

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 165 (2014)
Heft: 10

Artikel: Waldbau und die Faustmann-Theorie
Autor: Coordes, Renke
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097592>

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: 02.05.2026

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

Silviculture and the Faustmann theory

The Faustmann model is the heart of a theory seeking to explain the management and evolution of forests as a social process. A weak spot of the theory, however, is its inability to model diverse silvicultural treatments of forest stands. Basically, the Faustmann model represents the management of trees in plantations alternating between clear-cuts and uniform regeneration. Probably the main limitation of the Faustmann model is its lack to address thinnings, which constitute a considerable part of the timber harvested, in particular in Central Europe. New developments within forestry economic theory, however, help interpreting the Faustmann model as a special case of a homogeneous and independent or else heterogeneous and interdependent forest management. With variable basic units and the introduction of interdependencies, any forest management regime can basically be analysed. Accordingly, thinnings in homogeneous stands might be understood as special cases of the management of mixed stands, which, in turn, represent a special case of uneven-aged management of stands and entire forests. First, the introduction of variable basic units and interdependencies is outlined, taking the example of thinnings. On this basis, the necessary adjustments and conclusions for mixed and uneven-aged forest stands are discussed, which finally allow for a general silvicultural model on an economic basis.

Keywords: Faustmann model, thinnings, mixed forest stands, uneven-aged management, forest management
doi: 10.3188/szf.2014.0321

* Postfach 1117, DE-01735 Tharandt, E-Mail renke.coordes@forst.tu-dresden.de

Nach Karl Popper (1934/2005) ist Wissenschaft der Wettbewerb unterschiedlicher Vermutungen über wahre Zusammenhänge. In diesem Sinne bezeichnen Wissenschaft und Praxis keine hierarchische Ordnung, sondern eine wechselseitige Beziehung, in der beide Seiten voneinander lernen können. Zur Förderung dieses Austausches soll in vorliegendem Aufsatz versucht werden, einen neuen wissenschaftlichen Ansatz auf dem Gebiet der Forstökonomie darzustellen, der eine Hilfestellung zur Orientierung bei forstwirtschaftlichen Investitionen bieten kann. Im Zentrum steht die Erklärung waldbaulicher Behandlungen innerhalb der forstökonomischen Theorie. Um das wissenschaftliche Problem darzustellen, wird zunächst die betreffende Theorie vorgestellt, deren Kern das Faustmann-Modell bildet. Die Darstellung der wissenschaftlichen Motivation schafft dann auch die Grundlage für eine Einschätzung der Anwendbarkeit ökonomischer Theorie auf forstwirtschaftliche Einzelentscheidungen. Darauf aufbauend werden im zweiten Teil einige waldbauliche Sätze zu Durchforschungen diskutiert, die aus einem veränderten Faust-

mann-Modell abgeleitet werden können. Im dritten und letzten Teil wird die Möglichkeit angesprochen, das Modell für beliebige waldbauliche Behandlungen zu verallgemeinern.

Die Faustmann-Theorie

Das Faustmann-Modell in der Wissenschaft

Das Faustmann-Modell (vgl. Amacher et al 2009), dessen Name der Formel aus dem berühmten Aufsatz von Martin Faustmann (1849) entstammt, wird weltweit vielseitig verwendet. Die unterschiedlichen Verwendungsmöglichkeiten lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen (Deegen et al 2011). Zum einen kommt das Modell als Investitionsmodell in der forstwirtschaftlichen Betriebsführung zur Anwendung. In diesem Zusammenhang sollen betriebliche Entscheidungen für Investitionen im Wald unterstützt werden. Zum anderen verwenden Forstökonominnen das Faustmann-Modell als ein wissenschaftliches Analyseinstrument. Hier bildet das Modell den Kern einer Theorie, die Vermu-

tungen über die Entwicklung von Wald und Waldwirtschaft als einen sozialen Prozess hervorbringt. Obwohl das Faustmann-Modell bei diesen beiden Anwendungen äusserlich meist völlig gleich auftritt, könnten die Interpretationen der möglichen Aussagen daraus nicht unterschiedlicher sein.

Der Ursprung der unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten liegt in den Annahmen und Beschränkungen begründet, welche das Faustmann-Modell im jeweiligen Anwendungsgebiet umgeben. Innerhalb der wissenschaftlichen Theorie ist das Faustmann-Modell Teil eines deduktiven Satzsystems. Dieses System beschränkt die Aussagen des Modells auf bestimmte, koordinierte Handlungen von Waldeigentümern innerhalb streng abgegrenzter institutioneller Arrangements. Das Ziel dieser methodologischen Festsetzungen ist nicht die Relativierung realer Vorgänge, sondern die Einschränkung der Relativierung potenzieller, empirischer Widerlegungen. Abweichende Beobachtungen können dann nicht durch willkürlich hinzugefügte Annahmen wieder aufgehoben werden.

Die Faustmann-«Theorie» ist ein Teilgebiet der allgemeinen ökonomischen Investitionstheorie. Als solche ist sie ein Erklärungsversuch für die Entwicklung von Wald und Waldwirtschaft in einer sozialen Umgebung. Welche Art von Wald und Waldwirtschaft können wir als Folge der unzähligen Handlungen von Menschen weltweit erwarten? Jede individuelle Handlung innerhalb einer Gesellschaft beeinflusst direkt oder indirekt die Erscheinung von Wald, indem entweder Wald und Produkte aus diesem genutzt werden oder nicht. So kann die Verwendung eines Bleistiftes die Nachfrage nach Holz erhöhen, während die Entscheidung für den Kugelschreiber sie verringern kann. Es ist das Ergebnis dieser unzähligen individuellen und wechselseitig abhängigen Handlungen, das im Zentrum des wissenschaftlichen Interesses steht.

Aufgrund der enormen Komplexität, die aus den unendlichen Handlungsalternativen der Menschen erwächst, fokussiert die ökonomische Analyse auf das interaktive Muster der wechselseitigen Handlungen. In diesem Sinne werden keine Erklärungen für individuelle Entscheidungen vorgebracht, sondern solche für Ergebnisse der koordinierten Handlungen vieler Menschen. Die Koordination der Handlungen erfolgt dabei grundsätzlich auf zwei unterschiedlichen Wegen (Buchanan 1968/1999). Zum einen interagieren Menschen innerhalb eines Netzwerkes von bilateralen Beziehungen durch den Tausch von privaten Verfügungsrechten. Dieses Beziehungsgeflecht wird typischerweise als Markt bezeichnet. Zum anderen engagieren sich Menschen im multilateralen Tausch von Zustimmungen für öffentliche Güter und Leistungen, was meist Politik genannt wird. Die Faustmann-Theorie ist ausschliesslich eine Erklärung für das Muster, das sich aus dem

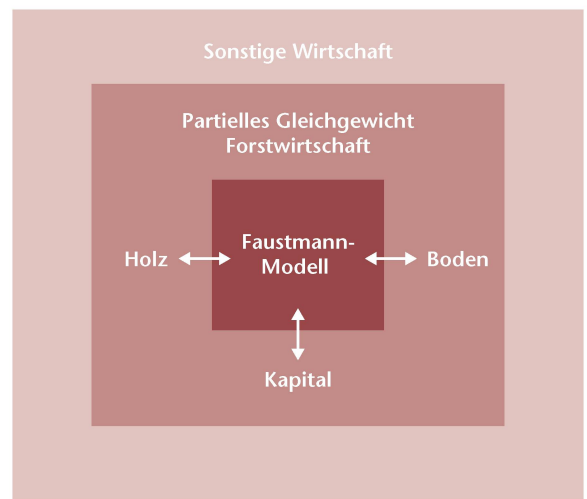


Abb 1 Aufbau der Faustmann-Theorie innerhalb eines gegebenen Ordnungsrahmens.

bilateralen Tausch privater Verfügungsrechte innerhalb eines gegebenen Ordnungsrahmens ergibt. Sie erlaubt es, eindeutige Bedingungen abzuleiten, unter welchen Waldeigentümer Anreize haben, Bäume zu verjüngen und zu ernten.

Die Eindeutigkeit der Aussagen der Faustmann-Theorie ist nur mithilfe strenger methodologischer Festsetzungen möglich. Diese – oft impliziten – Annahmen garantieren die logische Konsistenz und analytische Handhabbarkeit des verwendeten Modells. In diesem Sinne wird das Faustmann-Modell innerhalb der Theorie in ein partielles Gleichgewicht gesetzt, welches die endogene Variabilität ausschliesslich auf forstlich relevante Märkte beschränkt (Abbildung 1). Dementsprechend interagieren Waldeigentümer mit anderen Menschen der Gesellschaft über Holz-, Boden- und Kapitalmärkte. Der Einfluss anderer Märkte auf die Handlungen der Waldeigentümer wird konstant gehalten. Annahmen über die Effektivität der relevanten Märkte (Johansson & Löfgren 1985) garantieren, dass die Entscheidung über die optimale Investition von den subjektiven Präferenzen der Waldeigentümer getrennt wird. Denn diese können ihren Konsum stets zum Marktzinssatz finanzieren oder ihre Bestände zu einem Preis verkaufen, der dem Gegenwartswert aller zukünftigen Einkommen aus diesem entspricht.

Das Faustmann-Modell in der Praxis

Die künstlich geschaffene Umgebung der Faustmann-Theorie steht in starkem Kontrast zum individuellen Entscheidungsproblem der Waldeigentümer. Holz produzierende Waldeigentümer sind Unternehmer, die die relevanten Entscheidungsvariablen erst herausfinden müssen. Selbst wenn sie das Faustmann-Modell als Entscheidungsgrundlage heranziehen, müssen sie die darin vorgegebenen Variablen überhaupt erst entdecken (Deegen & Hostettler 2014). Ob die Holzpreise, Aufforstungskosten, Bodenpreise, Zinssätze etc. überhaupt für die

Rentabilität der Bestandesbewirtschaftung relevant sind, ist ebenso unsicher wie die Ausprägung dieser Parameter in der Zukunft. Über die Rentabilität ihrer Bestände könnte genauso gut auch das politische Engagement der Waldeigentümer entscheiden – so beispielsweise im Fall erfolgreich durchgesetzter Subventionen.

Im Gegensatz zu diesem betrieblichen Problem sind unvollständige Information und Unsicherheit über zukünftige Zustände der Umwelt und Gesellschaft integraler Bestandteil der Faustmann-Theorie. Innerhalb der Theorie charakterisiert das Faustmann-Modell die Handlungen derjenigen Waldeigentümer, die im Prozess der Unsicherheit und unvollständigen Information erfolgreich auf zukünftige Umwelt- und Gesellschaftszustände spekuliert haben. Es können sich nur diejenigen Waldeigentümer durchsetzen, die – zufällig oder bewusst – auf diejenige Waldbewirtschaftung gesetzt haben, die sich ex post als die rentabelste herausgestellt hat. Unvollständige Information und Unsicherheit werden durch den Wettbewerb und dessen evolutiven Selektionsmechanismus beschrieben (Alchian 1950, Smith 1962, Hayek 1968/2003).

Die Maximierung des Bodenertragswertes in der Faustmann-Theorie ist keine Simulation der Entscheidungen von Waldeigentümern. Waldeigentümer können den Bodenertragswert überhaupt nicht maximieren. Selbst für die einfache Plantagenwirtschaft, so wie sie das klassische Faustmann-Modell vorgibt, kann der Eigentümer nicht einfach die «richtigen» Werte für die Investitionsparameter einsetzen, weil diese nicht bekannt sind. Sie ergeben sich erst aus dem Wettbewerb, in welchen die Entscheidungen aller Waldeigentümer bereits eingeflossen sind. Die Anwendung des Faustmann-Modells – wie auch jedes anderen Barwert-Modells – als individuelles Investitionsmodell ist wissenschaftlich unhaltbar. Es ist sowohl logisch inkonsistent als auch metaphysisch, weil sich keine empirisch widerlegbaren Hypothesen daraus ableiten lassen.

Und dennoch kann das Faustmann-Modell Waldeigentümern bei ihren Investitionsentscheidungen behilflich sein. Es kann zumindest dabei helfen, Entscheidungen zu strukturieren. Denn für die Bewirtschaftung von Waldbeständen sind die deduktiv abgeleiteten Sätze des Modells notwendig – wenn auch nicht hinreichende – Bedingungen. Jede Entscheidung gegen diese Bedingungen impliziert die Erwartung, dass mit der alternativen Strategie diese Einbussen zumindest entgolten werden.

In diesem Sinne kann die wissenschaftliche Analyse des Faustmann-Modells keine Unternehmensentscheidung im Forstbetrieb ersetzen. Wissenschaftler sind nicht die besseren Praktiker. Und dennoch bietet sich die Möglichkeit, dass beide voneinander lernen: Wissenschaftler durch die Widerlegung ihrer Theorien und Praktiker durch «struk-

turiertes» Schätzen oder Spekulieren. Inwieweit Letzteres möglich und Ersteres zu erhoffen ist, soll im Folgenden zur Diskussion gestellt werden.

Durchforstungen im Faustmann-Modell

Entnahme von Bäumen vor dem Umtriebsalter

Das Faustmann-Modell beschreibt im Wesentlichen eine Plantagenbewirtschaftung: Aufforstung und Abtrieb eines Bestandes wiederholen sich fortwährend in immer gleichen Abständen. Das einheitliche Erntealter aller Bäume des Bestandes erlaubt keine Entnahme von Bäumen innerhalb der Umtriebsperiode. Derartige Eingriffe nehmen jedoch eine grosse Stellung innerhalb des klassischen Waldbaus ein (Röhrig et al 2006). In Abhängigkeit von der Wuchsphase der Bestände und der Ziele werden die Eingriffe sehr unterschiedlich benannt. So wird häufig zwischen Waldpflege (Eingriffe in jungen Beständen), Durchforstungen (Eingriffe in Beständen mittleren und höheren Alters) und Vornutzungen (Erntemassnahmen kurz vor dem Umtriebsalter) unterschieden. Alternative Bezeichnungen und Definitionen sowie weitere Differenzierungen innerhalb dieser Phasen und darüber hinaus sind üblich. Allen diesen Eingriffen, die im Folgenden schlicht Durchforstungen genannt werden, ist aber gemein, dass einzelne Bäume des Bestandes vor dem Umtriebsalter entnommen werden, ohne dass damit unmittelbar eine Verjüngung angestrebt wird.

Durchforstungen können in der Bodenertragswert-Formel nach Faustmann in vielfältiger Weise integriert werden (z.B. Endres 1923, Dieter 2001). Sie sind auch Bestandteil der ursprünglichen Faustmann-Formel (Faustmann 1849). Diese Formeln dienen der Kalkulation, indem sie es erlauben, unterschiedliche Bodenertragswerte auszurechnen. Das Faustmann-Modell ist demgegenüber ein Analyseinstrument. Hier wurden Durchforstungen aufgrund ihrer analytischen Unzugänglichkeit (Diskontinuität der Zielfunktion) herausgenommen. Alternative analytische Versuche zur Optimierung von Durchforstungen ausserhalb des Faustmann-Modells wurden beispielsweise auf Basis von Biomassemodellen unternommen (z.B. Näslund 1969, Borchert 2000).

Das analytische Faustmann-Modell erlaubt keine Einsichten in die Anreize, welche Waldeigentümer dazu bewegen können, ihre Bestände zu durchforsten. Per Definition werden alle Bäume zum gleichen Zeitpunkt eingeschlagen und verjüngt. Das Alter der Bäume zu diesem Zeitpunkt ist dann auch das einzige Ziel der Maximierung. Durchforstungen sind aber – im oben genannten Sinn – Entnahmen von Bäumen ohne anschliessende Verjüngung. In einem Durchforstungsmodell muss demnach die Möglichkeit eröffnet werden, dass Bäume zu unter-

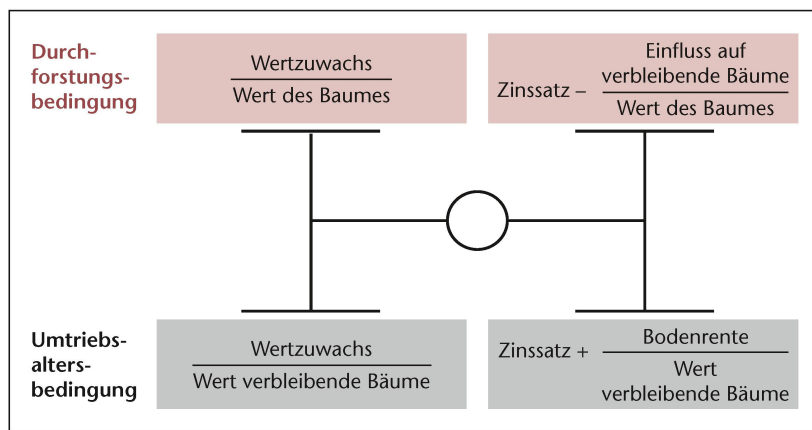


Abb 2 Die Bedingungen für das optimale Durchforstungs- und Umtriebsalter, dargestellt mithilfe einer doppelten Waage (sog. Balken-Tafel-Waage).

schiedlichen Zeitpunkten geerntet werden können, während die Verjüngung erst nach der Ernte des letzten Baumes möglich ist. Dies kann dadurch erreicht werden, dass das Ziel der Waldbewirtschaftung nicht mehr durch ein einheitliches Ernte- und Verjüngungsalter (d.h. durch das Umtriebsalter) bestimmt wird, sondern dass das Erntealter eines jeden Baumes Ziel der Bestimmung wird. Als eine Folge hiervon besteht die Aufgabe in der gleichzeitigen Bestimmung der Erntealter aller Bäume des Bestandes.

Das optimale Durchforstungsalter

Diese einfache Modifikation erlaubt es bereits, Bedingungen abzuleiten, unter welchen Durchforstungen relevant werden. Aufgrund des einheitlichen Verjüngungsalters ergeben sich zwei Arten von Bedingungen für die Ernte von Bäumen, welche zugleich erfüllt sein müssen (Coordes 2014): eine für das Erntealter derjenigen verbleibenden Bäume des Bestandes, auf welche die Verjüngung folgt (d.h. das Umtriebsalter), und eine Bedingung für alle Bäume, die potenziell vorher eingeschlagen werden können (Abbildung 2). Die letztere Bedingung bestimmt das optimale Durchforstungsalter für jeden einzelnen Baum, der vor dem Umtriebsalter entnommen wird. Das optimale Durchforstungsalter ist erreicht, wenn die Wertwachstumsrate des Baumes dem Zinssatz (Klemperer 1996, Deegen 2010) gleicht. Dieser für die höchste Rentabilität notwendige Ausgleich zwischen den beiden Raten wird durch die Tafelwaage im oberen Teil von Abbildung 2 verdeutlicht (hier zunächst ohne den Einfluss auf verbleibende Bäume). Die Wertwachstumsrate eines Baumes ist sein Wertzuwachs im Verhältnis zu seinem Gesamtwert. Diese Durchforstungsbedingung ist zugleich auch die Lösung für Investitionen in einfache Laufzeitprobleme ohne Wiederholungen, wie beispielsweise in Maschinen oder nicht erneuerbare Ressourcen. Und das ist auch plausibel, weil Durchforstungen ohne Möglichkeit zur Verjüngung definiert worden sind. Aus diesen Überlegungen lässt sich ableiten, dass Durch-

forstungen relevant werden, d.h., manche Bäume könnten rentabel vor dem Umtriebsalter geerntet werden, wenn sie sich in ihren Wertwachstumsraten unterscheiden.

So einfach und offensichtlich wie diese Schlussfolgerung auch erscheint, bringt sie doch weitreichende Konsequenzen mit sich. So können beispielsweise Bäume mit äusserst ungleichem Wachstum zum gleichen Zeitpunkt geerntet werden, wenn gut wachsende Bäume hohe Gesamtwerte anhäufen, während schlechtwüchsige Bäume nur einen geringen Wert haben. Oder anders ausgedrückt: Gutwüchsige Bäume mögen hohe Wertzuwächse haben, aber sie sind teuer im Sinne alternativer Verwendungsmöglichkeiten für ihren angehäuften Wert. Schlechtwüchsige Bäume demgegenüber mögen nur wenig zuwachsen, aber sie sind billig, weil sie nur wenige alternative Investitionen erlauben.

Das Konzept der «besten» Bäume, deren Förderung häufig als das Hauptziel von Durchforstungen ausgegeben wird, ist damit ein relatives Konzept. Die besten Bäume müssen nicht denjenigen mit dem höchsten Wertzuwachs entsprechen. Häufig mag es genau andersherum sein. Dünne Bäume versprechen höhere relative Zuwächse in den Holzpreisen aufgrund von sinkenden Preiszuschlägen für stärkere Stammdurchmesser wie auch von höheren relativen Abnahmen in den Holzerntestückkosten aufgrund des Stück-Volumen-Gesetzes. Wenn diese bedeutenden Vorteile nicht durch überproportional höhere Holzzuwächse der herrschenden Bäume ausgeglichen werden, ist das Ziel einer Durchforstung die Förderung der dünnsten Bäume eines Bestandes. Hoch- oder Auslesedurchforstungen, bei welchen herrschende vor beherrschten Bäumen entnommen werden, können damit viele Vorteile bieten; nicht aber zur Förderung der verbleibenden (vor)herrschenden Bäume, sondern zur Förderung der verbleibenden schwachwüchsigen Bäume.

Notwendige und hinreichende Bedingungen der Durchforstung

Unterschiede in den Wertwachstumsraten sind aber nur eine notwendige Bedingung für die Vorteilhaftigkeit von Durchforstungen (Abbildung 3). Das mag Max Robert Pressler 1865 dazu veranlasst haben, zu verlangen, «faule oder überreife Gesellen» (Pressler 1865: 18) zu ernten. Wenn man sich aber einen Bestand vorstellt, in welchem alle Bäume mit einer Wertwachstumsrate von 4% wachsen, während ein einziger Baum mit 5% zuwächst, dann würde alleine letzterer verbleiben, solange der Zinssatz bei 4% liegt. Wie jeder Förster gut nachvollziehen kann, erscheint ein solcher Bestand mit einem einzelnen Baum unrentabel. Dieser Anschein liegt in der Bedingung für die Ernte der verbleibenden Bäume des Bestandes begründet, auf welche die Verjüngung folgt (d.h. dem Umtriebsalter). Die verbleibenden

Bäume werden geerntet, wenn ihre durchschnittliche Wertwachstumsrate dem Zinssatz zuzüglich der relativen Bodenrente gleicht (vgl. die Balkenwaage im unteren Teil von Abbildung 2). Die relative Bodenrente entspricht den Zinsen auf den Bodenertragswert in Relation zum Wert der verbleibenden Bäume. Damit widerspiegelt sie die Möglichkeit, neue Bäume zu verjüngen, die besser wachsen als die derzeitigen älteren Bäume. Bei funktionierenden Bodenmärkten kann die Bodenrente auch über den Miet- oder Pachtpreis für Boden abgeschätzt werden (Chang 1998).

Die Bedingung für die Ernte der verbleibenden Bäume unterscheidet sich von der Durchforstungsbedingung, indem zukünftige Bäume (d.h. die Verjüngung) berücksichtigt werden. Damit ist sie das Analogon zum Faustmann-Pressler-Ohlin-Theorem (Johansson & Löfgren 1985), welches das Umtriebsalter im Faustmann-Modell bestimmt. Im Unterschied zu diesem beziehen sich Wert und Zuwachs im Durchforstungsmodell aber nur auf die verbleibenden Bäume und nicht auf den ganzen Bestand. Während die Wachstumsraten unter beiden Bedingungen damit vergleichbar sind, ist die relative Bodenrente im Durchforstungsmodell ungleich höher. In Letzterem sind die Kosten, die durch die Verzögerung der Verjüngung aller zukünftigen Bäume entstehen (d.h. die Bodenrente), auf weniger verbleibende Bäume verteilt. Und weil bei rentablen Durchforstungen zusätzlich auch die Bodenrente steigt, sinkt das Umtriebsalter mit Durchforstungen im Vergleich zum Faustmann-Modell ohne Durchforstungen.

Die hohen Bodenkosten (gemessen in nicht verjüngten Bäumen) eines einzelnen verbleibenden Baumes führen im Durchforstungsmodell somit dazu, dass die Erntealter mehrerer Bäume am Ende

des Umtriebsalters zusammentreffen. Mit Ausnahme von überaus grossen Bäumen oder sehr kleinen Flächen werden Waldbestände damit durch die Existenz einer Bodenrente, d.h. durch die Möglichkeit, Bäume zu verjüngen, vor einer Plünderung durch selektive Entnahmen bewahrt. Nur wo diese Möglichkeit versagt ist – vielleicht durch fehlende Verfügungsrechte – werden bedingungslos alle Bäume eines Bestandes entnommen, die weniger als die Zinsen zuwachsen. Damit müssen Unterschiede in den Wertwachstumsraten, als notwendige Bedingungen für rentable Durchforstungen, die relative Bodenrente übersteigen, um auch hinreichend zu sein. Durchforstungen werden in Beständen mit grossen Unterschieden in den Wachstumsraten wahrscheinlich, sie können aber auch durch hohe Bodenrenten verhindert werden (Abbildung 3).

Wechselwirkungen zwischen Bäumen

Obwohl dieses sehr einfache Durchforstungsmodell bereits einen hohen erklärenden Gehalt zeigt, muss eine zweite wichtige Eigenschaft hinzugefügt werden. Durchforstungen werden üblicherweise durch den Einfluss auf die verbleibenden Bäume gerechtfertigt. In konkurrenzierenden Beständen wird die Entnahme eines Baumes das Holzwachstum und damit den Wert seiner verbleibenden Nachbarn verbessern. In anderen Fällen mag der entnommene Baum aber auch den Wert der verbleibenden Bäume verringern, beispielsweise wenn sich Wasserreiser bilden. Für die rentable Holzproduktion entscheidend sind dabei alle Wechselwirkungen, die den Wert der Bäume beeinflussen. So können einige ökologische Einflüsse, wie etwa Veränderungen der Jahrringbreiten, in manchen Fällen vollkommen unerheblich sein, während in anderen Fällen wirtschaftliche Faktoren wie Transportbeschränkungen oder mengenunabhängige Kosten relevant werden können.

Die Wechselbeziehungen zwischen den Werten der Bäume werden durch die Abhängigkeiten des Wertzuwachses von allen zuvor entnommenen Bäumen funktional relevant. Als Konsequenz ergibt sich eine dritte Determinante – neben der Wertwachstumsrate und dem Zinssatz – bei der Bestimmung des Durchforstungsalters. Es ist der Einfluss der Entnahme des Baumes auf den Wert aller verbleibenden Bäume im Verhältnis zum Wert des Baumes, im Folgenden auch Beeinflussungsrate genannt. Die Beeinflussungsrate muss vom Zinssatz abgezogen werden (Abbildung 2, oben rechts).

Von den vielfältigen möglichen Wechselwirkungen zwischen Bäumen sind für die Durchforstungsentscheidung aber nur negative Einflüsse ausschlaggebend. Bei rein oder überwiegend positiven Wechselwirkungen, wie etwa der Schaftpflege, lohnt sich die Durchforstung aus Sicht der Beeinflussungsraten nicht. Nur bei negativen Wechselwirkungen,



Abb 3 Lohnt sich eine Durchforstung? Haben einige dieser Bäume bereits ihr optimales Erntealter erreicht? Foto: Barbara Allgaier Leuch

wie sie zum Beispiel durch ökologische Konkurrenz hervorgerufen werden, entstehen Anreize, Bäume vor dem Umtriebsalter zu entnehmen, um den Wert der verbleibenden Bäume zu erhöhen. Durch eine negative Beeinflussungsrate bei negativen Wechselbeziehungen wird das Minus in der Durchforstungsbedingung (Abbildung 2, oben) effektiv in ein Plus überführt, wodurch negative Beeinflussungsraten Kosten im ökonomischen Sinn darstellen.

Gleichzeitigkeit der Erntebedingungen

Durch die Bestimmung des Durchforstungsalters ergeben sich grundsätzlich drei Anreize, Bäume vor dem Umtriebsalter zu entnehmen. Durchforstungen bieten die Möglichkeit, 1) unbefriedigenden Wertzuwachs zu beenden, 2) alternative Investitionen zu tätigen und 3) den Wert der verbleibenden Bäume zu erhöhen. Alle drei Faktoren sind bei Durchforstungen zugleich wirksam, sodass die Entscheidung, zu durchforsten oder nicht zu durchforsten, durch Annahmen bezüglich dieser drei Faktoren – explizit oder implizit – gerechtfertigt werden. In Anwesenheit von Wechselwirkungen ist der Einfluss von Durchforstungen auf das Umtriebsalter nicht mehr eindeutig. Weil Durchforstungen die Wertzuwächse der verbleibenden Bäume (Abbildung 2, links unten) erhöhen können, bestehen grundsätzlich auch Anreize, den Bestand später abzutreiben. Mit negativen Wechselwirkungen zwischen den Werten der Bäume tritt eine zweite notwendige Bedingung zum Durchforstungsmodell hinzu. Auch in homogenen Beständen, in welchen alle Bäume einheitlich wachsen, können Durchforstungen rentabel sein, wenn die Möglichkeit besteht, den Wert der verbleibenden Bäume zu erhöhen. Auf diese Weise werden Durchforstungen durch negative Wechselwirkungen bezüglich der Werte der Bäume und durch Heterogenität bezüglich der Wertwachstumsraten relevant. Um auch hinreichend zu sein, müssen beide Kriterien zusammen die relative Bodenrente übersteigen.

Die Bedingungen für die Durchforstung sowie die Bedingung für den Umtrieb beeinflussen sich gegenseitig. Diese wechselseitige Abhängigkeit wird durch die kombinierte Balken-Tafel-Waage in Abbildung 2 verdeutlicht. Nur wenn alle Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind, ist das optimale Bewirtschaftungsregime für den Bestand gefunden. Sobald sich auch nur eine Bedingung verändert, sind Anpassungen in den Erntealtern aller anderen Bäume erforderlich, um den Ausgleich wieder herzustellen. Die Bestimmung der optimalen Pflege und Ernte eines Bestandes kann damit nicht unabhängig voneinander erfolgen. Die Entscheidung, ob, wann und wie ein Bestand durchforstet (bzw. gepflegt) wird, ist von der Entscheidung abhängig, ob, wann und wie der Bestand abgetrieben, verjüngt und auch weiter durchforstet wird. Jede Auszeichnung von Beständen zur Entnahme von Bäumen impliziert letztendlich eine

Spekulation auf spezielle zukünftige Umwelt- und Marktbedingungen, welche zu den optimalen Erntealtern aller anderen Bäume des Bestandes im Sinne von Abbildung 2 führen.

Waldbau auf ökonomischer Grundlage

Das optimale Durchforstungsregime

Ein grosser Vorteil des dargestellten Ansatzes zur Bestimmung der Erntealter von Bäumen ist seine Anwendbarkeit auf vielseitige Problemstellungen der waldbaulichen Behandlung von Waldbeständen. Weil das Modell auf den simultanen Erntealtern aller Bäume des Bestandes aufbaut, kann grundsätzlich jedes Durchforstungsregime daraus abgeleitet werden. Danach sind Intensität, Turnus oder Methode der Durchforstung abgeleitete Konzepte, die sich aus dem Verhältnis der einzelnen Erntealter zueinander ergeben. Haben beispielsweise mehrere Bäume das gleiche optimale Durchforstungsalter, ist die Durchforstung intensiver, weil mehrere Bäume gleichzeitig entnommen werden. Weil Durchforstungen durch Unterschiede in den Wertwachstumsraten und durch negative Wechselwirkungen relevant werden, werden Bestände mit gleichem und unabhängigem oder ungleichem und abhängigem Wachstum intensiver durchforstet. Die Häufigkeit oder der Turnus von Durchforstungen kann demgegenüber als spiegelbildliches Konzept interpretiert werden. Bestände, die intensiv durchforstet werden, werden weniger häufig durchforstet, weil weniger Bäume verfügbar sind, und umgekehrt. Und auch die Durchforstungsmethode wird durch das Verhältnis der Erntealter der herrschenden Bäume zu denjenigen der beherrschten Bäume bestimmt. Danach sind beispielsweise die Ziele der Massen- und der Qualitätsholzproduktion nicht eindeutig mit bestimmten Durchforstungsmethoden verbunden. Die Relativität der «besten» Bäume garantiert, dass ähnliche Ziele durch verschiedene Durchforstungsmethoden erreicht werden können.

Die differenzierte Anwendbarkeit unterscheidet das Modell von früheren Ansätzen. Während in Biomassemodellen (z.B. Clark & De Pree 1979) Bestände vereinheitlicht werden, womit Aussagen zur Struktur des Bestandes nur sehr eingeschränkt möglich sind, berücksichtigen andere Einzelbaumansätze (z.B. Vaezin et al 2009, Härtl et al 2010) nicht die notwendige Gleichzeitigkeit der Erntebedingungen.

Die Interpretation der Erntebedingungen ist aber nicht nur auf unterschiedliche Durchforstungsregime beschränkt. Im Wesentlichen überwindet das Modell die strukturelle Gleichförmigkeit des Faustmann-Modells. Dies wird dadurch erreicht, dass die unteilbare Grundeinheit variierbar gestaltet wird. Im Durchforstungsmodell wurde der einzelne Baum

als Grundeinheit für die Ernte gewählt. Es besteht dann die Möglichkeit, jeden Baum einzeln zu ernten. Im Faustmann-Modell ist die Grundeinheit der Bestand; er wird entweder komplett geerntet oder überhaupt nicht behandelt. Für viele waldbauliche Probleme scheint der einzelne Baum die geeignete Grundeinheit zu sein, weil die meisten beobachtbaren Tätigkeiten aus der Ernte und der Verjüngung von einzelnen Bäumen – unabhängig von deren Grösse – abgeleitet werden können. Andere Probleme der Baumproduktion mögen aber für die Definition von noch kleineren Grundeinheiten sprechen, z.B. von Ästen, Teilen der Borke oder Früchten. Und für Probleme auf der Makroebene kann der Bestand die geeignete Grundeinheit bilden, wie im Faustmann-Modell. In allen Fällen bleibt der Ansatz zur Lösung der Problematik unbeeinflusst.



Abb 4 Plenter- und Dauerwälder sind durch äusserst unterschiedliche Wertwachstums- und Beeinflussungsraten charakterisiert. Foto: Barbara Allgaier Leuch

Bäume, Bestände, Wälder

Auf diese Weise kann das Durchforstungsmodell für beliebige Waldnutzungen verallgemeinert werden. Drei Beispiele sollen diese Aussage illustrieren. Weil Bäume im Durchforstungsmodell einzeln betrachtet werden, können sie alle von derselben oder von unterschiedlicher biologischer Art sein. Innerhalb des Modells sind die einzig relevanten Eigenschaften von unterschiedlichen Baumarten die abweichenden Wertwachstums- beziehungsweise Beeinflussungsraten. Nach dieser Interpretation entspricht das vorgestellte Modell auch der Bewirtschaftung gleichaltriger Mischbestände. Gleichermassen wird die einheitliche Verjüngung des Bestandes im Durchforstungsmodell auf das Erntealter des letzten Baumes verschoben. Damit sind Durchforstungen ein Konzept des gleichaltrigen Bestandes. Wenn aber

Verjüngung grundsätzlich nach der Ernte eines jeden Baumes ermöglicht wird, entsteht ein allgemeines, ungleichaltriges Modell, in dem Bäume mit unterschiedlichen Wachstumsraten räumlich intensiv miteinander vermischt sein können; eine Eigenschaft, die beispielsweise Plenter- oder Dauerwälder charakterisiert (Abbildung 4). Ob die Unterschiede im Wertwachstum durch unterschiedliche Arten oder unterschiedliches Alter entstehen, ist modelltechnisch irrelevant. Und schliesslich kann jeder Baum im Durchforstungsmodell auch als ein mehr oder weniger homogener Bestand mit einem einheitlichen Erntealter interpretiert werden. Wenn jeder Bestand dann nach seiner Ernte wieder verjüngt werden kann, wurde das Durchforstungsmodell in ein allgemeines Waldmodell überführt, in dem Bestände in Abhängigkeit voneinander wachsen und die Entscheidung, einen Bestand zu ernten, von der Entscheidung der Ernte aller anderen Bestände abhängt.

In all diesen Fällen bleibt der methodische Ansatz unverändert, sodass die analytischen Ergebnisse des Durchforstungsmodells auf die aufgezeigten Problemfelder übertragen werden können. Beispielsweise werden unterschiedliche Baumarten zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingeschlagen, wenn sich ihre Wertwachstumsraten unterscheiden und wenn dieser Unterschied die relative Bodenrente übersteigt. Mit hinreichend positiven Wechselwirkungen könnten die verschiedenen Baumarten aber auch gleichzeitig geerntet werden, wie bei dienenen Baumarten. In Plenter- oder Dauerwäldern werden beherrschte Bäume durch die Entnahme von dominanteren Nachbarbäumen gefördert, wenn ihr verbessertes Wachstum und die alternative Investition mehr versprechen als der Wertzuwachs des herrschenden Baumes. Und in Wäldern werden Bestände nicht zum Faustmann-Umtriebsalter geerntet, sondern zu einem Zeitpunkt, der um deren Einfluss auf den Wert aller anderen Bestände angepasst ist. Die methodische Identität all dieser Lösungsansätze auf allen Mikro- und Makroebenen ist beachtenswert.

Diese neue Perspektive eines räumlich unabhängigen Faustmann-Modells mit endogenen Wechselwirkungen mag als ein weiterer Trittstein hin zu besseren, überzeugenderen und umfassender erklärenden Theorien dienen. Bei der Suche nach diesen sind die bestehenden Theorien unverzichtbar, weil sie die Probleme aufzeigen, welche bislang unbekannt waren, so wie die Mängel des Faustmann-Modells die Forschung auf Probleme der Durchforstung und Ungleichaltrigkeit gelenkt haben. Der neue Ansatz innerhalb der Faustmann-Theorie erscheint es wert zu sein, empirischer Prüfung unterworfen zu werden, weil er eine einfache und einheitliche Sicht auf die derzeitigen Probleme bietet, weil er verspricht, neue Probleme aufzudecken, und weil er objektiv in seinen Konsequenzen überprüfbar ist. ■

Eingereicht: 5. Februar 2014, akzeptiert (mit Review): 10. Juli 2014

Literatur

- ALCHIAN AA (1950) Uncertainty, evolution, and economic theory. *J Polit Econ* 58: 211–221.
- AMACHER GS, OLLIKAINEN M, KOSKELA E (2009) Economics of forest resources. Cambridge MA: MIT Press. 397 p.
- BORCHERT H (2000) Die Bestimmung der für Forstbetriebe ökonomisch optimalen Holznutzungsmengen. Ein kontrolltheoretischer Ansatz. Weihenstephan: Techn Univ München, Dissertation. 176 p.
- BUCHANAN JM (1968/1999) The demand and supply of public goods. Indianapolis: Liberty Fund, Collected Works James M. Buchanan, Vol 5. 202 p.
- CHANG SJ (1998) A generalized Faustmann model for the determination of optimal harvest age. *Can J For Res* 28: 652–659.
- CLARK CW, DE PREE JD (1979) A simple linear model for the optimal exploitation of renewable resources. *Appl Math Opt* 5: 181–196.
- COORDES R (2014) Thinnings as unequal harvest ages in even-aged forest stands. *For Sci* 60: 677–690.
- DEEGEN P (2010) Die Bestimmung von Kalkulationszinssätzen für Waldbewertungen. *Wertermittlungsforum* 4: 137–142.
- DEEGEN P, HOSTETTLER M (2014) The Faustmann approach and the catallaxy in forestry. In: Kant S, Alavalapati JRR. *Handbook of forest resource economics*. New York: Routledge. pp. 11–25.
- DEEGEN P, HOSTETTLER M, NAVARRO GA (2011) The Faustmann model as a model for a forestry of prices. *Eur J Forest Res* 130: 353–368.
- DIETER M (2001) Land expectation values for spruce and beech calculated with Monte Carlo modelling techniques. *For Pol Econ* 2: 157–166.
- ENDRES M (1923) *Lehrbuch der Waldbewertung und Forststatik*. Berlin: Springer, 4 ed. 326 p.
- FAUSTMANN M (1849) Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allg Forst- Jagdztg* 15: 441–455.
- HÄRTL F, HAHN A, KNOKE T (2010) Integrating neighbourhood effects in the calculation of optimal final tree diameters. *J For Econ* 16: 179–193.
- HAYEK FA (1968/2003) Wettbewerb als Entdeckungsverfahren. In: Streit ME, editor. *Rechtsordnung und Handlungsordnung*. Tübingen: Mohr Siebeck, *Gesammelte Schriften FA Hayek A4*. pp. 132–149.
- JOHANSSON PO, LÖFGREN KG (1985) *Economics of forestry and natural resources*. Oxford: Blackwell. 292 p.
- KLEMPERER DW (1996) *Forest resource economics and finance*. New York: McGraw-Hill. 551 p.
- NÄSLUND B (1969) Optimal totation and thinning. *For Sci* 15: 446–451.
- POPPER KR (1934/2005) *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr Siebeck, *Gesammelte Werke* 3, 11 ed. 601 p.
- PRESSLER MR (1865) *Die Forstwirtschaft der sieben Thesen oder der forstlichen Reform- und Streitfragen Kernpunkt*. Dresden: Woldemar Türk, *Flugblatt* 1. 72 p.
- RÖHRIG E, BARTSCH N, VON LÜPCKE B (2006) *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. Stuttgart: Ulmer. 479 p.
- SMITH VL (1962) An experimental study of competitive market behavior. *J Pol Econ* 70: 111–137.
- VÄEZIN SMH, PEYRON JL, LECOQ F (2009) A simple generalization of the Faustmann formula to tree level. *Can J For Res* 39: 699–711.

Waldbau und die Faustmann-Theorie

Das Faustmann-Modell bildet den Kern einer Theorie, welche die Bewirtschaftung und die Entwicklung von Wäldern als einen gesellschaftlichen Prozess erklären möchte. Ein erheblicher Schwachpunkt der Theorie war bislang ihre Unfähigkeit, Aussagen über die Vielfältigkeit waldbaulicher Bewirtschaftungsformen zu treffen. So modelliert das bekannte Faustmann-Modell im Wesentlichen eine Plantagenbewirtschaftung mit Kahlschlägen und einheitlicher Verjüngung. Die wahrscheinlich grösste Einschränkung des Faustmann-Modells ist aber seine fehlende Aussagefähigkeit zu Durchforstungen, welche insbesondere in Mitteleuropa einen erheblichen Teil der Holznutzung ausmachen. Neue Entwicklungen in der Forstökonomie erlauben es, das Faustmann-Modell als einen Sonderfall einer homogenen und unabhängigen oder heterogenen und abhängigen Waldwirtschaft zu betrachten. Mithilfe von variablen Grundeinheiten und der Einführung von Wechselwirkungen wird es möglich, beliebige Waldnutzungsformen zu analysieren. So können Durchforstungen in homogenen Reinbeständen als Sonderfälle der Bewirtschaftung von Mischbeständen verstanden werden und diese wiederum als Sonderfälle der Bewirtschaftung von ungleichaltrigen Beständen und ganzen Wäldern. Die Einführung von variablen Grundeinheiten und von Wechselwirkungen wird am Beispiel von Durchforstungen dargestellt. Darauf aufbauend werden die notwendigen Anpassungen und Schlussfolgerungen für gemischte und ungleichaltrige Bestände diskutiert, welche zu einem allgemeinen Waldbaumodell auf ökonomischer Grundlage führen.

La sylviculture et la théorie de Faustmann

Le modèle de Faustmann est au cœur d'une théorie qui souhaiterait expliquer la gestion et le développement des forêts comme un processus sociétal. Le grand défaut de cette théorie était, jusqu'à présent, son incapacité de prendre en compte la diversité des traitements sylvicoles. En effet, le modèle de Faustmann repose essentiellement sur des gestions de type plantation avec des coupes rases et un rajeunissement uniforme. La probablement plus grande limitation du modèle de Faustmann est le manque de considération des éclaircies, qui en Europe centrale représentent une part non négligeable des volumes de bois exploités. Les nouveaux développements de l'économie forestière permettent de considérer le modèle de Faustmann comme un cas exceptionnel de gestion forestière homogène et indépendante ou hétérogène et dépendante. À l'aide d'unités de base variables et l'introduction d'interactions, il est possible d'analyser toute sorte de traitements sylvicoles. Ainsi, les éclaircies dans des peuplements purs homogènes peuvent être considérées comme un cas particulier de la gestion des peuplements mélangés et celles-ci comme un cas particulier de gestion de peuplements irréguliers et de forêts entières. L'introduction d'unités de base variables et d'interactions est illustrée ici par l'exemple des éclaircies. Sur cette base sont discutées les adaptations et les conclusions pour des peuplements mélangés et irréguliers qui mènent vers un modèle sylvicole général reposant sur des bases économiques.