der Referenzstrategie jeweils am grössten. Die zwei anderen Waldbaustrategien liegen dazwischen. Somit ist bei der Umsetzung der risikomindernden Adaptationsstrategie das Holzmarktrisiko geringer als bei den anderen Strategien, und dies auch bei möglicherweise auftretenden Schäden durch Sturm oder Käfer. Dies gilt für alle drei Holzpreisszenarien, einfach auf unterschiedlichem Preisniveau.

Naturale Risiken

Die 30 Waldentwicklungsszenarien je Waldbaustrategie beschreiben unterschiedliche Waldentwicklungen als Folge unterschiedlicher Schadflächensimulation und damit verbunden tieferer Holzerlöse (Abzug von 30 CHF/m³ Schadholz) und höherer Holzerntekosten (Zuschlag von 8 CHF/m³ Schadholz). Bezogen auf die Holzpreissituation im Beispieljahr 2009 bedeutet dies für die Fichte eine Preisreduktion um 29%, für die Tanne um 34% und für die Buche eine solche um 47% (Basis: Holzpreise der Sortimenten 2a bis 6). Die bewerteten Schadflächenschwankungen wurden je Waldbaustrategie zu einem Durchschnittswert zusammengefasst (Mittelwert aus den Mittelwerten der 30 Waldentwicklungsszenarien), und die Standardabweichung wurde errechnet (Abbildung 4). Diese kann nun als Mass für die Schwankungsbreite möglicher natürlicher Risiken (Sturm und Käferbefall) herangezogen werden.

Die Ergebnisse zeigen zum einen, dass das natürliche Risiko für die gleiche Waldbaustrategie höher ausfällt, wenn mit einem Holzpreisanstieg gerechnet wird (Tabelle 5). Grund dafür ist, dass sich Naturereignisse in der zweiten Hälfte des Investitionszeitraums stärker auswirken und dieser Effekt bei ansteigenden Preisen verstärkt wird. Zum anderen verdeutlichen sie, dass die natürlichen Risiken von der gewählten Waldbaustrategie abhängig sind. So ist die Standardabweichung des Mittelwerts der simulierten Waldentwicklungsszenarien bei der risikomindernden Adaptationsstrategie stets geringer, bei der Referenzstrategie stets höher als bei den anderen Waldbaustrategien (Tabelle 5). Auf die heutige Situation im Schweizer Mittelland bezogen bedeutet

dies, dass die Weiterführung der aktuellen Waldbewirtschaftung vor dem Hintergrund des Klimawandels die grössten natürlichen Risiken birgt, unabhängig davon, ob die Holzpreise in Zukunft steigen oder sinken werden. Umgekehrt können die natürlichen Risiken durch eine risikomindernde Strategie deutlich gesenkt werden. Allerdings bleiben die Risiken mit +/-50 bis +/-63 Mio. CHF erwartungsgemäss auch bei dieser immer noch hoch.

Wirtschaftliche Folgen des Klimawandels im Wald im Schweizer Mittelland

Im Rahmen des Projektes wurde untersucht, welche gesamten wirtschaftlichen Auswirkungen die Umsetzung der drei formulierten Anpassungsstrategien für die Waldwirtschaft im Betrachtungsperimeter, dem Schweizer Mittelland, haben könnte. Diese ergeben sich aus der Summe der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen, monetär bewerteten klimawandelbedingten Effekte je Waldbaustrategie (Kapitalwertdifferenzen) sowie der ökonomisch bewerteten Differenzen zwischen den waldbaulichen Strategieoptionen und der aktuellen Waldbaustrategie, d.h. den drei Adaptationsstrategien «ertragsorientiert», «risikomindernd» und «kostenmeidend» und der Referenzstrategie. Explizit ausgeklammert wurden bei dieser Betrachtung die monetären Aspekte von Wohlfahrtswirkungen des Waldes sowie der volkswirtschaftliche Nutzen der Rohstoffbereitstellung für die Holzwirtschaft.

Die Ergebnisse zeigen, dass die im Rahmen der aktiven Adaptationsstrategien «ertragsorientiert» und «risikomindernd» angedachten Massnahmen (Umtriebszeitverkürzung, veränderte Baumartenzusammensetzung sowie die sich daraus ergebenden waldbaulichen Veränderungen) einen grossen Effekt auf die Wirtschaftlichkeit der Waldbewirtschaftung im Schweizer Mittelland haben. Bei der risikomindernden Strategie liegen die Werte je nach Zinsannahme und Holzpreisszenario im Bereich von +262 bzw. +516 Mio. CHF, bei der ertragsorientierten Strategie im Bereich von +770 und +985 Mio. CHF (Auswertung bei der ertragsorientierten Strategie nur mit Zinsniveau 2%). Bei der kostenmeidenden Strategie (möglichst niedrige Investitionen und lange Umtriebszeiten) hingegen liegen die klimawandel- und waldbaubedingten Mehrkosten beziehungsweise Erlöseinbussen je nach Zinsannahme und Holzpreisszenario zwischen -331 und -405 Mio. CHF.

Die flächendeckende Umsetzung einer kostenmeidenden Strategie würde somit im Vergleich zu den anderen Strategieoptionen die wirtschaftlich negativsten Folgen nach sich ziehen. Auch die Fortführung der aktuellen waldbaulichen Strategie (Referenzstrategie) ist aus ökonomischer Sicht insgesamt negativer zu beurteilen als die beiden aktiveren Adaptationsstrategien «ertragsorientiert» und «risikomindernd» (Pauli et al 2014).

Holzpreisszenario	Waldbaustrategie			
	Referenz	Kostenmeidend	Risikomindernd	Ertragsorientiert
Holzpreis historisch	± 68 Mio. CHF	± 59 Mio. CHF	± 52 Mio. CHF	± 59 Mio. CHF
Preissenkung	± 64 Mio. CHF	± 58 Mio. CHF	± 50 Mio. CHF	± 58 Mio. CHF
Preisanstieg	± 87 Mio. CHF	± 73 Mio. CHF	± 63 Mio. CHF	± 71 Mio. CHF

Tab 5 Standardabweichung vom Mittelwert der simulierten Mittelwerte der Berechnung (Kapitalwertdifferenzen) der 30 Waldentwicklungsszenarien je Waldbaustrategie und Holzpreisszenario in Schweizer Franken (Zins 2%) als Mass für das natürliche Risiko.

Diskussion

Ziel des durchgeführten Projektes war es, eine Methode zu finden und zu implementieren, um verschiedene Strategien zur Anpassung der Wälder im Schweizer Mittelland an den Klimawandel ökonomisch zu bewerten. Dieses Ziel wurde durch die lineare Verknüpfung eines Schadflächenmodells, eines Modells zur Simulation der Waldentwicklung sowie eines Modells zur Simulation der Holzpreise erreicht.

Prüfen der Hypothesen

Die Überprüfung der drei formulierten Hypothesen führt zu folgendem Resultat:

1. *Der Klimawandel führt zu Mehrkosten für die Waldbewirtschaftung:*

Die Resultate der Simulationen zeigen für alle verwendeten Waldbaustrategien im Mittel negative wirtschaftliche Effekte im Falle des Klimawandels. Aufgrund dieser Resultate kann die erste Hypothese grundsätzlich bestätigt werden.

2. *Unterschiedliche Waldbaustrategien beeinflussen die Höhe dieser Mehrkosten:*

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den meisten Holzpreisszenarien statistische Unterschiede zwischen den Waldbaustrategien bestehen. Ausnahmen bildeten die risikomindernde und die kostenmeidende Waldbaustrategie, die bei den Szenarien «Preissenkung» und «Holzpreis historisch» zu keinen signifikanten Unterschieden führten. Aufgrund dieser Resultate kann die zweite Hypothese nicht verworfen werden.

3. *Eine Strategie, welche die sich aus dem Klimawandel ergebenden Produktionsrisiken aktiv vermindert, ist aus ökonomischer Sicht besser als eine Strategie, welche diese Risiken bewusst in Kauf nimmt:*

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass Strategien, die Produktionsrisiken mittels Umtriebszeitverkürzung und/oder Baumartenwechsel aktiv reduzieren, geringere wirtschaftliche Auswirkungen nach sich ziehen. Die Hypothese 3 kann somit als bestätigt angesehen werden.

Kritische Reflexion der Methoden und Annahmen

Das der Analyse zugrunde gelegte Modell basiert auf einer Reihe von Annahmen. Zwar gibt es mittlerweile zwingende Erkenntnisse betreffend das Eintreten des Klimawandels, eine genaue Quantifizierung der Häufigkeit und der Intensität von Stürmen ist jedoch noch nicht möglich (vgl. hierzu Albrecht et al 2008, Pfister 1999, Schmidtke & Scherrer 1997, Usbeck et al 2010). Die der Simulation zugrunde gelegten Sturmhäufigkeiten sind somit Annahmen. Auch die Holzpreisentwicklung ist über einen derart langen Zeitraum nicht vorauszusagen. Gleiches gilt auch für den Zinsfuss. Szenarien helfen hierbei jedoch, Fehlannahmen zu reduzieren.

Die drei gewählten Adaptationsstrategien spannen in ihrer Gesamtheit einen Fächer möglicher Handlungsalternativen zur Anpassung an den Klimawandel auf. In Bezug auf die Umtriebszeiten handelt es sich um eher extreme Strategien. Die kosten- und erlösrelevanten Klimawandelfolgen dürften sich aber innerhalb dieses aufgespannten Ereignisraums bewegen.

«WIS Klima» simuliert die Waldentwicklung auf der Basis der Schweizer Ertragstafeln (EAFV 1983). Diese gelten für Reinbestände im Altersklassenwald, für eine flächige Verjüngung und für ein bestimmtes Durchforstungsregime (Bachmann 1996). Gemischte Bestände und die damit verbundene gegenseitige Beeinflussung der Arten, die durchaus wachstumsrelevant sein kann (Pretzsch 2002), sowie stufige Bestände, Vorverjüngungen und weitere Aspekte der naturnahen Waldwirtschaft können mit der gewählten Simulation nicht abgebildet werden.

Die Verschiebungen der standörtlichen Gegebenheiten, die mit dem Klimawandel eintreten werden (Kölling et al 2009), bleiben im Modell unberücksichtigt. Gleiches gilt für längere Vegetationszeiten und höhere Temperaturen, die (bei genügend Feuchtigkeit) während der Vegetationszeit zu rascherem Wachstum und damit zu einer standortabhängigen erhöhten Wuchsleistung der Bäume führen könnten. Einschätzungen von Kölling et al (2016, dieses Heft) für einen mit den Bedingungen im Schweizer Mittelland durchaus vergleichbaren Stichprobenpunkt der deutschen Bundeswaldinventur zeigen, dass in den kommenden 100 Jahren zu erwartende klimabedingte Veränderungen des Feuchte- und Wärmeregimes die Bonität und damit auch die Ertragskraft der Hauptbaumarten Fichte, Tanne und Buche positiv beeinflussen dürften, gleichzeitig aber auch deren Ausfallrisiko steigt.

Folgerungen für die Praxis

Die Resultate dieser Studie weisen für sämtliche betrachteten Waldbaustrategien und Szenariokombinationen bis ins Jahr 2100 klimawandelbedingte wirtschaftliche Folgen in einem Bereich von –103 bis –200 Mio. CHF (Zins 2%) respektive –156 bis –229 Mio. CHF (Zins 0%; keine Auswertung der ertragsorientierten Strategie) für das ganze Mittelland aus. Werden aus den Kapitalwertdifferenzen jährlich gleichbleibende Renten (Annuitäten) berechnet, so ergeben sich je Zinsannahme Werte zwischen –1.7 und –4.8 Mio. CHF pro Jahr beziehungsweise solche zwischen –7 bis –21 CHF pro Hektar und Jahr. Es zeigt sich, dass im Hinblick auf die Abmilderung der wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels aktivere Strategien (ertragsorientiert, risikomindernd) tendenziell günstiger sind als eher

passive Strategien (kostenmeidend, Referenz). Bezieht man auch eine Minimierung der naturalen Risiken ins Kalkül ein, was vor dem Hintergrund der Aufrechterhaltung aller Waldfunktionen durchaus sinnvoll erscheint, so ist eine risikomindernde Strategie zielführend. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse ist jedoch klar, dass «nichts tun», d.h. ein Fortführen der bisherigen Waldbewirtschaftungsstrategie, die schlechteste Alternative darstellt, um die klimawandelbedingten Kostenfolgen zu minimieren. Seitens der Politik und der Waldeigentümer herrscht somit Handlungsbedarf.

Wichtigster Hebel zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Wald sowie zur Minimierung der naturalen Risiken ist eine Absenkung der Umtriebszeiten beziehungsweise der Zielstärken. Der Zusammenhang zwischen Bestandeshöhe beziehungsweise Brusthöhendurchmesser und Sturmschadenanfälligkeit für laub- beziehungsweise nadelholzdominierte Bestände wurde unter anderem bereits von Dobbertin et al (2002) im Rahmen einer Analyse der Schäden durch die Stürme Vivian und Lothar auf LFI-Flächen nachgewiesen.

Die bei der ertragsorientierten sowie der risikomindernden Waldbaustrategie simulierte Absenkung der Umtriebszeit in Kombination mit einer veränderten Baumartenzusammensetzung hätte trotz eines erwarteten Klimawandels eine höhere Wirtschaftlichkeit zur Folge, als sie mit der Fortführung der bisherigen Bewirtschaftungsstrategie selbst ohne Klimawandel erreicht werden könnte. Strategien, welche eine weitere Verlängerung der Umtriebszeiten zur Folge hätten (kostenmeidende Strategie), sind ökonomisch noch kritischer zu beurteilen. Da unter Annahme eines positiven Zinssatzes der jährliche Wertzuwachs ab einem gewissen Alter die geforderte Kapitalverzinsung nicht mehr erreicht und selbst bei einem Zinssatz von null ab einem bestimmten Zeitpunkt der durchschnittliche jährliche Wertzuwachs eines potenziellen Folgebestandes höher liegt als der aktuelle Wertzuwachs, wird eine Umtriebszeitverkürzung in Richtung des maximalen Ertragswerts stets zu einer Verbesserung des wirtschaftlichen Ergebnisses in der Holzproduktion führen. Eine Risikominimierung durch eine Umtriebszeitabsenkung wurde bereits von einer Reihe anderer Autoren beschrieben. So hat Bachmann (1996) nachgewiesen, dass steigende Produktionsrisiken zu einer Verkürzung der Umtriebszeit führen müssen. Beinhofer (2007) bestätigte die Verringerung des Zieldurchmessers bei steigendem Risiko und wies den gleichen Effekt für steigende Zinsforderungen nach. Auch Brang et al (2008) sprechen sich für eher kürzere Umtriebszeiten zur Risikoreduktion aus. Köhl et al (2010) zeigen ebenfalls, dass die Bewirtschaftungsart mit einer angepassten Umtriebszeit einen enormen Einfluss auf die Fitness der Wälder im Hinblick auf den Klimawandel hat.

Dennoch darf eine Verkürzung der Umtriebszeiten keinesfalls als alleiniger Ansatzpunkt zur Bewältigung des Klimawandels in den Schweizer Wäldern angesehen werden. Hierzu sind die Unsicherheiten hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeiten klimawandelbedingter Ereignisse zu gross. Weichen beispielsweise die künftigen Temperaturen und die Verlaufsentwicklungen der zu erwartenden Ausfallrisiken von denjenigen in der Modellrechnung ab, so können andere Parameter an Bedeutung gewinnen.

Es gibt zudem andere gute Gründe dafür, dass Waldbesitzer ihre Bäume über einen ökonomisch optimalen Zeitraum hinaus stehen lassen (Stichwort Multifunktionalität). Diese Aspekte blieben jedoch im Rahmen der vorliegenden Studie unberücksichtigt, da ihre monetäre Bewertung schwierig oder nicht möglich ist.

Eingereicht: 17. April 2015, akzeptiert (mit Review): 9. November 2015

Dank

Die Untersuchung wurde im Rahmen des BAFU/WSL-Forschungsprogramms «Wald und Klimawandel» durchgeführt und von diesem mitfinanziert.

Literatur

- ALBRECHT A, SCHINDLER D, BRBHAN K, KOHNLE U, MAYER H (2008) Klimawandel und Stürme über Europa – eine Literaturübersicht. Freiburg i.Br.: Forstliche Versuchs- Forsch.anstalt Baden-Württemberg, FVA Einblick 1/2008. pp. 20–23.
- BACHMANN P (1996) Waldwachstum. Zürich: ETH Zürich, Vorlesungsskripten. www.wsl.ch/forest/waldman/vorlesung/ww_tk0.ehtml (24.9.2015).
- BEINHOFER B (2007) Zum Einfluss von Risiko auf den optimalen Zieldurchmesser der Fichte. Forstarchiv 78: 117–124.
- BEINHOFER B (2009) Zur Anwendung der Portfoliotheorie in der Forstwissenschaft – finanzielle Optimierungsansätze zur Bewertung von Diversifikationseffekten. München: Techn Univ München, Dissertation. 220 p.
- BEINHOFER B, KNOKE T (2010) Finanziell vorteilhafte Douglasienanteile am Baumartenportfolio. Forstarchiv 81: 255–265.
- BRÄNDLI UB, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL. 312 p.
- BRANG P, BUGMANN H, BÜRGI A, MÜHLETHALER U, RIGLING A ET AL (2008) Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. Schweiz Z Forstwes 159: 362–373. doi: 10.3188/szf.2008.362
- BRANG P, RIGLING A (2008) Klimaänderung und Waldbewirtschaftung. Schweiz Z Forstwes 159: 315.
- DOBBERTIN M, SEIFERT H, SCHWYZER A (2002) Standort und Bestandesaufbau waren mitentscheidend für das Ausmass der Sturmschäden. Wald Holz 83 (1): 39–42.
- EAFV (1983) Ertragstafeln für Fichte, Tanne, Lärche, Buche in der Schweiz. Birmensdorf: Eidgenöss. Anst. forstl. Versuchswes.
- ECOPLAN (2007) Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse). Bern: Ecoplan. 176 p.

- ERNI V, FRUTIG F (2004) HeProMo – für die einfache Vorkalkulation von Holzerntearbeiten. *Wald Holz* 85 (5): 46–47.
- FREI C (2004) Die Klimazukunft der Schweiz – eine probabilistische Projektion. Zürich: ETH Zürich. 8 p. www.occc.ch/Products/CH2050/CH2050-Scenarien.pdf (15.9.2015).
- HÖLLERL S (2009) Berücksichtigung finanzieller Aspekte bei waldbaulichen Entscheidungen – eine Fallstudie für reine Fichtenbestände in der Bergmischwaldzone. *Forstarchiv* 80: 4–14.
- HOSTETTLER M, DEEGEN P (2009) Kernfragen der Klimaökonomik und ihr Einfluss auf die Praxis. *Forst Holz* 64 (5): 28–31.
- KAWA (2006) Pauschalansätze zu den Komponenten 411/412/413. Bern: Amt Wald Kanton Bern.
- KNOKE T, HAHN A (2007) Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: ein Forschungseinblick und -ausblick. *Schweiz Z Forstwes* 158: 312–322. doi: 10.3188/szf.2007.0312
- KÖHL M, HILDEBRANDT R, OLSCHOFSKY K, KÖHLER R, RÖTZER T ET AL (2010) Combating the effects of climate change on forests by mitigation strategies. *Carbon Bal Manage* 5: 8.
- KÖLLING C, BACHMANN M, FALK W, GRÜNERT S, SCHALLER R, ET AL (2009) Klima-Risikokarten für heute und morgen. Der klimagerechte Waldbau bekommt vorläufige Planungsgrundlagen. *AFZ/Der Wald* 64 (15): 806–810.
- KÖLLING C, METTE T, KNOKE T (2016) Waldertrag und Anbau-risiko in einer unsicheren Klimazukunft. *Schweiz Z Forstwes* 167: 29–38. doi: 10.3188/szf.2016.0029
- PAULI B, STÖCKLI-KREBS B, MARKOVIC J (2014) Ökonomische Konsequenzen zeitlich und räumlich differenzierter Adaptationsstrategien. Abschlussbericht. Zollikofen: Hochschule Agrar- Forst- Lebensmittelwissenschaften. 154 p.
- OCCE (2007) Klimaveränderung und die Schweiz 2050. Bern: ProClim. 172 p.
- PFISTER C (1999) Witternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995). Bern: Haupt. 304 p.
- PRETZSCH H (2002) Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Berlin: Parey. 414 p.
- ROSSET C (2005) Système de gestion sylvicole intégrée et d'aide à la décision. Le WIS.2, un instrument informatique pour une gestion sylvicole efficiente et ciblée, durable, multifonctionnelle et proche de la nature. Zurich: EPF Zurich, thèse. 175 p.
- SCHMIDTKE H, SCHERRER HU (1997) Sturmschäden im Wald. Projektschlussbericht im Rahmen des nationalen Forschungsprogramms «Klimaänderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz» (NFP 31.) Zürich: VDF. 38 p.
- SCHNECK O, HAHN K, SCHRAMM U, STELZER M (1998) Lexikon der Betriebswirtschaft. München: DTV. 812 p.
- SCHÜTZ JP (1999) Naturnaher Waldbau: gestern, heute, morgen. *Schweiz Z Forstwes* 150: 478–483. doi: 10.3188/szf.1999.0478
- THOMMEN JP (2008) Managementorientierte Betriebswirtschaftslehre. Zürich: Versus, 8 ed. 957 p.
- USBECK T, WOHLGEMUTH T, DOBBERTIN M, PFISTER C, BÜRGI A ET AL (2010) Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agric For Meteorol* 150: 47–55.
- ZIMMERMANN NE, NORMAND S, PSOMAS A (2015) PorTree Final Report – Environmental Portfolio of Central European Tree Species. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 24 p.

Conséquences économiques des stratégies sylvicoles pour maîtriser les changements climatiques

Les changements climatiques placent l'économie forestière suisse face à de grands défis économiques. La question se pose alors de savoir quelles stratégies sylvicoles conviennent le mieux pour garantir la réussite économique également dans de nouvelles conditions climatiques et de minimiser les risques naturels. Dans le cadre du programme de recherche «Forêt et changements climatiques», un modèle économique déterminant les répercussions monétaires de quatre stratégies sylvicoles a été développé: une stratégie axée sur le rendement, une stratégie de réduction des risques, une stratégie évitant des coûts et une stratégie de référence. Les résultats obtenus pour le Plateau suisse montrent une forte influence des différentes stratégies sylvicoles sur le résultat économique. Une stratégie axée sur le rendement ou sur la réduction des risques apparaît comme plus prometteuse d'un point de vue économique. «Poursuivre comme actuellement» représente la plus mauvaise stratégie. La politique et l'économie forestière doivent dès lors veiller à prendre des mesures appropriées.

Economic consequences of silvicultural strategies for tackling climate change

Climate change poses significant economic challenges for Swiss forest management. The main issue is which silvicultural strategies are best suited to ensuring economic success and minimising loss even under new climatic conditions. As part of the "Forest and Climate Change" programme, a model has been developed to calculate the monetary effects of four silvicultural strategies – a profit-oriented, a risk-reducing, a cost-avoiding and a reference strategy. The results obtained, valid for the Swiss Central Plateau, show that the various silvicultural strategies have a strong influence on economic success. A profit-oriented or a risk-reducing strategy appears to be the most promising economically. "Continue as before" represents the worst strategy. Government and the forestry sector must now initiate appropriate measures.