

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse  
**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein  
**Band:** 146 (1995)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Die Prinzipien einer multidimensionalen Optimierung der Holzerntesysteme  
**Autor:** Efthymiou, Paul N.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-766972>

### **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:** 04.02.2026

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

# Die Prinzipien einer multidimensionalen Optimierung der Holzerntesysteme<sup>1</sup>

Von Paul N. Efthymiou

*Keywords:* timber harvesting systems, timber harvesting optimization, planning of harvesting operations, work studies.

FDK 3: 66: 906: UDK 519.8

## 1. Einleitung und Problemstellung

Die Holzernte stellt einen Rohstoffgewinnungsbetrieb dar, der aber im Rahmen der Produktionswirtschaft nicht nur die Merkmale eines Sachleistungsbetriebes, sondern auch diejenigen des Dienstleistungsbetriebes aufweist (Wöhe, 1975). Die Standortabhängigkeit bzw. -gebundenheit, die charakteristische Koppelproduktion und die Abwicklung ihrer Aktivitäten zwischen einem natürlichen Waldökosystem und einem künstlichen sozio-technischen Holzwirtschaftssystem bedürfen einer komplexen und mehrschichtigen Betrachtungsweise. Bei naiver oder einfacher, unbewusster Anschauung heisst Holzernte betreiben: Holz fällen, aushalten, transportieren, lagern und verkaufen. Es wäre sehr schön, wenn das so einfach wäre. Die Realität ist aber sehr kompliziert und wird in Zukunft noch viel komplexer werden.

Ein Holzerntesystem besteht aus einer Menge von wechselwirkenden Subsystemen, Elementen und Abläufen mit verschiedenartigem Inhalt (Materialien, Informationen, Energie, Finanzierungsmittel usw.). Unsere Aufgabe ist es, die Holzerntesysteme so optimal zu gestalten oder zu strukturieren, dass sie harmonisch und hocheffizient funktionieren, oder mit anderen Worten gesagt, dass diese Systeme geplante Ziele erfüllen, um hochwertige Leistungen zu erbringen.

Von der Seite der Forstwirtschaft waren wir vor zwei oder drei Jahrzehnten sehr zufrieden, wenn wir das Holz mit einem verhältnismässig grossen kostenfreien Erlös bzw. mit entsprechend geringen Kosten einschlagen und

<sup>1</sup> Nach einem Referat, gehalten am 28. Internationalen Symposium «Mechanisierung der Waldarbeit [FORMEC '94]» in Langnau i.E., 28. August bis 2. September 1994, veranstaltet unter der Leitung von Prof. Dr. H. R. Heinimann, ETH Zürich.

verkaufen konnten. Heute ist das in vielen Fällen nicht mehr genug, denn es gibt noch viele weitere Faktoren und zusätzliche Ziele, die in Betracht gezogen werden müssen und für den Erfolg eines modernen Holzerntesystems entscheidend sind. Diese geänderte Auffassung für das Zielsystem und seinen Erfüllungsgrad beim praktischen Einsatz der Holzerntesysteme bezieht sich unmittelbar auf die Interessen der Öffentlichkeit und die Wachsamkeit für die Lebensqualität sowie für ökologische, umweltpolitische und soziale Fragen bei der Bewirtschaftung und Nutzung von natürlichen Ressourcen.

Wir befinden uns mitten in einem raschen Wandel von Lebensanschauungen, Prioritäten und Wertempfindungen bei vielen Interessengruppen, die auf die Forst- und Holzwirtschaft einen wesentlichen Druck ausüben. Viele Gruppen fordern ein Mitbestimmungsrecht bei der Gestaltung und bei Massnahmen der Waldbewirtschaftung. Manche kritisieren jeden Eingriff im Wald, und einige verlangen die Einstellung jeder Holznutzung. Wir müssen damit rechnen, dass diese Stimmen in Zukunft lauter, intensiver und politisch wirksamer werden, auch wenn vielen der Einblick in die sachlichen Zusammenhänge fehlt.

Dieser Wandel und der Druck von organisierten Gruppen auf das forstwirtschaftliche Geschehen beziehen sich ganz besonders und gezielt auf die Einflüsse des Holzerntebetriebs. Die Forstleute als Pragmatiker und Fachleute müssen entsprechend vorbereitet und mit unzweifelhaften Argumenten etwa im folgenden Sinne ausgerüstet sein:

1. Die Funktionen, die Güter, die Dienstleistungen und die Nutzungsformen der Waldökosysteme benötigen sowohl eine multidimensionale Betrachtung als auch eine dokumentierte und koordinierte Festlegung von relativen Prioritäten im Hinblick auf die raschen sozialen und wirtschaftlichen Entwicklungen.
2. Eine dauernde Wachsamkeit der Forstleute in diesem Rahmen ist notwendig.
3. Die Vielzweck-Forstwirtschaft mit dynamischer Nachhaltigkeit und Anwendung der Prinzipien der Wirtschaftlichkeit und der Gesamtqualität, sowohl bei der Holzproduktion als auch bei den «nichthölzernen» Leistungen (z.B. Erholung, Bodenschutz vor Erosion, Wasser, Jagd), setzen eine integrale (holistische) Betrachtung und Gestaltung durch die Forstverwaltung voraus (*Eleftheriadis and Efthymiou, 1988; Castle, 1993; Efthymiou, 1992a, 1992b*).

Es muss ausdrücklich betont werden, dass die Holzernte als zentrale Aufgabe der Forstbenutzung im Wirtschaftswald immer verpflichtet ist, die oben angeführten Prinzipien unbedingt zu respektieren. Das bedeutet, dass die Forstbenutzung bzw. die Holzernte – als ein Glied der Holzverwertungskette vom Baum bis zum Endprodukt – ihr eigentümliches System von Zielen und Optimierungskriterien hinter den Zielsystemen der Forstpolitik, der Forsteinrichtung und des Waldbaus anstellen soll, da diese im Vergleich zu den Ernte-

zielen eine höhere Ordnung innerhalb der gesamten Zielhierarchie der globalen Forstwirtschaftsphilosophie besitzen (*Kurt, 1972; Speidel, 1972*).

Die speziellen Ziele und Optimierungskriterien eines rationellen Forstnutzungs- bzw. Holzerntesystems sollen im folgenden parallel zu den vorhandenen Beschränkungen analysiert und diskutiert werden.

## **2. Ziele und Kriterien der Holzernte**

Ein Holzerntesystem kann, je nach dem erwünschten Detaillierungs- und Behandlungsgrad seiner Struktur, auf mehreren Subsystemen analysiert werden. Verfolgen wir den standardisierten Analyseprozess für lebende Systeme von *Miller (1978)*, dann lassen sich 19 Subsysteme erkennen, die eine eingehende Betrachtung, Steuerung und Optimierung ermöglichen. Eine einfachere Analyse, die für die Praxis ausreichend ist, stellt die Aufteilung in sieben Subsysteme nach dem österreichischen Muster der Durchforstungs-Mappe dar. Diese sieben Subsysteme gliedern sich in Stichworten wie folgt:

1. Zielsetzung
2. Umwelt, differenziert nach:
  - 2.1 Waldökosystemelementen
  - 2.2 Wirtschaftsbedingungen
  - 2.3 Sozialem (Arbeits-)Milieu
  - 2.4 Markt und Industrie
3. Input/Baumarten und Holzsorten
4. Mensch/Arbeiter
5. Betriebsmittel/Maschinen und Geräte
6. Arbeitsverfahren
7. Output, Endprodukte/Systemergebnisse

Die Symbiose und optimale Strukturierung dieser Subsysteme in einem leistungsfähigen Ganzen variiert von Fall zu Fall sehr stark; es gibt kein allgemeingültiges Rezept für eine bestmögliche Gestaltung.

Als gemeinsame Orientierungsbasis für die ganzheitliche Optimierung aller Forstnutzungs- bzw. Holzerntesysteme lassen sich die folgenden fünf Zielachsen festlegen, die ebenso als grundsätzliche Kriterien für die Evaluierung des Systemerfolgs akzeptiert werden müssten. Das sind:

1. Maximierung der Wertschöpfung
2. Minimierung der Kosten
3. Minimierung der Ökosystems Schäden
4. Ergonomische Optimierung
5. Optimale Regulierung der Wechselwirkungen und harmonische Integration des Holzerntesystems im Supersystem der örtlichen Forst- und Holzwirtschaft.

Diese Zielkomponenten müssen näher analysiert und die Probleme ihrer quantitativen Erfassung dargestellt werden.

## 2.1 Maximierung der Wertschöpfung

Die Wertschöpfung eines Forstnutzungssystems kann nach *Steinlin* (1972) folgendermassen formuliert werden:

$$\text{Wertschöpfung} = W_H + W_N + W_Z + W_A + W_D - (W_V + W_M)$$

wobei:

$W_H$  = Wert der Holznutzung

$W_N$  = Wert der Nebennutzungen

$W_Z$  = Wert des nicht genutzten Zuwachses

$W_A$  = Wert der ausbezahlten Löhne

$W_D$  = Wert der Dienstleistungen

$W_V$  = Wert der Vorleistungen Dritter

$W_M$  = Wertverminderung von Anlagen

Diese Gleichung besagt praktisch, was sich jeder Forstmann immer vor Augen halten müsste, denn sie stellt die Zielfunktion für jeden Forstbetrieb wie auch die allgemeingültige Leitlinie einer zeitgemässen Forstpolitik dar. Erste Aufgabe ist die relative Abwägung der einzelnen Komponenten. Auf Grund dieser vergleichenden Abwägung können konkrete Prioritäten für den Stellenwert jeder Nutzungsform des Waldes abgeleitet werden. Die Holznutzung kann in einem abgelegenen Wirtschaftswald die absolut höchste Priorität haben. Das ist aber nicht der Fall beispielsweise in einem Stadt- oder Erholungswald, in Ballungszentren oder in einer ausgesprochen gefährdeten Gebirgslandschaft mit Wildbach- und Lawinenproblemen, wo die Dienstleistungs- und die Schutzfunktionen einen höheren Wert ( $W_D$ ) aufweisen.

Der Wert der Holznutzung kann wesentlich erhöht werden, wenn zunächst die Maximierung des Gebrauchswertes der ausgehaltenen Holzsortimente angestrebt wird. Die optimale Einteilung und Ausformung des Rohholzes im Wald oder auf dem Holzhof auf Grund von Optimierungsmodellen, ebenso die Kanalisierung der Sortimente in die bestmögliche Veredelungsbranche durch eine zielgerichtete Vermarktung bzw. vertikale Integration mit der Holzindustrie schaffen die Voraussetzungen für bessere Preise und Betriebserfolg (*Steinlin*, 1968; *Dietz*, 1974 und 1976; *Efthymiou*, 1976, 1980 und 1989; *Becker*, 1985).

In die Wertschöpfungsmaximierung einbezogen werden auch die Komponenten der Vorleistungen Dritter ( $W_V$ ) und der Wertverminderung des Anlagegutes ( $W_M$ ), die minimal gehalten werden müssen. Es kommt aber noch eine

Komponente mit positivem Zeichen in die Wertschöpfungsformel, nämlich der Wert der ausbezahlten Löhne ( $W_A$ ), den wir bei allen Holzerntesystemen unter allen möglichen Umständen zu minimieren oder sogar zu eliminieren versuchen. Das grosse Problem der Lohnsteigerung und der erhöhten Lohnnebenkosten im westeuropäischen Raum ist uns allen wohl bekannt.

Der Zwang zu Wettbewerbsfähigkeit in der Rohstoffgewinnung bei höheren Kosten und stagnierenden Preisen braucht wohl kaum speziell erwähnt zu werden.

Im Zusammenhang mit einer multidimensionalen Optimierung sollen noch zwei vielleicht provokative Gedanken zur Diskussion gestellt werden:

1. Eines der grössten Probleme der europäischen Volkswirtschaften (Ost und West), aber auch der dritten Welt, ist die erhöhte Arbeitslosigkeit. Die Europäische Union hat zur Zeit 23 Millionen Arbeitslose, die entsprechendes Arbeitslosengeld beziehen, ohne etwas zu produzieren. Die Lage in der dritten Welt ist noch schlimmer, weil dort der Misere-Index – die Summe der Arbeitslosenquote und der Inflationsrate – gefährlich hoch ist.
2. Das Konzept der japanischen Volkswirtschaft umfasst unter anderem auch die Total-Beschäftigung, obwohl der Misere-Index und die übrigen Wirtschaftskennzahlen als die besten auf der Welt erscheinen.

Die Frage lautet nun: Können wir auch im europäischen Raum etwas in dieser Richtung tun, d.h. mit einem gewissen Umdenken bei den Wert- und Kostenvorstellungen und beim Entwurf von Arbeitsverfahren; oder ist das vollkommen unmöglich wegen der vorhandenen (wirtschaftlichen) Gegebenheiten, die sich vielleicht einer weitgehenden Umstellung widersetzen? Jedenfalls: viele Arbeitslose könnten etwas Positiveres leisten.

## *2.2 Minimierung der Kosten*

Die Kostenstelle der Holzernte ist im Normalfall die grösste bei den Betriebsabrechnungsbogen (BAB) der Forstbetriebe, und die Stückkosten üben besonders beim Schwachholz einen entscheidenden Einfluss auf die Vermarktungsmöglichkeiten des Holzes aus. Deshalb stand bei allen Forstleuten immer das Interesse für Kostensenkung durch Erhöhung der Arbeitsproduktivität mit rationellen Arbeitsverfahren, neuen Maschinen und Geräten im Vordergrund. Man könnte sogar behaupten, dass bei der Rationalisierung der Holzerntesysteme die Kostenfrage bis vor einigen Jahren fast das ausschliessliche Kriterium für die Bewertung und Auswahl der Arbeitsverfahren war.

Niemand kann die grosse Bedeutung und Gewichtung der Kostenminimierung bei der Holzernte bezweifeln. Diese hohe Priorität innerhalb der Forstnutzungsziele muss auch in Zukunft respektiert werden. Aber diese

Kostenminimierung kann nicht mehr als einziges oder als allererstes und wichtigstes Kriterium des Erfolges eines Holzerntesystems aufgefasst oder festgelegt werden. Es kann sein, dass ein Holzernteverfahren mit minimalen Kosten überhaupt keine Chance für den praktischen Einsatz hat, weil es sehr grosse Schäden am verbleibenden Bestand und am Boden verursacht und/oder wegen der Gefährdung der Gesundheit bzw. der sehr hohen Beanspruchung der Waldarbeiter ausgeschlossen werden muss.

Man weiss in Deutschland schon seit Jahren, dass die Beurteilung der Arbeitsverfahren nicht nur unter dem Gesichtspunkt der Kosten, sondern auch parallel dazu unter den Gesichtspunkten des Waldbaus, der Ökologie, der Ergonomie, der Organisation und der Wirtschaftlichkeit evaluiert und verglichen werden müssen (*Dummel und Branz 1986, KWF 1988 und KWF/AFZ 1992*).

Im Bereich der Kostenkalkulation werden bis jetzt viele Annahmen und Hypothesen gemacht in bezug auf Betriebsstundenzahl, Abschreibungszeitraum, Ausnutzungsgrad usw., die durch organisatorische und institutionelle Massnahmen (z.B. horizontale und vertikale Integration) wesentlich beeinflusst werden können. Dies alles zwingt zu einer bestmöglichen Einsatzplanung für Arbeitsmittel und Verfahren und zur Angabe der Kosten unter verschiedenen Einsatzbedingungen. Ein Holzhof oder ein Harvester können bei 1000 Betriebsstunden/Jahr als kostspielig erscheinen. Bei der doppelten Auslastung pro Jahr bei guter Arbeitsorganisation könnten diese jedoch zu sehr positiven Ergebnissen bzw. zu einem Kostenminimum führen.

Andererseits müssen die konventionellen Planungs- und Steuerungsverfahren allmählich durch moderne computerunterstützte Mittel und Prozesse verstärkt werden, denn diese bieten viele und dynamischere Möglichkeiten für die Konfrontation mit komplexen Einsatzbedingungen. Im Rahmen dieser Entwicklung sollte man besonders vorsichtig sein und zunächst die notwendige personelle und fachliche Infrastruktur vorbereiten. Es ist doch allgemein bekannt, dass manchmal die neue Technologie völlig sinnlos oder sogar mit einer zusätzlichen Kostenbelastung vorzeitig angewandt wird. Der Computer macht viele und gute Rechnungen sehr schnell, aber erst, wenn er mit vielen und zuverlässigen Informationen gespeist wird. Die Erfahrung und die Entscheidungsgewandtheit guter Forstleute können auf keinen Fall durch einen Computer ersetzt werden. Nur die Kombination führt zu positiven Ergebnissen. Ein gutes Beispiel optimaler Kombination ist die Kostenermittlung mit Hilfe der Simulationstechnik, die uns über mehrere hundert Programmschleifen Ergebnisse für eine Unzahl von Konstellationen der Arbeitssysteme zur Verfügung stellt. Damit können die Realisierungschancen rasch abgeschätzt und die praktikabelste Lösung (Optimum) gewählt werden.

### 2.3 Minimierung der Ökosystems Schäden

Ein Holzerntesystem operiert immer in einem Waldökosystem, das sich durch Vielfalt, Komplexität und Gesetzmässigkeiten auszeichnet. Ein natürliches Waldökosystem wird als dynamische, integrale Lebensgemeinschaft mit vielen einmaligen Wechselwirkungen zwischen ihren verschiedenartigen Elementen betrachtet, und diese Wechselwirkungen zwischen den Elementen bestimmen zum Teil in einer mysteriösen Art und Weise ihre ständige Entwicklung über Raum und Zeit.

Die totale Zerstörung oder Vernichtung von grossen Waldflächen auf der ganzen Welt, das Waldsterben in vielen Industrieländern, die Umweltverschlechterung und die grosse Abhängigkeit der Lebensqualität von den Waldökosystemen haben in den letzten Jahrzehnten zu einer weitverbreiteten Bewegung der menschlichen Gesellschaften zur Rettung oder zum Schutz der übriggebliebenen Wälder geführt.

Die wichtigsten Schäden, die von einem Holzerntesystem verursacht und deshalb als kritisch empfunden werden, sind die folgenden:

- Holznutzung auf grossflächigen Kahlschlägen, die auf jeden Fall eine Zerstörung der Biodiversität wie auch eine beträchtliche Störung der Mikro- und Makrofauna zur Folge hat. Auch im Gebirgswald schafft dies viele Probleme in bezug auf Bodenerosion, Wildbach- und Lawinengefahren, abgesehen von der optischen Landschafts- und Erholungsbeeinträchtigung.
- Einsatz von schweren Maschinen in den Waldbeständen (Schlagorten), die Baum- und Wurzelschäden hervorrufen und durch die Bodenverdichtung zu einer oft irreversiblen Standortsdegradierung und beträchtlichen Zuwachsverminderung am Rande der Rückegassen führen.
- Vollbaumnutzung, die zu einer substantiellen Bonitätsverschlechterung führt, wegen des Entzugs von Nährstoffen, die besonders reichhaltig in den kleinen Ästen und Zweigen und in der Krone vorhanden sind (*Meng 1978, Krapfenbauer 1983, Grammel 1988, Alifrangis/Tsiontsis/Efthymiou 1994* usw.).

Die Waldschäden sind zu einem grossen Problem der modernen Holzerntetechnik geworden. Die vielen Untersuchungen, Veröffentlichungen und Spezialveranstaltungen der letzten Jahrzehnte müssen ernsthaft berücksichtigt werden. Die negativen Einwirkungen der Holzerntesysteme auf Baumbestand und Standort können nicht mehr in Zweifel gezogen werden, aber sie variieren von Fall zu Fall sehr stark, wie es beim Seminar FORSITRISK der Joint Committee FAO/ECE/ILO in Feldafing/München im Sommer 1994 zum Ausdruck gekommen ist. Die Diskussion der Schlussergebnisse bei der FORSITRISK-Tagung hat gezeigt, dass die genaue Erfassung, Quantifizierung und Bewertung dieser vielfältigen und wechselwirkenden Waldschäden ein grosses praktisches und wissenschaftliches Problem für die Zukunft darstellt.

Jedenfalls kann man nicht mehr von einer optimalen Gestaltung der Holz-erntesysteme sprechen, ohne die jeweiligen Ökosystems Schäden zu berücksichtigen und zu versuchen, sie auf ein akzeptables Minimum zu beschränken. Es wird erwartet, dass der Druck der Öffentlichkeit in dieser Hinsicht viel grösser wird. Wir als Forstleute müssen vorbereitet sein, um den Reaktionen entgegenzutreten zu können. Es besteht die Gefahr, dass noch viele Stimmen für ein Aussetzen der Holzgewinnungsarbeiten laut werden. Dafür benötigen wir schon jetzt eine gut organisierte Öffentlichkeitsarbeit. Parallel dazu müssen wir uns systematisch um die Eliminierung der Waldschäden kümmern.

## 2.4 Ergonomische Optimierung

Bei jedem Holzerntesystem spielt der Faktor Mensch die dominierende Rolle, entweder als Handarbeiter oder als Maschinenführer. Die Waldarbeit und besonders die Holzerntearbeit gilt als eine der schwersten und gefährlichsten Tätigkeiten. Dies beweisen Energieverbrauch, Pulsfrequenz, hohe Arbeitsunfallquote und Arbeitsschwere unter den wechselnden Witterungsbedingungen im freien Gelände ganz deutlich. Die Unfallquote bei der Holzernte beträgt um 65 bis 80 % aller Waldarbeitsunfälle. In den USA haben die fatalen Unfälle bei der Holzernte die höchste Rate von 347 Berufen (*Grammel 1978, Efthymiou 1983 und 1989, Rehschuh et al. 1984, Löffler 1988*). Zusätzlich müssen auch die grossen Probleme von Berufskrankheiten durch Lärm, Vibration (an Händen und Armen sowie am ganzen Körper) und Abgase, die wiederum am meisten bei der Holzernte auftreten, mitberücksichtigt werden.

Das alles besagt, dass die angemessene Betrachtung der ergonomischen Prinzipien für einen sicheren und rationell gestalteten Arbeitsplatz im Walde besonders beachtet werden muss. Die Neuentwicklungen von Forstmaschinen und Geräten, die Schutzkleidung und Ausrüstung der Waldarbeiter haben zu einer im Vergleich mit dem Zustand vor zwei bis drei Jahrzehnten wesentlich verbesserten Situation geführt.

Die Automation und die Robotertechnik werden in der Holzernte noch ziemlich wenig eingesetzt. Das bedeutet weiterhin den Zwang zu schwerer Hand- und Maschinenarbeit bei der Holzernte, besonders im Gebirgswald. In diesem Zusammenhang sollten auch die Wohnverhältnisse, die Ausbildung, der Berufsstatus, die psychologische Situation und das Verhältnis zwischen Holzerntearbeiter und Forstverwaltung bzw. Waldeigentümer berücksichtigt werden.

Der Einsatz von neuen Maschinen und Arbeitsverfahren setzt eine sehr gute Vorbereitung der Waldarbeiter voraus, und zwar in bezug auf Lohngestaltung, Training und Arbeitssicherheit. Nur mit einer integrierten und zweckmässigen Infrastruktur kann ein Holzerntesystem optimal operieren. Die geeignete Menschenführung kann die Jobidentifikation und die Arbeits-

zufriedenheit fördern und führt des weiteren zu einer erhöhten Leistungsförderung und zum gesamthaften Betriebserfolg. Die Anschaffung und der Einsatz einer neuen Maschine mit hohem Leistungspotential verspricht keinen Betriebserfolg, wenn der Rationalisierungsprozess die Waldarbeiterschaft nicht genug vorbereitet hat oder wenn überhaupt deren enthusiastische Unterstützung für Innovationen nicht gewährleistet oder gewonnen wurde.

Bei den hochmechanisierten Holzerntesystemen ist ein Übergang vom Stücklohn zum Zeitlohn festzustellen, was natürlich zu einem Nachlass der Leistungsbereitschaft führen könnte. Die Erfahrungen aus Schweden nach der Lohnformänderung sind gut bekannt. Demzufolge sind aktive und gut motivierte Waldarbeiter wichtig (Steinlin und Grammel 1967, Duffner 1993). Die Arbeitermotivation kann viele Hindernisse bei neuen Arbeitsverfahren beseitigen.

## *2.5 Harmonische Integration im Supersystem*

Jedes Holzerntesystem ist ein offenes Produktionssystem mit allen typischen Merkmalen, mit vielen Wechselwirkungen und mit charakteristischen «feedback»-Schleifen im kybernetischen Sinne, sowohl mit Systemelementen der Umgebung wie auch zwischen seinen eigenen. Die Regulierung dieser Wechselwirkungen, besonders im Spannungsraum zwischen Forst- und Holzwirtschaft, sollte so optimal gestaltet werden, dass die Einbettung des Holzerntesystems als ein beispielhaftes und harmonisches Integrationsstück empfunden wird.

Es wurde schon darauf hingewiesen, dass das Waldökosystem bestimmte negative bzw. kurzfristig wirkende Einflüsse tolerieren kann. Andererseits können gewisse Rationalisierungsmassnahmen und Operationen mit Gewinn für beide Marktpartner auf das Gelände eines Holzhofs oder der Holzindustrie übertragen werden. Ein anderes Beispiel stellt die zeitliche Planung und Durchführung der Rohholzbereitstellung auf eine mengen- und qualitätsmässige Liquidierungskontrolle dar, die die kontinuierliche Belieferung der örtlichen Holzindustrien mit frischem Holz gewährleistet, ohne Vorratsbildung, ohne Kapitalbindung, d.h. immer auf die Entwicklung des Fertigproduktabsatzes ausgerichtet.

Die System-Synergie und die synergetischen Effekte (nach denen zwei und zwei mehr als vier sind) verlangen diese Abstimmung und Koordination der Systemelemente im weitesten Sinne, die zu einer harmonischen Systemintegration und weiter automatisch zu der höchsten Systemeffizienz und zum Erfolg führen. Auf diese Art und Weise setzt die Optimierung des Holzerntesystems die synergetische Koordination aller Systemkomponenten voraus, oder wie man in Griechenland oft sagt: «Alles muss wie eine Schweizer Uhr funktionieren, damit man Erfolg hat.» Dieser Einigkeits- und Integrationssinn muss auch beim Optimierungsprozess dominieren.

### 3. Grenzen der Optimierung

Die Optimierung als Methode und Planungsprozess von komplexen Sachverhalten stützt sich auf die Logik, die Mathematik und die Systemforschung. Als Voraussetzung benötigt man konkrete Informationen und, soweit möglich, zuverlässige Zahlen, die die Realität widerspiegeln. Das methodologische Rüstzeug existiert seit langer Zeit, das grosse Problem ist aber der Mangel an Informationen und Zahlen.

Die Zufallsvariablen, die Systemelemente und die Wechselwirkungen, von denen wir vorher so viel gesprochen haben, lassen sich nur zum Teil in quantitativer Form eindeutig ausdrücken. Dies impliziert, dass viele Sachverhalte und Variablen entweder völlig unbekannt sind oder sich nur in verbaler Form beschreiben lassen. Das Problem der Quantifizierungsschwäche beeinflusst die zuverlässige, integrierte und isomorphe Abbildung der Realität in einem rechenbaren mathematischen Modell. Demzufolge macht man oft gekoppelte Teilmodelle und Kompromisse in bezug auf die Isomorphie und Genauigkeit der Modellbildung. Der Modellbildner muss Bescheid wissen, welches die Grenzen, die Lücken und die Spannweite seiner Modellrechnung sind, d.h. er muss seine Ergebnisse richtig auswerten und interpretieren.

In der Forstwirtschaft gibt es viele Sachverhalte und Variablen mit ausgesprochen stochastischem Charakter, und die Verteilung oder Dichtefunktionen sind bisher sehr wenig erforscht worden. Ein Vorschlag wäre, diese Zufallsvariablen so viel als möglich zu studieren, damit wir über genaue zahlenförmige Angaben verfügen, und zwar nicht nur für einen einzigen Fall, sondern für alle wichtigen oder interessanten Zustände. Die Faktoren, die völlig unbedeutend sind, kann man ausser acht lassen, denn sie spielen keine Rolle bei einer Systemstudie.

Ein weiteres Problem nach jenem der Quantifizierung ist der Bedarf nach einem homogenen Ausdruck der Einheiten bei Bewertungsprozessen mit verschiedenartigen Sachverhalten und Variablen. Bei einer multidimensionalen Optimierung oder konventionellen Evaluierung möchte man gerne die Prioritäten und den Stellenwert jeder Dimension (Wertschöpfung, Kosten, Waldschäden, Ergonomie, Organisation usw.) auf den gleichen Nenner bringen. Eine objektive Daten-Homogenisierung könnte die Addierbarkeit der diversen Resultate und den Systemvergleich wesentlich erleichtern. Bei der Evaluierung von Systemen ist es üblich, alle möglichen Variablen in monetären Einheiten auszudrücken. Das ist aber nicht so einfach und treffsicher für den Fall, wo völlig verschiedenartige Sachverhalte verglichen werden müssen, zum Beispiel Baumschäden, Bodenerosion, Zuwachsverminderung, Betriebskosten, Körperbeanspruchung oder Energieverbrauch bei Waldarbeitern. Der Vergleich von zwei verschiedenen Subsystemen gleicher Art kann paarweise stattfinden. Das Problem besteht zwischen Gross-Systemen und beim relativen Stellenwert der Entscheidungsdimensionen im gleichen System.

Ein guter Ansatz bietet sich mit der Anwendung der Nutzwertanalyse ohne Einheiten der Zielwerte und mit einer subjektiven Bewertung der einzelnen Zielwerte wie auch der vorgegebenen Gewichte (*Daenzer 1986, Voelkner 1992*). Diese Methode lässt sich zu einer objektiveren Evaluierung entwickeln, wenn die Bewertungsmatrix von mehreren Experten separat ausgefüllt wird und dieses Angabenmaterial mit Methoden der mathematischen Statistik ausgewertet wird. Somit können die System-Momente und die Zuverlässigkeit der Evaluierung abgesichert werden (*Efthymiou 1984a und 1984b*).

In diesem Rahmen sollte erwähnt werden, dass die Bewertung von mehreren Variablen und Sachverhalten, besonders im Bereich der Dienstleistungen und der ökologischen Parameter der Forstwirtschaft, sehr viele Schwierigkeiten bereitet. Aus diesem Grund müssen wir uns alle mit methodologischen Fragen der Evaluierung und der ganzheitlichen Optimierung in der Forstwirtschaft viel intensiver beschäftigen. Dann werden wir viel konkreter, mit zahlenmässigen Argumenten und somit viel überzeugender in der Öffentlichkeit auftreten. Nur auf diese Art und Weise können wir erwarten, dass die Forst- und Holzwirtschaft mehr bewusste Unterstützung und Freunde im breiten Publikum und in den Entscheidungsinstanzen finden wird. Die Zukunft wird zeigen, wie nützlich und notwendig diese Unterstützung sein kann.

## **Zusammenfassung**

Die Holzerntesysteme spielen eine entscheidende Rolle im Rahmen der zeitgemässen Forstwirtschaft. Ein Holzerntesystem hat sehr viel Einfluss auf die regionale Forst- und Holzwirtschaft. Deshalb wird erwartet, dass es in der bestmöglichen Form und Leistungsfähigkeit gestaltet wird. Zu diesem Zweck muss eine multidimensionale und ganzheitliche Optimierung angestrebt werden.

Abgesehen von der dynamischen Nachhaltigkeit, der Vielzweck-Forstwirtschaft, der Wirtschaftlichkeit und der Gesamtqualität, die als dominante Prinzipien immer respektiert werden müssen, hat ein Holzerntesystem noch die Aufgabe, bestimmte eigene Ziele zu verfolgen und soweit wie möglich zu erfüllen. Diese Ziele können folgendermassen formuliert werden:

1. Maximierung der Wertschöpfung
2. Minimierung der Kosten
3. Minimierung der Ökosystemschäden
4. Ergonomische Optimierung
5. Harmonische Integration durch optimale Regulierung der Wechselwirkungen im Supersystem der regionalen Forst- und Holzwirtschaft.

Aus der Diskussion dieser Prinzipien und Ziele, die mit einer mathematischen System-Modellierung und Computeranwendung kombiniert werden sollten, zeigt sich die entscheidende Problematik der Datenerhebung und -auswertung. Für eine solche

ganzheitliche Annäherung und Optimierung von Holzerntesystemen sind die notwendigen Methoden der Systemforschung verfügbar, aber es gibt grosse Probleme in bezug auf die Quantifizierung und Homogenisierung von mehreren wichtigen Einflussfaktoren und -variablen. Diese Probleme lassen sich zum Teil mit der entwickelten bzw. der mathematisch-statistisch abgesicherten Version der Nutzwertanalyse beseitigen.

Schliesslich wird festgestellt, dass in der Forstwirtschaft ein grosser Mangel existiert, nämlich im Bereich der Evaluierungsmethoden, die in Zukunft wesentlich weiter ausgearbeitet und verbessert werden müssen.

## **Résumé**

### **Les principes d'une optimisation multidimensionnelle des systèmes de récolte du bois**

Les systèmes de récolte du bois ont un rôle crucial dans le cadre d'une économie forestière moderne. Un système de récolte du bois a une influence importante sur l'économie forestière et celle du bois d'une région. Pour cette raison, un système de récolte du bois doit être conçu de telle manière qu'il ait la meilleure forme et la plus grande capacité productive possible. Afin d'atteindre cet objectif, il est nécessaire d'aspirer à une optimisation multidimensionnelle et globale.

En dehors du rendement soutenu, d'une économie forestière à buts multiples, de la rentabilité et de la qualité globale, qui doivent être toujours respectés, un système de récolte du bois a en outre la tâche de poursuivre et de remplir aussi bien que possible ses propres objectifs. Ces objectifs peuvent être formulés de la manière suivante:

- maximalisation de la création de valeurs
- minimalisation des coûts
- minimalisation des dégâts à l'écosystème
- optimisation ergonomique
- intégration harmonieuse par une régulation optimale des interactions dans le système de l'économie forestière et du bois d'une région.

La discussion de ces principes et de ces objectifs, qui devraient être combinés par un système mathématique de modélisation et par un procédé informatisé, démontre la problématique cruciale du relevé et du traitement des données. Pour une telle approche et optimisation globale de systèmes de récolte du bois, les méthodes nécessaires de recherche sont disponibles, mais il se présente de grands problèmes dans la quantification et homogénéisation de plusieurs paramètres. Ces problèmes peuvent être en partie éliminés par l'application d'une version propre à l'auteur de l'analyse de la valeur d'usage.

Finalement, l'auteur constate qu'en économie forestière existe une grande lacune dans le domaine des méthodes d'évaluation. Ces méthodes doivent être dans l'avenir substantiellement mises au point et améliorées.

*E. Burlet*

- Alifrangis, D., A. Tsiontsis and P. Efthymiou, 1994. Impacts of harvesting oak and pine biomass on the nutrient balance of forest ecosystems. Paper presented at the meeting of the Concerted Action (EU-CA): «Cost Effective Early Thinnings» on Environmental Consequences. Feldafing-Pöcking, München 4–8 July 1994.
- Becker, G., 1985. Forstbenutzung: Forschung an der Nahtstelle zwischen Forstwirtschaft und Holzwirtschaft. *Forstarchiv* 56: 147–152.
- Castle, E. N., 1993. A pluralistic, pragmatic and evolutionary approach to natural resource management. *Forest Ecology and Management* 56: 279–295.
- Daenzer, W. (Hrsg.), 1986. *Systems Engineering*. 3. Aufl. Betriebswiss. Institut, ETH Zürich.
- Dietz, P., 1974. Die Holzernte als betriebswirtschaftliches, technisches und organisatorisches Problem. *Forstarchiv* 45 (6): 97–103.
- Dietz, P., 1976. Optimale Verwertung von Nadelstreifholz – Beispiel einer gesamthaften Lösung von Problemen der Forstbenutzung. Beiheft, Z. Schweiz. Forstverein – Festschrift A. Kurt Nr. 57, S. 309–317.
- Duffner, W., 1993. Wandlungen in der forstlichen Arbeitswelt. Thesen zur Exkursion der österreichischen und bayerischen Arbeitgeber der Land- und Forstwirtschaft. Fürst Thurn und Taxis, 22. Oktober 1993.
- Dummel, K und H. Branz, 1986. *Holzernteverfahren*. Bundesminist. ELF-Reihe A; H. 333. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, 205 S.
- Eleftheriadis, N. and P. Efthymiou, 1988. An integrated development program for Greek forestry. *J. of Environm. Management* 26: 179–190.
- Efthymiou, P. N., 1976. Systemforschung in der Forstbenutzung. Diss., Univ. Freiburg i. Br., 348 S.
- Efthymiou, P. N., 1980. Koordination zwischen Forst- und Holzwirtschaft. Tagung «Wald-Holzwirtschaft», Sonderausgabe *Geotechnika* S. 62–65, Thessaloniki (Griech.).
- Efthymiou, P. N., 1983. Zur Humanisierung der Forstnutzungssysteme aus griechischer Sicht, FAO/ECE/ILO – Seminar «Ergonomie in der Forstwirtschaft» 17.–21. Oktober 1983, Wien und Ossiach, S. 63–69.
- Efthymiou, P. N., 1984a. An approach for the integrated comparison of wood harvesting and utilization systems. *Balkan Sci. Congress Proc. Vol. II*: 288–301, Sofia, 18–23 June 1984.
- Efthymiou, P. N., 1984b. Who should utilize the state forests of Greece. *Proc. Internat. Conference IUFRO-Div. 4: «Policy Analysis for Forestry Development» Vol. I*: 223–246, Thessaloniki, 27–31 August 1984.
- Efthymiou, P. N., 1989. Ergonomic problems and accidents in mountain logging of Greece. Invited paper at the FAO/ECE/ILO – Seminar «Mechanization of harvesting operations in mountainous terrain» R. 10, 14p, Antalya-Turkey, 20–24 November 1989.
- Efthymiou, P. N., 1992a. Trends in Forest Utilization. *Geotechn. Sci. Issues* 3 (1): 17–24.
- Efthymiou, P. N., 1992b. The lack of infrastructure leads to the underdevelopment of forest operations. *Proc. Greek Forest Science Congress «Research and Practice in Greek Forestry»* p. 262–270. Kalamata, 4–6 March 1992 (griechisch).
- Gammel, R., 1978. *Forstliche Arbeitslehre*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Gammel, R., 1988. *Holzernte und Holztransport*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 242 S.
- Krapfenbauer, A., 1983. Von der Streunutzung zur Ganzbaumnutzung. *Cbl. für das ges. Forstwesen* 100 (2/3): 148–174.
- Kurt, A., 1972. Forstpolitik und forstliche Forschung Griechenlands, Projekt UNSF/FAO /GRE 20, Zürich, 93 S.
- KWF, 1988. *Waldpflege: Investition für die Zukunft – Tagungsführer zur 10. KWF-Tagung 1988 in Heilbronn*. Gross-Umstadt, 207 S.
- KWF/AFZ (Hrsg.) 1992. *Waldarbeit im Umbruch. Tagungsführer zur 11. KWF-Tagung 1992 in Koblenz*. Gross-Umstadt, 133 S.
- Löffler, H., 1988. *Arbeitswissenschaft für Studierende der Forstwissenschaft*. Univ. München, 352 S.
- Meng, W., 1978. Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte. Diss., Univ. Freiburg i. Br.
- Miller, J. G., 1978. *Living Systems*. McGraw-Hill Book Co. New York, 1102 p.
- Rehschuh, D. et al., 1984. Unfallursachenforschung zur Erhöhung der Arbeitssicherheit in der Forstwirtschaft. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und KWF-Forschungsbericht Nr. 384, Dortmund, 279 S.

- Speidel, G.*, 1972. Planung im Forstbetrieb. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Steinlin, H.*, 1968. Forst und Holz – heute und morgen. Holz-Zentralblatt 94 (87): 1259–1261.
- Steinlin, H.*, 1972. Vorlesung Forstliche Arbeitslehre. Univ. Freiburg i. Br.
- Steinlin, H.*, und *Gammel, R.*, 1967. Grundfragen der Mechanisierung. Forst- und Holzwirt 22 (22): 1–5.
- Voelkner, J.*, 1992. Planungsmethoden in Verwaltung und Wirtschaft, 2. Aufl. Walhalla und Praetoria Verlag, Regensburg, 233 S.
- Wöhe, G.*, 1975. Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. 11. Aufl. Verlag Franz Vahlen, München, 1086 S.

*Autor:* Prof. Dr. Paul N. Efthymiou, Institut für Forstbenutzung, Aristoteles-Universität, POB 227, GR-54006 Thessaloniki, Griechenland.