



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN  
Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung

Der Einfluss des Holzpreises auf die Konkurrenz  
zwischen stofflicher und thermischer  
Holzverwertung. Ein forstbetrieblicher  
Planungsansatz unter Berücksichtigung von  
Risikoaspekten

Fabian H. Härtl

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Wei-  
henstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen  
Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Forstwissenschaft

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. H. Pretzsch

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. Th. Knoke  
2. apl. Prof. Dr. M. Weber  
3. Univ.-Prof. Dr. M. Hanewinkel  
(Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Die Dissertation wurde am 16.12.2014 bei der Technischen Universität  
München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Wei-  
henstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 08.04.2015  
angenommen.



Berichte aus der Holz- und Forstwirtschaft

**Fabian H. Härtl**

**Der Einfluss des Holzpreises auf die Konkurrenz  
zwischen stofflicher und thermischer Holzverwertung**

Ein forstbetrieblicher Planungsansatz  
unter Berücksichtigung von Risikoaspekten

Shaker Verlag  
Aachen 2015

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3774-6

ISSN 1615-1674

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen  
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

*Es ist die Wirklichkeit,  
welche die Möglichkeiten weckt.*

Robert Musil



---

# INHALTSVERZEICHNIS

---

Zusammenfassung	1
Abstract	5
<b>I ÖKONOMIE UND PLANUNG UNTER RISIKO</b>	<b>9</b>
1 EINLEITUNG	11
2 KENNTNISSTAND	17
2.1 Hypothesen	17
2.2 Vom Wald zum Forstbetrieb	18
2.2.1 Forstwirtschaft	18
2.2.2 Rahmensetzung der Bewirtschaftung	20
2.3 Zielfindung und Planung	24
2.3.1 Ziele	24
2.3.2 Planung	26
2.4 Unsicherheit und Risiko	30
2.5 Märkte und Preise	33
2.6 Kohlenstoffbilanz und Bewirtschaftung	35
3 MATERIAL UND METHODEN	39
3.1 Entscheidungsunterstützung unter Risiko	39
3.1.1 Grundmodell	39
3.1.2 Datenverarbeitung	44
3.1.3 Risiko	48
3.1.4 Ausgangsdaten	62
3.2 Der Einfluss des Ölpreises auf den Holzpreis	68
3.2.1 Ölpreisszenarien	69
3.2.2 Holzpreisszenarien	70
3.2.3 Holzerntekosten	73
3.3 Kohlenstoffbilanzierung	74
3.3.1 Kohlenstoffspeicher	74
3.3.2 Produktlebensdauer	84
3.3.3 Finanzielle Bewertung	85
4 ERGEBNISSE	91
4.1 Preismodell	91
4.1.1 Ölpreis	91
4.1.2 Holzpreise	91
4.2 Angebotsszenarien	92

## Inhaltsverzeichnis

4.2.1	Basisszenario (A <sub>0</sub> )	92
4.2.2	A <sub>50</sub> -Szenario	95
4.2.3	A <sub>100</sub> -Szenario	98
4.2.4	A <sub>300</sub> -Szenario	102
4.2.5	Szenarienvergleich	103
4.3	Kohlenstoffbilanz	111
4.3.1	Finanzielle Bewertung	113
4.4	Zusammenfassung	114
5	DISKUSSION	125
5.1	Das Entscheidungsunterstützungsmodell	125
5.2	Preismodell	127
5.3	Angebotsszenarien	131
5.3.1	Generelle Einordnung	131
5.3.2	Preisinduzierte Reaktionsmechanismen	133
5.3.3	Statistische Überprüfung	135
5.3.4	Preissteigerung und Mengeneffekt	136
5.4	Kohlenstoffbilanz	138
5.4.1	Finanzielle Bewertung	142
5.5	Zur Inflation	144
5.6	Ökonomische Zielsetzung	145
6	AUSBLICK	149
<b>II ANHANG</b>		<b>153</b>
YAFO <sub>2</sub>		155
Literatur		157
Abbildungsverzeichnis		185
Tabellenverzeichnis		187
Formelverzeichnis		190
Liste aller Publikationen des Autors		191
Danksagung		193

---

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Forstbetriebe richten sich in ihrem Angebotsverhalten zum einen nach den internen betrieblichen Gegebenheiten, zum anderen nach dem äußeren Holzpreis, auch wenn ihnen bei letzterem oft ein eher träges Verhalten unterstellt wird. Reaktionen auf den Preis finden sich in der praktischen Betriebsführung oft als kurzfristige Änderung des Angebots. Geplante Hiebe werden zeitlich neu arrangiert oder eingeschlagenes Holz umsortiert. Eine Rückkopplung auf die mittel- bis langfristige Betriebsplanung (Forsteinrichtung) gibt es dabei in der Regel nicht. Mit ein Grund dafür ist die meist fehlende ökonomische Komponente in der waldbaulich dominierten Forstbetriebsplanung.

Daher versucht die vorliegende Arbeit, hier eine Brücke zu schlagen und der Betriebsplanung ein Mittel an die Hand zu geben, um die Auswirkungen von erwarteten Preisentwicklungen auf die Angebotssteuerung zu analysieren und in den konkreten betrieblichen Planungsprozess einzubinden. Dabei soll die zentrale Hypothese untersucht werden, ob Waldbesitzer auf Preisänderungen durch Änderungen des Holzangebots reagieren.

Die Arbeit gliedert sich in folgende Hauptabschnitte:

- A. Die Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungs-Modells zur Ableitung ökonomischer Zielgrößen (betriebliches Optimierungsmodell).
- B. Die Ableitung von Holzpreisszenarien, deren Verschneidung mit Naturaldaten aus einer Waldwachstumssimulation und die Anwendung innerhalb des ökonomischen Modells.
- C. Die Analyse der ökonomischen und ökologischen Folgen der sich ändernden Angebotsstruktur sowie deren Auswirkungen auf die Kohlenstoffbilanz des Gesamtsystems Forst und Holz.

An die Entwicklung des Optimierungsmodells YAFO wurden folgende Anforderungen gestellt: Entscheidungen auf Bestandes-

ebene, Flexibilität bezüglich der Betriebsgröße, Integration von naturalen und ökonomischen Risiken, Import von vorhandenen Daten aus Waldwachstumssimulatoren, Berücksichtigung von Einwuchsdaten und verschiedener Sortier- bzw. Managementvarianten. Die Umsetzung erfolgte in einer flexiblen Programmierungsumgebung (AIMMS), um eine hohe Adaptierbarkeit an Einzelprobleme zu gewährleisten. Es konnte so ein Planungswerkzeug erstellt werden, welches erstmals mit Hilfe der nicht-linearen Programmierung die Integration von naturalen und ökonomischen Risiken in die forstbetriebliche Planung auf Betriebsebene versucht. Der hierbei beschrittene Weg ermöglicht es, weitere Komponenten in die Optimierung von ökonomischen Zielgrößen einfließen zu lassen und so die forstbetriebliche Planung an komplexer werdende Ansprüche der Gesellschaft an den Wald in einer strukturierten und systematischen Weise anzupassen.

Die Entwicklung eines von der Holzbewertung abhängigen Entscheidungsmodells ermöglichte es im zweiten Schritt, entsprechend vorbereitete Daten in den betrieblichen Optimierer einspeisen zu können. Hierzu wurden – aufbauend auf der These eines ölpreisbeeinflussten Brennholzpreises – vorhandene Studien zu Rohölpreisentwicklungen ausgewertet und zu unterschiedlich starken Mittelwertscenarien einer möglichen Preisentwicklung auf dem Rohölmarkt zusammengefasst. Mit Hilfe von Kalkülen zu Wirtschaftlichkeitsgrenzpreisen sowie Regressionsmodellen zwischen den Preisen verschiedener Holzsortimente wurden daraus detaillierte, nach Baumart, Stärke und Güte gegliederte Holzpreisszenarien abgeleitet.

Als Grundlage für die naturalen Daten dienen die insgesamt 7163 Aufnahmeeckpunkte der zweiten Bundeswaldinventur, die je Wuchsgebiet und Eigentümerkategorie zu 56 Modellforstbetrieben zusammengefasst wurden. Jeder Eckpunkt wird als Einzelbestand aufgefasst. So wird ein repräsentatives Abbild der bayerischen Wälder und der forstlichen Eigentumsverhältnisse geschaffen. Dieser umfangreiche Datensatz auf Einzelstammebene wurde mit Hilfe des Waldwachstumssimulators WEHAM über einen Prognosezeitraum von 30 Jahren in Fünfjahresschritten fortgeschrieben, anschließend je Stamm mittels der Preisentwicklungsszenarien bewertet und zu Bestandesdaten aggregiert.

Anhand der darauf aufsetzenden Optimierung der Endnutzungszeitpunkte konnten folgende Erkenntnisse abgeleitet werden: Eine erwartete Preissteigerung führt im Mittel zu einem kleineren absoluten Holzangebot. Je größer die Preissteigerung, desto größer ist im Mittel der Anteil des Holzangebots für die thermische Verwertung (bzw. für geringe Qualitäten). Je größer die erwartete Preissteigerung, desto höher ist die Unsicherheit des tatsächlichen Eintretens dieses Preisszenarios und desto eher nimmt die angebotene Holzmenge über der Zeit wieder zu.

Die Integration von Risiken in die forstbetriebliche Planung erweitert durch die Berücksichtigung des Produktziels eines kontinuierlichen Holzangebots und der Sicherheitsziele Liquidität und Holzreserve das Oberziel der Gewinnmaximierung zu einem den forstlichen Nachhaltigkeitsbegriff umfassenden Zielsystem.

In einem weiteren Schritt wurden diese Ergebnisse durch die Aufstellung einer Kohlenstoffbilanz einer ökologischen Folgenabschätzung unterzogen. Dazu wurde ein Kohlenstoffmodell entwickelt, das die drei potentiellen Speichereffekte Waldspeicher, Produktspeicher und Substitutionseffekte berücksichtigt, dabei jedoch auf die übliche Betrachtung der drei Speicher als rechnerisch getrennte Senken und Quellen verzichtet, sondern die tatsächlichen, atmosphärenwirksamen Kohlenstoffflüsse einbezieht (Effektmodell). Das Gesamtergebnis der Kohlenstoffbilanz zeigte einen schwachen, statistisch nicht absicherbaren, jedoch einheitlichen Trend im Vergleich der Szenarien. Je höher der Preisanstieg über dem Betrachtungszeitraum ausfällt, desto geringer fällt die Senkenleistung bezüglich der Kohlenstoffspeicherung aus. Die Analyse der Einzeleffekte zeigte, dass dies hauptsächlich den Substitutionseffekten geschuldet ist. Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass der Waldspeicher durch die Behandlungsszenarien kaum beeinflusst wird, da die Gesamtwuchsleistung und somit der laufende jährliche Zuwachs und nicht der aktuelle Vorrat bzw. dessen Änderung für die Effektivität des Waldes als Kohlenstoffsenke verantwortlich ist. Holznutzungen führen durch die Wuchsraumregulierung zu neuem Zuwachspotential und halten somit die Senkenwirkung im Wald aufrecht. Hohe Nutzungsmengen mit möglichst großen Anteilen an stofflich verwerteten Sortimenten führen daher zu einer hohen kohlenstoffsenkenden Wirkung des Gesamtsystems.

Somit hat sich die zentrale Hypothese bestätigt, dass Waldbesitzer auf Preisänderungen sowohl durch die Änderung des Holzvolumens als auch der Sortimentsaushaltung reagieren. Ein steigender Holzpreis führt nicht automatisch zu einem steigenden Angebot an Holz, sondern kann einen ökonomisch rationalen Anbieter in einer Situation mit steigenden Preisen dazu veranlassen, sein Holz zurückzuhalten, wenn er weiter steigende Preise erwartet. Das inverse Angebotsverhalten kann also auch als Ausfluss einer Gewinnmaximierungsstrategie erfolgen und ist nicht unmittelbar mit einer möglicherweise kostendeckenden Strategie der Forstbetriebe korreliert.

Die Untersuchung müsste um ein konsistentes Marktmodell für die Nachfrageseite ergänzt werden, um eventuelle Rückkopplungseffekte der Absatzmöglichkeiten auf den Preis integrieren zu können. Dabei stellt sich jedoch das Problem der hohen Abstraktheit der neoklassischen Preis-Mengen-Marktmodelle, die aufgrund ihrer restriktiven Prämissen nur selten reale Märkte abbilden können. Eine Lösung dieser Herausforderung von Seiten der Wirtschaftswissenschaften scheint nicht in Sicht.

---

## ABSTRACT

---

The wood supply of forest enterprises on markets depends on the one hand on internal operational factors and on the other hand on market prices for timber, although it is said that reactions to the latter occur quite slowly. Operational management often reacts to price shifts by changing the short-term supply of timber: Scheduled harvests are rearranged or harvested wood is sold for other qualities. Normally, there is no feedback on the mid to long-term planning (forest management). One reason for this is that forest management is often based only on silvicultural decisions and not on economics.

On this account, the presented work tries to bridge between silvicultural forest management and economics, making the mid to long-term planning able to analyze the impacts of price developments on timber supply, and to include the results in the operational planning process. The main hypothesis is to test if forest owners react on price changes by altering the amounts of timber supplied to markets.

This thesis is divided into three main parts:

- A. The development of a decision support model to derive economic objectives (optimization model on enterprise level).
- B. The derivation of timber price scenarios, the combination of these scenarios with biophysical data from forest growth simulators, and the application within the economic model.
- C. The analysis of economic and ecological consequences of the changing timber supply and of the effects on the carbon balance of the forest-forest product system.

The following requirements were considered for the development of the optimization model YAFO: Decision rules on stand level, flexibility respective to the size of the enterprise, integration of biophysical and economic risks, import options for existing data from forest growth simulators, consideration of in-growth volumes as well as different sorting or management vari-

ants. The realization of the programming was done using the flexible development software AIMMS to create a high level of adaptability on single problems. This new planning model is the first approach able to couple biophysical and economic risks with the management decisions on stand level, using nonlinear programming techniques. The method used facilitates further components to be included in the optimization of economic objectives. This enables the planning process to be adapted in a structured and systematic way to the evermore complex demands of society on forests.

The development of a planning-support tool that depends on timber prices was followed by a second step, applying the tool on prepared data. To do so, the hypothesis that the price of energetic used timber is influenced by the oil price was used to derive price scenarios for fuelwood from literature on oil price developments for the next 30 years. Using regressions between the development of the prices of different timber grades, detailed timber price scenarios could be compiled; classified by tree species, diameter and quality.

As a data base the inventory plots of the second German federal forest inventory (Bundeswaldinventur) have been used. Hypothetical forest enterprises were constructed from these plots using each plot as a single stand. In every growth region, for each of the four types of forest owners, one model forest enterprise was established, all summing up to a total of 56 enterprises containing 7163 forest stands. This considerable data base is a representative sample of all forest and ownership types in Bavaria. The forest growth simulator WEHAM was used to predict the development of the data set over the next 30 years – on single tree level in steps of five years. Then, the biophysical data was used with the price scenarios to calculate the development of the economic value of the stands.

This economic development was then utilized by the model to optimize the point in time of the final harvests in each stand. The following results could be derived: An expected raise of the timber prices leads to a smaller amount of timber supply (on average). The more intensive the prices are raising, the higher the ratio of timber supply for thermal uses (on average). The more intensive the prices are raising, the higher the uncertainty

of this development, leading to earlier increases of the harvested timber amounts (as a development over time).

Furthermore, it was possible to show that the integration of risk aspects is able to extend beyond the main objective of maximizing the returns within a system, and thus accounts aspects such as achieving a continuous timber flow, monetary liquidity, and the maintenance of certain timber stock. Thus, this new system of objectives enfold the idea of sustainability in a better way.

The results mentioned were investigated with respect to ecological effects by calculating a carbon balance. For that reason, a carbon model was developed, that incorporates the three carbon pools: forests, forest products and substitution effects. The presented model does not consider these three pools as separate sinks and sources but focuses on the climate-relevant carbon fluxes only (effectivity model). The carbon balance in total shows a non-significant trend between the price scenarios: The more intensive the prices are raising, the smaller the sink effect of the system. An analysis of the single effects indicates that the substitution effects have a major influence on the total result. The presented study provides evidence that the forest carbon pool is not much influenced by the different management scenarios as neither the present volume nor its change, but the total production volume or the current total increment impacts the carbon sink. Because removing some trees can potentially provide remaining trees with more room to grow, timber harvests can increase the potential for higher volume increments while still maintaining the carbon sink effect of the forest. Sustainable timber harvests with high ratios of material-use log grades provide a high level of carbon sequestration over the whole system.

So, the main hypothesis was verified that forest owners react on price changes by altering both the amount of timber supply and the timber grading. It was shown that a raising timber price is not automatically followed by a raising amount of timber supplied on markets. On contrary, in such a situation a rational manager would reserve his timber for even better prices in the future, if he expects them raising further on. This is a fundamental new explanation for this reaction. That means, that this behavior is not always accompanied by a management concept of selling only as much products as needed to cover the costs. It can also be the result of a strategy of maximizing the returns.

## Abstract

This research would have to be extended by a consistent market model to cover the effects of the demands on the price. But neoclassical market models are very abstract and due to their restrictive assumptions are often not suitable for covering real market situations. Perhaps economic science will accept this challenge one day.