

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerischer Forstverein   |
| <b>Band:</b>        | 144 (1993)  |
| <b>Heft:</b>        | 9   |
| <b>Artikel:</b>     | Prinzipien des forstlichen Ingenieurswesen  |
| <b>Autor:</b>       | Heinimann, Hans-Rudolf  |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-767127">https://doi.org/10.5169/seals-767127</a>       |

### 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:** 20.02.2026

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

# Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

## Journal forestier suisse

144. Jahrgang

September 1993

Nummer 9

### Prinzipien des forstlichen Ingenieurwesens<sup>1</sup>

Von Hans-Rudolf Heinimann

FDK 3: 945.3: 945.4

#### 1. Einleitung

Das gesellschaftliche Umfeld hat sich in den letzten Jahren tiefgreifend gewandelt. Während in den sechziger Jahren quantitatives Wachstum, Stabilität und Ordnung als Werte allgemein akzeptiert waren, stehen heute qualitatives Wachstum, Umweltbewusstsein und sorgsamer Umgang mit Ressourcen im Vordergrund. Das Fortschrittsverständnis hat sich geändert, und die heutige Zeit ist geprägt von Instabilität, Unsicherheit und zum Teil auch von Orientierungslosigkeit. Der Wertewandel, den wir vollziehen, ist ein grundlegender Paradigmenwechsel (vgl. Kroy, 1989), der auch Auswirkungen auf den Inhalt und die Ziele der Forstwirtschaft hat oder noch haben wird.

Der gesellschaftliche Wertewandel, der Übergang von der Produktions- zur Dienstleistungsforstwirtschaft und die sich massiv verschlechternde Ertragslage der Forstbetriebe sind die Hauptprobleme, welche die Forstwirtschaft zur Zeit herausfordern. Die Wettbewerbs- und Überlebensfähigkeit der Forstwirtschaft als Wirtschaftszweig wird unter anderem durch die Entwicklung und Anwendung technischer Lösungen zur Produktion von Holz und Dienstleistungen bestimmt. Die Produktionsaufgaben der Forstwirtschaft, welche den gesamten ausführenden Bereich umfassen, sind Gegenstand des forstlichen Ingenieurwesens, das zu einem beträchtlichen Teil die Aufgaben des in den letzten Jahren international neu umschriebenen Fachgebietes «Forest Operations» (Samset, 1992; Sundberg, 1988) beinhaltet.

Der gesellschaftliche Wertewandel und die zunehmende Technikfeindlichkeit regen zum Nachdenken über das zukünftige Berufsverständnis an. Vor diesem Hintergrund versucht der vorliegende Beitrag, die langfristig gelgenden Prinzipien des Fachgebietes «Forstliches Ingenieurwesen» darzustellen und betrachtet dabei drei Hauptaspekte:

<sup>1</sup> Überarbeitete Fassung der Einführungsvorlesung, gehalten am 8. November 1992 an der ETH Zürich.

- das Forstliche Ingenieurwesen als Fach, wie es an der Abteilung für Forstwirtschaft der ETH Zürich vertreten wird;
- die Prinzipien, welche diesem Fach zugrunde liegen, wobei unter Prinzipien allgemein anerkannte Regeln des Denkens und Handelns zu verstehen sind, also Grundansätze des forstlichen Ingenieurwesens als wissenschaftliche Disziplin;
- Anforderungen und Inhalte von Lehre und Forschung.

Der Versuch, die zukünftige Entwicklung zu beurteilen, erfordert auch eine Betrachtung der Vergangenheit. Als Leitidee für einen zukünftigen Weg soll dabei der Grundsatz «Lösung mittels richtig eingesetzter Technik» gelten, während das Prinzip «Lösung durch Abkehr von der Technik» wenig konkrete Ansatzpunkte liefern dürfte.

## **2. Gegenstand des forstlichen Ingenieurwesens**

### *2.1 Stellung des forstlichen Ingenieurwesens innerhalb der Forstwissenschaften*

Die Forstwissenschaften sind ein multidisziplinäres Fachgebiet und bauen auf folgenden Wissenszweigen und den entsprechenden Methoden auf:

- Naturwissenschaften, welche Fächer wie Ökologie, Botanik, Bodenkunde, Geologie und als angewandtes Fach Waldbau umfassen. Im Zentrum der Betrachtung steht der Wald als Ökosystem.
- Sozialwissenschaften, welche sich mit gesellschaftlichen Fragen im weitesten Sinne beschäftigen und Fächer wie Ökonomie, Recht, Politologie, Geschichte und Soziologie beinhalten.
- Technikwissenschaften, welche für forstliche Fragestellungen technische Lösungen entwickeln und umsetzen. Der Ingenieur geht dabei auf der einen Seite mit den Materialien und Kräften der Natur, auf der anderen Seite mit den menschlichen Bedürfnissen, welche Auslöser für technische Lösungen sind, um.

Das forstliche Ingenieurwesen gehört zu den Technikwissenschaften und ist als naturnahe Technikdisziplin mit den drei Hauptbereichen Erschliessungstechnik, Naturgefahren und forstliche Verfahrens- oder Produktions-technik zu verstehen:

- die *Erschliessungstechnik* befasst sich mit Erschliessungen im ländlichen Raum sowie mit der dafür notwendigen Bautechnik;
- die *forstliche Verfahrenstechnik* umfasst sämtliche produktiven Aktivitäten, die darauf ausgerichtet sind, ein bestimmtes Arbeitsergebnis zu erzielen, also die Arbeitsausführung im umfassenden Sinn;

- der Bereich *Naturgefahren* beinhaltet die Analyse und Bewertung gefährlicher Naturprozesse (Sturz-, Rutsch-, Lawinen- und Wildbachgefahren) sowie Massnahmen zur Gefahrenabwehr.

## 2.2 Entwicklung der forstlichen Erschliessungstechnik

Während Jahrhunderten diente der Wald lediglich der lokalen Bedarfsdeckung mit Holz und anderen Produkten. Um Holz aus dem Wald zu transportieren, wurden während Jahrhunderten Gravitations-, Wasser-, Tier- und Menschenkraft eingesetzt. Als Hilfsmittel in schwierigem Gelände wurden seit etwa dem 14. Jahrhundert auch Seilanlagen eingesetzt (vgl. Samset, 1992). Die industrielle Revolution hatte tiefgreifende Änderungen der Ansprüche an den Wald zur Folge. Die Holznachfrage vergrösserte sich, und Holz musste über grössere Strecken transportiert werden. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde das Verkehrswesen als Folge der neuen Maschinen und Fahrzeuge revolutioniert, womit etwa um 1850 die systematische Erschliessung der Wälder einsetzte. Die Erschliessungsanlagen im Wald wurden vorerst auf Pferdetransporte ausgerichtet; typische Anlagen jener Zeit waren Fahrwege für Pferdefuhrwerke, Reit- und Fusswege sowie Schlittwege (vgl. Dotzel, 1898). Daneben war eine Erschliessungsart für jene Zeit typisch, die Erschliessung der Wälder mit Eisenbahnen. Auch in der Schweiz waren Waldeisenbahnen im Einsatz, so zum Beispiel im zürcherischen Sihlwald.

Der Strassentransport wandelte sich mit dem Siegeszug des Lastwagens nach dem Zweiten Weltkrieg gründlich. Die Frage «Pferd oder Motor» beschäftigte auch die schweizerischen Forstleute bereits vor dem Zweiten Weltkrieg. In einer Untersuchung aus dem Jahr 1939 (Winkler, 1939) kommt man zum Schluss, dass aus finanzieller Sicht der Motor dem Pferd zwar überlegen, eine breite Einführung des LKW-Transportes jedoch aus staatspolitischen Gründen abzulehnen sei. Als Hauptgrund wurde der Verlust an Einkommen bei der Bauernbevölkerung angeführt.

- Es lassen sich drei Phasen der forstlichen Erschliessung unterscheiden:
- Die Periode der auf Pferdefuhrwerke ausgerichteten Erschliessung dauerte bis etwa zum Zweiten Weltkrieg.
  - Die systematische Anlage lastwagenbefahrbbarer Strassen setzte Ende der fünfziger Jahre ein. Die Grundsätze für die heute weltweit geltenden Methoden für die Anlage forstlicher Erschliessungsnetze wurden anlässlich eines Symposiums im Jahre 1962 festgelegt, welches durch FAO (Food and Agriculture Organization), ILO (International Labour Organization) und ECE (Economic Comission for Europe) in Genf durchgeführt wurde (vgl. Samset, 1992). Die systematische Anlage forstlicher Transportnetze basiert seit jener Zeit auf Transportlinien unterschiedlicher Funktion

- (Geländetransportlinien wie Rückegassen, Maschinenwege, Seillinien; Erschliessungsstrassen; Sammelstrassen). Diese Neuausrichtung brachte auch den Wandel von der Handbauweise zur maschinellen Bauweise mit sich, womit eine neue Bautechnik entstand. Die Entwicklung neuer Baumethoden, so der Wechsel vom Steinbett zur Kofferbauweise oder die Verfahren der Bodenstabilisierung, wurde an der ETH Zürich von Kuonen (vgl. *Kuonen*, 1983) wesentlich mitgestaltet.
- Ende der siebziger Jahre setzte in Mitteleuropa und in der Schweiz politisch die Umweltschutzbewegung ein. Diese ist Ausdruck eines gesellschaftlichen Wandels, der die bis dahin geltenden Wertvorstellungen ins Wanken brachte und andere Werte wie qualitatives Wachstum und sorgsamen Umgang mit unserer Umwelt in den Vordergrund stellte. Diese Zeitströmung hatte auch ihre Auswirkungen auf die Walderschliessung, indem die Anlage forstlicher Erschliessungen ins Kreuzfeuer der Kritik geriet. Auf die rechtlichen Schranken, die aus diesem Prozess entstanden sind, wird noch einzugehen sein.

### *2.3 Entwicklung der forstlichen Verfahrenstechnik*

Der Bereich «*forstliche Verfahrenstechnik*» befasst sich mit Produktionsprozessen, welche im klassischen Sinne die Aufgabe haben, Holz als Rohstoff bereitzustellen. Die Holzernte als wichtigster Teil der forstlichen Verfahrenstechnik ist nicht etwa eine Errungenschaft der Neuzeit. König Salomo soll bereits vor rund 2900 Jahren (935 v. Chr.) im Libanon über 30 000 Waldarbeiter im Einsatz gehabt haben, um die riesigen Holzmengen, die für den Bau seines Tempels benötigt wurden, bereitzustellen (*Samset*, 1992). Dies ohne moderne Kommunikationsmittel, ohne Maschinen und ohne akademisch ausgebildete Fachleute!

Es ist aus heutiger Sicht selbstverständlich, dass das oberste Ziel der forstlichen Verfahrenstechnik darin besteht, Waldökosysteme in einen Zustand zu bringen oder in einem Zustand zu halten, in dem sie menschliche Bedürfnisse nach Gütern (Holz) und/oder Dienstleistungen nachhaltig befriedigen. Dieses Verständnis moderner Forstwirtschaft macht das Prinzip der Nachhaltigkeit für die mitteleuropäische Forstwirtschaft seit bald hundert Jahren zur obersten Maxime (vgl. *Steinlin*, 1984). Der am Rio-Gipfel 1992 von *Schmidheiny* (1992) formulierten «*sustainability*» lebt die Forstwirtschaft bereits seit Jahrzehnten nach.

Eine eigentliche Holzerntetechnik entwickelte sich erst nach der industriellen Revolution. Bis um 1950 wurde die Arbeit vorwiegend mit Tier-, Wasser-, Menschen- und Schwerkraft erledigt. Die Holzhauerei erlebte einen entscheidenden Wandel durch die Einführung der Motorsäge ab etwa 1950. Die Arbeitsproduktivität konnte dadurch entscheidend verbessert werden,

und die heute in der Schweiz noch dominierenden motor-maniuellen Verfahren fanden ihren Anfang.

Bereits 1957 wurde in Kanada der erste Vollernter konstruiert (*Silversides*, 1988), der sämtliche Teilarbeiten vom Fällen zum Entasten, Ablängen und Einschneiden vollmechanisiert ausführen konnte. Es sollte jedoch rund dreissig Jahre dauern, bis diese Technologie auch bei uns Einzug hielt. In der Folge des Sturmjahres von 1990 stehen in der Schweiz zur Zeit rund 15 skandinavische Vollernter im Einsatz, was neue Fragen wie die Schadwirkung durch das Befahren auf den Boden auslöst. Für nicht direkt befahrbares Gelände, wie es in der Schweiz vorherrscht, sind allerdings noch keine brauchbaren technischen Lösungen für eine Vollmechanisierung in Sicht.

Ein Beispiel zur schweizerischen Forsttechnologie: Unter Gebirgsverhältnissen ist der Transport des Holzes vom Schlagort an eine Strasse oder an einen Weg – das sogenannte Rücken oder Bring – ein Hauptproblem. Als Technologie entwickelte sich in der Schweiz die Seilkranttechnik. Die Schweiz war zu Beginn der sechziger Jahre weltweit das führende Land auf diesem Gebiet. Die heutigen modernsten Anlagen können mit nur zwei Personen bedient werden und sind elektronisch gesteuert. Kurt Vyplel ist der eigentliche Vater dieser modernen Seilkrangeneration, die aus Österreich kommt. Immerhin dürfen wir mit einem gewissen Stolz feststellen, dass die modernsten Vyplelschen Kräne ihren Keim in einer von Steinlin/Zehntner in der Schweiz entwickelten Kupfer-Anlage haben (*Vyplel*, 1992).

## 2.4 Entwicklung des Bereiches Naturgefahren

Die grossflächigen Abholzungen zu Beginn des 19. Jahrhunderts hatten katastrophale Überschwemmungen zur Folge. Diese machten den Zusammenhang zwischen Waldzerstörung und Schadenereignissen bewusst und führten zum Forstpolizeigesetz von 1876. Seit über 100 Jahren ist der Forstdienst für die Bewältigung eines Grossteils der Naturgefahren zuständig. Die Massnahmen zur Erhaltung und zum Wiederaufbau des Waldes umfassten auch Projekte zum Schutz vor Lawinen und Wildbachgefahren. In der Pionierzeit des Verbauwesens, welche bis etwa 1950 dauerte, entstand eine Vielzahl von grossen Verbauwerken, mit denen man versuchte, Wunden in der Landschaft zu schliessen. Neben «harten» Baumaterialien haben die Forstleute seit langer Zeit Pflanzen als Baustoffe verwendet. Diese Bauweise – heute als Ingenieurbiologie bezeichnet – wird seit einiger Zeit auch ausserhalb des Forstwesens eingesetzt.

Der Lawinenwinter von 1950/1951 führte zu einer Wende in der Bau-technik, eine wahre Flut von Projekten entstand. Mit dem neuen Waldgesetz, das per 1. Januar 1993 in Kraft trat, wurden die Aufgaben im Bereich Naturgefahren beträchtlich erweitert: auch Steinschlag, Erosions- und Rutsch-

gefährden wurden eingeschlossen; der Forstdienst wird die Naturgefahren neu raumwirksam zu betrachten haben.

### **3. Prinzipien des Denkens und Handelns im forstlichen Ingenieurwesen**

#### *3.1 Das forstliche Ingenieurwesen als wissenschaftliche Disziplin*

Vorerst geht es darum, das Fach Forstliches Ingenieurwesen als wissenschaftliche Disziplin zu definieren. Es ist darunter folgendes zu verstehen: «Anwendung von Prinzipien der Ingenieurwissenschaften, um praktische Probleme wie die Entwicklung, die Konstruktion oder den produktiven Betrieb forstlicher Systeme zu lösen».

Die Steigerung der Wissensmenge ist in allen Disziplinen enorm, und das Wissen im Technologiebereich zersetzt sich zunehmend, man spricht in den High-Tech-Disziplinen von einer Halbwertszeit des Wissens von drei bis vier Jahren. Obwohl ein derart rascher Zerfall des Wissens für das forstliche Ingenieurwesen nicht zutrifft, muss sich die Hochschule stärker als bisher auf die Vermittlung und das Einüben von Grundwissen und Grundprinzipien konzentrieren. Es sind zwei Grundprinzipien, mit denen der Forstingenieur im technischen Bereich arbeitet:

- der Umgang mit und die Abwicklung von Projekten und
- das Systemdenken (Systems Engineering) als eine technische Problemlösungsmethodik.

#### *3.2 Problembearbeitung im Rahmen von Projekten*

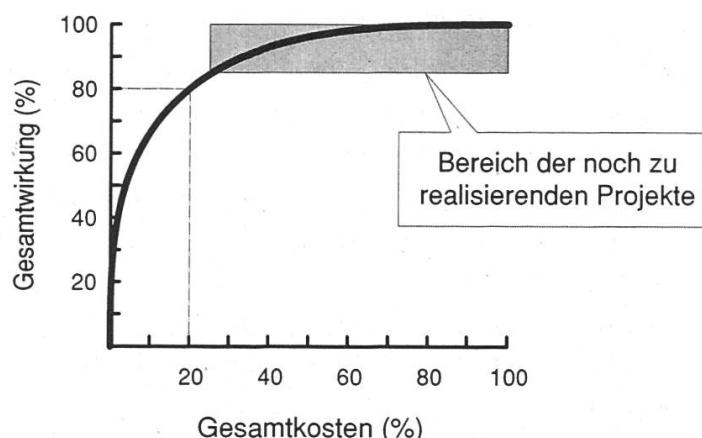
Ausgangspunkt für das Handeln des Ingenieurs bilden Probleme (Bedürfnisse) der Menschen oder der Gesellschaft, die gelöst werden müssen. Der Ingenieur bearbeitet diese Probleme im Rahmen von Projekten. Unter Projekt ist ein einmaliges Vorhaben zu verstehen, das zeitlich begrenzt ist und mit beschränkten Ressourcen ein bestimmtes Ziel erreichen soll. Die Abwicklung erfolgt in Phasen, um ein Vorhaben zielgerichtet und transparent zu gestalten. Die schweizerische Forstwirtschaft bewältigt ein jährliches Arbeitsvolumen im Wert von ungefähr 750 bis 850 Millionen Franken. Davon sind 25% technische Projekte (Erschliessungen, Lawinen-, Wildbach-, Aufforstungsprojekte). Die neuen Förderungsmassnahmen, die das Waldgesetz seit 1993 bringt, werden zu einem Grossteil ebenfalls als Projekte abgewickelt, womit zusätzliche 10 bis 20% des Arbeitsvolumens dazukommen und tendenziell knapp die Hälfte des forstlichen Arbeitsvolumens in Projekten realisiert wird. Um Projekte erfolgreich abwickeln und steuern zu können, sind vier Zielgrössen eingehender zu betrachten:

- der Zeitraum, in dem das Vorhaben realisiert werden soll, der von den Bedürfnissen her eher kürzer, von der Vorbereitung her jedoch entscheidend länger geworden ist;
- die technische Leistung, die zu erbringen ist, wobei heute weniger die Quantität als vielmehr die Qualität der Leistung entscheidend ist;
- die begrenzten Kosten, mit denen ein Vorhaben realisiert werden soll, wobei genauer genommen das Verhältnis von zu erreichendem Ziel zu eingesetzten Kosten – die Wirtschaftlichkeit – massgebend ist;
- die gesellschaftliche Akzeptanz, ob ein Vorhaben überhaupt realisiert werden kann.

Die Rahmenbedingungen für die Realisierung technischer Vorhaben haben sich in den letzten Jahren entscheidend geändert. Der Handlungsspielraum ist enger geworden. Dies gilt insbesondere für die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, welche nachfolgend eingehender betrachtet werden.

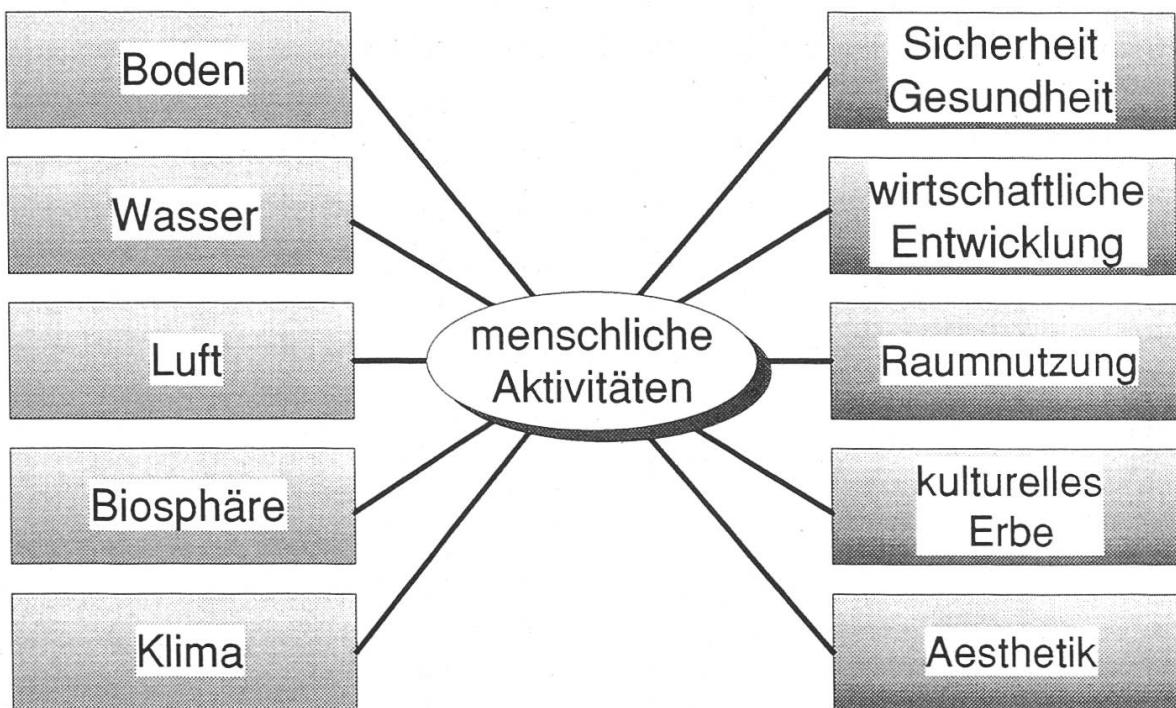
Es ist davon auszugehen, dass die Realisierung von Projekt-Programmen dem Pareto-Prinzip folgt, welches in *Abbildung 1* dargestellt ist. Dieses Prinzip – auch 80/20-Regel genannt – besagt, dass für die Lösung der einfacheren 80% aller Fälle lediglich 20% aller Kosten anfallen, während die kompliziertesten 20% der Fälle 80% des Aufwandes erfordern. Wenn wir den Stand der Walderschliessung in der Schweiz als Beispiel nehmen, so haben wir – aus heutiger Sicht – rund 85 bis 90 % des gesamten Volumens verwirklicht. Die noch zu realisierenden Projekte werden immer mehr zu Grenzfällen, bei denen die Frage, ob das Verhältnis von Kosten zu Wirkung noch vertreten werden kann, entscheidend ist. Es scheint selbstverständlich, dass für derart schwierige Projekte auch bessere Entscheidungsgrundlagen bereitgestellt werden müssen, als dies für die einfacheren Projekte nötig war, weshalb verfeinerten Analyse- und Bewertungsmethoden eine erstrangige Bedeutung zukommt.

In den achtziger Jahren haben die Politiker die Thematik der Umweltprobleme aufgegriffen. Die Resultate der Aktivitäten sind ein Umweltschutz-



*Abbildung 1.*  
Pareto-Prinzip (80/20-Regel) bei forstlichen Projekten. Für die Realisierung eines Programmes werden 80 % des Aufwandes benötigt, um die kompliziertesten 20 % der Fälle zu realisieren.

gesetz und mehrere darauf basierende Verordnungen, welche verbindliche Auflagen enthalten. Die Regelungsdichte ist enorm, man spricht davon, dass auf Bundesstufe jährlich etwa 1000 Seiten an neuen Erlassen dazukommen. Der Ingenieur muss deshalb die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen in seine Überlegungen einbeziehen und insbesondere die Auswirkungen von Vorhaben auf die Umwelt abschätzen und bewerten. Diese Bewertung darf nicht einseitig erfolgen, sondern muss sowohl die Auswirkungen auf die natürliche Umwelt (Boden, Wasser, Luft, Biosphäre, Klima) als auch auf die soziale Umwelt (Sicherheit/Gesundheit, wirtschaftliche Entwicklung, Raumnutzung, kulturelles Erbe, Ästhetik) berücksichtigen (*Abbildung 2*). Durch diesen ganzheitlichen Beurteilungsansatz wird es in der Regel für keinen Teilbereich eine optimale Lösung geben, sondern es gilt, einen tragfähigen Kompromiss zu finden. Heute entstehen oft Probleme, wenn sich Exponenten in winkelriedscher Manier für einen Teilbereich einsetzen und dabei den Blick für das Ganze aus den Augen verlieren. Für konstruktives Handeln braucht es Konsensfähigkeit und Bereitschaft zu Kompromissen, selbst dann, wenn ein Kompromiss gewisse Abstriche an der eigenen Überzeugung nötig macht.



*Abbildung 2.* Auswirkungen technischer Lösungen auf die Umwelt; nach Westman (1985), verändert. Aus ganzheitlicher Sicht ist die soziale Umwelt (auf der rechten Seite dargestellt) in die Überlegungen miteinzubeziehen.

### 3.3 Technische Problemlösungsmethodik – Systems Engineering

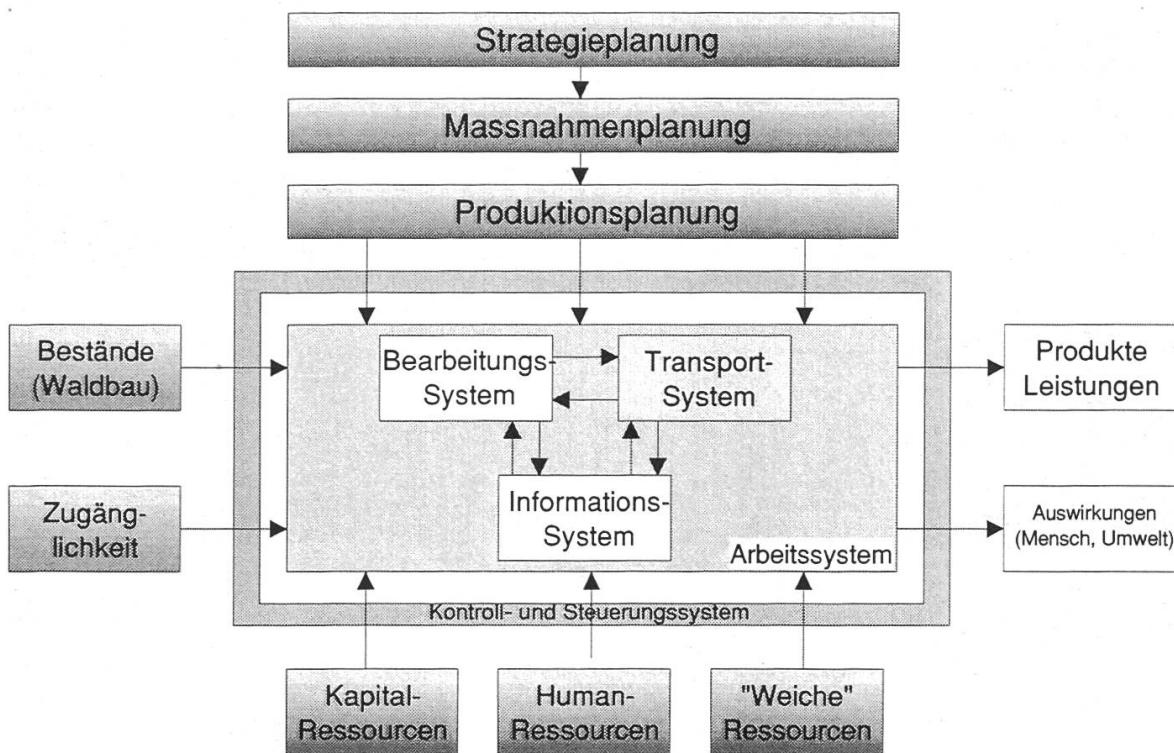
Das zweite Prinzip des Denkens und Handelns beinhaltet das Systemdenken oder «Systems Engineering». Die Lösung von Problemen darf – vor

allem unter schwieriger und enger werdenden Rahmenbedingungen – nicht nur der Intuition überlassen werden; sie erfordert eine systematische Denk-, Verfahrens- und Vorgehensanleitung. Systems Engineering ist nichts anderes als eine technische Problemlösungsmethodik, die auf bestimmten Denkmodellen beruht und die zweckmässige, zielgerichtete Gestaltung komplexer Systeme ermöglichen soll (vgl. *Haberfellner et al.*, 1992).

Das Systemdenken ist in den technischen Wissenschaften rund 40 Jahre alt und geht auf den Biologen Ludwig von Bertalanffy zurück (*Seiffert*, 1992), der ein System als «Menge von Elementen, zwischen denen Wechselwirkungen bestehen», definiert. Die Entstehung der modernen Naturwissenschaften im 17. Jahrhundert war mit einer eigenen Denkweise verbunden, nämlich dass sich alle Probleme bis in Einzelteile zerlegen lassen, wobei das Ursache-Wirkungsprinzip gelte (Welt ist die Summe ihrer Teile). Diese Denkprinzipien des Reduktionismus, des Determinismus und der Analytik galten fast 400 Jahre lang und wurden erst in den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts verlassen (*Primas*, 1992).

In *Abbildung 3* ist der systemtheoretische Denkansatz anhand eines Beispiels aus der Forstwirtschaft erläutert. Die *Abbildung 3* zeigt ein Führungsmodell eines Forstbetriebes mit folgenden Subsystemen:

- im Zentrum der Betrachtung steht ein forstliches Arbeits- oder Produktionssystem;



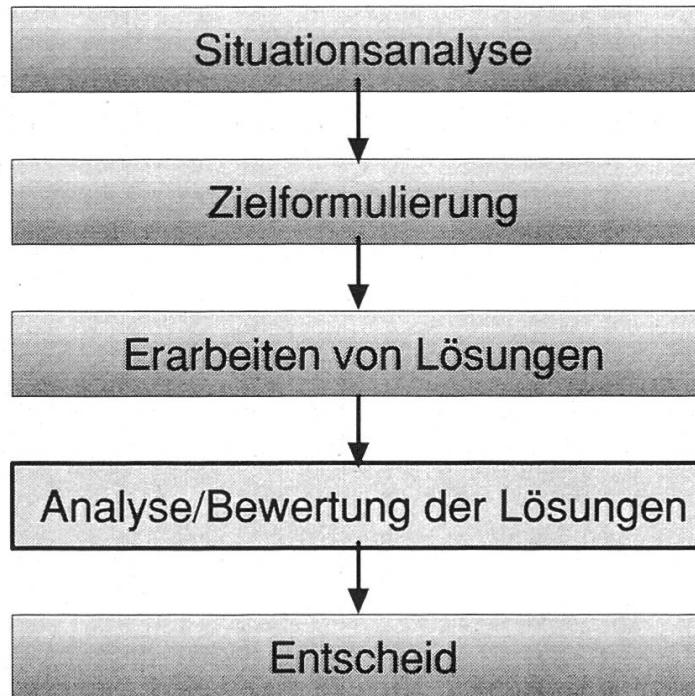
*Abbildung 3.* Systemorientiertes Führungsmodell eines Forstbetriebes. Die systemorientierte Betrachtungsweise definiert überschaubare Subsysteme, die über Schnittstellen zusammenwirken, und betrachtet deren Wechselwirkungen. Dadurch ist das Ganze mehr als die Summe seiner Teile.

- auf der linken Seite sind die natürlichen Ressourcen zu sehen, die Waldbestände und die Zugänglichkeit, welche die Möglichkeit, ob Massnahmen ausgeführt werden können oder nicht, massgebend beeinflusst;
- unten sind jene Ressourcen dargestellt, welche für das Inganghalten des Arbeitssystems nötig sind;
- auf der rechten Seite steht der Output des Systems. Es sind dies zum einen Produkte (Holz) und Leistungen, zum anderen aber auch negative Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen;
- oben ist das Planungssystem dargestellt, welches dazu dient, die Zielsetzungen festzulegen und diese Ziele in Aktionen umzusetzen;
- schliesslich benötigen wir ein Kontroll- und Steuerungssystem, das dazu dient, Abweichungen von der Zielsetzung festzustellen und rechtzeitig Korrekturmassnahmen einzuleiten.

Diese Perspektive eines Forstbetriebes macht deutlich, dass die systemtheoretische Sichtweise mehr ist als die Summe der Subsysteme und Komponenten. Es sei sogar die Behauptung gewagt, dass die grössten Probleme in der Praxis an den Schnittstellen auftreten, die in *Abbildung 3* durch Pfeile dargestellt sind. Betrachten wir einen Teil des Arbeitssystems eingehender: das Transportsystem, welches für den Transport des Holzes vom Gelände bis an eine lastwagenbefahrbare Strasse sorgt. Im Gebirge ist in den letzten Jahren eine Frage im Bereich des Transportsystems heftig diskutiert worden: Helikopter oder Seilkran? Nachfolgend wird dargestellt, wie man dieses Problem mit den Denkmodellen und Methoden des Systems Engineering lösen könnte.

Als Grundmodell dient der systematische Problemlösungszyklus (*Abbildung 4*), der nach klar definierten Phasen vorgeht. Bei der Situationsanalyse geht es darum, die Problemstellung zu formulieren und die Rahmenbedingungen abzustecken. Dieser Schritt ist oft entscheidend, dürfte doch die Feststellung Einsteins, eine gründliche Problemdefinition bedeute 70 % der Lösung, auch für forstliche Probleme gelten. Mit der Zielformulierung wird festgehalten, was erreicht werden soll. Danach werden verschiedene Lösungsmöglichkeiten erarbeitet, wobei die Lösung, nichts zu machen, immer in die Überlegungen einzubeziehen ist. Wichtig ist die Analyse und die Bewertung der Lösungen, denn sie dient dazu, den Entscheidungsprozess verständlich und nachvollziehbar zu machen. Dazu muss die Wirklichkeit vereinfacht werden. Hier dienen uns verschiedene Modellansätze, die in der Praxis noch oft auf Ablehnung stossen, was dann zu rein intuitiven Entscheiden führt.

Die Vereinfachung besteht zuerst darin, die massgebenden Einflussgrössen festzulegen. Um die Frage «Heli- oder Seilkaneinsatz» zu beantworten, sind schnell 10 Einflussgrössen vorhanden, welche in die Modellbildung einfließen. Das menschliche Gehirn ist jedoch nicht in der Lage, mehr



*Abbildung 4.*  
Systematischer Problemlösungszyklus. Nach Haberfellner et al.  
(1992).

als drei Einflussgrößen simultan zu kombinieren. Wir müssen auf mathematische Modellierungen zurückgreifen. Das Resultat der Modellierung ist vereinfacht dargestellt in *Abbildung 5*, die jedoch nur für die angenommenen Eingangsgrößen gilt und für andere Bedingungen angepasst werden müsste. Auch dazu sei auf ein Einsteinsches Prinzip hingewiesen: «so einfach wie möglich, aber nicht einfacher». Damit ist ein wesentliches Denkschema eines Ingenieurs dargestellt. Es geht darum, möglichst alle Einflussgrößen in den Entscheidungsprozess einzubeziehen und danach das Ergebnis auf die wichtigsten Parameter zu reduzieren.

Die hier dargestellten Prinzipien, Umgang mit Projekten und Systemdenken, verändern sich im Laufe der Zeit nicht wesentlich und sollen Grundlage für das Denken und Handeln im forstlichen Ingenieurwesen sein.

#### 4. Probleme der Lehre und Forschung

##### 4.1 Lehre

In der Ausbildung in forstlichem Ingenieurwesen dominierte vor 1895 die Vermessung; eine verständliche Angelegenheit, wenn man weiß, dass nur wenige Pläne und Karten bestanden. Die Absolventen der Abteilung für Forstwirtschaft der ETH hatten damals auch die Möglichkeit, Forstgeometer

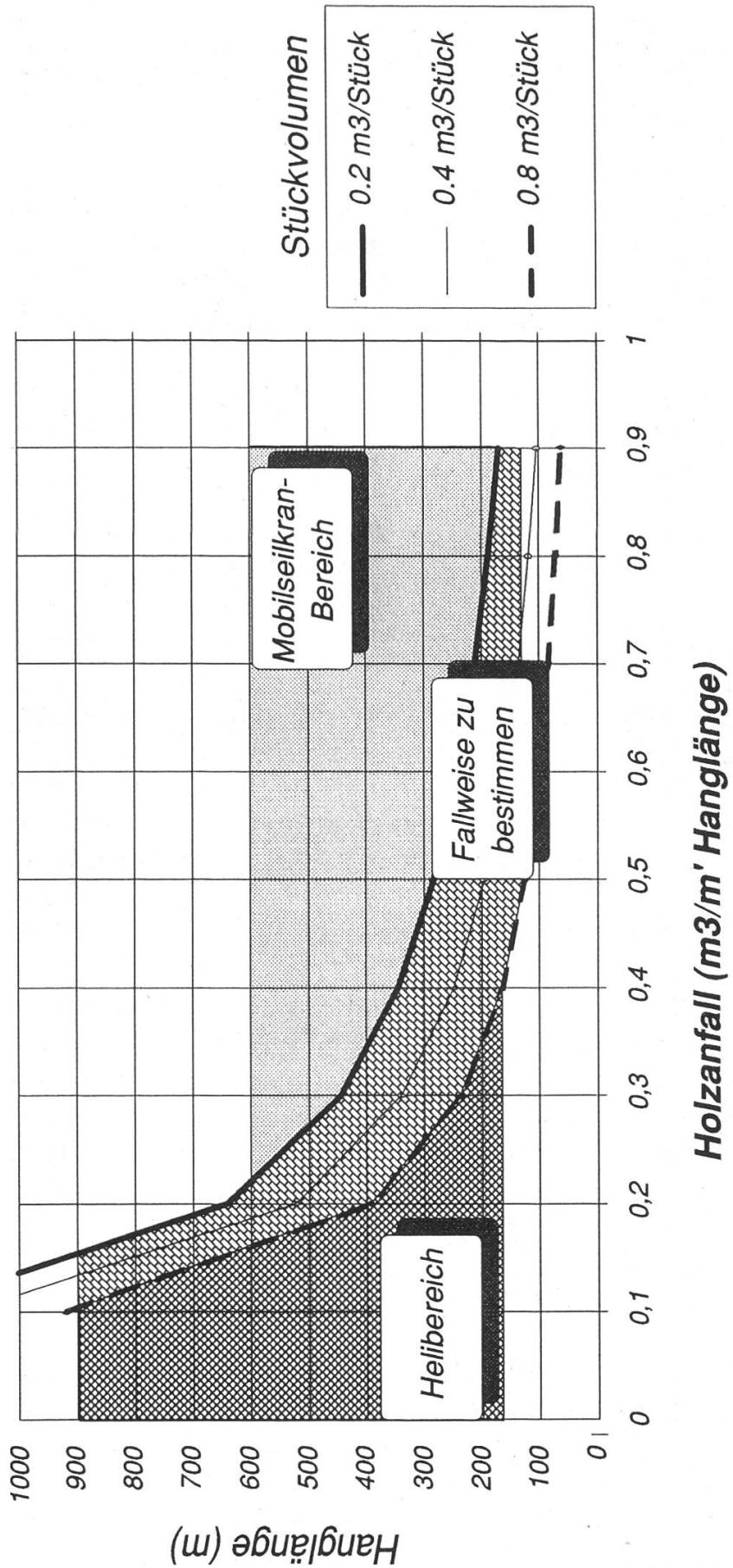


Abbildung 5. Abgrenzung der Geländetransportsysteme «Helikopter» und «Mobilseilkran» mit Hilfe von Produktivitätsmodellen. Eingangsgrössen: Personalkosten Fr. 35.– pro Std.; Systemkosten Mobilseilkran Fr. 245.– pro Std.; Systemkosten Helikopter Fr. 2000.– pro Std.; Mannschaftsgröße beim Seilkraneinsatz 3–4; Mannschaftsgröße beim Helieinsatz 4.

zu werden. Wie wichtig die Vermessung für die Forstfachleute angesehen wurde, lässt sich daran ersehen, dass einmal ein ganzes Semester durch die Schlussdiplomprüfung fiel, und zwar wegen ungenügender Noten in Vermessung (*Bagdasarjanz*, 1955). Bis 1955 wurde das forstliche Bau- und Transportwesen wesentlich ausgebaut, und man konnte ein vollständiges Strassenprojekt ausarbeiten, während vorher die Zeit knapp ausreichte, um die «berühmte» Wendeplatte zu konstruieren (*Bagdasarjanz*, 1955).

In den letzten dreissig Jahren befasste man sich in der Schweiz schwerge- wichtig mit Erschliessungs- und Bautechnik. Ein Vergleich mit der Forstwirtschaft in anderen Industrieländern zeigt eindeutig, dass dies eine schweizerische Besonderheit darstellt. Die umliegenden Gebirgsländer, aber auch Schweden und Nordamerika, befassen sich im Gebiet des forstlichen In- genieurwesens hauptsächlich mit Verfahrens- respektive Holzerntetechnik.

Damit stellt sich die Frage, in welche Richtung sich die Lehre weiterentwickeln soll, dies aufgrund des derzeitigen gesellschaftlichen Umbruchs, der sich in folgenden Faktoren äussert:

- in einem instabilen Wertesystem, das sich weiter verändern wird; als Folge davon vollziehen wir den Übergang von der Produktions- zur Dienstleis- tungsforstwirtschaft;
- in der Änderung der politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen; der Wald gerät vermehrt ins Interesse der Öffentlichkeit; welche Auswirkungen das hat, wurde bereits dargelegt;
- in der zunehmenden Globalisierung der Märkte. Dies gilt auch für Holz, das als Industrieprodukt gehandelt wird und deshalb keine Schutzzölle geniesst. Dies ist nach wie vor bedeutend, da ein Grossteil der Aktivitäten im Wald stark vom Holzpreis beeinflusst wird;
- in der Konfliktsituation «Segen und Fluch der Technik» (*Müller*, 1992), die sich eher noch verschärfen wird, da die Forsttechnologie für die Holznutzung – zumindest in befahrbarem Gelände – mehr und mehr durch einen einzigen Konzern – die finnische FMG-Gruppe – dominiert wird. Damit werden langjährige Traditionen, so zum Beispiel die Langholzsor- tierung, in Frage gestellt, da der Entwicklung die skandinavische Kurz- holzmethode zugrunde gelegt wurde.

Um eine zukünftige Lehre skizzieren zu können, sind vorerst die Eigen- schaften, die wir von einem Ingenieur erwarten, zu umschreiben. «Wir leben technisch, der Mensch als Beherrcher der Natur, der Mensch als Ingenieur, und wer dagegen redet, der soll auch keine Brücke benützen, die nicht die Natur gebaut hat.» Auf diese Weise verteidigte Walter Faber in Max Frischs Roman die Technik gegen lästige Zweifler. Würde sich Walter Faber heute auf dieselbe Art und Weise äussern? Sicherlich nicht. Die Diskussion um ein modernes Berufsbild wird auch in anderen Ingenieurberufen geführt (vgl. Müller, 1992, *Basler*, 1992, *Siegrist*, 1991). Auch die Abteilung für Forstwirt-

schaft der ETH setzt sich im Rahmen der laufenden Studienplanrevision damit auseinander. Die Gemeinsamkeiten der laufenden Diskussionen lassen sich in folgenden Punkten festhalten:

- die herausragende Eigenschaft eines Ingenieurs ist sein Urteilsvermögen. Die gesamte Tätigkeit eines Ingenieurs ist auf eine Entscheidung ausgerichtet. Dabei gilt es, neben der technischen und der ökonomischen Seite auch die ökologische Seite eines Vorhabens zu beurteilen und die ethischen Aspekte des Gesamtsystems zu berücksichtigen;
- eng mit Urteilsvermögen ist die Fähigkeit, ganzheitlich – vernetzt ist nur das Modewort – zu denken, verbunden. Es gilt, die Zusammenhänge eines Problems in einem grösseren Ganzen zu beurteilen, offene Fragen und Schnittstellen darzulegen, und bedingt ein enges, interdisziplinäres Zusammenarbeiten;
- von zentraler Bedeutung ist die Lernfähigkeit. Die Steigerung der Wissensmenge und der Zerfall des aktuellsten Fachwissens bedingen andere Schwerpunkte. Sachbezogenes Detailwissen wird immer mehr aus Datenbanken für jeden verfügbar sein. Die Lehre muss sich daher auf das Grundwissen konzentrieren. Dieses Grundwissen enthält auch das Erkennen von Problemen, die Fähigkeit, Probleme zu strukturieren, oder anders ausgedrückt, die Fähigkeit, die richtigen Fragen zu stellen (Kroy, 1989). Der Schulsack wird nicht mehr nur einmal gefüllt, sondern muss während des ganzen Berufslebens nachgefüllt werden, weshalb die Lernfähigkeit gut ausgebildet sein und ein Leben lang erhalten bleiben muss;
- die Fachkompetenz wurde in fast zwei Jahrhunderten technisch-wissenschaftlicher Ausbildung als Selbstverständlichkeit hingenommen. Immerhin kann erwartet werden, dass ein Absolvent der Abteilung für Forstwirtschaft der ETH einen nach internationalen Kriterien gut gefüllten Rucksack an Grund- und Fachwissen in ausgewogenem Verhältnis aufgenommen und dieses Wissen verarbeitet hat;
- soziale Kompetenz beinhaltet die Fähigkeit, sich selbst darzustellen und andere für eine Sache überzeugen und gewinnen zu können. Kontaktfreudigkeit und Kommunikationsfähigkeit sind wichtige Eigenschaften, wenn es darum geht, Projekte und deren Zusammenhänge im Rahmen öffentlicher Information darzulegen.

Ein Umriss der erforderlichen Eigenschaften eines Forstingenieurs ist entscheidend, um die Lehre im Rahmen der laufenden Studienplanrevision neu auszurichten. Die Frage ist, wie diese Eigenschaften ausgebildet werden können. Lösungsansätze sind in folgenden Massnahmen zu suchen:

- in vermehrter Team- und Gruppenarbeit;
- in der Förderung der Lernfähigkeit durch selbständige Arbeiten, für die der Student aktiv Informationen zusammentragen und verwerten muss;

- in problemorientiertem Unterricht nach der Projektmethode und anhand von Fallstudien in den oberen Semestern. Blockveranstaltungen wie der Bau- und Vermessungskurs bieten Raum für derartiges Arbeiten;
- in der Verlagerung in Grundsatzfragen, das heisst «ob überhaupt, wohin, woher» anstelle von «wie».

## 4.2 Forschung

Die Frage, ob Lehre oder Forschung wichtiger sei, hat immer wieder Diskussionen veranlasst. Forschung und Lehre sind als gleichwertig zu betrachten. Gelingt es nicht, das aktuellste Wissen und die modernsten Methoden zu vermitteln, so droht die Hochschule zur reinen Fachhochschule oder technischen Lehranstalt zu degradieren.

Weltweit gibt es schätzungsweise rund 3000 Forscher, die sich mit forstlichem Ingenieurwesen im weitesten Sinne befassen (*IUFRO*, 1988). Was kann da eine kleine schweizerische Forschungsgruppe beitragen? Für die nächsten Jahre sollen folgende Grundsätze gelten:

- wir müssen uns auf wenige Bereiche konzentrieren. Staatssekretär *Ursprung* hat es treffend ausgedrückt: «Es sollen einige ausgewählte Fahnen wehen und nicht unzählige Wimpel flattern»;
- wir wollen Nischen abdecken. Für uns in der Schweiz liegt eine Nische in den Problemen der Gebirgsforstwirtschaft, die international relativ schmal abgedeckt ist, jedoch zusehends Bedeutung erlangt;
- eine verstärkte Zusammenarbeit mit der Versuchsanstalt in Birmensdorf, mit anderen Hochschulinstituten des In- und Auslandes soll Synergien fördern. Ungeachtet des EWR-Entscheides vom 6. Dezember 1992 ist auch eine Beteiligung an EG-Forschungsprogrammen anzustreben;
- im heutigen wissenschaftlichen Umfeld ist ein Fachbereich auf ausgewiesene Spezialisten angewiesen. Ich betrachte es als eine Aufgabe, den wissenschaftlichen Nachwuchs, das heisst für uns vor allem Doktoranden, im Rahmen unserer Möglichkeiten zu fördern.

Aufgrund dieser Grobziele sehe ich für die nächste Zeit folgende Forschungsschwerpunkte:

- die betriebswirtschaftliche Lage unserer Forstbetriebe muss verbessert werden. Ein grosses Potential liegt im organisatorischen Bereich. Es geht darum, Verfahrensabläufe zu optimieren und Erschliessungs- und Holzerntesysteme möglichst gut aufeinander abzustimmen;
- die Evaluation umweltschonender Arbeitsverfahren und Bauweisen ist ein Hauptanliegen unserer Zeit. Der neoklassische Ansatz der Ökonomen stellt wirtschaftliche Kriterien als Beurteilungsgrössen in den Vordergrund. Ökologische Effizienz beruht zum einen auf dem Prinzip, tech-

- nischen Prozessen Energie mit möglichst niedriger Entropie zuzuführen. Zum anderen geht es darum, dass die Prozesse möglichst wenig Entropie produzieren (vgl. *Binswanger*, 1992). Durch derartige Betrachtungsweisen könnte sich unsere Entscheidungsbasis massgeblich verändern;
- wir müssen die Arbeitsbedingungen unserer Walddarbeiter fortentwickeln und die Arbeit im Wald humaner gestalten. Die Industrie vollzieht den Übergang von der mechanischen zur automatischen Produktion, was auch als wissenschaftlich-technische Revolution bezeichnet wird (*Ulich*, 1992). Daneben stagniert die Forstwirtschaft – zumindest in der Schweiz – auf dem Niveau der handwerklichen Produktion, bei der die Reduktion der körperlichen Anforderungen nicht oder noch nicht vollzogen ist;
- mit der immer dichteren Besiedelung unseres Raumes erlangen die Auswirkungen von Naturgefahren zusehends Bedeutung. Die Suche nach Lösungen im Sinne von verantwortungsvollem Umgang mit Risiko und Sicherungsmassnahmen ist zur Zeit in der Schweiz aktuell, wird aber auch in den anderen Gebirgsländern unserer Welt zusehends Bedeutung erlangen.

Diese Schwergewichte sollen mittelfristig als Leitlinien dienen, innerhalb derer einzelne Forschungsprojekte in Angriff genommen werden. Sie entbinden jedoch nicht davon, die Situation dauernd zu analysieren und allfällige Neuausrichtungen aufzunehmen.

## **5. Ausblick**

Die obigen Ausführungen unterstreichen, dass die Forstleute eine grosse Verantwortung für eine nachhaltige Raum- und Landnutzung haben. Dank der Technik ist Beträchtliches erreicht worden, und hinter jeder technischen Lösung widerspiegelt sich der jeweilige Zeitgeist. Wenn am Rio-Gipfel von 1992 «sustainability» als die neue Marschrichtung dargestellt wurde, so dürfen die Forstleute in Mitteleuropa mit Stolz darauf hinweisen, dass sie dies seit längerer Zeit praktizieren.

Die Prinzipien, welche das Denken und Handeln in einer Ingenieurdisziplin leiten, wurden dargelegt. Die Verlagerung vom Verfügungswissen (wie?) zum Orientierungswissen (Ob überhaupt? Wozu? Wieviel?) beinhaltet das Beherrschende von Problemlösungsmethoden und Vorgehensweisen. Mit dem eingeleiteten Wertewandel wird sich auch die angewandte Technik ändern und anpassen.

Fortschritte, glaubt man dem Wissenschaftsphilosophen Thomas Kuhn, sind nur möglich, wenn sie einem radikalen Wechsel der Seh- und Denkweisen entspringen. Zur Zeit vollziehen wir einen derartigen Paradigmenwechsel;

eine neue Geisteshaltung ist dabei, eine frühere abzulösen. Jeder Umbruch bedeutet auch Unordnung. Nur weil etwas jahre- oder sogar jahrzehntelang gegolten hat, bedeutet das noch lange nicht, dass es auch gut ist und für immer so bleiben muss. Der Wechsel bedeutet für mich nicht Nachteile, sondern vor allem die Chance, unsere Forstwirtschaft tatkräftig weiterzuentwickeln. Ich möchte gerne mithelfen, diese Aufgabe zu lösen. Immer im Bewusstsein, dass Heute das Gestern von Morgen ist.

## Résumé

### Les principes du génie forestier

L'évolution du mode de penser de la société et son attitude de plus en plus critique face à la technique donnent lieu à des réflexions au sujet des devoirs et de ce qui est du ressort du génie forestier. Le génie forestier est une branche technique qui s'occupe essentiellement de trois domaines, à savoir la technique de la desserte, les dangers naturels et la technique de la récolte du bois. Son caractère scientifique a été établi dans la deuxième moitié du XIXe siècle et jusqu'à la deuxième guerre mondiale, ses activités étaient marquées par des techniques et des procédés qui s'orientaient uniquement sur les forces physiques de l'homme et de l'animal. La mécanisation des techniques de construction, de transport et de la récolte du bois a débuté vers 1950. Le mouvement pour la protection de l'environnement, qui se manifeste depuis la fin des années septante, marque la manière actuelle de penser et d'agir.

Selon l'auteur, il est fondamental d'agir et de penser selon un système de résolution de problèmes techniques, puis de diriger et donner une forme aux projets qui en résultent. L'aptitude à penser dans des systèmes complexes est une condition de base pour résoudre les problèmes multiples de notre temps.

La formation scientifique des ingénieurs forestiers doit s'orienter de plus en plus sur les connaissances de base ainsi que sur le développement de la capacité à résoudre des problèmes et à travailler en groupe. Pour y parvenir, il faut que les étudiants résolvent davantage de travaux de manière indépendante et que l'enseignement attribue une grande importance à la résolution directe de problèmes techniques sous forme d'études de projets et de cas concrets.

La recherche doit se concentrer sur un nombre de domaines limités importants pour la Suisse. Il s'agit avant tout de problèmes concernant l'exploitation forestière en régions de montagne, c'est-à-dire qu'il faut optimiser la desserte et la récolte du bois, évaluer des techniques ménageant l'environnement, améliorer les conditions de travail de bûcheronnage et développer le management des risques dans le cas des dangers naturels.

Traduction: Rosmarie Kottusch

## Literatur

- Bagdasarjan, B.* (1955): Entwicklung und Stand des Unterrichtes an der Abteilung für Forstwirtschaft und die Ausbildung auf dem Gebiete der Bautechnik. Schweiz. Z. Forstwes., 106, 9/10: 535–549.
- Basler, E.* (1992): Der Bauingenieur in der Zukunft. Schweiz. Ingenieur und Architekt, 110, 32: 402.
- Binswanger, M.* (1992): Information und Entropie. Ökologische Perspektiven des Übergangs zu einer Informationswirtschaft. Campus Verlag, Reihe Wirtschaftswissenschaft. Frankfurt, New York. 396 S.
- Dotzel, K.* (1898): Handbuch des forstlichen Wege- und Eisenbahnbau. Paul Parey. Berlin. 290 S.
- Haberfellner, R. et al.* (1992): Systems Engineering. Methodik und Praxis (7. Aufl., neu bearb. und erg.). Verlag Industrielle Organisation. Zürich. 618 S.
- IUFRO (Hg.)* (1990): Reports of Division 3 «Forest Operations and Techniques». In: Report, XIX IUFRO World Congress, 5–11 August 1990, Montreal, Volume A, 285–297.
- Kroy, W.* (1989): Szenario 2000. Aspekte der wissenschaftlichen und technologischen Entwicklung unserer Zukunft. Schweiz. Ingenieur und Architekt, 107, 32: 839–851.
- Kuonen, V.* (1983): Wald- und Güterstrassen. Planung – Projektierung – Bau. Eigenverlag. Pfaffenhausen. 743 S.
- Kuhn, Th.* (1970): The structure of scientific revolutions (2nd ed.). University of Chicago Press.
- Primas, H.* (1992): Mut zur Ganzheit – 400 Jahre einäugige Wissenschaft sind genug. Eidg. Technische Hochschule, Kleine Schriften Nr. 21. Zürich. 12 S.
- Müller, H.* (1992): Zwang und Wege zur Technikakzeptanz. Schweiz. Ingenieur und Architekt, 110, 20: 381–383.
- Samset, I.* (1992): Forest operations as a scientific discipline. Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning (Communications of the Norwegian Forest Research Institute), 44, 12: 1–48.
- Schmidheiny, S.* (1992): Kurswechsel. Globale unternehmerische Perspektiven für Entwicklung und Umwelt. Artemis & Winkler. München. 448 S.
- Seiffert, H.* (1992): Einführung in die Wissenschaftstheorie. Handlungsweise – Modallogik – Ethik – Systemtheorie. Literatur zu den Bänden 1–3. 2., überarb. Aufl. Beck-Verlag. München.
- Siegrist, U.* (1991): Ökologische Verantwortung des Ingenieurs. Der Ingenieur als Bindeglied zwischen Auftraggeber und ökologischer Verantwortung. Schweiz. Ingenieur und Architekt, 109, 9: 183–186.
- Silversides, R.* (1988): The impact of forest operations and techniques upon forest mechanization in eastern Canada. Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning (Communications of the Norwegian Forest Research Institute), 41, 16: 234–250.
- Steinlin, H.* (1984): Forstwirtschaft und Naturschutz – Spannung oder Ausgleich. Schweiz. Z. Forstw., 135, 2: 81–98.
- Sundberg, U.* (1988): The emergence and establishment of forest operations and techniques as a discipline in forest science. Meddelelser fra Norsk Institutt for Skogforskning (Communications of the Norwegian Forest Research Institute), 41, 8: 108–137.
- Ulich, E.* (1992): Arbeitspsychologie (2., verb. Aufl.). Verlag der Fachvereine. Zürich. 469 S.
- Ursprung, H.* (1992): Europa wartet nicht auf die Schweiz. Schweiz. Handelszeitung. 3.9.92.
- Winkler, O.* (1939): Über das Transportproblem in der Gebirgsforstwirtschaft. Schweiz. Z. Forstw., 90, 3/4: 73.
- Vypiel, K.* (1992): Entwicklung und Stand der mobilen Seilbringung in Österreich. Manuskript, 22 S., unveröffentlicht.
- Westman, W. E.* (1985): Ecology, Impact Assessment, and Environmental Science and Technology. John Wiley & Sons. New York. 532 S.

*Verfasser:* Prof. Dr. Hans-Rudolf Heinimann, Departement Wald- und Holzforschung der ETHZ, Professur für Forstliches Ingenieurwesen, CH-8092 Zürich.