

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 158 (2007)

**Heft:** 10

**Artikel:** Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken : ein Forschungseinblick und -ausblick

**Autor:** Knoke, Thomas / Hahn, Andreas

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097938>

### **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>**

# Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: Ein Forschungseinblick und -ausblick

Thomas Knoke  
Andreas Hahn

Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung, Technische Universität München (DE)\*  
Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung, Technische Universität München (DE)

## Diversity of tree species and risk: A research insight and outlook

Scientific approaches to analyze silvicultural decisions and their consequences for financial risk are scarce, and yet, considering financial risk and risk correlation offers the opportunity to use adequate approaches from financial theory for the valuation of silvicultural decisions. Based on a classical financial approach, this paper analyzes the silvicultural problem of tree species choice and develops a perspective for silvicultural and forest economic oriented research. It provides the conventional «Faustmann-approach» with financial risk and risk correlation generated by Monte-Carlo simulation. This enables both, the application of the theory of portfolio selection according to Markowitz and the theorem of capital separation according to Tobin to derive the optimal tree species composition, which is principally independent from the degree of risk-aversion if a risk-free investment alternative exists.

While supporting the ecological idea of tree species diversity, this simple financial approach provides an interesting research perspective. In future, the two species example has to be extended to more species, different sites and the integration of ecological effects between tree species when mixed in small units such as groups. Furthermore, possible changes in the risk profile of different tree species should be considered; for example, by means of the «information-gap» decision theory. In conclusion, one can see great potential in combining ecological and financial research to support silvicultural decisions for the Central European forest science.

**Keywords:** risk, mixing tree species, Faustmann, financial theory, diversification, modern portfolio theory  
**doi:** 10.3188/szf.2007.0312

\* Am Hochanger 13, D-85354 Freising, E-Mail knoke@forst.wzw.tum.de

Die Forstwirtschaft unterliegt vielfältigen Produktionsrisiken, die zu erheblich schwankenden Holzpreisen, zu hoher Volatilität des finanziellen Erfolgs und zu mangelnder Planbarkeit forstlicher Massnahmen führen. Ein wissenschaftlicher Zugang zur Berücksichtigung von Produktionsrisiken im Rahmen der Waldbewirtschaftung fehlt bislang jedoch weitgehend. So werden waldbauliche Entscheidungen, die zumeist zeitlich und finanziell weit reichende Konsequenzen nach sich ziehen, auch heute noch oft rein intuitiv getroffen. Die Forstwissenschaft muss aber stets bestrebt sein, objektiv nachvollziehbare Methoden zur Unterstützung und Optimierung von Entscheidungen zu entwickeln oder diese aus anderen Bereichen der Wissenschaft auf die forstwirtschaftlichen Probleme zu übertragen.

Gerade die Baumartenwahl ist eine waldbauliche Entscheidung, die die zukünftigen Risiken der Waldwirtschaft entscheidend beeinflusst. Vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Produktionsrisiken der Baumarten drängt sich ein Vergleich mit einem Aktien-Portfolio förmlich auf (Figge 2004). In einem aus mehreren Baumarten bestehenden

Wald könnten demnach ebenfalls Effekte auftreten, die man unter Begriffen wie «Risikostreuung», «Risikodiversifizierung» oder «Risikoreduktion» subsumiert. So verwendete Schütz (1994) bereits die Begriffe «Risikominderung» und «Risikenverteilung» zur methodischen Annäherung an Mischbestände, mass diesen Begriffen zunächst aber eine primär ökologische Bedeutung zu.

Eine lohnende Aufgabe der Forstwissenschaft kann nun darin bestehen, entsprechende finanzielle Ansätze zur Bewertung von Aktien-Portfolios auf die Beurteilung der waldbaulichen Frage der Baumartenwahl zu übertragen. Wissenschaftliche Arbeiten zur Lösung dieser Aufgabe sind bislang rar – und dies nicht nur im deutschsprachigen Raum (Lönstedt & Svensson 2000). Erste Versuche, risikointegrierende finanztheoretische Kalkulationen auf das Problem der Baumartenwahl anzuwenden (z. B. Knoke et al 2005, Knoke & Wurm 2006), fanden vereinzelt ein eher kritisches Echo (Hostettler 2006). Wir halten die Übertragung und Weiterentwicklung finanz- und managementtheoretischer Bewertungsansätze auf forstwissenschaftliche Fragestellungen jedoch für eine lohnenswerte forstwissenschaftliche Per-

spektive, um die Basis zukünftiger Entscheidungen transparenter zu machen und die Entscheidungen selbst objektiver treffen zu können. Gleichzeitig könnte hierdurch auch das internationale Renommee der mitteleuropäischen Forstwissenschaft gestärkt werden. Es ist daher das Ziel des vorliegenden Beitrags, diese Forschungsperspektive herauszuarbeiten.

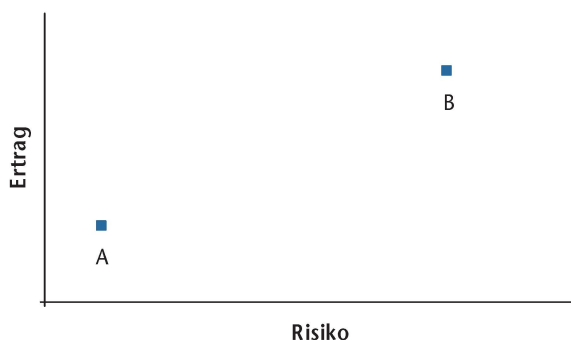
### Theoretische Grundlagen zur Bewertung von finanziellen Diversifizierungseffekten

Schon die Existenz einer finanziell erfolgreichen Versicherungsbranche zeigt, dass viele Menschen dem Risiko abgeneigt gegenüberstehen. Solche Menschen wählen von zwei finanziellen Anlagemöglichkeiten mit identischem Ertrag<sup>1</sup> diejenige, die mit dem geringsten Risiko verbunden ist. Menschen sind häufig «risikoavers» und sogar bereit, auf einen gewissen Teil des Ertrags zu verzichten, wenn dies mit einem verringerten Risiko einhergeht. Von eben dieser Tatsache leben die Versicherungsunternehmen.

Umgekehrt ausgedrückt bedeutet dies, dass Risiko meidende Personen eine Prämie für ein höheres Risiko in Form eines entsprechend gesteigerten Ertrages verlangen. Hieraus lässt sich die im Allgemeinen zu beobachtende positive Korrelation von Ertrag und Risiko erklären, die Abbildung 1 schematisch für die Anlagen A und B zeigt. Als Risiko wollen wir hier die Gefahr der Abweichung von einem erwarteten Wert, in unserem Beispiel vom erwarteten Ertrag, bezeichnen. Risiko wird innerhalb der Finanztheorie meist durch die Standardabweichung des Ertrages einer Finanzanlage quantifiziert.

Risiken von Anlagen können allgemeiner oder spezieller Natur sein. Allgemeine Risiken sind beispielsweise durch die Konjunktur bedingt. Sie betreffen den gesamten Markt und müssen als exogene Größen akzeptiert werden, da sie sich nicht durch Diversifizierung mindern lassen und sich somit dem Einfluss des Investors entziehen. Hingegen können spezielle Risiken seitens des Investors durch eine geschickte Mischung von Anlagen reduziert werden.

Abb 1 Schematische Beziehung zwischen finanziellem Ertrag und Risiko bei zwei Anlagen A und B.



### Ertrag und Risiko bei Mischung von Anlagen (Portfolios)

Mischungen von verschiedenen Finanzanlagen werden als Portfolio bezeichnet. Es war Harry Markowitz,<sup>2</sup> der bereits 1952 mathematisch dargelegt hat, dass spezielle Risiken durch eine kluge Mischung von Anlagen reduziert, theoretisch sogar auf annähernd null gesenkt werden können. Markowitz hat zudem herausgearbeitet, von welchen Bedingungen dieser so genannte «Diversifikationseffekt» abhängt. Der Zusammenhang kann am einfachsten anhand von zwei Anlagen A und B erklärt werden, die in verschiedenen Verhältnissen gemischt werden. Abbildung 2 stellt verschiedene Linien dar, die Mischungen zwischen A und B charakterisieren, für die sich bei gegebenem Risiko ein bestimmter Ertrag ergibt. Diese Linien werden «Effizienzkurven» (efficient frontiers) genannt.

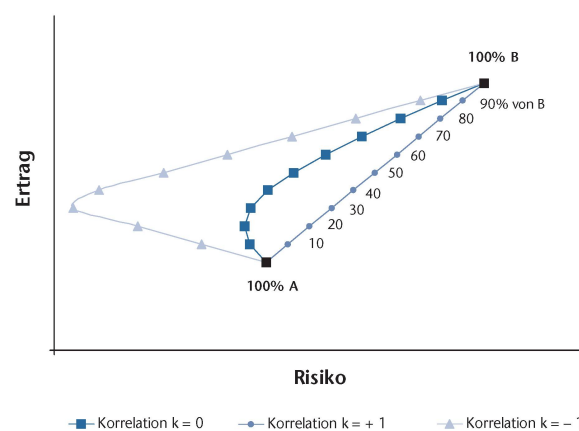


Abb 2 Schematische Beziehung zwischen finanziellem Ertrag und Risiko bei Mischung zweier Anlagen A und B und unterschiedlicher Korrelation der Risiken.

Bei unterschiedlichen Mischungsanteilen der Anlagen A und B können sich Kombinationen der Grössen Ertrag und Risiko ergeben, die vordergründig betrachtet überraschend erscheinen. Zunächst würde man erwarten, dass nicht nur der Ertrag proportional zur rentableren Anlage B steigt, sondern auch das Risiko. Also müsste sich durch Mischung von A und B eine gerade Linie zwischen den beiden Anlagen ergeben, was aber nur für den Fall  $k = +1$  zu erkennen ist.

Mit  $k$  wird die Korrelation der Risiken zwischen den Anlagen A und B bezeichnet. Nehmen wir an, A und B seien Aktien verschiedener Bademoden-

1 Mit «Ertrag» wird hier eine etwas umgangssprachliche Formulierung gewählt, mit der die Finanzrückflüsse aus einer Investition im allgemeinen Sinne bezeichnet werden sollen. Konkret kann es sich hierbei beispielsweise um eine in Prozent ausgedrückte Rendite, einen Kapitalwert oder eine jährliche Zahlung handeln.

2 Harry Max Markowitz erhielt 1990 zusammen mit Merton Howard Miller und William Forsyth Sharpe den Nobel-Gedächtnispreis für Wirtschaftswissenschaften.

hersteller (Putnoki & Hilgers 2007), so ist klar, dass in einem regnerischen und kühlen Jahr beide Aktien geringe Renditen erbringen. In einem heissen Sommer erhalten wir dagegen von beiden Aktien hohe Renditen. Eine grosse Risikokompensation erwarten wir jedoch nicht, da die Risiken offensichtlich eng (positiv) miteinander korrelieren ( $k$  nahe +1).

Handelt es sich bei B jedoch um eine Aktie der Regenschirmindustrie, lässt sich das Risiko der Anlage A wirksam abfedern. Es ergibt sich eine Kompensation der Risiken beider Anlagen. Denn die Regenschirmaktie wird gerade in den kühl-feuchten Jahren hohe Renditen erbringen, wenn die Bademodenaktie nur eine geringe Rendite erzielt. Durch eine Mischung aus Bademoden- und Regenschirmaktien lassen sich bei geringem oder annähernd fehlendem Risiko jedes Jahr durchschnittliche Renditen erreichen, unabhängig von der Wetterlage. Hier sprechen wir von negativ korrelierten Risiken, die im theoretischen Extremfall ( $k=-1$ ) zu einer annähernden Elimination des Risikos führen. Dies ist in Abbildung 2 für eine Mischung aus 70% der Anlage A und 30% der Anlage B dargestellt.

Während perfekte Korrelationen von +1 oder -1 eher theoretischer Natur sind, ergeben sich in der Praxis schwach negative bis stark positive Korrelationen mit Werten von +0.9. Prinzipiell treten Diversifikationseffekte immer dann auf, wenn die Korrelation der Risiken unter +1 liegt. Wie Abbildung 2 zeigt, erbringt bereits eine Korrelation von  $k=0$  starke Diversifikationseffekte. Eine Mischung aus 80% A und 20% B weist sogar ein geringeres Risiko als Anlage A auf – und dies bei höherem Ertrag.

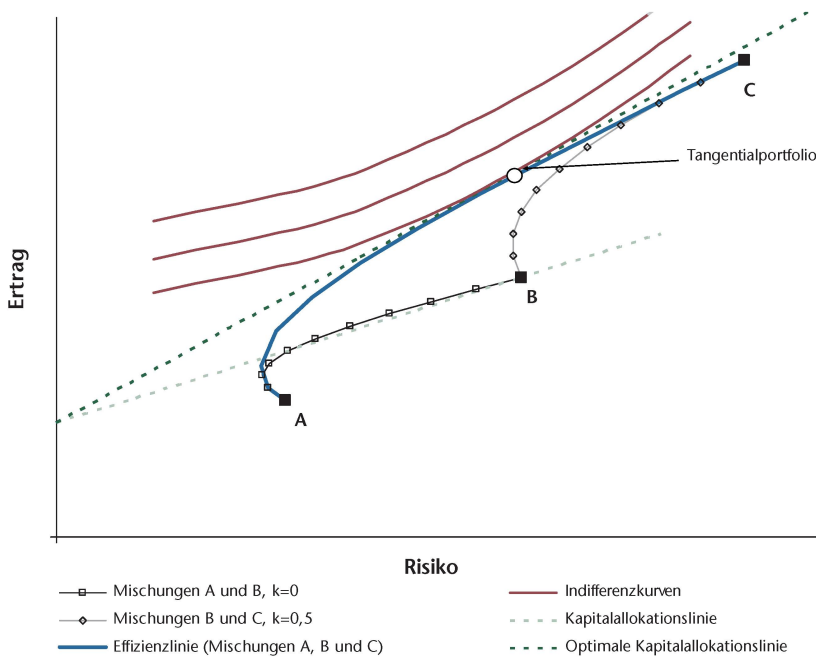


Abb 3 Schematische Beziehung zwischen finanziellem Ertrag und Risiko bei Mischung dreier Anlagen A, B und C sowie zwei beispielhafte Kapitalallokationslinien, das Tangentialportfolio und Nutzen-Indifferenzkurven.

Zusammenfassend kann damit gesagt werden, dass es bei der Mischung von Anlagen mehr auf die Korrelation der Risiken als auf deren tatsächliche Höhe ankommt. Der dargestellte Zusammenhang lässt sich mathematisch durch Gleichung 1 beschreiben.

$$\sigma_p = \sqrt{f_i^2 \sigma_i^2 + f_j^2 \sigma_j^2 + 2k_{i,j} f_i f_j \sigma_i \sigma_j} \quad (1)$$

$$f_i + f_j = 1$$

$$r_{i,j} \sigma_i \sigma_j = \text{COV}_{i,j}$$

$\sigma_p$  = Standardabweichung des Ertrages der gemischten Anlage  
 $f_i$  = Anteil einer Investition  
 $\sigma_i$  = Standardabweichung einer bestimmten Investition  
 $k_{i,j}$  = Korrelationskoeffizient zwischen den Investitionen i und j  
 $\text{cov}_{i,j}$  = Kovarianz zwischen den Investitionen i und j

### Mischung zwischen risikofreien und riskanten Anlagen

Prinzipiell hängt die optimale Mischung von der Risikoaversion des Investors ab. Er muss entscheiden, welches zusätzliche Risiko er bereit ist für einen bestimmten zusätzlichen Ertrag, der durch Beimischung risikoreicher Anlagen zu erzielen ist, zu akzeptieren. Das Risiko ist also der Preis für den zusätzlichen Ertrag bzw. der zusätzliche Ertrag die Prämie für in Kauf genommenes Risiko. Formal lässt sich die Risikoaversion von Menschen mit Hilfe von individuellen Nutzenkurven abbilden, deren Krümmung vom Grad der Risikoaversion abhängt.

Eine optimale Mischung kann grafisch mit Hilfe von Nutzen-Indifferenzkurven abgeleitet werden. Solche Kurven geben Kombinationen aus Risiko und Ertrag an, die zu einem identischen Nutzen führen. Die optimale Mischung ist dort gegeben, wo die Steigung der Effizienzlinie identisch ist mit der Steigung der Indifferenzkurve.

Nun hat James Tobin<sup>3</sup> bereits 1958 gezeigt, dass die Zusammensetzung eines riskanten Portfolios bei homogenen Erwartungen und der Existenz einer risikofreien Anlagemöglichkeit für alle Investoren identisch ist und dies unabhängig von deren individueller Risikoaversion. Entsprechend müssten alle Investoren gemäss Tobin ein strukturell einheitliches Portfolio halten. Dieses Portfolio wird auch als Tangentialportfolio bezeichnet und ergibt sich aus dem Berührungspunkt der optimalen Kapitalallokationslinie mit der Effizienzlinie aller Kombinationen von Anlagemöglichkeiten des Marktes (Abbildung 3).

Abbildung 3 stellt einen stark vereinfachten Markt dar, der nur drei Anlagemöglichkeiten (A, B und C) bietet. Kombinationen aus den drei Anlagen

3 Tobin erhielt 1981 den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften.

ergeben die Effizienzlinie, die sich beispielsweise mit Hilfe des Excel-Add-Ins «Excel-Solver» ermitteln lässt.<sup>4</sup> Wie schon erwähnt, wird davon ausgegangen, dass sich ein risikofreier Ertrag erzielen lässt. Er wird durch den Schnittpunkt der beispielhaft dargestellten Kapitalallokationslinien mit der Y-Achse repräsentiert (an dieser Stelle ist das Risiko null). Durch verschiedene Mischungen der risikofreien Kapitalanlage und einer riskanten Anlage (z. B. Anlage B) ergibt sich eine so genannte Kapitalallokationslinie, die mit zunehmendem Ertrag einen Risikoanstieg nachzeichnet, der proportional zum Anteil der riskanten Anlage ist.

Im Vergleich zur erwähnten Kapitalallokationslinie, die Mischungen aus der risikofreien Anlage und Anlage B beschreibt, gibt es aber noch vorteilhaftere Varianten. Durch die Wahl einer Kapitalallokationslinie, die die Effizienzlinie der riskanten Portfolios nur noch in einem Punkt berührt, lässt sich bei gegebenem Risiko im Vergleich zur zunächst betrachteten Kapitalallokationslinie noch ein deutlich höherer Ertrag erzielen. Hier wird die risikofreie Anlage also nicht mit einer einzelnen Risiko behafteten Anlage, sondern mit einem riskanten Portfolio (Tangentialportfolio) gemischt. In unserem Beispiel umfasst dieses Portfolio 32% A, 11% B und 57% C. Alle rationalen Anleger mit homogenen Erwartungen würden gemäss des «Tobinschen Separationstheorems» unabhängig von ihrer Risikoaversion genau diese Zusammensetzung wählen. Aus den vielen individuellen Portfolios der Anleger ergibt sich dann das Marktportfolio, das in seiner strukturellen Zusammensetzung dem Tangentialportfolio entspricht.

Die individuelle Risikoneigung der Anleger entscheidet hiernach also nicht über die optimale Zusammensetzung des riskanten Portfolios, sondern lediglich darüber, welche Anteile risikofrei und welche riskant investiert werden sollen. Zur Bestimmung dieser Anteile werden mögliche Indifferenzkurven so lange in Richtung der optimalen Kapitalallokationslinie verschoben, bis sie diese berühren (Abbildung 3). Dieser Berührungspunkt charakterisiert die optimale Mischung zwischen risikofreier und riskanter Investition. In unserem Beispiel ist dies etwas links vom Tangentialportfolio der Fall. Damit sollten etwa 95% der Finanzmittel in das riskante Portfolio und 5% in die risikofreie Anlage investiert werden.

Grundsätzlich sind aber auch Punkte rechts vom Tangentialportfolio möglich, beispielsweise wenn eine höhere Risikobereitschaft unterstellt wird. Berührt die Indifferenzkurve die Effizienzli-

<sup>4</sup> Hierzu wird ein Minimierungsproblem formuliert. Die veränderbaren Zellen enthalten die Anteile der zu mischenden Optionen und werden so lange variiert, bis sich für jeden erzielbaren Ertrag das minimale Risiko ergibt.

nie rechts vom Tangentialportfolio, bedeutet dies, dass eine Geldaufnahme vorteilhaft ist, um das in das Portfolio investierte Geldvolumen zu erhöhen – ohne jedoch dessen Struktur zu verändern. Damit steigen Risiko und Ertrag des Tangentialportfolios proportional zum erhöhten Geldeinsatz; die Kapitalallokationslinie wird einfach verlängert.

Als Fazit dieser Betrachtungen können wir festhalten, dass anerkannte finanztheoretische Grundlagen zur Ableitung optimaler Mischungen aus riskanten Anlagen seit langem existieren. Besonders wichtig ist die Tatsache, dass bei der Ableitung der Zusammensetzung optimaler Portfolios der Korrelation der Risiken verschiedener Anlagen eine herausragende Bedeutung zukommt. Falls eine risikofreie Investitionsmöglichkeit existiert, sollte die Struktur des optimierten Portfolios – zumindest theoretisch – unabhängig von der Risikoaversion des Anlegers sein.

Natürlich wurde mittlerweile auch Kritik an den beschriebenen finanztheoretischen Grundlagen geübt, die häufig auf das einheitliche Marktportfolio bzw. die Annahme der Normalverteilung der Erträge gerichtet war. Während ältere Überprüfungen zunächst meist zu einer Bestätigung der oben dargelegten Modellvorstellungen führten, werden heute zunehmend kritische Stimmen laut (z. B. Mandelbrot & Hudson 2005). Hierauf soll jedoch erst später eingegangen werden.

### **Was muss für eine Übertragung der Ansätze auf die Baumartenwahl getan werden?**

Betrachten wir die Begründung von Waldbeständen nicht nur als Herstellung ökologischer, sondern auch als Schaffung finanzieller Werte, lassen sich die oben dargelegten theoretischen Grundlagen grundsätzlich auch auf die Frage der Baumartenwahl anwenden. Waldbestände werden dabei als sehr langfristige Möglichkeiten der Geldanlage gesehen, die, je nach Baumart, mit unterschiedlichen Risiken behaftet sind. Im Folgenden muss nach Verfahren gesucht werden, den Ertrag, das Risiko und die Risikokorrelationen solcher Anlagen abzuschätzen.

Zur Beurteilung der finanziellen Attraktivität verschiedener Baumarten wird zunächst der klassische forstökonomische Ansatz beschrieben. Die Abschätzung des finanziellen Ertrags der Baumarten ist für die Beurteilung der Baumartendiversifikation notwendig. Sie muss allerdings um eine Einschätzung der Risiken und deren Korrelation erweitert werden. Anschliessend werden erste Ergebnisse im Zusammenhang mit einigen bisher zu diesem Thema durchgeführten Studien kurz besprochen. Schliesslich wollen wir mit einem Ausblick, in dem wir erste Folgerungen formulieren und den existierenden Forschungsbedarf aufzeigen.

## Der klassische forstökonomische Bewertungsansatz

Seit geraumer Zeit beherrscht der so genannte «Faustmann-Ansatz» die internationale forstökonomische Literatur (z. B. Chang 2001, Navarro 2002, Viitala 2006). Kaum eine andere forstliche Publikation eines deutschsprachigen Autors hat wohl international so viel Echo gefunden, wie der von Martin Faustmann im Jahr 1849 publizierte Aufsatz.

Die berühmte «Faustmann-Formel» lässt es zu, den Grenzpreis für ein Stück unbestockten Bodens zu kalkulieren, auf dem Forstwirtschaft betrieben werden soll. Ein Investor dürfte demnach maximal diesen Betrag für den Boden ausgeben, um gerade noch eine Rendite in der Höhe des eingesetzten Kalkulationszinssatzes zu erreichen. Im Englischen wird dieser Grenzpreis daher «soil expectation value» (nach dem deutschen Wort Bodenerwartungswert) oder auch «willingness to pay for land» genannt.

Wie erwähnt beginnt Faustmann seine Bewertung der Forstwirtschaft von einem unbestockten Boden ausgehend. Er kalkuliert den Kapitalwert einer Zahlungskette, die eine unendliche Folge von Umtriebszeiten umfasst und jede Zahlungsdifferenz auf den Zeitpunkt null abzinst.

$$B_0 = \sum_{t=0}^{\infty} z_t \cdot e^{-r \cdot t} \quad (2)$$

$B_0$  = Bodenerwartungswert oder die maximale Zahlungsbereitschaft für ein Stück unbestockten Bodens

$t$  = Zeitpunkt

$z_t$  = Zahlungsdifferenz zu einem bestimmten Zeitpunkt (Einzahlung minus Auszahlung)

$e$  = Eulersche Zahl

$r$  = Zinsrate als Dezimalzahl, z. B. 0.02 für 2%

Faustmann gelingt es, Beziehung 2 wesentlich geschickter zu formulieren. Durch Aufzinsung aller Zahlungsdifferenzen auf den Zeitpunkt  $U$  (Umtriebszeit) bildet er eine unendliche periodische Rente, die alle  $U$  Jahre eingeht. Diese Rente muss lediglich mit einem entsprechenden Faktor kapitalisiert werden, um die maximale Zahlungsbereitschaft eines «rationalen» und am Kauf des Waldbodens interessierten Investors abzuschätzen. Der sich ergebende Wert wird häufig als «Bodenerwartungs-» oder als «Bodenertragswert» interpretiert. Er lässt sich nach Beziehung 3 kalkulieren.

$$B_0 = \frac{\sum_{t=0}^U z_t \cdot e^{r \cdot (U-t)}}{e^{r \cdot U} - 1} \quad (3)$$

Es wird unmittelbar klar, dass  $B_0$  keine fixe und objektive Grösse ist. Vielmehr hängt  $B_0$  von der Art der Waldbewirtschaftung und vor allem von der Zinsforderung ab. Natürlich wird  $B_0$  auch von der

gewählten Baumart beeinflusst. So wird der Bodenertragswert in internationalen Studien häufig zur Beurteilung der Rentabilität verschiedener Baumarten verwendet (z. B. Niskanen 1998, 1999, Hyttiäinen & Tahvonen 2003, Harrison et al 2005). Durch die Kalkulation der Annuität des Bodenertragswertes als jährlich konstante Rate (Möhring 1994), deren Barwerte als Summe wieder den Bodenertragswert ergeben, lässt sich auch der jährliche Ertrag eines neu begründeten Waldbestandes ermitteln.

Wird die Bewertung der Baumart nur am Bodenertragswert festgemacht und werden etwaige positive Mischbestandseffekte auf die Produktivität und die Stabilität ausgeklammert, so gibt es auf einem gegebenen Standort keinen Platz für Mischungen, da nur eine Baumart die rentabelste sein kann. Knoke et al (2005) berechnen mit Hilfe der Faustmann-Formel ein Verhältnis der Rentabilität von Fichtenbeständen zu Buchenbeständen von 3.3 zu 1. Dieser Befund erklärt zumindest zum Teil, warum innerhalb der vergangenen 200 Jahre in Mitteleuropa produktive Nadelholzarten weit über deren natürliche Verbreitungsgrenzen hinaus angebaut wurden (Spiecker 2003).

Die mathematische Eleganz der Beziehung 3 hat jedoch ihren Preis in einer sehr stark vereinfachenden Annahme: Es wird unterstellt, dass sämtliche Zahlungsdifferenzen (Einzahlungen minus Auszahlungen) in jeder der unendlich häufigen Umtriebszeiten zu den absolut gleichen Zeitpunkten und in absolut gleicher Höhe auftreten. Die vielfältigen Unsicherheiten, denen die Waldbewirtschaftung unterliegt, werden damit ausgeblendet. Insgesamt kann damit über den Faustmann-Ansatz in seiner ursprünglich deterministischen und statischen Ausrichtung keine angemessene Bewertung von Baumarten oder Mischungen gelingen.

Prinzipiell ist es mit einer Erweiterung des Faustmann-Ansatzes aber möglich, Risiken und Risikokorrelationen zu berücksichtigen. Die Bewertung von Diversifikationseffekten durch Mischung von Baumarten wird daher auf Elementen des Faustmann-Ansatzes aufbauen.

## Baumartenvielfalt und finanzielle Konsequenzen

Baumartenvielfalt kann in Forstbetrieben ganz unterschiedlich realisiert werden. Bevor im Folgenden die Methodik und erste Ergebnisse einer noch sehr vereinfachenden finanziellen Bewertung der Baumartenvielfalt beleuchtet werden, soll zunächst auf die verschiedenen Typen von Mischungen eingegangen werden. Der Unterscheidung von Schütz (1994) in Hauptmischungen, untergeordnete Mischungen und Zeitmischungen folgend, beschränken wir uns dabei auf hauptständige Mischungen.

## Typen von Mischungen

- **Grossflächige Mischungen:** Sie sind als arbeitstechnisch leicht umzusetzende Massnahme zur Schaffung einer Baumartenvielfalt auf der Betriebsebene denkbar. Im Extrem könnte dies so aussehen, dass die verschiedenen Baumarten als in sich reine, grosse Blöcke bzw. Bestände begründet werden. Biophysikalische Baumarteninteraktionen, zum Beispiel in Bezug auf die Baumstabilität, konkurrenzbedingte Änderungen des Volumenzuwaches oder die Holzqualität treten hier praktisch nicht auf. Der Ertrag solcher Mischungen setzt sich aus dem flächenproportional gewichteten Ertrag der einzelnen Baumarten zusammen. Das Risiko solcher Mischungen ergibt sich jedoch nicht unbedingt aus den flächenproportional gewichteten, baumartenspezifischen Risiken. Wie gleich gezeigt wird, kann sich das Risiko aufgrund der geringen Risikokorrelationen zwischen manchen Baumarten überproportional reduzieren. Aufgrund von möglichen Diversifikationseffekten möchten wir deshalb auch bei einem grossflächig gemischten Wald von einer Baumartenmischung sprechen, auch wenn dies in der Schweiz unüblich ist.
- **Kleinflächige Mischungen:** Üblicherweise haben die Forstleute intensivere Mischungen auf der Bestandesebene vor Augen, wenn sie von Mischwald sprechen. Hier können gruppen-, trupp- oder einzelstammweise Mischungen zum Einsatz kommen. Biophysikalische Baumarteninteraktionen sind für solche Mischungen zu erwarten. Damit ist es wahrscheinlich, dass auch der Ertrag des kleinflächig gemischten Waldes sich nicht einfach aus der flächenproportional gewichteten Addition der Einzelerträge ergibt. Sowohl ertragserhöhende (z. B. gesteigerte Stabilität) als auch ertragssenkende Interaktionen sind möglich (z. B. verminderte Holzqualität).
- **Reihenmischungen:** Weltweit betrachtet sind Reihenmischungen üblich. Aufgrund der unterschiedlichen Wuchsdynamik der in Mitteleuropa gemischten Baumarten, zum Beispiel Fichte und Buche, ist die Reihenmischung hier häufig unvorteilhaft. Sie kann zum Ausfall der Mischbaumart führen.

Alle bisher verfügbaren Ergebnisse zu den Diversifikationseffekten durch Baumartenmischung blenden Baumarteninteraktionen aus und unterstellen damit den Fall der grossflächigen Mischungen. Wir verstehen unsere Darstellung daher nur als einen ersten Schritt in Richtung einer verbesserten forstökonomischen Bewertung der Baumartenvielfalt und natürlich nicht als eine endgültige Lösung.

### Berechnung von unsicheren Erträgen und Risikokorrelationen

Es bietet sich an, Risiken und deren Korrelation mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen zu betrachten. Prinzipiell wird hierzu zunächst, ähnlich wie bei der Kalkulation des Bodenertragswertes, eine

Zahlungskette bis zum Erreichen der Umtriebszeit konstruiert. Diese kann aus der finanziellen Bewertung von Wachstumssimulationen hervorgehen. Aus praktischen Gründen wird die Betrachtung im Gegensatz zum Faustmann-Ansatz jedoch auf einen begrenzten Zeithorizont reduziert. Dabei sollten jedoch die Produktionszeiten der zu betrachtenden Baumarten entweder identisch sein oder der Zeithorizont durch Analyse mehrerer, hintereinander geschalteter Umtriebszeiten so weit ausgedehnt werden, dass die analysierten Kapitalwerte vergleichbar werden (Knoke et al 2005). Mit Hilfe von Zufallszahlen werden Einnahmen und Ausgaben für Bestände oder Bestandesteile erzeugt, die im Rahmen vieler Wiederholungen zufällig schwanken. Diese Zufallszahlen werden mit einer Binominalverteilung generiert. Sie können durch aus der Literatur übernommene Ausfallwahrscheinlichkeiten gesteuert werden. Eine kurze Erläuterung zur Ableitung von Ausfallwahrscheinlichkeiten und weiterer Methoden der Risikoanalyse findet sich bei Holthausen et al (2004). Von einem Schaden wird ausgegangen, wenn die Funktion zur Generierung von Zufallszahlen eine 1 (Schaden) ergibt. Im Fall der Zufallszahl 0 wird kein Schaden unterstellt. Im Schadensfall werden reduzierte Nettoeinnahmen veranschlagt. Nach Eintritt eines Schadenereignisses wird das Bestandalter auf null gesetzt. Für die erneute Kulturbegründung werden entsprechende Ausgaben veranschlagt.

Ein weiteres wesentliches Element der Monte-Carlo-Simulation bildet die Erzeugung zufällig variierender Holzpreise. Hierzu werden anhand von Holzpreissammlungen Szenarienmodelle (z. B. autoregressive statistische Modelle) entwickelt, die die entsprechenden Korrelationen zwischen den unterschiedlichen Baumarten berücksichtigen. Insgesamt können auf diesen Grundlagen für jedes Mischungsverhältnis 1000 (oder mehr) unterschiedliche Szenarien mit zufällig schwankenden Ergebnissen berechnet werden. Wegen der häufigen Wiederholung lassen sich stabile Mittelwerte, deren Streuungen und deren Korrelation berechnen. Umfassendere Beschreibungen des Vorgehens finden sich bei Knoke et al (2005) sowie bei Knoke & Wurm (2006).

Nachdem die benötigten Erträge, Risiken und Risikokorrelationen mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation einmal generiert sind, lassen sich die finanztheoretischen Grundlagen auch auf die Bewertung der Baumartenvielfalt anwenden.

### Diversifikationseffekte bei grossflächiger Mischung von Buche und Fichte

Die forstwissenschaftliche Forschung steht in Bezug auf die finanzielle Bewertung der Baumartenvielfalt noch am Anfang. Hier werden deshalb lediglich die Ergebnisse einer grossflächigen Mischung von nur zwei Baumarten beispielhaft beleuchtet.

	Finanzflüsse (in EUR)		
	Risikofreie Anlage zu 2%	Buche	Fichte
Investierter Geldbetrag (Anfangsauszahlung)	3000	3000	3000
Diskontierte Nettoerlöse ohne Berücksichtigung der Anfangsauszahlung	3000	5973	6702
Summe der diskontierten jährlichen Verwaltungsausgaben (50 EUR/J/ha)	–	2155	2155
Ertrag (ohne Berücksichtigung der Anfangsauszahlung)	3000	3818	4547
Jährlicher Ertrag (Annuität)	69.61	88.58	105.50
Standardabweichung	0	34.39	60.03
Korrelationskoeffizient k für die Risiken von Buche und Fichte		0.03	

**Tab 1** Finanzielle Daten zur Kalkulation einer optimalen Baumartenmischung aus Buche und Fichte (Daten aus Knoke & Wurm 2006, verändert. Umtriebszeit 100 Jahre, Kalkulationszinssatz 2%). Im Ertrag der Fichte sind EUR 1000 für gegenüber der Buche eingesparte Kultur- ausgaben enthalten, die so behandelt werden, als ob sie zu 2% angelegt würden. Die Annuität wurde nach folgender Formel kalkuliert:  $a = E * 0.02 * 1.02^{100} / (1.02^{100} - 1)$ . Hierbei ist a eine jährlich gleich bleibende Rate, deren über 100 Jahre aufsummierte Barwerte den Ertrag E ergeben.

Dazu wird auf finanzielle Daten (Tabelle 1) für die Baumarten Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Fichte (*Picea abies* (L.) Karst) zurückgegriffen. Knoke & Wurm (2006) kalkulierten diese Daten für ein Szenario mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit bis zum Alter 100 von 0.89 für die Buche und 0.55 für die Fichte, wobei ein vom Holzpreis abhängiger Einschlag simuliert wurde. Die ertragskundlichen Daten wurden für Wuchsverhältnisse generiert, die denen im bayerischen Tertiären Hügelland entsprechen.

Üblicherweise werden zur Portfoliooptimierung Renditen in Form interner Verzinsungen verschiedener Investitionen verwendet. Dies wäre auch in unserem Beispiel möglich. Aufgrund der Kalkulation des Ertrages über einen sehr langen Zeitraum birgt die Ableitung einer internen Verzinsung jedoch logische Probleme (Schmalen 2002), da davon ausgegangen wird, dass beispielsweise die im Rahmen von Durchforstungen zurückfliessenden Gelder zum internen Zinsfuss wieder angelegt werden. Diese Annahme ist jedoch umstritten. Wir haben deshalb den Ertrag der Investitionen in Form einer Annuität ausgedrückt und damit die im Rahmen der Waldwirtschaft diskontinuierlich entstehenden Finanzflüsse unter Berücksichtigung von Zinswirkungen in eine äquivalente Jahresrate umgewandelt (Tabelle 1). Unser Beispiel geht davon aus, dass ein Investor folgende Möglichkeiten zur Anlage von 3000 EUR hat (aufgrund des sehr langen Betrachtungszeitraumes wurde lediglich ein Zinssatz von 2% in Ansatz gebracht):

1. Risikofreie Anlage der 3000 EUR zu einem Zinssatz von 2%.
2. Risiko behaftete Investition der 3000 EUR zur Begründung eines Buchenbestandes.

3. Risiko behaftete Investition von 2000 EUR zur Begründung eines Fichtenbestandes und Anlage der verbleibenden 1000 EUR zu 2%.

4. Risiko behaftete Investition in ein Portfolio aus Buche und Fichte.

Der optimale Anteil der risikofreien Anlage sowie die Frage, ob eventuell ein Kredit zur Ausweitung des in ein Baumartenportfolio investierten Geldvolumens aufgenommen werden sollte, interessieren uns hier nicht weiter. Beispielhaft soll aber untersucht werden, ob unter den getroffenen Annahmen eine Baumartenmischung vorteilhaft ist und wenn ja, welche Mischungsverhältnisse zu empfehlen sind.

Die grossflächige Mischung von Buche und Fichte erbringt bei einem sehr niedrigen Korrelationskoeffizienten der Risiken ( $k=+0.03$ ) deutliche Diversifikationseffekte (Abbildung 4). Dies äussert sich in einer Effizienzlinie für verschiedene Mischungen aus Buche und Fichte, welche einem Gehstock ähnelt. Ausgehend von reinen Buchenflächen steigert eine Aufnahme von Fichtenflächen in das Portfolio zunächst nicht nur den Ertrag, sondern senkt auch das Risiko. Hier kommen Kompensationseffekte aufgrund nur schwach korrelierter biophysikalischer Risiken und leicht negativ korrelierter Holzpreise zum Tragen (Knoke et al 2005). Ein Risikominimum wird bei einer Mischung aus 80% Buche und 20% Fichte erreicht. Bei einer weiteren Erhöhung der Fichtenanteile steigt jedoch das Risiko, welches dann als Preis für den zusätzlichen Ertrag betrachtet werden muss.

Die bei einem risikofrei erreichbaren Ertrag von rund 70 EUR/Jahr beginnende Kapitalallokationslinie berührt die Effizienzlinie der möglichen Buchen-Fichten-Portfolios bei einer Mischung aus 60% Buche und 40% Fichte. Die sehr eingegengten Wahlmöglichkeiten in diesem Beispiel führen also dazu, dass alle dem Risiko abgeneigten Waldbesitzer mit homogenen Erwartungen (d.h. hier auch homogene Wuchsverhältnisse) und Zugang zu einer sehr langfristigen risikofreien Anlagemöglichkeit, eine Baumartenzusammensetzung von 60% Buche und 40% Fichte wählen würden.

Tendenziell würden nach dieser Betrachtung niedrigere risikofreie Erträge zu einer Steigerung des Buchenanteils führen, während höhere risikofreie Erträge einen grösseren Fichtenanteil unterstützen würden. Wenngleich die im obigen Beispiel getroffenen Annahmen zum Teil etwas unrealistisch anmuten (es ist offen, ob risikofreie über 100 Jahre laufende Anlagen existieren), zeigt sich bei der Mischung von Baumarten doch ein erhebliches Potenzial zur Reduktion von Produktionsrisiken. Und dies, ob schon nur zwei Mischungskomponenten betrachtet wurden.

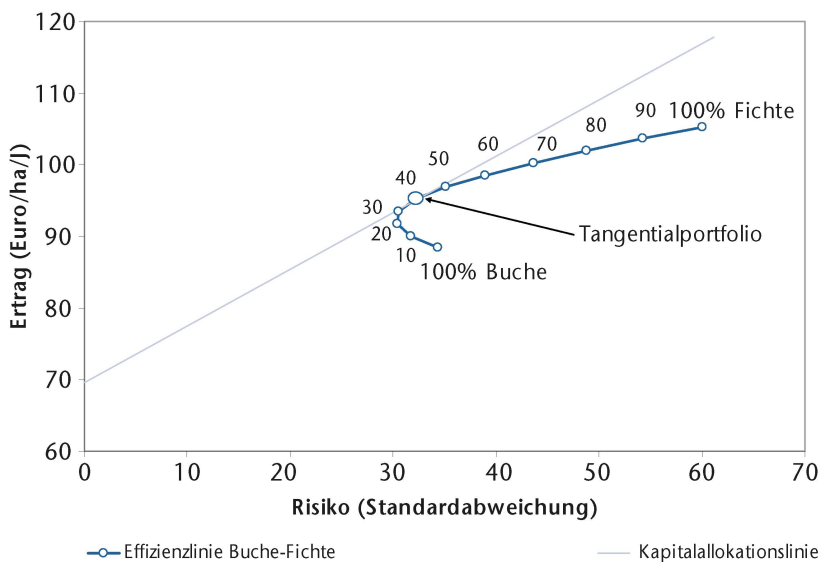


Abb 4 Ertrags-Risikokurven für grossflächige Mischungen aus Buche und Fichte sowie Kapitalallokationslinie (nach Knoke & Wurm 2006, verändert).

### Ergebnisse ähnlicher Studien

Zwar gibt es nur wenige vergleichbare Studien, diese bestätigen im Prinzip aber den dargestellten Befund. So konnte Thomson (1991) in einer auf Nordamerika ausgerichteten Studie zeigen, dass ein Forstbetrieb aus nur einer Baumart für einen das Risiko meidenden Investor keineswegs optimal ist. Vielmehr schneidet in seiner Studie ein Portfolio aus 73% Nadelholz und 27% Laubholz am besten ab. Weber (2002) übertrug die Portfolio-Theorie als erster auf die Kalkulation einer optimalen Baumartenmischung unter mitteleuropäischen Verhältnissen. Hierzu verwendete Weber «normal» aufgebaute Betriebsklassen der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche, für die kalkulatorisch nachhaltig einschlagbare Holzmengen mit einem jährlich variierenden Holzpreis bewertet wurden. Biophysikalische Risiken wurden jedoch nicht betrachtet. Weber unterstellte, dass solche «normal» aufgebauten Betriebsklassen in beliebiger Flächengrösse hinzugekauft oder verkauft werden können und kommt zum Schluss, dass aufgrund der geringen Korrelation der Risiken eine Diversifikation zwischen Fichte und Buche nahe liegt.

Andere Arbeiten nutzen das von Sharpe (1964) entwickelte «Capital Asset Pricing Model» (Wagner & Rideout 1991, 1992, Zinkhan et al 1992, Zinkhan & Cabbage 2003, Penttinen & Lausti 2004), um die Vorteile des Waldes als ein einziges, nicht weiter differenziertes Investitionsobjekt innerhalb eines grösseren Gesamtportfolios (zusammen mit anderen Real- und Finanzinvestitionen) herauszustellen (vgl. hierzu auch Wippermann & Möhring 2001). So demonstrieren Zinkhan et al (1992), dass der Einbezug von Wald in ein grösseres Portfolio das Risiko

bei gegebener Rendite um durchschnittlich 5% reduzieren kann. In eine ähnliche Richtung deuten Ergebnisse von Lönnstedt & Svensson (2000). Die zuletzt genannten Autoren decken geringe und teilweise sogar negative Korrelationen forstlicher Investitionen mit landwirtschaftlichen und finanziellen Investitionen auf. Diese Eigenschaft macht den Wald als Bestandteil in einem grösseren Portfolio attraktiv, weil die Einbeziehung von Wald als Geldanlage zu einer Abfederung der Risiken anderer Bestandteile des Portfolios beiträgt.

### Einschränkungen der Portfolio-Theorie

Offen geblieben ist bislang, welchen Einschränkungen die bereits über 50 Jahre alte Portfolio-Theorie unterliegt, basiert doch die moderne Finanztheorie noch heute auf den von Markowitz, Tobin, Sharpe und anderen erarbeiteten Grundlagen (Mandelbrot & Hudson 2005). Im Laufe der Zeit wurde jedoch eine Reihe von Kritikpunkten gegen die Portfolio-Theorie vorgetragen.

Zumeist wird kritisiert, dass recht spezielle Risikonutzenfunktionen und damit Risikopräferenzen unterstellt werden müssen, um ein optimiertes Portfolio ableiten zu können. Die Risikoaversion hängt jedoch häufig von der konkreten Entscheidungssituation ab und ist im Zeitverlauf unter Umständen nicht konstant (z. B. Post & van Vliet 2006). Dieser Einschränkung kann durch die Einführung einer risikofreien Investitionsalternative – zumindest mit Blick auf die Zusammensetzung des Portfolios – begegnet werden, wie wir weiter oben gezeigt haben. Allerdings ist hierbei offen, ob man von der Existenz einer risikofreien Anlage über Zeiträume von 100 Jahren ausgehen darf.

Schwerwiegender ist die Kritik an der Annahme der Normalverteilung der Erträge (z. B. Gotoh & Konno 2000). Im Bereich der Forstwirtschaft, die zumindest in Mitteleuropa erheblichen biophysikalischen Risiken ausgesetzt ist, ergeben sich stark von der Normalverteilung abweichende Verteilungen der Erträge (Knoke & Wurm 2006). Gerade die für die Risikobeurteilung besonders wichtigen nach links streichenden Äste der Verteilungen der Erträge entsprechen oft gar nicht den Annahmen einer Normalverteilung. Alternative Ansätze, wie beispielsweise die Betrachtung von Kriterien der «Stochastischen Dominanz» (Levy 2006), so genannte «Downside-risk»-Modelle (Lee & Rao 1988) oder die Kalkulation der «Robustheit» gemäss der «Information-gap»-Theorie (Ben-Haim 2006), stehen als Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der finanziellen Bewertungsmethoden zur Verfügung. Das zuletzt genannte Verfahren lässt es zu, abzuschätzen, welche Spielräume für mögliche Änderungen des Risikopro-



**Abb 5** Blick auf eine bestandesweise Mischung.

Foto: Barbara Allgaier Leuch

fils der Baumarten bestehen und bezieht die Zukunftsunsicherheit so am umfassendsten ein. Eine wichtige Aufgabe zukünftiger forstökonomischer Forschung wird damit darin bestehen, sich mit den alternativen Ansätzen zu befassen und diese mit dem klassischen Portfolio-Ansatz zu vergleichen.

### **Ausblick und Schlussfolgerungen**

Bisher steht die Übertragung aktueller finanzmathematischer Methoden auf typische Entscheidungen im Rahmen der Forstwirtschaft, wie beispielsweise die Baumartenwahl, erst am Anfang. Mangelnde Forschung in diese Richtung könnte auch ein Grund dafür sein, dass Baumartenvielfalt eher kritisch gesehen wird (z. B. Möhring 2004, Spellmann 2005). Damit erscheint es zunächst einmal notwendig, die klassische Methodik auf den forstwissenschaftlichen Bereich anzuwenden und endlich zu beginnen, sich mit der Frage der Beziehung zwischen Baumartenvielfalt und finanziellem Risiko ernsthaft zu befassen.

Die bisher nur spärlich vorliegenden Portfolio-Kalkulationen müssen dazu auch für andere Baumarten und Standorte durchgeführt werden, da ein optimales Baumarten-Portfolio standortabhän-

gig ist und wahrscheinlich aus deutlich mehr als nur zwei Baumarten bestehen wird. In diesem Zusammenhang ist insbesondere eine Intensivierung der Risikoforschung im Bereich der Forstwissenschaft notwendig.

Nach den bisherigen Ergebnissen birgt selbst die sehr grossflächige Mischung von Buche und Fichte erhebliche Vorteile in Bezug auf die Risiko-diversifikation (Abbildung 5). Demnach kann auch der Zukauf von bestehendem Laubwald zu vom Nadelholz dominierten Revieren oder der Ankauf von Nadelwald im Falle von Laubwald-Revieren interessant sein. Weber (2002) arbeitete in diesem Zusammenhang beispielsweise heraus, dass der Erwerb von Plantagenflächen auf anderen Kontinenten vorteilhaft sein kann. Für eine entsprechende Bewertung müssen allerdings die finanziellen Kennwerte, insbesondere die Korrelationseigenschaften der Erträge, bekannt sein.

Überträgt man den Portfolio-Gedanken auf öffentliche Waldeigentümer, erscheint eine Diversifizierung des gesamten Vermögensportfolios überlegenswert. Hier muss es nicht unbedingt optimal sein, den gesamten Vermögensbestand in Wald zu investieren.

Zusammenfassend können wir festhalten, dass der vorgestellte Ansatz zur Bewertung der Baum-

artenvielfalt zwar noch unvollständig ist, insbesondere weil die Integration von Wechselwirkungen zwischen den oft kleinflächig gemischten Baumarten bisher nicht gelungen ist und mögliche Änderungen des zukünftigen Risikoprofils der Baumarten bislang noch unberücksichtigt bleiben. Der skizzierte Ansatz bietet jedoch die einmalige Gelegenheit, die Bewertung waldbaulicher Entscheidungen auf eine objektiv nachvollziehbare Grundlage zu stellen, ohne dass hierbei der aus ökologischer Sicht oft vorgetragene Gedanke der Vielfalt auf der Strecke bleiben muss.

Die Frage, ob eine kleinflächigere Baumartenmischung in Horsten, Gruppen oder Trupps die Vorteile der «economies of scale» und der tendenziell besseren Holzqualitäten in grossflächigeren Mischungen kompensieren kann, lässt sich erst nach weiterer Forschung beantworten. Erste Ansätze zu diesem Aspekt deuten durchaus ein finanzielles Verbesserungspotenzial an. Die Abbildung von Wechselwirkungen der Baumarten bei kleinflächigen Mischungsformen stellt damit sicherlich ein waldbaulich-forstökonomisches Forschungsfeld dar, dem hohe Priorität beizumessen ist.

Wir haben unseren Aufsatz mit der These begonnen, dass die Übertragung und Weiterentwicklung finanz- und managementtheoretischer Bewertungsansätze auf forstwissenschaftliche Fragestellungen eine echte forstwissenschaftliche Perspektive sei, die das internationale Renommee der mitteleuropäischen Forstwissenschaft stärken könnte. Ob diese Perspektive praktische Relevanz entfalten wird, muss die Zukunft zeigen.

Eine Stärkung der Akzeptanz der mitteleuropäischen Forstwissenschaft ist notwendig. Peter Burschel bemängelte schon anlässlich seiner Ehrenpromotion im Jahr 1994, dass vereinfachende waldbauliche Ansätze weltweit das absolute Übergewicht besässen und Faustmann mit seiner fundamentalen Formel der Mann der Stunde sei (Burschel 1995). Die Gedanken von Karl Gayer, dem anlässlich seines 100. Todestages im März 2007 in Freising eine Veranstaltung mit dem Titel «Der gemischte Wald – Fit für die Zukunft!» gewidmet wurde, stellen für Peter Burschel den Angelpunkt des aus seiner Sicht notwendigen Umdenkprozesses dar.

Die Weiterentwicklung der forstlichen finanziellen Bewertungsmethodik erscheint notwendig, um diesen Weg auf nationaler und internationaler Ebene erfolgreich mitzugestalten und das forstwissenschaftliche Erfolgspotenzial, welches der Verknüpfung von waldbaulicher und finanzieller Forschung innewohnt, auszuschöpfen. Wir hoffen, dass es uns gelungen ist, mit unserem Beitrag eine mögliche Perspektive in diese Richtung aufzuzeigen. ■

## Literatur

- BEN-HAIM Y (2006)** Info-gap decision theory: decisions under severe uncertainty. Amsterdam: Academic Press, 2 ed. 368 p.
- BURSCHEL P (1987)** Karl Gayer und der Mischwald. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 42: 587–603.
- BURSCHEL P (1995)** Wald – Forstwirtschaft und globale Ökologie. Forstwiss Cent.bl 114: 80–96.
- CHANG SJ (2001)** One formula, myriad conclusions, 150 years of practicing the Faustmann Formula in Central Europe and the USA. For Policy Econ 2: 97–99.
- FAUSTMANN M (1849)** Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allg Forst Jagdztg 20: 441–455.
- FIGGE F (2004)** Bio-folio: applying portfolio theory to biodiversity. Biodivers Conserv 13: 827–849.
- GOTOH J, KONNO H (2000)** Third degree stochastic dominance mean-risk analysis. Manage Sci 46: 289–301.
- HARRISON SR, VENN TJ, DALES R, MANGAOANG EO, HERBOHN JF (2005)** Estimated financial performance of exotic and indigenous tree species in smallholder plantations in Leyte Province. Ann Trop Res 27: 67–80.
- HOLTHAUSEN N, HANEWINKEL M, HOLECY J (2004)** Risikomanagement in der Forstwirtschaft am Beispiel des Sturmrisikos. Forstarchiv 75: 149–157.
- HOSTETTLER M (2006)** Besprechung des Artikels: «Knoke T, Stimm B, Ammer C, Moog M (2005) Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution to the discussion on natural diversity. For Ecol Manage 213: 102–116.» Schweiz Z Forstwes 157: 64.
- HYTTIÄINEN K, TAHVONEN O (2003)** Maximum sustained yield, forest rent or Faustmann: Does it really matter? Scand J For Res 18: 457–469.
- KNOKE T, STIMM B, AMMER C, MOOG M (2005)** Mixed forests reconsidered: A forest economics contribution to the discussion on natural diversity. For Ecol Manage 213: 102–116.
- KNOKE T, WURM J (2006)** Mixed forests and a flexible harvest strategy: A problem for conventional risk analysis? Eur J For Res 125: 303–315.
- LEE WY, RAO RKS (1988)** Mean lower partial moment valuation and lognormally distributed returns. Manage Sci 34: 446–453.
- LEVY H (2006)** Stochastic dominance: Investment decision making under uncertainty. Boston: Kluwer, 2 ed. 439 p.
- LÖNNSTEDT L, SVENSSON J (2000)** Return and risk in timberland and other investment alternatives for NIPF owners. Scand J For Res 15: 661–669.
- MANDELBROT BB, HUDSON RL (2005)** Fraktale und Finanzen: Märkte zwischen Risiko, Rendite und Ruin. München: Piper. 446 p.
- MARKOWITZ H (1952)** Portfolio selection. J Finance 7: 77–91.
- MÖHRING B (1994)** Über ökonomische Kalküle für forstliche Nutzungsentscheidungen. Frankfurt aM: Sauerländer. 217 p.
- MÖHRING B (2004)** Betriebswirtschaftliche Analyse des Waldumbaus. Forst Holz 59: 523–530.
- NAVARRO GA (2002)** On 189 years of confusing debates over the «König-Faustmann» formula. Remagen-Oberwinter: Kessel. 221 p.
- NISKANEN A (1998)** Financial and economic profitability of reforestation in Thailand. For Ecol Manage 104: 57–68.

- NISKANEN A (1999)** The financial and economic profitability of field afforestation in Finland. *Silva Fenn* 33: 145–157.
- PENTTINEN M, LAUSTI A (2004)** The competitiveness and return components of NIPF ownership in Finland. *Finnish J Bus Econ* (2): 143–156.
- POST T, VAN VLIET P (2006)** Downside risk and asset pricing. *J Bank Financ* 30: 823–849.
- PUTNOKI H, HILGERS B (2007)** *Grosse Ökonomen und ihre Theorien*. Weinheim: Wiley VCH. 275 p.
- SCHÜTZ P (1994)** Waldbauliche Behandlungsgrundsätze in Mischbeständen. *Schweiz Z Forstwes* 145: 389–399.
- SHARPE WF (1964)** Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *J Finance* 14: 425–442.
- SPELLMANN H (2005)** Produziert der Waldbau am Markt vorbei? *Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge* 60: 454–459.
- SPIECKER H (2003)** Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe-temperate zone. *J Environ Manage* 67: 55–65.
- TOBIN J (1958)** Liquidity preferences as a behavior towards risk. *Rev Econ Stud* 25: 65–86.
- THOMSON TA (1991)** Efficient combinations of timber and financial market investments in single-period and multiple-period portfolios. *For Sci* 37: 461–480.
- VIITALA EJ (2006)** An early contribution of Martin Faustmann to natural resource economics. *J For Econ* 12: 131–144.
- WAGNER JE, RIDEOUT DB (1991)** Evaluating forest management investments: The capital asset pricing model and the income growth model. *For Sci* 37: 1591–1604.
- WAGNER JE, RIDEOUT DB (1992)** The stability of the capital asset pricing model's parameters in analysing forest investments. *Can J For Res* 22: 1639–1645.
- WEBER MW (2002)** *Portefeuille- und Optionspreis-Theorie und forstliche Entscheidungen*. Frankfurt aM: Sauerländer. 197 p.
- WIPPERMANN C, MÖHRING B (2001)** Exemplarische Anwendung der Portefeuilletheorie zur Analyse eines forstlichen Investments. *Forst Holz* 56: 267–272.
- ZINKHAN FC, CUBBAGE FW (2003)** Financial analysis of timber investments. In: Sills EO, Abt KL, editors. *Forests in a market economy*. Dordrecht: Kluwer. pp. 77–95.
- ZINKHAN FC, SIZEMORE WR, MASON GH, EBNER TJ (1992)** *Timberland investments: a portfolio perspective*. Oregon: Timber Press. 208 p.

### Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: Ein Forschungseinblick und -ausblick

Basierend auf der Übertragung eines klassischen finanztheoretischen Bewertungsansatzes auf das waldbauliche Problem der Baumartenwahl entwickelt vorliegender Beitrag eine Perspektive zukünftiger waldbaulich-forstökonomischer Forschung. Der klassische forstökonomische Bewertungsansatz nach Faustmann wird hierzu um die zu erwartenden finanziellen Risiken der Baumarten und die Risikokorrelationen erweitert, was beispielsweise mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen möglich ist. Unter Rückgriff auf die Portfolio-Theorie nach Markowitz und das Separationstheorem nach Tobin lassen sich dann im Prinzip optimale Anteile von Baumarten zumindest für grossflächige Mischungsformen ableiten, die unabhängig vom Grad der Risikoaversion der Waldbesitzer sind, wenn eine risikofreie Investitionsalternative existiert.

Aus diesem noch sehr einfachen Ansatz eröffnet sich eine interessante Forschungsperspektive. Der an einem Modell aus nur zwei Baumarten dargestellte Ansatz muss in Zukunft auf mehr Baumarten erweitert und standörtlich differenziert werden. Ein Schwerpunkt bei der Weiterentwicklung könnte die Integration von Effekten kleinflächiger Mischungen (Baumarteninteraktionen) sein. Mögliche Veränderungen des Risikoprofils der Baumarten müssen darüber hinaus z.B. mit Hilfe der «Information-gap»-Theorie einfließen. Insgesamt kann in einer mit verbesserten finanziellen Bewertungsansätzen untermauerten waldbaulichen Entscheidungsfindung ein Erfolgspotenzial für die mitteleuropäische Forstwissenschaft gesehen werden.

### Diversité des essences et risque: aperçu et perspectives de recherche

Les études scientifiques d'analyse des décisions en foresterie et de leurs conséquences pour le risque financier sont rares. Cependant, la prise en compte du risque financier et de la corrélation des risques permet d'utiliser des approches issues de la théorie de la finance pour l'évaluation des décisions en foresterie. Basé sur une approche financière classique, cet article analyse le problème du choix des essences en sylviculture et développe une ouverture pour la recherche en économie forestière. Le critère classique de Faustmann est ici utilisé avec une simulation de type Monte-Carlo pour évaluer les risques financiers et la corrélation des risques. Ceci permet l'application de la théorie de la sélection des portefeuilles de Markowitz, ainsi que du théorème de séparation du capital de Tobin en vue de déterminer la combinaison optimale des essences. Celle-ci est, pour les mélanges par grandes surfaces, largement indépendante du degré d'aversion au risque des propriétaires lorsqu'il existe une alternative d'investissement sans risque.

Tout en favorisant le concept écologique de la diversité des essences, cette approche relativement simple ouvre d'intéressantes perspectives de recherche. Par la suite, cet exemple concernant deux essences devra être étendu à d'autres essences et à différentes stations. Les interactions écologiques entre les différentes essences quand elles sont mélangées en petits groupes devront aussi être prises en compte. En outre, les changements possibles du profil de risque des différentes essences devront aussi être pris en considération par exemple au moyen de la théorie décisionnelle «information gap». En conclusion, cette combinaison des recherches en écologie et en économie recèle un potentiel important comme aide à la décision pour la foresterie en Europe Centrale.