

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 127 (1976)
Heft: 6

Artikel: Holzernte und Umweltschutz - ein unlösbarer Konflikt?
Autor: Höfle, H.H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-765260>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

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

Holzernte und Umweltschutz — ein unlösbarer Konflikt?

Von *H. H. Höfle*, Zürich¹

Oxf.: 31 : 907.1

1. Begriff und Probleme des Umweltschutzes

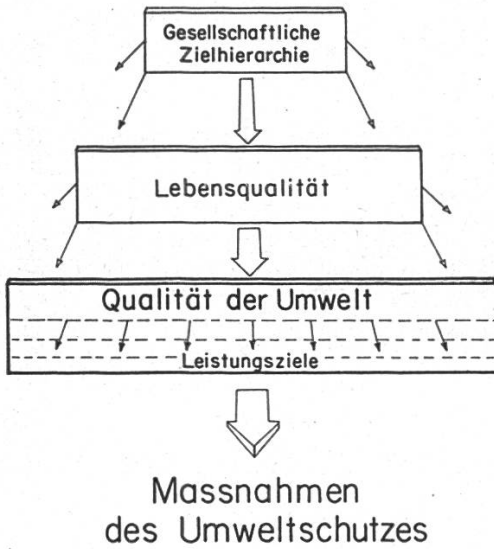
Der Mensch ist Nutzniesser — und Bestandteil — seiner natürlichen Umwelt, das heisst vieler miteinander in vielfältiger Weise verbundener Ökosysteme; er beeinflusst diese Ökosysteme und nutzt sie für seine Zwecke, ist andererseits aber ihren Gesetzmässigkeiten, Möglichkeiten und Grenzen unterworfen.

Seit kurzem kann der Mensch auf lokaler, regionaler und globaler Ebene in die Umwelt in einem Masse eingreifen, dass der Bestand vieler Ökosysteme und sogar des menschlichen Lebens selbst gefährdet ist. Demzufolge ist es nicht verwunderlich, dass die Begriffe der Umweltpflege und des Umweltschutzes heute so aktuell sind.

Den Begriff des Umweltschutzes können wir interpretieren als die Gesamtheit aller Anstrengungen, die uns umgebenden Ökosysteme in einen solchen Zustand zu bringen oder darin zu erhalten, dass das — lokale, regionale oder globale — ökologische Gleichgewicht erhalten bleibt, ein menschenwürdiges Dasein möglich ist und die darüber hinausgehenden Ziele der Gesellschaft hinsichtlich der Qualität des Lebens (*Müller*, 1975) erreicht werden:

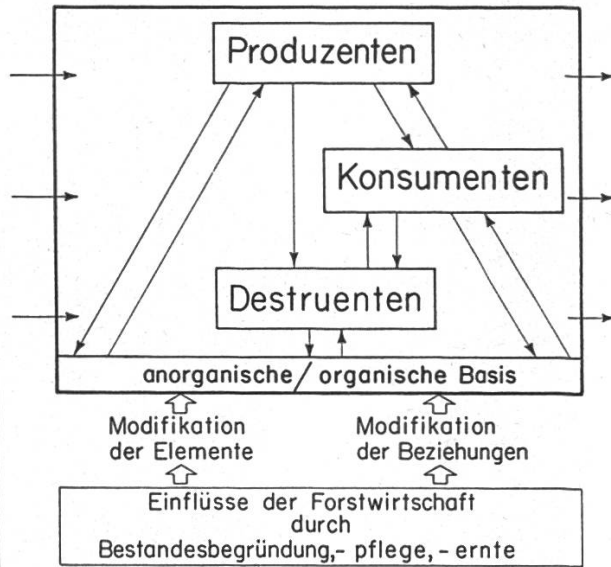
- Somit ist Umweltschutz nicht ein isoliertes Anliegen, sondern Teil unserer Bemühungen, Mittel, um eine bestimmte Qualität des menschlichen Lebens zu erhalten oder zu erlangen (Abbildung 1).
- Ausmass und Form des Umweltschutzes hängen vom jeweiligen Wertesystem der Gesellschaft und vom jeweiligen Stand des Wissens ab.
- Unabhängig davon gibt es aber gewisse Grenzwerte, die wegen der Gesetzmässigkeiten der Natur auf alle Fälle zu erreichen oder einzuhalten

¹ Antrittsvorlesung am 24. 11. 1975.



1

Ökosysteme und Forstwirtschaft



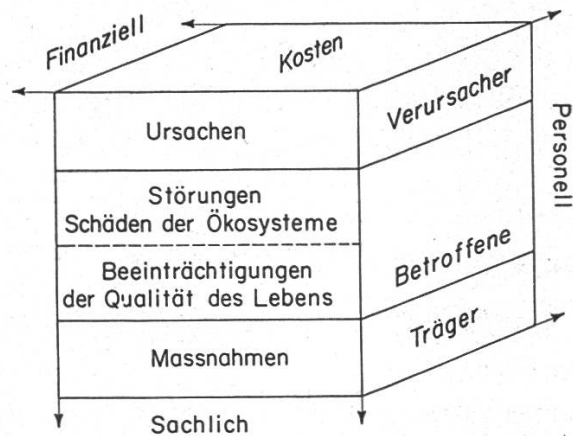
2

Ziele des Umweltschutzes

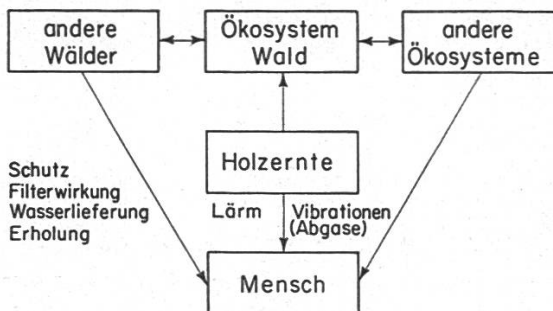
U M W I T S C H U T	Verminderung des Rohstoffbedarfs
	Reduktion des Energieverbrauchs
	Abfallwiederverwertung (recycling)
	Verminderung der Umweltbelastung
	Erhaltung der Stabilität der Ökosysteme

3

Systembetrachtung von Holzernte und Umweltschutz

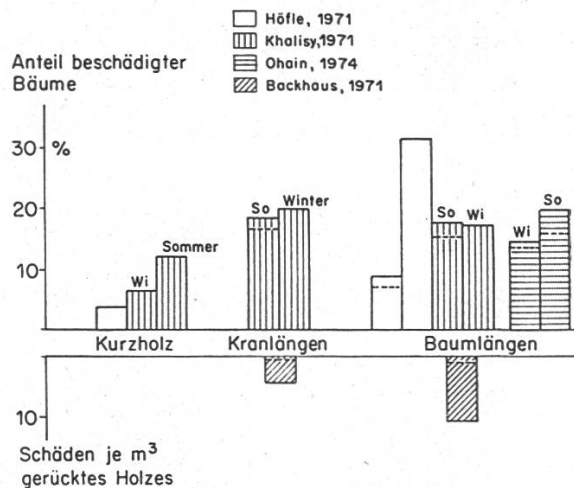


4



6
374

Anteil der beim Rücken verletzten Bäume



7

sind (zum Beispiel Stickstoffgehalt der Flüsse und Seen, CO₂-Gehalt der Atmosphäre).

Schon aus diesen Bemerkungen lassen sich die Probleme des Umweltschutzes ableiten:

- Die Gesellschaft ist sich nicht darüber einig, welche Ziele der Lebensqualität und des Umweltschutzes angestrebt werden sollen. Zielkonflikte sind weder in ihrem vollen Ausmass erkannt, noch sind sie gelöst, noch sind die Ziele für den Umweltschutz operational definiert.
- Wir stehen einer Fülle von Ökosystemen gegenüber, über deren Aufbau, Funktion, Stabilität oder Wechselwirkungen wir noch viel zu wenig wissen. Besonders begrenzt sind unsere Kenntnisse über die quantitativen Zusammenhänge und über die Reaktionen der Ökosysteme auf die menschliche Beeinflussung — zumal dann, wenn diese Einflüsse nicht der natürlichen Art entsprechen oder deren Ausmass übersteigen.
- Dazu kommt, dass die Methoden zur Messung von Störungen der Ökosysteme noch nicht weit genug entwickelt sind.
- Die Bewertung der Belastungen der Umwelt mit monetären oder anderen ökonomischen Massstäben (Nutzen) ist problematisch und steht erst am Anfang — um so mehr, als die Belastungen in der Regel nur für *einen* Teil der Gesellschaft Nachteile, für den *anderen* dagegen Vorteile darstellen (Beispiel: externe oder soziale Kosten).
- Wegen der fehlenden Einblicke und der unzureichenden Quantifizierbarkeit ist es vielfach schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, die optimalen Massnahmen des Umweltschutzes zu bestimmen.
- Schliesslich sind Massnahmen des Umweltschutzes mit Kosten, üblicherweise auch mit Eingriffen in die bisher genossene Freiheit verbunden.

Sollen wir angesichts dieser Probleme resignieren und im Bereich des Umweltschutzes untätig bleiben? Im Gegenteil: gerade weil die Gefahren nur teilweise bekannt sind, sich miteinander verbinden und exponentiell wachsen, ist erhöhte Aufmerksamkeit angebracht. Zudem genügt unser Wissen durchaus, um bereits *die* Massnahmen einzuleiten, die auf keinen Fall länger aufzuschieben sind. Dies am Beispiel der Holzernte zu erläutern, ist Ziel der folgenden Ausführungen.

2. Forstwirtschaft, Holzernte und Umweltschutz — eine Systembetrachtung

Der Beitrag der Forstwirtschaft zur Wiederherstellung, Erhaltung und Steigerung der Lebensqualität umfasst die Leistungen des Waldes, die vielfach mit Begriffen wie «Wohlfahrtswirkungen, Sozial- und Erholungsfunktion oder Infrastrukturleistungen des Waldes» umschrieben werden. Neben der Lieferung von Holz und Wild dient der Wald dem Schutz vor Erosionen,

Lawinen, Steinschlag und Wind, er filtert die Luft von Staub, Immissionen und Lärm, er liefert Wasser in guter Qualität und günstiger zeitlicher Verteilung, gibt Sauerstoff an die Atmosphäre ab, beeinflusst das Klima, ermöglicht die Erholung durch Ruhe und Bewegung und bereichert die Landschaft durch sein blosses Vorhandensein, durch Abwechslung und Anblicke, die dem ästhetischen Anspruch des Menschen genügen.

Aufgabe der Forstwirtschaft ist nun, den Wald, oder besser: das Ökosystem Wald so zu beeinflussen, dass die eben genannten Bedürfnisse der menschlichen Gesellschaft an den Wald befriedigt werden. Die Elemente eines Ökosystems, die organische und anorganische Basis, die Produzenten, Konsumenten und Destruenten (Abbildung 2), sind durch ein komplexes Netz von Kreisläufen miteinander verbunden (Nährstoffkreislauf, Wasserkreislauf, Nahrungsketten usw.). Die forstliche Tätigkeit modifiziert diese Kreisläufe, beispielsweise durch die Verjüngung von Beständen, die Begünstigung bestimmter Baumarten oder die Bearbeitung des Bodens, und sie unterbricht sie, zum Beispiel durch die Entnahme von Holz.

Dass im Rahmen der Forstwirtschaft in die Ökosysteme eingegriffen, dass also Holz entnommen werden muss, gehört nicht nur zur Zielerfüllung im Bereich der Holzproduktion, sondern es ist eine gesicherte Erkenntnis, dass die Ansprüche der Gesellschaft an den Wald nur durch eine geordnete Forstwirtschaft, das heisst durch gepflegte Wälder erfüllt werden können und damit auch durch Wälder, in denen Holz geerntet wird.

Die Holzernte, die Entnahme des Holzes aus den Kreisläufen des Ökosystems Wald, ist nun aber so durchzuführen, dass keine Störung des Ökosystems entsteht und dass die Befriedigung der Ansprüche der Gesellschaft an den Wald nicht beeinträchtigt wird. Diese Forderungen stimmen zumindest mit einem Teil der möglichen Ziele für den Umweltschutz (Abbildung 3) überein, und es ist zu erwarten, dass die Probleme, die für den Umweltschutz im allgemeinen aufgezeigt wurden, auch im Bereich der Holzernte auftreten. Ihre Lösung setzt eine systematische Untersuchung von Holzernte und Umweltschutz voraus.

Diese Untersuchung erfolgt am besten auf sachlicher, personeller und finanzieller Ebene (Abbildung 4).

Auf der sachlichen Ebene werden die von der Holzernte ausgelösten Beeinträchtigungen der vom Walde geforderten Leistungen für die Gesellschaft und die ihnen zugrunde liegenden Störungen der Ökosysteme untersucht. Zugleich ist dabei zu zeigen, wie diese Beeinträchtigungen und Störungen gemessen werden können: direkt, wie bei der Verschmutzung oder Eutrophierung des Wassers, oder indirekt, mit Hilfe von — biologischen — Indikatoren wie bei der Untersuchung der Stabilität von Ökosystemen mit Hilfe der Artenvielfalt. Die Kenntnis der Störungen der Ökosysteme erlaubt die Bestimmung der Störungsursachen. Aufgrund dieser Informationen kön-

nen schliesslich die Massnahmen gesucht werden, durch die sich die Störungen der Ökosysteme vermeiden oder beheben lassen.

Auf der personellen Ebene sind die Verursacher der Störungen festzustellen, die von der Störung Betroffenen und schliesslich der Personenkreis, der für die Durchführung der Korrekturmassnahmen und für die Übernahme der Kosten verantwortlich ist.

Auf der dritten Ebene werden die finanziellen Auswirkungen der Störungen und Beeinträchtigungen und die Kosten der Korrekturmassnahmen erfasst. Zu unterscheiden sind also die Ursache, die Störung (oder die Belastung) des Ökosystems und schliesslich die Auswirkung dieser Störung, das heisst die Beeinträchtigung der Erfüllung der Ziele der Gesellschaft für die Qualität des Lebens. Diese Untergliederung zeigt bereits die Ansatzpunkte für den Umweltschutz auf, dessen Mittel darin bestehen, dass

- die Ursachen ausgeschaltet,
- die Störungen behoben oder
- die Beeinträchtigungen selbst korrigiert werden.

Zugleich ist durch diese Betrachtungsweise der potentielle Konflikt aufgezeigt: die Gesellschaft erwartet von der Forstwirtschaft, vom Wald, Beiträge zur Qualität des Lebens; die Holzernte kann diese Beiträge beeinträchtigen.

3. Beeinträchtigungen der Lebensqualität durch die Holzernte

3.1 Überblick

Zunächst können durch die Aktivitäten der Holzernte die Vielfalt, Stabilität und Selbstregulierungsfähigkeit der Ökosysteme des Waldes beeinträchtigt, wenn nicht sogar ausgeschaltet werden. Als Indikatoren können folgende Störungen der Ökosysteme dienen:

- der Verlust bestimmter Holzarten, weil sie entweder genutzt werden (dies ist dann allerdings eine Entscheidung, die nicht oder nicht nur im Bereich der Holzernte getroffen wird), sich nicht mehr verjüngen (weil der Boden zu sehr geschädigt ist) oder weil die vorhandene Verjüngung aufgrund von Nährstoffverlusten, Bodenverdichtungen und Rückeschäden im Wachstum zurückbleibt oder abstirbt
- die Verminderung der Stabilität — genauer: der Standfestigkeit — des Waldes, weil er entweder durch die Holzernte (durch Rückegassen oder geometrische Eingriffe im Zuge der Durchforstung) in seinem Gefüge gelockert wird oder weil der gegenseitige Deckungsschutz von Beständen durch plötzliche Kahlschläge beseitigt wird
- Holzfäule (zum Beispiel Rotfäule) als Folge von Rückeschäden: sie erhöht die Katastrophenanfälligkeit des Waldes (Abetz, 1970) und vermindert oder beseitigt dessen Schutzfunktion

- Zuwachsverluste: sie verringern die Produktion an Biomasse, was dazu führt, dass die bereits skizzierten (Nährstoff-)Kreisläufe auf einem niedrigeren Niveau ablaufen oder gestoppt werden.

(Verschiedene Ursachen können die Zuwachsverluste hervorrufen und — neben der Messung des Zuwachses selbst — als Indikatoren für bereits eingetretene oder zu erwartende Zuwachsverluste herangezogen werden:

- Bodenverdichtungen
 - Beschädigungen von Wurzeln und Stämmen
 - Absterben der Wurzeln
 - Nährstoffentzug durch die Entnahme von mehr Biomasse, als den Standorten zugemutet werden kann [durch Ganzbaumnutzung, Herstellung von «green chips»]
 - Reduktion der produzierenden (Bestandes-)Fläche durch überbreite Rückegassen und überstarke Eingriffe)
- Nährstoffentzug: Bisher wird bei der Holzernte das Nutz-, Industrie- und Brennholz entnommen. In zunehmendem Umfang wird heute jedoch auch die Entnahme der Äste, des Feinreisigs, der Blätter und Nadeln, ja sogar der unterirdischen Baumteile (Stock und Wurzeln) diskutiert und praktiziert.

Diese Störungen des Ökosystems Wald wirken sich in so unterschiedlicher Weise aus, dass wir wegen unseres begrenzten Wissens über die Ökosysteme und deren Dynamik weder die Konsequenzen in vollem Umfang kennen noch in der Lage sind, sie mit der erwünschten Genauigkeit zu quantifizieren. Um so grössere Vorsicht ist angesichts dieser Wissenslücken bei der Holzernte geboten.

Die übrigen Beeinträchtigungen (Abbildung 5) entsprechen direkten Schmälerungen oder Verlusten der erwünschten Leistungen des Waldes:

- Erosion, verursacht durch Fahrspuren und Freilegen des Mineralbodens als Folge des Rückens oder durch Schlagabraum, der Bachbette blockiert und die Bäche zwingt, sich neue Wege zu suchen
- Verluste der Filterwirkung, beispielsweise gegen Lärm
- rascherer und grösserer Wasserabfluss nach Kahlschlägen oder als Folge der Bodenverdichtung bei der Holzbringung mit zu schweren Maschinen oder unter ungünstigen Witterungsbedingungen
- Verschmutzung des Wassers durch Sedimente, Öl oder Insektizide. Als Ursache davon kommen in Frage:
 - Kahlschläge und Holzbringung
 - Einsatz von Maschinen
 - Begiftung des Holzes

- Eutrophierung des Wassers, vor allem mit Stickstoff und Phosphor, als Folge von Kahlschlägen oder als Folge des Verbrennens von Schlagabraum
- Störung der Erholung durch den Einsatz von Maschinen (besonders von Motorsägen)
- Behinderung der Bewegungsfreiheit im Walde durch die Holzernte selbst und durch den Schlagabraum, der nach der Holzernte verbleibt
- Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Kahlschläge, Strassenbau und Massnahmen der Feinerschliessung (Maschinenwege)

Schliesslich sind die Gefahren für die Gesundheit zu nennen, die den Arbeitern, die bei der Holzernte tätig sind, durch den Lärm, die Vibrationen und die Abgase der eingesetzten Maschinen drohen.

Abbildung 5.

<i>Beiträge des Waldes</i>	<i>Beeinträchtigungen</i>	<i>Störungen</i>	<i>Ursachen</i>	<i>Massnahmen</i>
Holz	Zuwachsverlust Wertverlust	Stamm- und Wurzelschäden	Holzbringung	andere Maschinen oder Verfahren
Wild Schutz (vor Erosion, Stein- schlag und Lawinen, Wind)	Verlust der Stabilität des Waldes Erosion	Wurzel- und Stammfäule Nährstoffentzug Fahrspuren	Holzbringung Ganzbaumnutzung	siehe oben Begrenzung
Filterwirkung	Verminderung		Grosskahlschläge	Begrenzung
Wasserlieferung	rascherer Abfluss Verschmutzung	Bodenverdichtung Sedimente	Holzbringung Erschliessung	siehe oben andere Bauweise
Erholung	Lärm		Arbeit mit Maschinen	Begrenzung
Landschaftsbild	Änderung Abgase Vibrationen Lärm		Grosskahlschläge Maschineneinsatz	Begrenzung Begrenzung

3.2 *Ausmass der Beeinträchtigungen*

3.2.1 *Beeinträchtigungen von geringer Bedeutung*

In den Vereinigten Staaten wird die Störung des Landschaftsbildes durch grossflächige, schematische Kahlschläge angeprangert. In Norwegen wird die Behinderung des Skilanglaufs durch Fahrzeugspuren und Holzpolter gerügt. In Kanada wird der Lärm von Holzerntemaschinen an Seen, die der Erholung dienen sollen, als Belästigung bekämpft. In Mitteleuropa sind diese Beeinträchtigungen dagegen unbedeutend, zumal da sie durch geeignete Massnahmen (Grösse, Form und Lage der Kahlschläge, Zeitpunkt und Ort der Holzernte) leicht vermieden werden können. In ähnlicher Weise kann der Verlust der Filterwirkung von vornherein ausgeschaltet werden.

3.2.2 Lärm, Vibrationen und Abgase

Lärm, Vibrationen und Luftverschmutzung durch die Holzernte sind Wirkungen, die den Menschen direkt (Abbildung 6) und nicht erst auf dem Umweg über die Leistungen des Waldes oder benachbarter Ökosysteme treffen. Sie zu untersuchen ist Aufgabe der Arbeitswissenschaft und gehört im weitesten Sinne zur Präventivmedizin, die ihrerseits als wichtiges Glied in den Anstrengungen um den Schutz der Umwelt zu betrachten ist. Dass die schädigenden Wirkungen dieser Einflüsse nicht unterschätzt werden dürfen, mögen zwei Hinweise zeigen:

- in der Bundesrepublik Deutschland wird befürchtet, dass die Lärmschwerhörigkeit in kurzer Zeit die Staublunge vom Platz der häufigsten Berufskrankheit verdrängen wird
- in Kanada (*Myles et al.*, 1971; *Howell*, 1974) — ich beziehe mich zwangsläufig auf eine kanadische Untersuchung, weil eine ähnlich umfassende Arbeit in Mitteleuropa bisher nicht vorliegt — wurde festgestellt, dass etwa die Hälfte aller im Walde eingesetzten Maschinen — Motorsägen, Schlepper, Fällmaschinen, Aufarbeitungsmaschinen, Lader und Lastkraftwagen — die zulässigen Lärmgrenzwerte überschritten und die Anwendung von Schutzmassnahmen erforderlich machte.

3.2.3 Rückeschäden und ihre Folgen

Rückeschäden sind ein altes Problem von Holzernte und Waldbau, wenn man bedenkt, wie viele Schäden beim Reisten des Holzes — der Bringung des Holzes am Hang mit Hilfe der Schwerkraft — entstanden und noch entstehen. Das Problem der Rückeschäden wurde daher relativ früh erkannt und untersucht. Allerdings beschränken sich die gesicherten Erkenntnisse vornehmlich auf die Zahl, Grösse und Ursache von Rückeverletzungen, während das Wissen über deren weitere Entwicklung noch sehr begrenzt ist, zum Beispiel darüber:

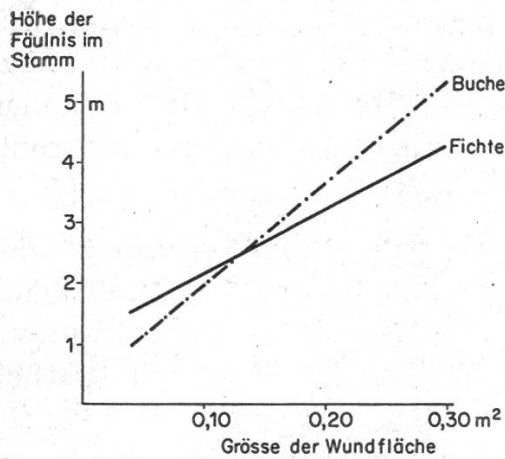
- ob sie zu Stammfäule führen
- wie rasch sich die Stammfäule im Stamm und im Wurzelwerk ausbreitet
- welche Zuwachsverluste dadurch entstehen
- in welcher Weise die Bäume geschwächt werden, so dass sie nicht nur im Zuwachs nachlassen, sondern darüber hinaus absterben — Lücken im Bestandesgefüge hinterlassend und die Stabilität des Bestandes herabsetzend.

Deshalb ist auch unsicher, auf welche Höhe die gesamten Wertverluste beziffert werden müssen.

Nach zahlreichen Untersuchungen (*Backhaus*, 1971; *Hölfe*, 1971; *Kärkkäinen*, 1969; *Khalisy*, 1971; *Ohain*, 1974) werden beim Rückevorgang in Durchforstungsbeständen in Abhängigkeit von verschiedenen Variablen wie

Wundflächengrösse und Fäulnisentwicklung

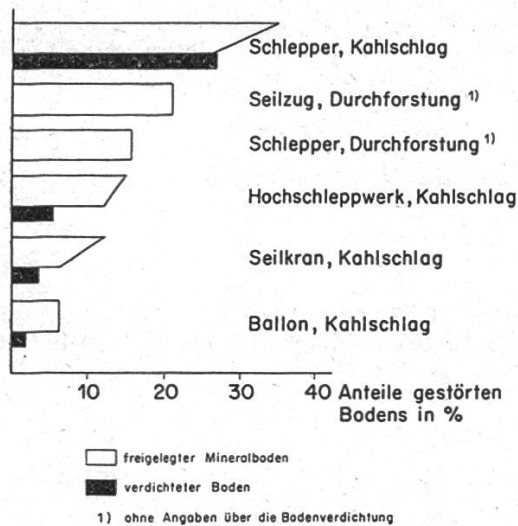
(nach RONAY, 1969)



8

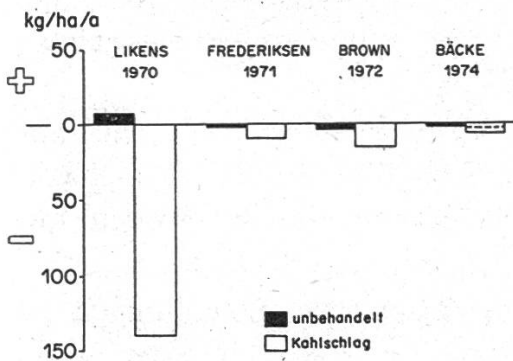
Rückverfahren und Bodenstörungen

(nach RICE et al, 1972)



10

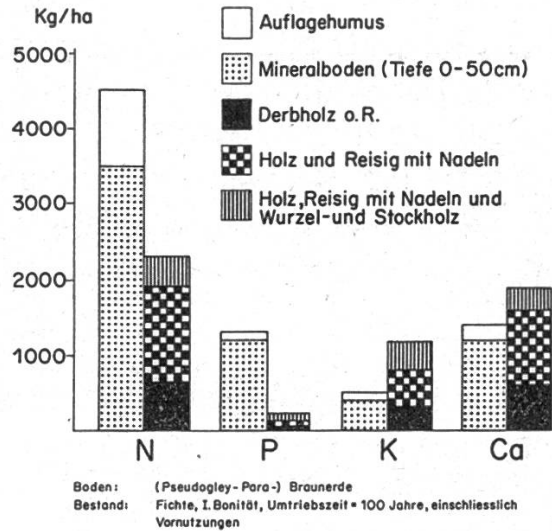
Nährstoffauswaschung nach Kahlschlag



12

Nährstoffentzug bei unterschiedlicher Nutzungsart

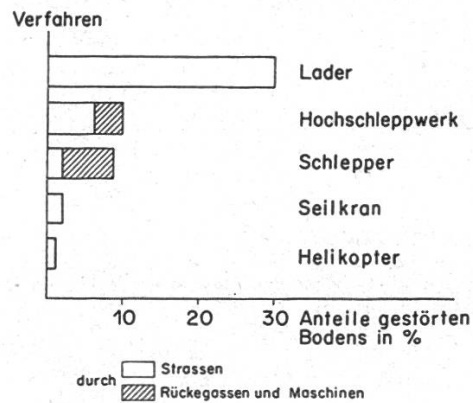
(nach Ulrich 1971)



9

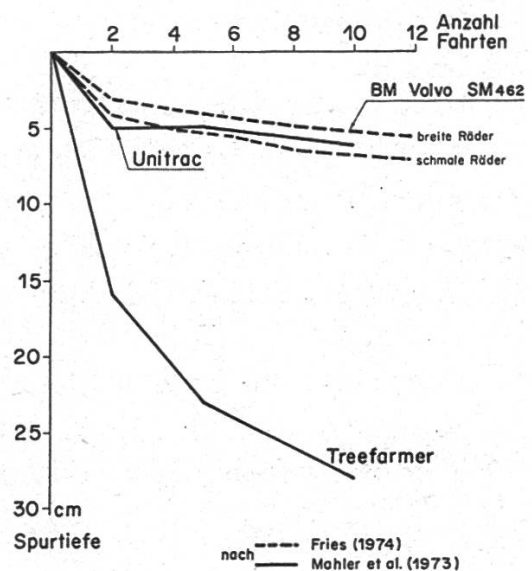
Bodenstörungen durch Strassen und Maschinenwege bei verschiedenen Rückverfahren

(nach RICE et al. 1972)



11

Spurtiefe in Abhängigkeit von der Zahl der Fahrten



13

Bestandesalter, Jahreszeit, Holzlänge, Rückeverfahren, Schlagordnung und Feinerschliessung zwischen 2 und 30 Prozent der verbleibenden Bäume beschädigt. Dabei können die Schäden zum Beispiel mit zunehmender Holzlänge auf ein Vielfaches gegenüber Holz von ein oder zwei Metern Länge ansteigen, oder sie können im Sommer zwei bis achtmal so gross und zahlreich sein wie im Winter (Abbildung 7).

Über die möglichen Ursachen — nicht aber über das Ausmass — des Zuwachsrückgangs durch Holzfäule (Rotfäule, in diesem Zusammenhang allerdings Kernfäule) berichten *Sinner* und *Rehfuess* (1971). Das Aufsteigen der Fäule im Stamm in Abhängigkeit von der Zeit ist bisher nur spärlich untersucht (von *Pechmann*, 1974; *Schönhar*, 1975), während *Ronay* (1969) darüber in Abhängigkeit von der Grösse der Wundflächen Ergebnisse vorlegte (Abbildung 8).

Ansätze zu einer Bewertung der Schäden, die durch das Rücken verursacht werden, finden sich nur vereinzelt (*Backhaus*, 1971; *Ronay*, 1969; *Eichenberger*, 1973). So schätzt *Kato* (1969) die Schäden, die durch Holzfäule entstehen, am Beispiel des Staatswaldes von Niedersachsen auf 52 D-Mark je Jahr und Hektar. Nach seiner Ansicht sind davon nur etwa 10 D-Mark je Jahr und Hektar auf Rückeverletzungen zurückzuführen. Doch bereits dieser Beitrag zeigt, dass Rückeverletzungen ein ernst zu nehmendes Problem sind.

3.2.4 Zuwachsverluste

Über die Zuwachsverluste als Folge der Holzernte ist relativ wenig bekannt:

- Nachgewiesen ist, dass bei Rückegassen und Maschinenwegen, die nicht mehr als 4 bis 5 m breit sind, der Zuwachsausfall auf den Gassen durch den höheren Zuwachs der Randbäume an den Gassen ausgeglichen wird.
- *Agren* hat unter schwedischen Bedingungen festgestellt, dass in der Nähe von Rückegassen dadurch ein Zuwachsverlust in beträchtlicher Höhe entsteht, weil ein grosser Teil der Wurzeln beim Rückevorgang oder als Folge desselben abgetötet wird. *Heden* (1969) konnte dagegen — ebenfalls in Schweden — keinen Zuwachsrückgang feststellen.
- *Fries* (1975) differenziert die Ergebnisse insofern, als er bei Fichte auf Böden mit geringer Tragfähigkeit Zuwachsausfälle in der Nähe von Rückegassen feststellte, nicht dagegen bei Kiefer, die auf Böden mit guter Tragfähigkeit wuchs.
- *Hatchell* et al. (1970) kommen unter amerikanischen Bedingungen zu dem Schluss, dass bei Kiefern nur dann Zuwachsverluste eintreten, wenn Fahrspuren an mehr als zwei Seiten eines Baumes vorbeiführen.
- Ausserdem stellten sie fest, dass die Verjüngung in den Fahrspuren gegenüber Bäumen auf ungestörten Flächen im Wachstum zurückblieb.

In Mitteleuropa fehlen bisher vergleichbare Untersuchungen, noch sind das Ausmass der Zuwachsverluste und deren Folgen für die Nettoprimärproduktion des Ökosystems und für die Holzproduktion im ökonomischen Sinne bekannt. Zu vermuten ist jedoch, dass

- auch in Mitteleuropa auf empfindlichen Böden Zuwachsverluste eintreten können;
- die Verluste auf stabilen, tragfähigen Böden dagegen vernachlässigbar gering bleiben.

Besser wäre allerdings, wenn wir die Zuwachsverluste in Abhängigkeit von Holzart, Bodentyp, Bodenstörung und anderen Variablen voraussagen könnten.

3.2.5 Nährstoffentzug durch Kahlschlag und Ganzbaumnutzung

Gegenüber der traditionellen Form der Nutzung (Derbholz — das sind alle Stammteile und Äste mit einem grösseren Durchmesser als 7 cm — mit oder ohne Rinde) steigt der Nährstoffentzug bei Ganzbaumnutzung auf das Zwei- bis Dreifache an (Abbildung 9). Im Boden ist zwar in der Regel ein Mehrfaches dieser Entzugsmengen vorhanden, doch ist davon nur ein geringer Teil für die Pflanzen verfügbar. Daher besteht schon bei der traditionellen Form der Nutzung die Gefahr, dass äusserst empfindlichen Böden mehr Nährstoffe entzogen werden, als der Nachlieferung aus der Gesteinsverwitterung, der Mineralisation des verbleibenden organischen Materials, den Niederschlägen und der Zufuhr mit dem Hangwasser entspricht. Durch Ganzbaumnutzung kann diese Gefahr erheblich vergrössert werden.

Nach Berechnungen und Versuchen in Mitteleuropa (*Ulrich, 1971; Krapfenbauer, 1973*), Skandinavien (*Tamm, 1969*) und Nordamerika (*Weetman and Webber, 1972; Boyle and Ek, 1972; Boyle et al., 1974*) entstehen durch diesen Nährstoffentzug auf guten Standorten keine Versorgungsprobleme. Dagegen ist auf armen Standorten, auf denen die Nachlieferung der Nährstoffe wegen zu grosser Trockenheit oder Feuchtigkeit gehemmt ist, damit zu rechnen, dass eines der wichtigen Nährelemente (Stickstoff, Phosphor, Magnesium, Kalium oder Calcium) ins Minimum gerät und dadurch das Wachstum verlangsamt.

Diese Berechnungen sind geringfügig zu differenzieren hinsichtlich eines gewissen Ausgleichs für die Zufuhr von Nährstoffen durch Niederschläge und seitlichen Wasserzug oder aber hinsichtlich noch grösserer Entzugsmengen, wenn bei der Holzernte (zum Beispiel bei der Holzbringung) auch ein Teil des Auflagehumus entfernt wird. (Zudem ist aufgrund der heutigen Untersuchungsmethoden nicht bekannt, welcher Anteil der im Boden gespeicherten Nährstoffe tatsächlich pflanzenverfügbar ist.)

Wesentlich wichtiger wäre jedoch zu wissen, welche Erntemassnahmen den verschiedenen Standorten ohne Beeinträchtigung ihrer Ertragsfähigkeit zugemutet werden können. Hierüber fehlen zum heutigen Zeitpunkt noch

die grundlegenden Kenntnisse und Untersuchungen — und es stellt sich die Aufgabe für die boden- und standortkundliche Forschung, der Weiterentwicklung der Holzernte vorausseilend die wichtigsten Informationen zu erarbeiten und bereitzustellen.

3.2.6 Erosion

Die Erosion, die durch die Holzernte verursacht wird, lässt sich durch die Variation der Sedimentführung in Wassereinzugsgebieten, in denen Holz genutzt wird, entweder direkt messen, oder man versucht, den Anteil des Mineralbodens, der bei der Holzernte an Steilhängen freigelegt wird, als Indikator für die eingetretene oder die potentielle Erosionsgefahr zu nehmen. (Dieser Indikator ist jedoch nicht unbedingt aussagefähig, weil nicht jede Freilegung von Mineralboden zwangsläufig zu Erosion führen muss. Vielmehr kann die Erosion durch die festgefügte Bodenstruktur, das aufliegende Streu- und Astmaterial, den Bodenbewuchs am Rande der freigelegten Stellen, mangelnde Niederschläge oder andere Faktoren verhindert werden.) Andererseits kann der Indikator jedoch zur Beurteilung von Holzernteverfahren hinsichtlich ihrer Gefährdung herangezogen werden.

Nach amerikanischen und kanadischen Untersuchungen wurden die in Abbildung 10 dargestellten Werte an freigelegtem Mineralboden erreicht. In verschiedenen Experimenten wurde ausserdem nachgewiesen, dass die Sedimentführung der Gewässer nach Kahlschlägen zunächst anstieg und dann allmählich wieder in den Bereich der Ausgangswerte oder geringfügig höherer Beträge zurückkehrte.

Im übrigen weisen *Rice et al.* (1973) darauf hin, dass der Bau von Waldstrassen und Maschinenwegen wesentlich mehr (um ein bis zwei Zehnerpotenzen) zur Erosion beiträgt, als die Holzernte (Einschlag und Rücken) selbst (Abbildung 11).

Schliesslich stellen sie fest, dass die meisten Untersuchungen ein überzeichnetes Bild der Erosionsgefährdung geben, weil sich die Untersuchungen auf die Problemgebiete konzentrierten. Unter stabilen Gelände- und Bodenverhältnissen, bei zweckmässiger Anlage und Linienführung der Strassen und Maschinenwege und bei vorsichtiger und sachverständiger Durchführung der Holzernte erwarten sie in der Regel dagegen keine negativen Effekte.

Auch hier mussten wieder nordamerikanische Untersuchungen herangezogen werden, weil in Mitteleuropa keine konkreten Arbeiten vorliegen. Ein Grund dafür könnte sein, dass uns bisher vergleichbare Forschungsmöglichkeiten fehlen oder dass dieses Problem übersehen wurde. Wahrscheinlicher erscheint dagegen, dass häufig relativ stabile Verhältnisse vorliegen und dass man sich bei der Holzernte in labilen, erosionsgefährdeten Gebieten darum bemüht hat, Kahlschläge zu vermeiden, sorgfältig zu arbeiten und

keine Ansatzpunkte für die Erosion zu schaffen. Ausserdem werden blossgelegte Flächen durch Bäume oder andere Pflanzen auf natürlichem oder künstlichem Wege rasch wieder bestockt.

Diesen Feststellungen dürften auch die Befürchtungen und negativen Beispiele kaum widersprechen, die manchmal zum Knickschleppereinsatz im Gebirge gemacht wurden. Andererseits mahnen diese Beispiele aber dazu, dass auch hier Wachsamkeit geboten ist und dass den Anfängen der Gefahr gewehrt werden muss.

3.2.7 Wasserdargebot, -verschmutzung und -euthrophierung

Durch Kahlschläge und durch starke Eingriffe in die Bestände ergibt sich ein rascherer und grösserer Oberflächenabfluss des Wassers (nach *Bormann et al.*, 1967, zum Beispiel um 20 bis 30 Prozent). Eine nennenswerte Wirkung wird bei Durchforstungen jedoch erst erzielt, wenn 20 bis 30, eventuell sogar mehr als 50 Prozent des Holzvorrates entnommen werden. Diese Wirkung kann in Wäldern mit dem Ziel, einen maximalen Wasserertrag zu erwirtschaften, durchaus erwünscht sein. Normalerweise sind so drastische Eingriffe unter unseren Verhältnissen aber auf so kleine Flächen beschränkt, dass die negativen Effekte nicht ins Gewicht fallen. Im übrigen hält der Mehrabfluss bei Kahlschlag nur solange an, bis die Bodenflora und der Folgebestand wiederum als bedeutende Wasserkonsumenten auftreten.

Zur Steigerung der Abflussmengen tragen im übrigen auch Strassen und Maschinenwege bei, und zwar durch den Oberflächenabfluss, die Konzentration des Wassers in Gräben und an Durchlässen und durch die Unterbrechung des Hangwasserzugs. Diese Einflüsse sind bis heute allerdings kaum untersucht (*Megahan*, 1972; *Tischendorf*, 1974).

Wichtiger ist die Verschmutzung des Wassers. Über die Zunahme der Sedimentführung durch Erosion wurde bereits berichtet. Sie kann gelegentlich über die für Trinkwasser erlaubten Grenzwerte hinausgehen.

Das für die Maschinen verwendete Öl ist eine weitere potentielle Gefahrenquelle. *Thofern* (1962) konnte feststellen, dass geringe Ölmengen vom Boden ohne Schwierigkeiten absorbiert wurden. Allerdings sind die Verhältnisse — nach der Weiterentwicklung der Hydraulikanlagen und der grösseren Ölmengen in den Maschinen — heute kritischer zu beurteilen. Trotzdem kann diese Gefahr in den Wäldern Mitteleuropas als sehr gering betrachtet werden.

In zunehmendem Masse wird Holz in Rinde verkauft. Wenn es nicht rechtzeitig aus dem Wald abtransportiert wird, muss es gegen Pilz- und/oder Insektenbefall eventuell mit Fungiziden oder Insektiziden geschützt werden. Diese Bekämpfungsmassnahmen sind aber im Walde — dies muss mit allem Nachdruck festgestellt werden — und gerade bei der Holzernte wegen des geringen Umfangs und wegen der Form der verwendeten Mittel gering.

Trotzdem haben bereits viele Forstbetriebe freiwillig oder gemäss Verordnung auf die Anwendung dieser Mittel verzichtet.

Über kritische Wasserverschmutzungen durch die Lagerung von — unbegiftetem — Holz in Rinde im Wasser oder unter Berieselungsanlagen ist bisher nichts bekannt. Selbst die grossen Holzlager, die nach der Sturmkatastrophe in Niedersachsen im Jahre 1972 angelegt wurden, führten nach den bisherigen Erfahrungen zu keiner nennenswerten Beeinträchtigung der (Grund-)Wasserqualität. Über Wasserverschmutzungen durch Rindenkonzentrationen wurde nur ganz vereinzelt berichtet (*Hanson*, 1971).

Die Auswaschung von Nährstoffen als Folge von Kahlschlägen wurde im Zusammenhang mit den Nährstoffverlusten bereits erwähnt. *Likens* et al. (1970) ermittelten einen Anstieg der Nitratkonzentration im Wasser von 1,5 ppm auf über 80 ppm, was einem Stickstoffverlust von 142 kg je Jahr und Hektar entspricht, während im ungestörten System die Einnahmen den Stickstoffaustrag übertrafen (Abbildung 12). *Frederiksen* fand dagegen nur einen Anstieg auf 0,4 ppm, was einem Verlust von 5,2 kg/ha gegenüber einem Verlust von 1 kg in der unbeeinflussten Vergleichsfläche gleichkommt. *Brown* (1972) berichtet über einen Anstieg von 0,05 bis 0,75 auf 0,05 bis 1,65 ppm oder von 4 kg/ha/a auf 15,5 kg. Durch diese Nährstoffverluste kann sich die Wasserqualität im übrigen je nach der Ausgangslage und der Art der Behandlung der kahlgeschlagenen Flächen in einem für Trinkwasser nicht mehr tragbaren Masse verschlechtern (*Likens*, 1970).

Insgesamt ist jedoch festzustellen, dass die Verluste stark von den jeweiligen Verhältnissen abhängen. Unter günstigen Bedingungen sind sie gering und nehmen rasch ab.

Auch zu diesem Fragenkomplex fehlen eigene mitteleuropäische Untersuchungen. (*Keller* hat zwar den Chemismus von Bächen untersucht, dabei jedoch nicht nach den Holzerntemassnahmen differenziert). Da die behandelten Flächen jedoch in der Regel klein sind und häufig eine intensive Bodenflora oder Naturverjüngung vorhanden ist, darf mit Recht angenommen werden, dass die durch die Holzernte ausgelösten Eutrophierungen des Wassers — vor allem auch im Vergleich zu denen, die aus anderen Quellen stammen — im allgemeinen vernachlässigt werden können.

3.2.8 Bodenschäden

Es ist bekannt, dass das Fahren mit Schleppern und anderen Fahrzeugen im Bestand — in erster Linie bei der Holzbringung — Bodenschäden, nämlich

- Verdichtungen,
 - mechanische Zerstörungen (Zerkleinerungen) des Auflagehumus und
 - Fahrspuren
- hinterlassen kann.

Die Bodenverdichtung ist mit einer Reduktion des Porenvolumens verbunden — in Extremfällen geht sie so weit, dass die für landwirtschaftliche Kulturen kritischen Werte unterschritten werden. Ausserdem führt die Bodenverdichtung zu einer Zunahme des Oberflächenabflusses und eventuell zur Erosion. Als weitere Folge kann sie Anflug und Wachstum der Verjüngung behindern oder die Sämlinge zum Absterben bringen.

In ähnlicher Weise kann die Spurenbildung die Drainierung des Bodens unterbrechen und durch die Sammlung des (Oberflächen-)Wassers zur Erosionsquelle werden.

Über das Zustandekommen dieser Schäden sind lediglich die wichtigsten Tendenzen bekannt:

- so steigen die Schäden mit höherem Bodendruck der Fahrzeuge (wobei allerdings bei Raupenfahrzeugen die günstige Wirkung des niedrigen Bodendrucks durch die stärkere Zerstörung des Auflagehumus kompensiert werden kann)
- die Schäden sind auf weniger tragfähigen Böden schwerwiegender als auf tragfähigen
- ausserdem nehmen sie bei nasser Witterung in ihrer Tragweite und ihrer Entstehungsgeschwindigkeit zu. So fand *Steinbrenner*, dass die Bodenverdichtung bei nasser Witterung nach einer Fahrt bereits den Wert erreicht hatte, für den bei trockener Witterung vier Fahrten erforderlich gewesen wären
- in ähnlicher Weise stellte *Hatchell* nach dem Rücken bei nasser Witterung einen Zuwachsausfall bei Sämlingen fest, während nach dem Rücken bei trockener Witterung kein nachteiliger Effekt zu verzeichnen war
- nach mehreren Untersuchungen (*Fries*, 1974; *Mahler*, 1973) erreichen die Bodenverdichtungen und Spurtiefen bei unterschiedlichen Fahrzeugen und Böden bereits nach zwei bis zweieinhalb Fahrten 90 Prozent ihres maximalen Wertes (Abbildung 13)
- dagegen nehmen die Zerstörungen der Humusaufgabe kontinuierlich mit der Zahl der Fahrten zu
- eine Reisigdecke kann die Schäden erheblich (nach *Fries* um bis zu 85 Prozent) vermindern

Wenig bekannt ist aber, in welchem Ausmass und in welchem Zeitraum sich die Schäden in Abhängigkeit vom Bodentyp regenerieren können. *Hatchell* konnte nach einem Jahr noch keine Regenerierung feststellen; ausserdem berichtet er über einen Zeitbedarf von 18 Jahren zur Regeneration von Böden an zentralen Arbeitsplätzen und Rückegassen und von 40 Jahren für eine aufgegebene Forststrasse.

Ebensowenig sind wir darüber hinaus in der Lage,

- das Ausmass der Schäden in Abhängigkeit von Bodentyp, Holzdimension, Holzernteverfahren, Fahrzeug, Arbeitsweise, Witterung und anderen Parametern vorherzusagen und dadurch konkrete Richtlinien für die praktische Arbeit anzugeben, noch können wir
- die Auswirkungen der Schäden hinsichtlich der Zuwachsverluste, Ausfälle und des vergrösserten Abflusses prognostizieren.

Diese Unterlagen sollten dringend erarbeitet und mit der Entwicklung, Beurteilung und Wahl von Holzernteverfahren und -maschinen verbunden werden.

3.2.9 Folgerungen

Fasst man die Bewertung der verschiedenen Beeinträchtigungen zusammen, dann sind unter mitteleuropäischen Verhältnissen am ehesten folgende Beeinträchtigungen oder Störungen als schwerwiegend zu betrachten (siehe Abbildung 5):

- Rückeschäden
- Schäden am Boden
- Beeinträchtigungen der Gesundheit der Waldarbeiter durch Lärm und Vibrationen
- Wasserverschmutzung
- in Zukunft eventuell auch der erhöhte Nährstoffentzug als Folge der Ganzbaumnutzung

3.3 Ursachen der Beeinträchtigungen

Als wichtigste Ursachen von Beeinträchtigungen der Umwelt durch die Holzernte lassen sich gemäss dieser Analyse ermitteln:

- Rückearbeiten
- zu grosse und zu schematische Kahlschläge, zumal dann, wenn sie grosse Mengen Schlagabraum hinterlassen und wenn sie nachträglich abgebrannt werden
- Wegebau und Massnahmen der Feinerschliessung
- zu starke oder zu schematische Eingriffe in die Bestände
- Begiftung von eingeschlagenem, lagerndem Holz
- die Lärmentwicklung und Vibrationen von Maschinen
- Entzug von Nährstoffen durch Ganzbaumnutzung

Die Ursachen sind erschöpfend aufgezählt und nach dem Grad ihrer Gefährlichkeit geordnet. In Mitteleuropa — vor allem in der schweizerischen Forstwirtschaft — sind jedoch Kahlschläge verboten oder sie werden — zumindest als Grosskahlschläge — von der Wissenschaft und Praxis abgelehnt. Mässige Eingriffe dominieren bei der Durchforstung. Die Ganzbaumnutzung

wird (noch) nicht praktiziert. Die Anwendung chemischer Mittel ist im Wald bereits an vielen Orten untersagt.

Als wesentliche Gefahrenquellen bleiben also nur (siehe Abbildung 5):

- die Holzbringung (mit Bodenverdichtung und Erosion als Folge)
- Wegebau und Feinerschliessung
- die direkten Belästigungen durch die Holzernte (Lärm und Vibrationen, Behinderung und Beeinträchtigung der Erholung)

Trotz dieser Einschränkungen ist es aber wichtig, auf die Gefahren zu achten, weil ihnen durch die geeigneten Massnahmen rechtzeitig vorgebeugt werden kann.

4. Massnahmen zur Abwehr der Beeinträchtigungen

4.1 Überblick

Als wichtigste Massnahmen zur Realisierung der Ziele des Umweltschutzes im Bereich der Holzernte sind zu nennen:

- Änderungen oder Verbesserungen der Planungsmethoden
 - wirtschaftspolitische und fiskalische Massnahmen, die auf eine Internalisierung der externen Kosten hinauslaufen oder die (öffentliche) Investitionen und Subventionen beinhalten
 - Ge- und Verbote
 - Festlegung von Grenzwerten
 - Schaffung eines grösseren Umweltbewusstseins in der Forstwirtschaft und in der Gesellschaft (Öffentlichkeit)
- } administrative Lösungen

4.2 Beispiele

Auf dem Gebiet der Planung lassen sich zum Beispiel durch die Wahl optimal geeigneter Maschinen, zweckmässiger Lastgrössen und günstiger Einsatzzeitpunkte die Schäden verringern, die beim Rücken entstehen. Dasselbe gilt nicht nur für die Wahl einzelner Maschinen, sondern ganzer Holzerntesysteme sowie für den Zeitpunkt der Holzernte und die Lohnform, unter der gearbeitet wird (es ist zum Beispiel durchaus denkbar, den Arbeitern für besonders umwelpfegliches Arbeiten eine Prämie zu bezahlen). Durch die Ausscheidung von Bodennutzungsklassen und die Beschreibung der Aktivitäten, die den einzelnen Klassen ohne Gefahr zugemutet werden können, lassen sich weitere Schäden vermeiden. Schliesslich gehören in diesem Zusammenhang auch Modelle zur Untersuchung der Auswirkungen der Holzernte in den Ökosystemen und die «environmental impact statements», die durch den National Environmental Protection Policy Act der Vereinigten Staaten gefordert werden. Gerade durch die letzten beiden Lösungen lassen

sich Schäden vermeiden, noch ehe überhaupt mit der Holzernte begonnen worden ist.

Zu den wirtschafts- bzw. fiskalpolitischen Mitteln zählen die Besteuerung der Umweltbelastung, die Forderung nach Kausalabgaben für die Umweltverschmutzung oder das Verlangen, Schäden zu beseitigen. Möglichkeiten zur Beseitigung von Schäden bestehen unter anderem in:

- Bodenbearbeitung zur Behebung der Bodenverdichtung
- Verbauungen mit künstlichen oder natürlichen Mitteln (Aussaat von Gras, Pflanzen von intensiv wurzelnden Bäumen oder Sträuchern)
- Rücktransport von Nährstoffen, die dem Wald entzogen wurden («recycling»), und zwar entweder in natürlicher Form (Äste, Rinde) oder durch Düngung

Diese Massnahmen und deren Kosten können den Verursachern direkt auferlegt werden oder sie werden durch Subventionen aus allgemeinen Steuermitteln bestritten.

Durch Investitionen können umweltpflegliche Holzerntemaschinen und -verfahren entwickelt (zum Beispiel Maschinen und Raupenfahrzeuge mit niedrigem Bodendruck, Seilkrananlagen, mobile Hacker), beschafft und eingesetzt werden.

Ge- und Verbote werden bereits in grossem Umfang angewendet. In Schweden und der Sowjetunion bestehen zum Beispiel Grenzwerte für die Grösse und Form von Kahlschlägen und für den Abstand einander benachbarter Kahlschläge. Andere Länder — darunter auch die Schweiz — verlangen die einzelstammweise Nutzung — zumindest für einen Teil der Wälder. Für Wasserschutzgebiete werden Horizontalsäume gefordert. In Lärmschutzwäldern muss der Unterstand erhalten werden.

Vorschriften für den Bau von Strassen und Feinerschliessungsnetzen (Maschinenwege) betreffen die Linienführung, den Abstand, die Neigungsverhältnisse, die Breite usw. An Wasserläufen wird in den Vereinigten Staaten ein Streifen von je nach den Verhältnissen unterschiedlicher Breite gefordert, in dem nicht genutzt werden darf. Ausserdem gibt es Vorschriften für die Wahl des Holzerntesystems (Rücken mit Schlepper oder Seilkran) und die Feinerschliessung. Schliesslich wird an vielen Orten die Verwendung von Insektiziden und Fungiziden untersagt und die sofortige Rekultivierung von Kahlflächen gefordert.

Grenzwerte sind schwierig festzulegen. Erste Versuche bestehen für die Verschmutzung des Wassers, den Lärm und die Abgase.

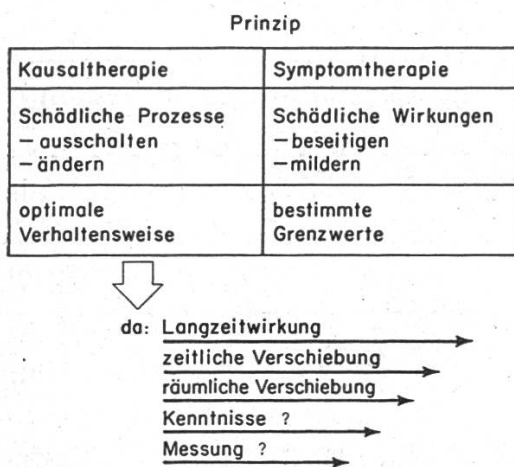
Schliesslich kann die Schaffung eines besseren Bewusstseins um die Notwendigkeit der Erhaltung einer gesunden Umwelt bei den Verursachern, Betroffenen und mutmasslichen Kostenträgern dazu beitragen, dass von vornherein so gehandelt wird, dass Korrekturmassnahmen überflüssig werden.

4.3 Wahl der Massnahmen

4.3.1 Grundsatz

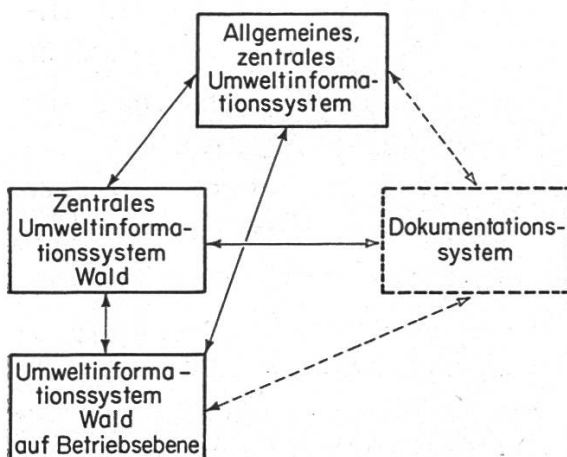
Welche Kategorie von Massnahmen ist nun bei der Holzernte am besten geeignet, um die Ziele für den Umweltschutz zu erreichen, und wie sehen die zu wählenden Massnahmen im einzelnen aus? Vom wirtschaftstheoretischen Standpunkt aus wären die Massnahmen zu wählen, die zur höchsten Effizienz des wirtschaftlichen Prozesses führen, das heisst welche die (pareto-)optimale Allokation der Ressourcen bewirken. Dies im Bereich des komplizierten Ökosystems Wald erreichen zu wollen, ist jedoch utopisch,

Massnahmen des Umweltschutzes



14

Struktur des Informationssystems



16

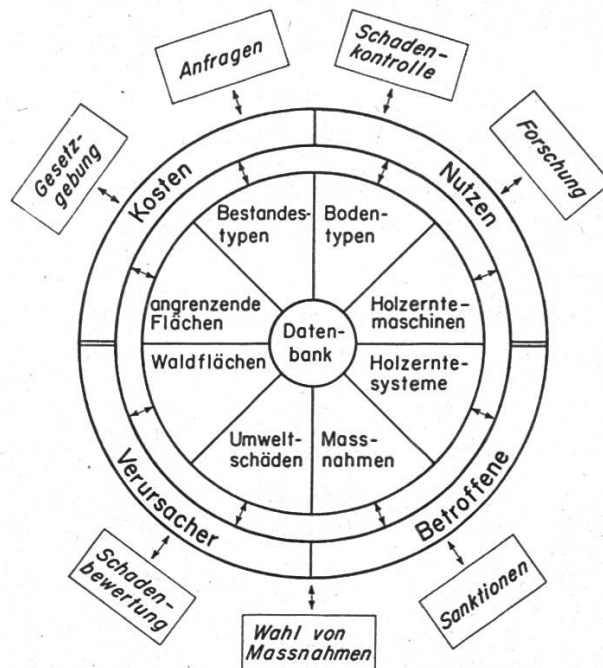
Massnahmen und Kosten

am Beispiel der Vermeidung von Boden- und Rückeschäden

Massnahmen	Kosten	Differenz gegenüber Normalfall	Im Interesse von		Differenzbetrag Fr / m ³
			Forstbetrieb	Allgemeinheit	
Bodenklassifikation		+	x	x	0.10-0.30
Verfahrenswahl		±	x		0-5.-
Maschinenwahl		±	x		0-2.-
Erschliessung		±	x		1.- -3.-
Einhalten der Wege		+	x		0-0.50
Wahl des Zeitpunktes		±	x	x	0-2.-
Unterbrechungen (Witterung)		++	x	x	1.- -3.-
Schlagordnung		++	x		1.- -3.-
Entlöhnungsform		++	x		0.50-1.-
Organisation und Kontrolle		+	x		0.50-1.-
Korrekturmaassnahmen		+++	x	x	1.- -5.-
Ausbildung		+	x		0.50-1.-

15

Umweltinformationssystem Wald



17

weil wir, wie die bisherigen Ausführungen gezeigt haben, viel zu wenig Kenntnisse über dieses Ökosystem besitzen.

Demnach ist nach anderen Kriterien für die Wahl der am besten geeigneten Massnahmen zu suchen. Hier scheint mir eine Modifikation des Kriteriums der Effizienz in dem Sinne angebracht zu sein, dass die ergriffenen Massnahmen am raschesten und sichersten zum Erfolg führen müssen, selbst wenn dadurch der optimale Mitteleinsatz nicht gewährleistet ist.

Die Massnahmen lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen (Abbildung 14):

- die erste bekämpft die Ursachen der Umweltbelastung und ändert oder beseitigt die schädigenden Prozesse (Kausaltherapie),
- die andere versucht, die Symptome der Umweltbelastung zu beheben, indem sie diese Symptome mildert oder beseitigt (Symptomtherapie).

Im Bereich der Forstwirtschaft — und damit auch im Bereich der Holzernte — ist es notwendig, die Ursachen und nicht die Symptome zu bekämpfen, und zwar aus folgenden Gründen:

1. sind unsere Kenntnisse des Ökosystems Wald noch viel zu begrenzt, als dass wir darauf warten könnten, bis sich die Symptome von Belastungen zeigen, oder als dass wir sicher sein könnten, über die notwendigen Mittel für eine wirksame Symptomtherapie zu verfügen.
2. wissen wir in vielen Fällen gar nicht, wie die Beeinträchtigungen der Leistungen des Waldes oder die Störungen der Ökosysteme gemessen werden sollen, oder deren Messung würde eine kontinuierliche Überwachung («monitoring») und daher einen viel zu grossen Aufwand erfordern.
3. treten die Auswirkungen der schädigenden Einflüsse erst mit zeitlicher (Langzeitwirkung!) und räumlicher Verschiebung auf. Diese Erscheinung dürfte in der Regel verunmöglichen, den Urheber (Verursacher) der Beeinträchtigungen und Störungen ausfindig zu machen und zu belangen.

Aus denselben Gründen können wir uns bei der Bekämpfung der Ursachen nicht allein auf das sogenannte Verursacherprinzip abstützen, sondern müssen alle Kategorien der eingangs genannten Massnahmen einsetzen (siehe Abbildung 5).

4.3.2 Die personelle Ebene

Welche Massnahme schliesslich im konkreten Fall gewählt wird, ist nicht nur eine sachliche, sondern zugleich eine politische Frage, da auch zu klären ist, wer als Initiator der Massnahme auftritt, wer für deren Durchführung verantwortlich ist und wer die Kosten tragen muss. Es gilt nun also — in aller Kürze — auch die personelle und finanzielle Ebene der zu Beginn aufgezeigten Systembetrachtung zu analysieren.

Die Forderung, die Massnahmen müssten bei den Ursachen ansetzen, weist darauf hin, dass die Verursacher von Beeinträchtigungen und Störungen im wesentlichen die Verantwortung für die Durchführung der Massnahmen tragen müssen. Dies schliesst aber nicht aus, dass auch die Betroffenen einen wichtigen Beitrag leisten, indem sie zum Beispiel die Massnahmen veranlassen, an der Festsetzung von Grenzwerten, Ge- und Verboten teilnehmen oder an der Entscheidung über Subventionen mitwirken.

Wie die Rollen im einzelnen verteilt sind, ist das Ergebnis des Prozesses der politischen Willensbildung — und aus diesem Grunde ist die Wahl der Massnahmen nicht ein Problem, das allein nach ökonomischen Kriterien gelöst werden kann. Ausserdem sind wir gar nicht in der Lage, eine objektive Wahl zu treffen. Denn sie würde voraussetzen, dass die Ziele des Umweltschutzes festgelegt und operational definiert sind, und zudem müsste bekannt sein, in welcher Weise und in welchem Umfang jede Massnahme zu jedem einzelnen Zielelement beiträgt.

4.3.3 Die finanzielle Ebene

Das entscheidende Problem ist letzten Endes, welche Kosten durch die zu wählenden Massnahmen entstehen, wie hoch sie sind und wer sie zu tragen bereit oder gezwungen ist. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass wir jenseits des Bereichs der von der Natur vorgegebenen absoluten Grenzwerte keineswegs Ziele für die Lebensqualität anstreben sollten, die technologisch nicht erreichbar und wirtschaftlich nicht vertretbar sind.

Pabst (1975) hat gezeigt, dass die Überwälzung aller Kosten für den Umweltschutz auf den Verursacher bei der Forstwirtschaft auf grosse Probleme stösst. Denn:

- erstens fehlen dazu die notwendigen Kenntnisse
- zweitens wird dadurch den Forstbetrieben eventuell die Grundlage ihrer Existenz entzogen, obwohl die Forstwirtschaft ihrer Infrastrukturleistungen wegen erhalten bleiben muss
- drittens verursacht die Forstwirtschaft nicht nur soziale Kosten, sondern sie erbringt auch Sozialerträge, die bisher weder zufriedenstellend bewertet noch vergütet werden.

Ohne Zweifel ist die Zurechnung der Kosten des Umweltschutzes im Forstbetrieb besonders schwierig, weil die Massnahmen, die von aussen gefordert werden, vielfach im Interesse der Forstbetriebe selbst liegen, wollen sie die Stabilität und Produktivität der Ökosysteme, die sie bewirtschaften, erhalten. Daraus kann aber nicht gefolgert werden, die Forstbetriebe würden alle Massnahmen nur im eigenen Interesse durchführen (Beispiele: Lärmbegrenzung, Belassen von Unterstand, Beseitigen von Schlagabraum).

Im übrigen ist zu bedenken, dass jede Tätigkeit im Rahmen der Holzernte, die als Ursache von Beeinträchtigungen und Störungen wirkt, zugleich mit einem Nutzen verbunden ist. Beispielsweise ermöglichen Kahlschläge den Einsatz von Maschinen, hohe Arbeitsleistungen und niedrige Kosten. Der Einsatz moderner Rückefahrzeuge (Knickschlepper) und -geräte (Seilkrananlagen) im Gebirge verringerte den Umfang des Reistens, bei dem, wie erwähnt, besonders zahlreiche und schwerwiegende Rückeschäden entstehen. Bei der maschinellen Entrindung wird zwar die Rinde am Wegrand konzentriert, zugleich steigt aber die Arbeitsleistung, und Arbeitskräfte werden für andere, dringendere und weniger anstrengendere Arbeiten freigestellt, die Kosten sinken. Schliesslich vermehrt der Einsatz von Motorsägen zwar den Lärm im Walde, zugleich wird aber die Arbeit erleichtert, oder durch den Lärm einer grossen Holzerntemaschine (zum Beispiel einer grossen Entrindungsmaschine) kann der Lärm vieler kleiner Maschinen (zum Beispiel handgeführter Entrindungsmaschinen) substituiert werden.

Diese Beispiele könnten beliebig fortgesetzt werden. Entscheidend ist, dass durch die Änderung der Holzernte möglicherweise bisherige Vorteile verlorengehen. Dies führt zu zusätzlichen Problemen der Bewertung, der Abwägung von Kosten und Nutzen, und darauf ist bei der Wahl der optimalen Massnahmen zur Vermeidung der Beeinträchtigungen der Umwelt zu achten.

4.4 Die Massnahmen am Beispiel der Boden- und Rückeschäden

Um die Boden- und Rückeschäden (siehe die Abschnitte 3.2.3 und 3.2.8) zu vermeiden, können folgende Wege eingeschlagen werden (Abbildung 15):

- Klassifikation der Böden, um von vornherein zu wissen, welche Belastungen ihnen unter gewissen Bedingungen ohne Gefahr zugemutet werden können
- Wahl geeigneter Holzernteverfahren (Holzlänge, Arbeitsweise usw.)
- Einsatz von Maschinen mit niedrigem Bodendruck oder — um Rückeschäden zu vermeiden — mit Funksteuerung
- sorgfältige Planung der Strassen und des Feinerschliessungsnetzes
- Zwang zur Einhaltung der Rückegassen (da schon nach wenigen Fahrten nahezu das maximale Mass der Schäden erreicht wird, ist es sinnvoll, den Verkehr auf wenige Linien zu konzentrieren)
- Wahl eines günstigen Zeitpunktes für die Arbeit und
- Unterbrechung der Arbeit auf empfindlichen Standorten bei schlechter Witterung
- Einhaltung der Schlagordnung

- die Erfüllung dieser Forderung kann gegebenenfalls durch die Wahl der Entlohnungsform (Zeit- statt Stücklohn, Prämie für pflegliche Arbeit) unterstützt und gefördert werden
- nach der Arbeit können Massnahmen zur Beseitigung der Schäden ergriffen werden (Behandlung der Rückeverletzungen, Einebnen der Fahrspuren usw.)
- Auflegen einer Reisigpackung auf den Rückegassen oder Maschinenwegen
- dies alles setzt eine sorgfältige Planung, Organisation und Kontrolle der Holzernte voraus sowie
- eine umfassende und gezielte Ausbildung der Arbeiter und des Kaders

Durch die Ausbildung wird das Umweltbewusstsein vergrössert, die Wahl der Erntemethode ist eine Frage der Planung, durch Investitionen und/oder Subventionen wird die Entwicklung und Beschaffung der geeigneten Fahrzeuge erleichtert und schliesslich kann der Übergang zu einem anderen Arbeitsort beim Wechsel der Witterung durch Grenzwerte oder durch Ge- und Verbote erzwungen werden. Die aufgeführten Massnahmen gehören somit allen Kategorien an, und damit wird die Forderung, sämtliche Kategorien von Massnahmen zur Abwehr der Schäden einzusetzen, bestätigt.

Selbstverständlich verursachen diese Massnahmen höhere Kosten. Sie abzuschätzen ist ohne Bezug auf einen bestimmten Fall schwierig (nach einer überschlägigen Kalkulation können sie 5 bis 25 und mehr Franken je Kubikmeter erreichen). In Abbildung 15 wird jedoch versucht, ihre Tendenz zu zeigen und anzudeuten, ob die Massnahmen überwiegend im Interesse der Forstbetriebe oder der Allgemeinheit ergriffen werden, woraus sich Hinweise für die zweckmässige Verteilung der Kosten ableiten lassen.

5. Ein Informationssystem für den Umweltschutz

Die Überlegungen zur Wahl der Massnahmen zeigen, dass die allgemeinen Probleme des Umweltschutzes hier als besondere Probleme erneut auftreten. Zwei Dinge erscheinen dabei als besonders schwerwiegend:

- zum einen die fehlenden Kenntnisse, Erfahrungen und Informationen, und
- zum andern die Tatsache, dass die Wissenschaft viele Gebiete bisher nicht oder nicht im notwendigen Umfang behandelt hat.

Somit muss die Forschung zwei Aufgaben bewältigen:

1. muss sie die verfügbaren Informationen sammeln, aufbereiten, speichern und weitergeben und
2. muss sie die fehlenden Informationen erarbeiten — schwerpunktmässig auf den Gebieten, auf denen die Beeinträchtigungen und Störungen am gravierendsten und die Ursachen am einschneidendsten sind.

Durch die Sammlung der Informationen sind zunächst die Beeinträchtigungen und Störungen, die Ursachen und die beteiligten Personen zu erfassen. Weiter müssen die Informationen zeigen, durch welche Massnahmen die Beeinträchtigungen beseitigt oder vermindert werden können, welche — zusätzlichen — Kosten dabei entstehen und wem sie angelastet werden können.

Noch wichtiger aber ist, dass durch die Informationen die Störungen des Ökosystems Wald und die Beeinträchtigungen der Lebensqualität von Anfang an vermieden werden. Dazu dienen Informationen über die Belastbarkeit der Ökosysteme (Tragfähigkeit der verschiedenen Bodentypen; Standfestigkeit von Beständen; Pufferung, Reserven und Regenerationsfähigkeit des ganzen Systems . . .) und — als Ergänzung dazu — über die Umweltpfleglichkeit von Holzerntesystemen und -maschinen.

Demnach sind folgende Informationsfelder erforderlich:

- Waldflächen einschliesslich ihrer
 - Eigentümer
 - Funktionen
 - Bestandestypen (Ökosysteme) und
 - Bodentypen
- angrenzende Flächen (potentielle Schädiger oder Geschädigte) einschliesslich
 - ihrer Eigentümer und
 - ihres Zustandes
- Bestandestypen und deren Empfindlichkeit gegenüber externen Einflüssen
- Bodentypen und deren Eigenschaften
- Holzerntesysteme, -verfahren und -maschinen und ihre Umweltpfleglichkeit
- vorhandene Umweltschäden und deren Ausmass
- ergriffene oder potentielle Massnahmen zur Abwehr und/oder Beseitigung der Schäden
- Kosten und Nutzen
- Verursacher und Betroffene

Vermutlich sind gesamthaft gesehen mehr Informationen vorhanden, als vom einzelnen Betrieb oder *einer* wissenschaftlichen Disziplin aus scheinen mag. Notwendig ist daher die systematische Sammlung, Verarbeitung und Speicherung der Informationen in einem forstlichen Umwelt-Informationssystem («Umweltinformationssystem Wald»).

Dieses Informationssystem sollte aus einem Verbundsystem betrieblicher und überbetrieblicher Informationssysteme bestehen. Darüber hinaus ist denkbar, dass es Teil eines umfassenden «Umweltinformationssystems» ist

und zugleich mit einem Dokumentationssystem für Publikationen im Bereich der Umweltforschung verbunden ist (Abbildung 16).

Die Struktur und der mögliche Inhalt des überbetrieblichen IS sind in Abbildung 17 dargestellt. Informationsquellen sind zum Beispiel Forschungsergebnisse, direkte und indirekte Messungen über Störungen des Ökosystems Wald und über Beeinträchtigungen der Lebensqualität (wobei die Messungen kontinuierlich oder diskret sein können), Beobachtungen aus der forstlichen Praxis, Informationen von Behörden, Kartierungen usw.

Die Ausgabe kann als

- Karte, Tabelle oder graphische Darstellung,
- verbal oder in Zahlen
- auf Abruf oder automatisch

erfolgen. Als Benutzer kommen Verursacher der Störungen und Beeinträchtigungen (Forstbetriebe und -unternehmer), Geschädigte, Maschinenhersteller, Wissenschaftler, Behörden, Interessenverbände und viele andere in Frage.

Potentielle Auskünfte sind beispielsweise:

- welche Gebiete sind besonders erosionsgefährdet?
- in welchen Gebieten liegen Erosionsschäden vor, die den für das Trinkwasser zulässigen Gehalt an Sedimenten übersteigen?
- wo gibt es Böden mit einer Tragfähigkeit von weniger als 50 g/cm^2 ?
- welchen Bodendruck besitzt eine bestimmte Holzerntemaschine?
- um wieviel teurer ist die Arbeit mit dieser Maschine unter bestimmten Verhältnissen als eine andere Maschine mit höherem Bodendruck?
- welche Aufwendungen hat ein bestimmter Betrieb für den Umweltschutz gemacht?

Durch ein solches System würden die Probleme des Umweltschutzes nicht schlagartig gelöst. Wir hätten damit aber ein Instrument zur Verfügung, mit dem wir den Umweltschutz wesentlich effizienter betreiben und das Umweltbewusstsein besser fördern könnten.

6. Aufgaben für die Forschung

Beim Aufbau des Systems würden zugleich neue Anforderungen an die — forstliche — Umweltforschung sichtbar. Sicher ist, dass die Forschung auf diesem Gebiet intensiviert werden muss. Sicher ist aber auch, dass dabei erhebliche Schwierigkeiten nicht nur finanzieller Art zu überwinden sind.

Denn Umweltforschung muss langfristig — im Sinne von Langzeitstudien — und interdisziplinär betrieben werden. Sie ist durch unbehandelte Kontrollflächen abzusichern und verlangt eine enge Zusammenarbeit zwi-

schen Wissenschaft und Praxis. Die Fülle der Probleme verlangt die Bildung von Schwerpunkten. Schliesslich müssen die Ergebnisse der Forschung möglichst rasch angewendet werden, weil wir keine Zeit verlieren dürfen, wollen wir die Umwelt nicht weiter beeinträchtigen.

Abgesehen von den Anstrengungen der Arbeitswissenschaft zur Bekämpfung von Lärm und Vibrationen und zur Steigerung der Arbeitssicherheit erscheint die Untersuchung folgender Probleme am wichtigsten:

- Ausmass, Auswirkung und Möglichkeiten zur Verhinderung der Bodenverdichtung in Abhängigkeit von Bodentyp, Witterung, Fahrzeug und Holzernteverfahren
- Ausmass und Entwicklung von Rückeschäden in Abhängigkeit vom Holzerntesystem, dem Bestandestyp und der Jahreszeit
- Einfluss der Holzernte auf die Verschmutzung, Sedimentführung und Eutrophierung unserer Gewässer
- Ermittlung, auf welchen Standorten der Entzug der gesamten Biomasse («Ganzbaumnutzung») in welchem Ausmass unbedenklich ist
- die Verbesserung der Messung der Störungen der Ökosysteme und der Beeinträchtigungen der Leistungen des Waldes
- die Definition und Quantifizierung von Kriterien zur Beurteilung der Umwelpfleglichkeit von Holzerntesystemen, -verfahren und -maschinen
- der Aufbau des im letzten Abschnitt skizzierten Informationssystems. Wenn dies nicht als eigenständiges System möglich ist, dann sollten seine wichtigsten Elemente zumindest in die Vorhaben eines Landesforstinventars, einer Raumdatenbank, eines Emissionskatasters oder einer forsttechnischen Informationszentrale eingehen
- die Entwicklung eines operationalen Zielsystems für die Lebensqualität und die Suche nach den Mitteln und Wegen, um diese Ziele zu erreichen
- die Entwicklung, Prüfung und Anwendung von Bewertungsmethoden, welche Kosten und Nutzen der gemessenen Beeinträchtigungen und Störungen und der zu ihrer Abwehr vorgesehenen Massnahmen zu quantifizieren und in das operationale Zielsystem zur Lebensqualität einzuordnen vermögen

7. Schlussbetrachtung und Folgerungen

Stehen wir also vor einem unlösbaren Konflikt zwischen Holzernte und Umweltschutz?

Gemäss dem Stand unseres Wissens ist diese Frage nach meiner Überzeugung zu verneinen. Denn einmal sind wir in der schweizerischen und mitteleuropäischen Forstwirtschaft in der glücklichen Lage, dass die Beein-

trächtigungen der Qualität des Lebens durch die Holzernte und die Störungen der Ökosysteme im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen und zu anderen Regionen relativ gering sind. Zum andern kennen wir die Mittel und Wege, um die Beeinträchtigungen und Störungen zu vermeiden, zu beseitigen oder mindestens zu verringern.

Diese Antwort setzt aber voraus:

1. Jeder Praktiker, der im Bereich der Holzernte tätig ist, muss sich die notwendigen Kenntnisse über die potentiellen Gefahren verschaffen und die Mittel zu ihrer Beseitigung anwenden und rechtfertigen.
2. Die Wissenschaft muss die rudimentären Kenntnisse durch interdisziplinäre, auf Schwerpunkte ausgerichtete Forschungsprojekte rasch ergänzen.
3. Die Gesellschaft sollte ein Wertesystem entwickeln, welches die Qualität des Lebens einschliesst und klar definiert, und die Voraussetzungen schaffen, damit die notwendigen Massnahmen vorbereitet, durchgesetzt und finanziert werden können.
4. Die Lösung verlangt also Anstrengungen vom Praktiker, Forscher, Politiker bis hin zum einzelnen Bürger, und von der Formulierung unserer gesellschaftlichen Ziele bis hin zur Finanzierung der Massnahmen.
5. Zuletzt ist angesichts der begrenzten Kenntnisse zur Vorsicht zu mahnen: wir können mit dem Ökosystem Wald wegen dessen Komplexität und Langfristigkeit nicht experimentieren, und dies verlangt von uns, dort, wo die Kenntnisse fehlen, eher vorsichtig vorzugehen. Die Nachwelt wird uns nicht nach der Höhe der Holzerntekosten im Jahre 1975 beurteilen, sondern in erster Linie danach, «ob es gelingt, Waldlandschaften als naturnahe, mannigfaltige und funktionsfähige Glieder der Biosphäre zu erhalten» (*Rehfuess*, 1974). Darin liegt die Herausforderung an uns, und sie ist, so meine ich, wohl wert, den Konflikt zwischen Holzernte und Umweltschutz zu lösen.

Résumé

Exploitation des bois et protection de l'environnement — un conflit insoluble?

Les mesures prises dans le cadre de la protection de l'environnement sont des moyens destinés à conserver une certaine qualité de vie. La question de savoir si l'exploitation des bois est préjudiciable aux buts poursuivis pour la protection de l'environnement peut être étudiée chaque fois du point de vue matériel, du point de vue des personnes concernées et du point de vue financier. Sur le

plan matériel, on analysera les causes et les effets des influences négatives de l'exploitation des bois sur l'écosystème qu'est la forêt. Sur le plan des personnes, l'étude s'intéressera aux individus qui provoquent et à ceux qui subissent ces influences négatives. Sur le plan financier enfin, les frais de la protection de l'environnement et leur réparation seront étudiés.

L'exposé détaille les préjudices potentiels que peut provoquer l'exploitation des bois sur l'écosystème qu'est la forêt. L'analyse conduit à la conclusion que les dégâts de débardage infligés aux sols et aux peuplements forestiers, les préjudices causés à la santé des ouvriers par le bruit et les vibrations des machines, la pollution de l'eau, et, éventuellement à l'avenir, la perte de matières nutritives due au système d'exploitation par enlèvement d'arbres entiers, doivent être considérés, sur la base des connaissances acquises actuellement en Europe centrale, comme les préjudices et les inconvénients les plus graves infligés à cet écosystème qu'est la forêt. En Europe centrale, les principales causes de ces préjudices résident dans le débardage des bois, dans la construction routière et dans les effets incommodes directs de l'exploitation des bois (par exemple le bruit, les vibrations, les empêchements imposés à un libre parcours des forêts).

Des modifications et des améliorations des méthodes de planification, des interventions de politique économique ou fiscale, des prescriptions et des interdictions, la fixation de valeurs limites et la promotion d'une meilleure conscience de l'environnement sont les mesures qui peuvent servir à la réalisation des buts de la protection de l'environnement. Ces mesures peuvent éliminer les causes ou les symptômes des préjudices indésirables causés à la qualité de la vie. Dans le domaine de l'exploitation des bois, il faut d'abord s'attaquer aux causes car les symptômes ne se manifestent en général que tardivement, et il ne peuvent être estimés qu'avec difficulté. De plus, il faut utiliser dans l'exploitation des bois toutes les cinq catégories de mesures citées à la fois pour la protection de l'environnement.

L'initiative de telles mesures est à prendre par le pouvoir issu d'un développement d'une politique. Dans le domaine de l'exploitation des bois, il est difficile de fixer qui doit supporter les frais occasionnés par ces mesures, car chaque préjudice et chaque mesure sont sources de frais et d'avantages, et les connaissances à leur sujet font encore défaut.

Toutes ces considérations mettent en évidence l'insuffisance des informations disponibles concernant le problème de l'exploitation des bois et de la protection de l'environnement. Aussi la recherche est-elle appelée à élargir et compléter ces connaissances, en particulier l'ampleur des dégâts infligés aux sols en fonction de différents paramètres, l'importance et le développement des dégâts de débardage, la pollution potentielle et l'eutrophisation des eaux par l'exploitation des bois, enfin la quantité de biomasse enlevée par d'autres systèmes d'exploitation que ceux actuellement utilisés. Les connaissances existantes et les nouvelles devraient être enregistrées dans un système d'information pour la protection de l'environnement; l'exposé propose un tel système.

Bien que les connaissances actuelles soient encore limitées, il est possible malgré tout de résoudre le conflit opposant l'exploitation des bois à la pro-

tection de l'environnement. Mais si l'on veut conserver la forêt comme un élément naturel, varié et sain de la biosphère, la société, la science et la pratique forestière ne devraient pas ménager leurs efforts.

Traduction: *J.-P. Farron*

Literatur¹

- Abetz, P.*: Der Einfluss moderner Erntemethoden auf den Waldbau. Allgemeine Forstzeitschrift, 25. Jg., 1970, Nr. 19/20, S. 387—392
- Anonymus*: Bisherige Ergebnisse der Holzqualitäts- und Grundwasserkontrollen auf Sturmholz-Polterplätzen. Allgemeine Forstzeitschrift, 29. Jg., 1974, Nr. 30, S. 669
- Backhaus, G.*: Untersuchungen über die Bereitstellung von Buchenindustrieholz in verschiedenen Sortimentslängen aus Durchforstungsbeständen. Dissertation, Forstl. Fakultät der Georg-August-Universität, Göttingen, 1971
- Bittig, B.*: Ökonomie und Ökologie. In: Leibundgut, Landschaftsschutz und Umwelpflege, Frauenfeld, 1974, S. 68—81
- Bormann, F. H., Likens, G. E., Fisher, D. W., und Pierce, R. S.*: Nutrient Loss Accelerated by Clearcutting of a Forest Ecosystem. Science, vol. 159, 1967, pp. 882—884
- Boyle, J. R., Phillips, John J., und Ek, A. R.*: «Whole Tree» Harvesting: Nutrient Budget Evaluation. Journal of Forestry, vol. 71, 1973, no 12, pp. 760—762
- Boyle, J. R., und Ek, A. R.*: An Evaluation of Some Effects of Bole and Branch Pulpwood Harvesting on Site Macronutrients. Canadian Journal of Forest Research, vol. 2, 1972, pp. 407—412
- Brown, George W.*: Logging and Water Quality in the Pacific Northwest. In: Watersheds in Transition, American Water Resources Ass. and Colorado State University, 1972, pp. 330—334
- Eichenberger, H.*: Versorgungsplanung für Industrieholz, Teilphase: Arbeitsaufwand und Arbeitsverfahren im Wald, IG-Industrieholz, 1973, (unveröffentlicht)
- Frederiksen, R. L.*: Comparative Water Quality — Natural and Disturbed Streams. Proceedings of Symposium Forest Land Uses and Stream Environment, Corvallis, Oct. 1970, pp. 125—137
- Fries, J.*: Gesichtspunkte zur Wahl von Waldbaumethode und Erntetechnik bei Durchforstungen. Manuskript, Vortrag bei der KWF-Tagung in Braunschweig, 1975
- Fries, J.*: Thinning — Why and How? In: Royal College of Forestry, Dept. of Operational Efficiency, Research Notes No. 69, Garpenberg 1974, pp. II: 1—19

¹ Das Verzeichnis enthält nur die im Text zitierte Literatur. Das Gesamtverzeichnis kann vom Verfasser angefordert werden.

- Hatchell, G. E., Ralston, C. W., and Foil, R. R.:* Soil Disturbance in Logging: Effects on Soil Characteristics and Growth of Loblolly Pine in the Atlantic Coastal Plain. *Journal of Forestry*, vol. 68, 1970, pp. 772—775
- Heden, S.:* Preliminary Report on an Investigation Concerning the Influence on Yield of Tractor Logging in Thinnings. In: IUFRO Meeting, Stockholm, 1969, pp. 131—135
- Höfle, H. H.:* Zur Zahl, Art und Ursache von Rückeschäden in Durchforstungen schwacher Nadelholzbestände. *Mitt. der Baden-Württ. Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Freiburg i. Br.*, 1971, Heft 38
- Howell, A. R.:* Study of the Exposure to Noise of Operators of Mechanical Logging Equipment in British Columbia. Forest Management Institute, Ottawa, 1974, Information Report FMR-X-61
- Kärkkäinen, M.:* A Study on Tree Injuries Caused by Mechanized Timber Transportation. In: IUFRO Meeting, Stockholm, 1969, pp. 136—140
- Kato, F.:* Stammfäuleschäden der Fichte. Ein Beitrag zur Schadensberechnung in den staatlichen Fichtenwäldern Niedersachsens mit besonderer Berücksichtigung der Schältschäden des Rotwildes. *Forstarchiv*, 40. Jg., 1969, Nr. 5, S. 81—92
- Keller, H. M.:* Der Chemismus kleiner Bäche in teilweise bewaldeten Einzugsgebieten in der Flyschzone eines Voralpentales. *Mitteilungen Eidg. Anstalt f. d. Forstliche Versuchswesen* 46, 1970, S. 113—155
- Khalisy, M., Oesten, G., und Wölflle, G.:* Fäll- und Rückeschäden in Buchen-Schwachholz in Abhängigkeit von Gelände, Jahreszeit, Sortenlänge und Rückeverfahren. *Mitt. der Baden-Württ. Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, München*, 1971, Heft Nr. 38
- Krapfenbauer, A.:* Holzernte und Nachhaltigkeit der Holzproduktion. *Allgemeine Forstzeitung*, 84 Jg., 1973, Nr. 6, S. 133—135
- Likens, G. E.:* Effects of Forest Cutting and Herbicide Treatment on Nutrient Budgets in the Hubbard Brook Watershed-Ecosystem. *Ecological Monographs*, vol. 40, 1970, pp. 23—47
- Mahler, G., und Schelshorn, H.:* Befahrbarkeit und Bodentragfähigkeit beim Rücken. *Mitt. der Baden-Württ. Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Freiburg i. Br.*, 1973, Heft 57
- Megahan, W. M.:* Subsurface Flow Interception by a Logging Road in Mountains of Central Idaho. In: *Watersheds in Transition*, American Water Resources Ass. and Colorado State University, 1972, pp. 350—356
- Müller, R.:* Was heisst, wie bestimmt und wie verbessert man Lebensqualität? *Neue Zürcher Zeitung*, 1975, Nr. 14, S. 37/38
- Myles, D. V., Hirvonen, R., Embleton, T. F. W., and Toole, F. E.:* An Acoustical Study of Machinery on Logging Operations in Eastern Canada. Forest Management Institute, Ottawa, 1971, Information Report FMR-X-30
- Ohain, G. P. v.:* Rindenverletzungen beim Rücken von Bäumen und Ästen in schwachen Fichtenbeständen. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 29. Jg., 1974, Nr. 7, S. 141—143

- Pabst, H.*: Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung des Verursacherprinzips in der Land- und Forstwirtschaft. Allgemeine Forstzeitschrift, 30. Jg., 1975, Nr. 13, S. 262—266
- Pechmann, H. v.*: Der Einfluss der Durchforstung auf die Holzqualität. Forstarchiv, 45. Jg., 1974, Heft 2/3, S. 34—38
- Rice, R. M., Rothacher, J. S., and Megahan, W. F.*: Erosional consequences of Timber Harvesting: An Appraisal. In: Watersheds in Transition, American Water Resources Ass. and Colorado State University, 1972, pp. 321—329
- Ronay*: Optimierung des Holztransportes in Gebirgsgebieten der Slowakei. Internat. Symposium über Mechanisierung der Forstnutzung (in Jugoslawien), 1969
- Sinner, K. F., und Rehfuess, K. E.*: Wirkungen einer Fomes annosus-Kernfäule auf den Ernährungszustand älterer Fichten. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 143. Jg., 1972, Nr. 3/4, S. 74—80
- Steinbrenner, E. C., and Gessel, S. P.*: The Effects of Tractor Logging on Physical Properties of Some Forest Soils in Southwestern Washington. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., vol. 19, 1955, pp. 372—376
- Tamm, C. O.*: Site Damages by Thinning Due to Removal of Organic Matter and Plant Nutrients. In: IUFRO Meeting, Stockholm, 1969, pp. 175—179
- Thofer, K.*: Über Wasser- und Bodenbeeinflussung durch Dieselöl. Allgemeine Forstzeitschrift, 17. Jg., 1962, Nr. 13/14, S. 214
- Tischendorf, W.*: Veränderungen des Wasserhaushaltes im Gebirgswald durch Wegebau und Anlage von Skipisten. Allgemeine Forstzeitschrift, 29. Jg., 1974, Nr. 49, S. 1106
- Ulrich, B.*: Betriebswirtschaftliche Konsequenzen von Eingriffen in den Nährstoffhaushalt von Wald-Ökosystemen. Forstarchiv, 43. Jg., 1972, Nr. 7, S. 129—132
- Weetman, G. F., and Webber, B.*: The Influence of Wood Harvesting on the Nutrient Status of Two Spruce Stands. Canadian Journal of Forest Research, vol. 2, 1972, pp. 351—369