

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 132 (1981)
Heft: 1

Artikel: Aktuelle Probleme der forstlichen Standortforschung
Autor: Rehfuess, K.E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-764396>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

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

Aktuelle Probleme der forstlichen Standortforschung¹

Von K. E. Rehfuess, München

Oxf.: 11:18

1. Bedeutung der Standortforschung

Wenn nicht alle Zeichen trügen, so werden die Wälder der Erde künftig durch den Menschen viel stärker beansprucht und belastet als derzeit.

Weltweit gesehen, vermehrt sich die Bevölkerung noch immer, und der Verbrauch an Holz und Holzprodukten nimmt zu, während die Waldflächen schwinden. Die verfügbaren Vorräte an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energieträgern werden ausgebeutet. Die Bedeutung der Wälder als Lieferanten von Holz für viele Verwendungszwecke, von Energie, Nahrungsmitteln und von Rest-Phytomasse als Rohstoff für die chemische Industrie steigt dadurch an. Man wird die Wälder in Zukunft wohl noch mehr als bisher für die Gewinnung hochwertigen Trinkwassers heranziehen. Sie werden auch zunehmend für Erholung, für Jagd und Fischerei beansprucht. Diese Entwicklung erfordert eigentlich, die Wälder nach den menschlichen Ansprüchen zu gestalten, die natürliche Fruchtbarkeit der Böden weitestgehend auszuschöpfen und darüber hinaus ungünstige Standortfaktoren zu verbessern, wo immer dies möglich erscheint.

Gleichzeitig erzwingen die steigenden Energie- und Arbeitskosten eine weitere Mechanisierung und Rationalisierung der Betriebe. Mit zunehmender Belastung durch häufiges Betreten, durch die Deponie von Siedlungsabfällen und durch Immissionen ist zu rechnen. Andererseits verpflichtet das moderne Forst-, Landesplanungs- und Naturschutzrecht z. B. in der Bundesrepublik die Forstwirtschaft zur Erhaltung und Pflege standortgemässer, naturnaher und stabiler Wälder. Sie sind nachhaltig zu bewirtschaften, so dass sie alle Funktionen für den Landschaftshaushalt und für die Gesellschaft dauerhaft und bestmöglich erfüllen. Die Belange von Naturschutz und Landschaftspflege sind insbesondere in den öffentlichen Waldungen zu berücksichtigen.

¹ Vortrag im Rahmen der Forst- und Holzwirtschaftlichen Kolloquien an der ETH Zürich, 14. Januar 1980

Aus diesem Gesetzesauftrag folgt unzweifelhaft, dass die in der Regel kleinräumig strukturierten mitteleuropäischen Waldlandschaften wie bisher als Mosaik verschiedenartiger naturnaher Ökosysteme erhalten und gepflegt werden sollen; denn der Forstmann trägt die Verantwortung für die letzten naturnahen, terrestrischen Lebensgemeinschaften. Ihnen entspricht als unerlässliche Lebensgrundlage eine grosse Standortvielfalt. Ein Homogenisieren der Kultursubstrate nach dem Muster der Landwirtschaft ist deshalb allenfalls auf untergeordneten Teilflächen zulässig. Alle Waldbauziele und -verfahren sind im Gegenteil grundsätzlich an den natürlichen, sehr differenzierten Standortbedingungen zu orientieren. Dies gilt auch für Meliorations Eingriffe. Grosstechnischen Operationen, welche den Standortcharakter völlig verändern würden, sind dadurch von vornherein Grenzen gesetzt, selbst wenn die steigende Nachfrage nach Walderzeugnissen noch so gebieterisch danach verlangt.

Diese flüchtige Skizze von Entwicklungstendenzen zeigt, dass die Forstwirtschaft grossen, zum Teil widersprüchlichen Herausforderungen gegenübersteht. Jeder Forstmann hat ein Geflecht vielfältiger Waldfunktionen und Ansprüche an den Wald zu berücksichtigen; Zielkonflikte sind unvermeidlich. Für eine sachgerechte Strategie und vernünftige Entscheidungen im Einzelfall braucht er unter anderem umfassende und zugleich differenzierte Kenntnisse über die Waldlebensgemeinschaften, über ihre Lebensräume und über die vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen beiden Komplexen. Hier leistet die Standortforschung gemeinsam mit anderen Disziplinen ihren spezifischen Beitrag.

2. Allgemeine Ziele

Unter *Standort* verstehen wir den abiotischen Teil eines Ökosystems, den Lebensraum, welchen die Lebensgemeinschaft besiedelt und in dem sich alle Lebensvorgänge abspielen. Im Standort wirken unzählige physikalische und chemische, stoffliche und energetische Faktoren zusammen und bestimmen das Verhalten der Lebensgemeinschaft. Das Ineinandergreifen der Standort- oder Umweltfaktoren wird umgekehrt durch die Organismen beeinflusst. Der Mensch verändert das komplizierte Wirkungsgefüge eines Ökosystems entweder durch Eingriffe in den Standort oder in die Lebensgemeinschaft. Jeder dieser Eingriffe wirkt sich jedoch grundsätzlich auf das gesamte System, die Lebensgemeinschaft und den Lebensraum aus.

Die forstliche *Standortforschung* hat die Aufgabe, die Wechselwirkungen zwischen Wald-Lebensgemeinschaften und ihrem Standort zu erkunden. Im Rahmen dieser allgemeinen Zielsetzung prüft die *Waldbodenforschung*, der im folgenden besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird, die Rolle der Böden in den verschiedenartigen Waldökosystemen. Sie klärt im einzelnen, wie

die Böden entstanden, welche Eigenschaften sie im Laufe der Pedogenese erwarben, wie sie sich als Standorte von Lebensgemeinschaften eignen und welche Funktionen sie im Stoff- und Energieumsatz von Wäldern erfüllen. Oberstes Ziel ist es, die Waldböden umfassend genetisch und ökologisch zu beschreiben und sie so zu inventarisieren, dass alle einschlägigen Erkenntnisse für die Praxis nutzbar gemacht werden können. Damit erfüllt die Waldbodenforschung unter anderem ihren Auftrag für die Standortserkundung und -kartierung.

3. Einzelne Aufgaben

3.1 Standortserkundung

Moderne Waldbau- und Landschaftsplanung setzt gründliche Kenntnisse über die Standorte des Planungsgebietes voraus. Man benötigt solches Wissen nicht nur für waldbauliche Aufgaben im engeren Sinne, sondern darüber hinaus für eine Fülle verschiedenartiger Fragen: z. B. für die Planung des Maschineneinsatzes und der Deponie von Siedlungsabfällen sowie für die Beurteilung der Effekte von Schadstoffen aus der Atmosphäre.

Bei der Kartierung werden Einzelstandorte mit ähnlicher Merkmalskombination und forstlicher Eignung sogenannten Standortseinheiten zugeordnet; diese sind zu charakterisieren, abzugrenzen und in Standortskarten darzustellen. Innerhalb grossklimatisch einheitlicher Landschaften sind die Standortseinheiten vor allem durch ihre Böden bestimmt. Bodenkundliche Arbeitsmethoden werden deshalb in allen Phasen der Standortserkundung benötigt.

3.1.1 Aufklärung der Bodengenese

Man kann davon ausgehen, dass die Entwicklung der wichtigsten Waldbodenformen in Mitteleuropa wenigstens in den Grundzügen und in den forstlich relevanten Aspekten bekannt ist. Bodenformen sind die durch Entwicklungszustand und Ausgangsgestein bestimmten, charakteristischen Erscheinungsformen der Pedosphäre. Dennoch ist die genetische Erforschung von Waldböden nach wie vor ein attraktives Feld. Das zeigen z. B. die Arbeiten der Freiburger Gruppe um *Zöttl* und *Stahr* (1977, 1979) an Bodenformen aus Graniten und Gneisen im Südschwarzwald. In München studieren wir zurzeit die Eigenschaften und die Entstehung brauner, oberflächlich entkalkter und stark toniger Böden aus carbonatreichem, häufig geschichtetem Hangschutt in der montanen Stufe der bayerischen Kalkalpen. Nach unserer Arbeitshypothese handelt es sich um rezente Braunerde — *Terrae fuscae*, die an Stellen mächtiger Schneeakkumulation, intensiver Durchfeuchtung des Bodens mit grossen Sickerwassermengen und rascher Entcarbonatisierung entstehen (vgl. *Zech* u. a. 1979, *Biermayer* 1980). Unser eige-

ner Forschungsansatz lässt erkennen, dass wir die Bedeutung bodengeneti-scher Studien keineswegs gering einschätzen. Die drängendsten Probleme der forstlichen Standortforschung liegen gleichwohl nach meiner Überzeugung in anderen Bereichen.

3.1.2 Ökologische Kennzeichnung von Waldböden

Die genetische Interpretation von Waldböden muss für die Standortserkundung ergänzt werden durch eine ökologische Bewertung. In den letzten Jahrzehnten haben wir gelernt, die Standortseignung vieler Bodenformen zu begutachten. Aus kombinierten nadelanalytischen und ertragskundlichen Erhebungen in Fichten-, Kiefern-, Tannen- und Douglasienbeständen Süd- und Mitteldeutschlands sowie aus zahlreichen Düngungsexperimenten ist bekannt, auf welchen Substraten und warum mit Nährelementmangel der Waldbäume zu rechnen ist und welche Abhilfemassnahmen angebracht erscheinen (vgl. Ergebnisse von Arbeitsgruppen unter anderem in Eberswalde, Tharandt, Stuttgart, Freiburg und München). Zur gutachtlichen Ansprache des Wasserhaushalts von Böden ohne Zuschusswasser wurden praktikable Schätzverfahren entwickelt (z. B. *Laatsch*, 1969, *Renger*, 1971, *Ulrich* und *Shrivastava* 1977). Schwierigkeiten bereitet hier allerdings noch die Erfassung von Hangwasser, ein Problem, an dem gerade in Zürich intensiv gearbeitet wird.

Zweifellos ist die Standortforschung verpflichtet, das methodische Instrumentarium ständig zu verfeinern und damit die wichtigsten Waldbodenformen hinsichtlich Morphologie, Nährstoff- und Wasserhaushalt sowie biologisch immer präziser und vollständig zu charakterisieren. Beispielhaft für dieses Aufgabenfeld sind etwa die Beschreibung südwestdeutscher Waldböden im Farbbild (*Müller* 1967) und das schweizerische Inventar der sogenannten Lokal-Bodenformen (*Richard* u. a. 1978).

3.1.3 Kartierung

Der nächste Schritt ist die kartenmässige Erfassung der Böden unter Berücksichtigung klimatischer Parameter in Standortskarten. Auch hierfür gibt es brauchbare Verfahren. Sie arbeiten teils mehr mit bodenkundlichen, teils mehr mit vegetationskundlichen Methoden oder aber kombiniert (vgl. *Ellenberg* 1967, *Schlenker* und *Kreutzer* 1976 und *Kreutzer* und *Schlenker* 1980).

Besonders weit fortgeschritten auch im Hinblick auf die sogenannte ertragskundliche und waldbauliche Auswertung ist die forstliche Standortskartierung in Südwestdeutschland. Hier haben sich — wie anderwärts auch — kombinierte Verfahren bewährt. Dabei werden in jedem Arbeitsabschnitt geomorphologische, petrographische, bodenkundliche, klimatologische, vegetationskundliche, pollenanalytische und historische Kriterien und Methoden

gemeinsam eingesetzt, sofern dies sinnvoll ist. Dieses Vorgehen bezweckt ein komplexes Erfassen und Beurteilen von Waldlandschaften und Einzelstandorten. Für ein solches kombiniertes Verfahren spricht, dass

- die Standorte durch Berücksichtigen verschiedenartiger Merkmale sicherer definiert werden können, dass
- die Vegetation auf anthropogene Veränderungen rascher reagiert als z. B. die äussere Gestalt des zugehörigen Bodens, und dass
- die Abgrenzung der Kartiereinheiten im Gelände erleichtert wird, wenn man die jeweils am besten geeigneten und sinnfälligsten Merkmale hierfür heranzieht.

Der Ablauf der Kartierung im einzelnen ist zweistufig. Zunächst wird das Arbeitsgebiet in Wuchsgebiete und Wuchsbezirke, gegebenenfalls auch in Höhenstufen, gegliedert. Dadurch sollen die Besonderheiten eines überschaubaren Waldareals hinsichtlich Landschaftsformen, Gesteinsausstattung, Regionalklima und natürlicher Waldgesellschaft erfasst und so dieser Bereich von andersartig geprägten Gebieten unterschieden werden. Erst danach erfolgt die lokale Unterteilung nach Standortseinheiten innerhalb eines Wuchsbezirks. Dabei handelt es sich letztlich weitgehend um Bodenformen. Topographische und lokalklimatische Eigenschaften des Standorts werden dabei mit berücksichtigt, Merkmale des Bodenwasser- und -nährstoffhaushalts betont, und zum Erkennen, Abgrenzen und Charakterisieren der Bodenformen zieht man zweckmässigerweise auch vegetationskundliche Aspekte heran (z. B. die ökologischen Artengruppen).

Wir erwarten von Standortskarten, dass sie für lange Zeit aussagekräftig bleiben, kausal-analytische Schlussfolgerungen zulassen und auch für neuartige Fragestellungen verwendet werden können. Solche Karten müssen unbedingt detaillierte Informationen über die Böden vermitteln. Reine Vegetationskarten genügen diesem Anspruch nicht. Sie haben im Hinblick auf die Standortsbeurteilung mehrere Nachteile, die sich in örtlich wechselndem Umfang auswirken, so unter anderem:

- In geschlossenen, jüngeren Reinbeständen einer Baumart ist die Bodenflora häufig so spärlich entwickelt, dass sich in ihr das Standortsmosaik nur unvollkommen widerspiegelt.
- Die Vegetation integriert die Einflüsse aller am Standort wirksamen Wachstumsfaktoren und erlaubt deshalb in vielen Fällen keine zuverlässigen Schlüsse auf die tatsächliche Faktorenkonstellation; denn Wachstumsfaktoren können sich in ihrer Wirkung kompensieren.
- Eine Standortskarte soll kausal interpretierbar sein. Deshalb müssen wichtige Standortparameter, darunter Bodenmerkmale, direkt erhoben und dargestellt sein. Soll z. B. die Eignung von Wäldern für das Recycling von Siedlungsabfällen beurteilt werden, muss man das Filtervermögen

der Böden kennen und damit die Humusformen und -vorräte, die Tonmengen, die Kationenumtauschkapazitäten, das Gefüge und die Wasserleitfähigkeiten.

- Devastierende Eingriffe (z. B. Streunutzung), welche in der Bundesrepublik häufig noch nachwirken, nivellieren oft die Physiognomie der Vegetation, so dass die potentiellen Ertragsmöglichkeiten von Böden mit verschiedenartigen Mineralkörpern verschleiert werden.

Schliesslich erfordert eine umfassende Ressourcenerhebung grundsätzlich auch ein direktes Beschreiben und Inventarisieren der Standorte und ihrer Böden; eine Kartierung der Waldlebensgemeinschaften allein reicht hierfür nicht aus.

In den vergangenen drei Jahrzehnten ist die Standortskartierung in vielen mitteleuropäischen Waldregionen weit gediehen. Noch immer lässt jedoch die Nutzung dieser Karten in der Waldpflegepraxis zu wünschen übrig. Dieser Mangel wird erst jetzt zunehmend beseitigt, nachdem junge, in der Standortserkundung geschulte Forstleute vermehrt in die Führungspositionen der Forstverwaltungen einrücken. Sie haben auch dafür zu sorgen, dass die Kartierung im nichtöffentlichen Wald vorangetrieben wird. Standortforschung, Waldbauwissenschaft und viele andere forstliche Disziplinen sind aufgerufen, gemeinsam die systematische waldbauliche und ertragskundliche Auswertung der Standortskarten zu beschleunigen.

3.1.4 Auswertung der Standortskarten

Als Beispiel für diesen vierten Arbeitsabschnitt im Rahmen der Standortserkundung und damit für einen weiteren, wichtigen Forschungsansatz nenne ich eine Dissertation von *K. Foerst* (1979) über Standort, Wuchslleistung und Ernährungszustand von 103 älteren Beständen der grünen Douglasie in Bayern. Ihre im Alter 50 erreichte Oberhöhe (HO_{50}) als ein Massstab für die standortstypische Leistung streut regional und in den einzelnen bayerischen Naturräumen von Standort zu Standort zwischen rund 20 und 35 m. Auch die Oberhöhenentwicklung mit dem Alter und die Altersverläufe des durchschnittlichen Gesamtwachses an Schaftholzvolumen differieren nach Standorten erheblich und weichen zum Teil eklatant von den Ertrags tafelwerten ab. In einzelnen Naturräumen werden über 90 % der HO_{50} -Variation statistisch durch leicht im Gelände abschätzbare Standortmerkmale erklärt. In den warmen und niederschlagsarmen Landschaften Bayerns bestimmen vor allem die Gründigkeit der Böden und ihre Speicherkapazität für verfügbares Wasser die Oberhöhenleistung der Douglasien. Mit Hilfe der von Foerst hergeleiteten Regressionsgleichungen kann die voraussichtlich zu erwartende Oberhöhe in einzelnen Regionen auch für solche Standorte abgeschätzt werden, die heute noch gar keine Douglasienbestände tragen. Der laufende jährliche Schaftholzvolumenzuwachs in der Periode 1961—70 war

überraschend straff gekoppelt mit den Mitteltemperaturen im März und Oktober. Offenbar ist die aus dem pazifischen Nordwesten stammende grüne Küsten-Douglasie in der Lage, günstige Witterungsperioden ausserhalb der eigentlichen Vegetationszeit auszunützen. Dieser Umstand macht sie allerdings in subkontinentalen Anbaugebieten für Winter- und Spätfröste sowie für Frosttrocknis besonders anfällig. Auf fast allen überprüften Standorten erwiesen sich die Probebestände als ausreichend mit Nährelementen versorgt. Gesicherte Korrelationen zwischen der Oberhöhe im Alter 50 und den Nährelementspiegelwerten waren nicht nachzuweisen.

Darüber hinaus informiert die Arbeit Foerst auch über die Erfahrungen mit verschiedenen Pflanzverbänden, die Möglichkeiten einer Beimischung anderer Baumarten, die Wurzeltracht der Douglasie und ihren Befall durch Nadelschütten und Stammfäulen, jeweils getrennt nach Standorten, Substrattypen und Naturräumen. Alle standortsbezogen gesammelten Informationen werden schliesslich verdichtet zu Empfehlungen für den Douglasienanbau in Bayern, der künftig beträchtlich ausgeweitet werden soll.

3.2 *Erfassung des Stoffhaushalts von Waldökosystemen*

Die Weiterführung der Standortskartierung, das präzise Quantifizieren der Eigenschaften von Waldstandorten und die Dokumentation aller forstlich relevanten Informationen für die vielen Einheiten eines Kartenwerks sind zweifellos noch umfangreiche und wichtige Aufgaben für die damit befassten Institutionen. Erprobte Verfahren hierfür sind jedoch verfügbar. So wird verständlich, weshalb sich das Interesse der Grundlagenforschung im letzten Jahrzehnt offensichtlich vorrangig auf andere Fragestellungen richtete. Nunmehr steht die Rolle der Waldböden im Stoffhaushalt von Wäldern eindeutig im Vordergrund. Dabei benützt die Forschung mindestens zwei verschiedene methodische Ansätze.

3.2.1 *Messung der Stoff- und Energieflüsse repräsentativer Waldökosysteme*

Der erste zielt darauf ab, die Vorräte an Phytomasse, an Bio-Elementen und an gespeicherter Energie für ausgewählte, typische Wälder zu bestimmen sowie die Stoff- und Energieflüsse in ihnen zu quantifizieren (vgl. u. a. die zahlreichen forstlichen IBP-Projekte¹ in aller Welt).

Als Muster für die in solchen Studien erarbeiteten Ergebnisse sind in *Tabelle 1* aus Ulrich und Mitarbeitern (1979) die Jahresmittelwerte für die Flüsse einiger Bioelemente in einem Buchen- und einem Fichtenbestand im Solling zusammengestellt. Beachtlich ist z. B. die Schwefelbilanz! Mit den Freilandniederschlägen und als grobe Staubpartikel gelangen jährlich etwa 24 kg/ha S in die Ökosysteme. Im Kronenraum des Buchenbestandes wer-

¹ IBP = International Biological Programme

Tabelle 1. Jahresmittelwerte von Elementflüssen in Waldökosystemen des Sollings (Ulrich u. a. 1979)

Fluss	H ₂ O l · m ⁻²	N	P kg · ha ⁻¹ · a ⁻¹	S	Ca	Al	H
Niederschlagsdeposition ¹	938	10,0	0,2	23,8	10,4	1,1	0,81
<i>Flüsse im Buchenbestand</i>							
Kroneninterception ²		10,7	?	24,6	10,8	1,1	0,84
Akk. im Phytomassezuwachs		13,2	2,1	0,5	7,7	0,1	—
Tiefensickerung	623	7,7	0,2	34,8	15,9	15,5	0,34
Bodenvorratsänderung		?	— 2,0	+ 10,1	— 1,5	— 13,9	+ 0,99
<i>Flüsse im Fichtenbestand</i>							
Kroneninterception ²		19,2	?	61,5	14,6	1,8	2,6
Akk. im Phytomassezuwachs		12,2	1,4	1,1	8,8	0,5	—
Tiefensickerung	391	17,0	0,0	44,0	10,0	27,0	0,3
Bodenvorratsänderung		?	— 1,2	+ 48,0	+ 2,4	— 24,0	+ 2,5

¹ Niederschlagsdeposition = nasse Deposition und Sedimentation grober Staubpartikel > 5 μm

² Interception = Deposition von Aerosolen (Partikel < 1 μm), von Nebel und Gasen

den weitere 25 kg/ha, in jenem des Fichtenforsts sogar 62 kg/ha in Form von Aerosolen, Nebeltröpfchen und als Gase ausgefiltert. Die jährliche Akkumulation von S in der Pflanzenmasse ist in beiden Waldtypen mit ungefähr 1 kg/ha verschwindend klein. Mit dem Sickerwasser verlassen nur 35 bzw. 44 kg/ha und Jahr die Ökosysteme, so dass die Bodenvorräte an S unter Buche um jährlich 10 kg/ha, unter Fichte um rund 50 kg/ha anwachsen. Zugleich stellen die Böden eine beachtliche Senke für Protonen dar. Sie versauern also, u. a. weil der Schwefel zum grössten Teil als Schwefelsäure eingetragen wird. Umgekehrt gehen offensichtlich die Phosphor- und Aluminiumvorräte der Böden durch Auswaschung langsam zurück.

Was erwarten Standortforscher und Praktiker von solchen Untersuchungen?

Den Wissenschaftler reizt es, die Strukturen und die Funktionen komplexer Waldökosysteme möglichst vollständig zu verstehen und zu beschreiben. Dazu muss man aber die Rolle der Standorte und Böden im Stoffhaushalt der Wälder kennen.

Langjährig abgesicherte und ausreichend differenzierte Systemanalysen über die Bioelementvorräte und -flüsse sind zweitens die Grundlage für die Formulierung mathematischer Modelle. Sie beschreiben das Wirkungsgefüge

eines Ökosystems wenigstens für Teilbereiche und verknüpfen logisch die Einzelvorgänge in Abhängigkeit von den bestimmenden Faktoren. Solche Modelle haben einen eigenen konzeptionellen Wert, der nicht hoch genug veranschlagt werden kann; denn sie sind ein hervorragendes Prinzip, um alle Forschungsergebnisse für Ökosysteme sinnvoll zu ordnen. Der Zwang zu komplexer Betrachtung erleichtert die Forschungsplanung. Kenntnislücken werden so leichter aufgespürt, einseitige, dem System nicht adäquate Forschungsprojekte eher vermieden.

Die «Konstruktion» mathematischer Systemmodelle eröffnet weiter auch Möglichkeiten für eine Simulation von Systemreaktionen und damit für Prognosen. Mit solchen Modellen könnten die Auswirkungen menschlicher Eingriffe in den Stoffhaushalt von Wäldern (z. B. Ganzbaumernte, Düngung, Ausbringung von Klärschlamm oder Müllkompost) ebenso simuliert werden wie die Effekte langfristiger Standortveränderungen (z. B. Klimawechsel). Solche Simulationstechniken würden unser Versuchswesen revolutionieren; denn viele denkbare Fragestellungen könnten vorab am Modell getestet werden. Die Investitionen für Experimente im Gelände liessen sich dadurch besser lenken und auf die aussichtsreichsten Problemaspekte konzentrieren.

Systemanalysen haben schliesslich unter Umständen auch unmittelbare praktische Konsequenzen. Ulrich und Mitarbeiter (1979) folgern nämlich aus der Flüssebilanz für die Elemente Schwefel und Wasserstoff (Tabelle 1), dass basenarme, schwach gepufferte, aber silikathaltige Substrate derzeit als Folge des erhöhten Schwefeleintrags aus der Atmosphäre viel rascher versauern als früher. Diese Auffassung wird gestützt durch periodische Kontrollen der Bodenreaktion für einige Solling-Standorte. Dort fielen die pH-Werte innerhalb von 8 Jahren um knapp eine Stufe. Diese Versauerung war begleitet von höherer Aluminium-Sättigung an den Bodenaustauschern und von einem Anstieg der Al-Konzentrationen in der Gleichgewichtsbodenlösung. Nach einer Arbeitshypothese von Ulrich ist es nicht ausgeschlossen, dass in bestimmten Böden im Verlauf der nächsten Jahrzehnte toxische Aluminium- und Mangan-Gehalte in der Bodenlösung auftreten, die Wurzelanomalien und Zuwachsdepressionen induzieren und möglicherweise am Ende Wälder sogar grossflächig zusammenbrechen lassen. Sollte sich diese Hypothese bestätigen, so würden umfangreiche Kompensationskalkungen erforderlich. Diese hätten wiederum örtlich nachteilige Folgen für die Humus- und Stickstoffvorräte der Böden und für die Nitratfracht der Gewässer, weil Mineralisation, Nitrifikation und Nitrat Auswaschung beschleunigt wären.

3.2.2 Durchführung von Experimenten

Ein zweiter Forschungsansatz benützt kurz- und langfristige Experimente, um die Effekte anthropogener Eingriffe auf den Stoffhaushalt von Wäldern zu quantifizieren. Hiermit prüft man einerseits die Auswirkungen planmässiger Pflege-, Verjüngungs- und Holzernteverfahren, von Meliorationstechni-

ken und Biocideinsatz auf Böden, Vegetation und Tierwelt. In jüngster Zeit wird diese experimentelle Methode zum anderen herangezogen, um Umweltbelastungen wie die Ausbringung von Auftausalzen, den Eintrag saurer Niederschläge und die Deponie von Siedlungsabfällen zu erforschen. Neben diesen klassischen Methoden des Experimentierens in Vegetationsstationen, Freifeldprüfanlagen und in Beständen tritt der Vergleich ganzer, verschiedenartig behandelter Wassereinzugsgebiete. Interdisziplinäre Zusammenarbeit ist auch in diesem Bereich unumgänglich!

Als Beispiel für die experimentelle Arbeitsweise dienen Meliorationsversuche in früher streugennutzten Kiefernbeständen der Oberpfalz, die von den Lehrstühlen für Waldwachstums- und Bodenkunde in München zurzeit intensiv ausgewertet werden (vgl. *Rehfuess* und *Schmidt* 1971, *Rehfuess* 1979, *Baum* 1979). Dort vergleichen wir auf der Basis gleicher CaPKMg-Grunddüngung wiederholte Stickstoffgaben mit Lupinenunterbau.

Coniferenbestände auf früher streugennutzten Böden leiden vielfach noch immer unter Stickstoffmangel, obwohl heute in den dicht besiedelten und hochindustrialisierten Regionen grössere N-Mengen als früher mit den Niederschlägen und durch Ausfiltern von Stäuben und Aerosolen in die Ökosysteme gelangen (10—25 kg N je Jahr und Hektar, vgl. *Tabelle 1*). Der Schaftvolumenzuwachs solcher Kiefernwälder lässt sich durch Düngung mit Stickstoffsalzen (z. B. 100—150 kg/ha Stickstoff als Kalkammonsalpeter) in wirtschaftlich interessantem Ausmass steigern. Diese Düngung muss allerdings zumindest in den ersten beiden Jahrzehnten mehrfach wiederholt werden. Deshalb versucht man seit langem, mittelalten Kiefern durch den Unterbau mit perennierender Lupine (*Lupinus polyphyllus* L.) eine langfristig fliessende Stickstoffquelle zu erschliessen. Der Einsatz von Leguminosen oder Erlen verdient auch deshalb Interesse, weil die Preise für N-Dünger ständig in die Höhe gehen.

Auf fast allen devastierten Standorten mit geringmächtigem, inaktivem Rohhumus gedeiht die Dauerlupine erst nach gründlicher Bodenbearbeitung mit Fräse oder Egge und nach Grunddüngung mit Kalk (1500—4000 kg CaCO₃/ha) und Phosphat (500—1000 kg P-Dünger/ha). Die Kiefer reagierte auf die Wurzelverletzungen beim Fräsen mit vorzeitiger Nadelschütte, Kronenverlichtung und erhöhter Sturmgefährdung. Während die wiederholt mit N (+CaPKMg) gedüngten Bestände N und P sofort verstärkt aufnehmen, verbesserte der Lupinenunterbau die N- und P-Versorgung der Kiefern erst nach einer Anlaufzeit von 3 bis 7 Jahren, abhängig von der Dichte und Entwicklung des Lupinenbestandes.

Die vorläufige ertragskundliche Auswertung eines Experiments (*Tabelle 2*) lässt erkennen, dass die mit Lupine unterbauten Kiefern in den ersten Jahren keinen Mehrzuwachs leisteten. Während der 7. bis 15. Vegetationsperiode holten sie jedoch auf. Im Durchschnitt der ersten 15 Beobachtungs-

Tabelle 2. Vorläufige ertragskundliche Auswertung des Meliorationsexperiments Pfaffenwinkel.

Versuchsglied	Jährlicher Zuwachs an Schaftholzvolumen (Vfm S)		
	1964—1969 ¹	1970—1978 ²	1964—1978 ²
Kontrolle	5,7	7,3	6,7 (100 %)
CaPKMg + N (wiederholt)	8,6	10,0	9,4 (140 %)
CaPKMg + Fräsen + Lupine	5,9	9,8	8,3 (124 %)

¹ Aus Rehfuess und Schmidt 1971

² Franz, mündl. Mitt. 1979

jahre war allerdings die Volldüngungsvariante im Schaftvolumenzuwachs deutlich überlegen.

Kalkung und Phosphorapplikation erhöhten in den bayerischen Versuchen (Tabelle 3) die pH-Werte in der Auflage und im Mineralboden bis etwa 30 cm Tiefe und reicherten den Oberboden mit P und Ca an. Die mechanische Bodenlockerung, das reichliche Basen- und P-Angebot und die Anlieferung leicht zersetzlicher, eiweissreicher Lupinenstreu stimulierten überall die Mineralisation und liessen die Kohlenstoffvorräte in den Auflagehumushorizonten zurückgehen. Umgekehrt nahmen die Humusgehalte im Mineralboden zu, bedingt durch das Einmischen von organischer Auflage und Bodenvegetation sowie durch die Neubildung von Wurzelmasse. Insgesamt ergaben sich jedoch überall C-Verluste, die bei 6 in den vergangenen Jahren ausgewerteten Experimenten von 7—37 % oder 3—33 t/ha (Tabelle 3) schwankten.

Die komplexe Unterbau-Melioration erzielte nur in günstigen Fällen höhere Stickstoffvorräte im Boden, und zwar dort, wo die Lupine in dichten Beständen üppig und langfristig gedieh. Die Aufstockung des N-Kapitals erreichte in einem unserer Experimente in 12 Jahren rund 300 kg/ha. Wir deuten diesen Gewinn als Bindung von Luftstickstoff, obwohl es sich wenigstens zum Teil auch um eine Umverteilung innerhalb des Ökosystems handeln könnte.

In einzelnen Versuchen kam es dagegen vor allem nach starker Kalkung zu beträchtlichem Stickstoffschwund; in anderen Fällen reichte die Stickstoffbindung der Rhizobien offenbar nur aus, um die nach Bodenbearbeitung und Düngung via Nitratauswaschung oder Denitrifikation eintretenden N-Verluste auszugleichen (Tabelle 3).

Für diesen Befund gibt es verschiedene Gründe. Zum einen bestockt die Lupine auf den meisten Substraten nur die gefrästen Flächenanteile und kann die nicht bearbeiteten Inseln um die Stammanläufe nicht besiedeln. Die Flächendeckung erreicht deshalb nur selten mehr als 70 %. Weiter ist die Photo-

Tabelle 3. Bodenkundliche Auswertung von Lupinen-Unterbauversuchen in Kiefern-Baumholzbeständen (67—110 Jahre, Bonität III—IV).

Elementmengen (kg/ha) — wenn nicht anders angegeben — in der organischen Auflage und im Mineralboden bis 20 cm Tiefe, Lockerung berücksichtigt.

Quelle: Miller 1964 (5, 6), Dalhäuser und Süß 1977 (1, 2) und Baum 1979 (3).

Experiment (Versuchsdauer)	Bodenbearbeitung Düngung	Elementmengen der Kontrollflächen Veränderungen durch Lupinenunterbau			
		C _{org}	N _t	P _t	Ca _t
1. Richt (11 Jahre)	Fräsen	36 400	1 410	1 310 *	2 370
	CaP	— 4 400 (—12 %)	+ 80 (+6 %)	+ 20	+ 330
2. Hammerseige (12 Jahre)	Fräsen	42 700	1 620	500	3 900
	CaP	— 3 100 (—7 %)	— 40 (—3 %)	+ 20	+ 675
3. Pustert (12 Jahre)	Fräsen	55 906 *	1 961 *	925 *	5 173 *
	CaPKMg	— 7 253 (—12 %)	+ 303 (+15 %)	+ 115	+1 176
4. Papierrangen (13 Jahre)	Fräsen	82 800	3 430	1 230	840
	CaP	—11 000 (—14 %)	+ 175 (+5 %)	+ 115	+ 540
5. Westermarck I (11 Jahre)	Spatenrolleggen	88 000 **	3 140 **	n. b.	n. b.
	CaPK	—11 100 (—13 %)	— 50 (—2 %)		
6. Westermarck II (11 Jahre)	Spatenrolleggen	88 000 **	3 140 **	n. b.	n. b.
	Ca	—32 500 (—37 %)	— 530 (—17 %)		

* = Menge bis 30 cm Tiefe

** = Menge bis 50 cm Tiefe

synthese der Lupinen durch dichten Kieferschirm beeinträchtigt. Deshalb dürfte die Versorgung der Rhizobien mit Kohlenhydraten gedrosselt sein. Schliesslich wird die Dauerlupine insbesondere auf frischen, lehmigen Standorten auch rasch von einer üppigen Konkurrenzflora überwachsen und verdrängt.

Gemessen an den hohen Einbringungskosten und trotz offensichtlicher Verbesserung von Humusform und biologischer Aktivität bleibt der Beitrag der Lupine zum Stickstoffhaushalt der Ökosysteme also in vielen Fällen bescheiden und unsicher. Deshalb ist diese Meliorationstechnik in den letzten Jahren in den Hintergrund getreten. Dafür hat die Düngung mit Stickstoff-Handelsdüngern — zweckmässigerweise gekoppelt mit Kalkung und Phosphatgaben — zugenommen. Auch die Effekte dieser Düngungsmassnahmen auf Wuchsleistung und Ernährungszustand der Baumschicht, auf die Zusammensetzung und Phytomasseproduktion der Bodenflora, auf die Böden und

auf die Qualität des Sickerwassers werden in München eingehend erforscht (vgl. Baum 1979).

4. Zusammenfassung und Ausblick

Noch einmal sei aufgezeigt, wie die verschiedenen diskutierten Aufgabenbereiche forstlicher Standortforschung miteinander verflochten sind und wie die Forschungsansätze ineinandergreifen!

Es wurde davon ausgegangen, dass wir über brauchbare Methoden verfügen, mit denen Waldböden sowohl genetisch als auch ökologisch charakterisiert werden können. Dies ermöglicht das Ausscheiden forstlich relevanter Waldbodenformen und ihre Erfassung in Standortskarten. Solche Karten werden zweckmässigerweise getrennt für Naturräume gefertigt, die grossklimatisch einheitlich und durch eine definierte natürliche Waldgesellschaft gekennzeichnet sind. Standortskarten sind die Grundlage für das Sammeln und Registrieren aller forstlich relevanten Informationen. Sie erlauben die Übertragung bewährter Waldpflegekonzeptionen auf ähnliche Landschaften. Standortskarten dienen auch dazu, repräsentative Waldökosysteme auszuwählen, für die intensive Erforschung ebenso wie für einen verstärkten Schutz. Die umfassende interdisziplinäre, biologische und standortkundliche Analyse repräsentativer Waldtypen führt möglicherweise in der Zukunft zu mathematischen Ökosystemmodellen. Mit ihrer Hilfe lassen sich später vielleicht zahlreiche drängende Fragen nach den Einflüssen von Bewirtschaftungseingriffen und Umweltbelastungen vorab simulieren, so dass präzise Prüfhypothesen und «kritische» Standorte für Experimente heräusgefunden werden. Die Ergebnisse solcher Versuche können mit Hilfe der Standortskarten auf grössere Flächen übertragen werden. Experimente dienen gleichzeitig der Überprüfung und stetigen Verbesserung der Modelle.

Dabei darf die soeben gewählte Reihung der Arbeitsschritte nicht als zwingende zeitliche Abfolge aufgefasst werden; denn Standortforschung kann auf den verschiedenen Erkenntnisstufen und mit verschiedenartigen Aspekten beginnen. Die Arbeit wird jedoch effektiver, wenn man sich des inneren Zusammenhangs der Forschungsansätze bewusst ist.

Bislang ist die Aufgabe erst teilweise erfüllt, das für eine pflegliche Bewirtschaftung und für den Schutz der Waldlandschaften erforderliche boden- und standortkundliche Wissen zu erwerben. Ich habe jedoch den Eindruck, dass sich eine vernünftige Forschungsstrategie abzeichnet. An Helfern und Mitarbeitern sollte es gerade jetzt nicht fehlen, da viele junge Forstleute mit ausgeprägtem Umweltbewusstsein und gründlicher standortkundlicher Vorbildung die Hochschulen verlassen. Es bleibt zu hoffen, dass wir die Gesellschaft und ihre Repräsentanten von der Herausforderung überzeugen können, vor der unsere Disziplin steht!

Résumé

Les problèmes actuels de la recherche en matière de stations forestières

Nous disposons de méthodes grâce auxquelles il est possible de décrire dans leurs traits essentiels les sols forestiers en tenant compte aussi bien de leur formation que de leur écologie. Partant de cela, on peut déterminer des types de sols selon leur importance forestière et dresser sur cette base une carte des stations. Une telle carte ne doit englober qu'une région au climat uniforme, caractérisée par un type de forêt défini. La collecte et l'enregistrement des données indispensables au travail du forestier s'appuieront sur cette carte des stations, qui, en outre, permettra d'appliquer sur des stations identiques des traitements culturaux ayant donné satisfaction. Elle servira aussi à choisir des écosystèmes forestiers représentatifs en vue d'un approfondissement des recherches et d'un renforcement des mesures de protection.

Une analyse globale de certains types forestiers caractéristiques, comportant à la fois une approche biologique et une étude des stations, aboutira peut-être à l'établissement de modèles mathématiques pour représenter ces écosystèmes. A leur tour, les modèles permettront éventuellement de simuler les effets des interventions que requiert la gestion et des contraintes imposées à l'environnement, et ainsi de répondre à de nombreuses questions pressantes. De plus on pourra vérifier des hypothèses précises par l'expérimentation et trouver des stations «critiques» pour certaines expériences. A l'aide de la carte des stations, il sera possible d'étendre la validité des résultats de telles expériences à un plus vaste domaine. Les expériences serviront concurremment à mettre à l'épreuve et à améliorer sans cesse les modèles.

Peu importe l'ordre dans lequel on procédera. En effet, la recherche en matière de stations se laisse aborder à différents niveaux et par divers aspects. Le travail est toutefois plus effectif, si l'on est conscient de ce qu'implique la voie choisie. Jusqu'à ce jour, nous n'avons pas encore acquis toutes les données scientifiques sur les stations que nécessite une mise en valeur respectueuse des contrées boisées assurant leur protection. Ce ne sont pourtant pas les forces qui manquent, étant donné le nombre de jeunes forestiers doués d'un sens prononcé pour les questions relatives à l'environnement et munis de connaissances solides dans le domaine des stations qui quittent nos universités. Il ne reste qu'à espérer que nous saurons convaincre la société et ses représentants de l'importance des problèmes auxquels notre discipline est confrontée.

Traduction: *J.-G. Riedlinger*

Literatur

- Baum, U.*, 1979: Wirkungen von Meliorationsmassnahmen auf die Nährelementvorräte im Boden eines streugennutzten Kiefernstandorts. Forstwiss. Centralbl. 98, 245—258.
- Biermayer, G.*, 1980: Boden-Toposequenzen im Hauptdolomitgebiet der Tegernseer Berge. Dipl.-Arbeit Univ. München.

- Dalhäuser, H., 1977: Wirkungen von Lupinenunterbau auf die C- und N-Vorräte zweier Oberpfälzer Böden unter Kiefer. Dipl.-Arbeit Univ. München.
- Ellenberg, H.: 1967: Entscheidende Standortfaktoren und ihre pflanzengemässe Beurteilung. Berichte XIV. IUFRO-Kongress München II, 72—74.
- Foerst, K., 1979: Standort, Wuchsleistung und Ernährungszustand älterer bayerischer Bestände der grünen Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco var. *menziesii*). Diss. Univ. München.
- Kreutzer, K., und Schlenker, G., 1980: Vergleich standortkundlicher Klassifikationsverfahren für ökologische Kartierungen in Wäldern. Mitt. Ver. f. Standortkunde u. Forstpflanzenzüchtung, 21—27.
- Laatsch, W., 1969: Das Abschätzen der Wasserversorgung von Waldbeständen auf durchlässigen Standorten ohne Grund- und Hangzugwasser. I. Teil. Leicht durchlässige Standorte. Forstwiss. Centralbl. 88, 257—271.
- Miller, R. E., 1964: Wirkungen von Meliorationsmassnahmen zur Verbesserung der Humusform auf den Humus- und Stickstoffvorrat von Waldböden. Diss. Univ. Göttingen.
- Müller, S., 1967: Südwestdeutsche Waldböden im Farbbild. Schriftenreihe Landesforstverwaltung Baden-Württemberg 23, Stuttgart.
- Rehfuess, K. E., und Schmidt, A., 1971: Die Wirkungen von Lupinenunterbau und Kalkammonsalpeterdüngung auf den Ernährungszustand und den Zuwachs älterer Kiefernbestände in der Oberpfalz. Forstw. Centralbl. 90, 237—259.
- Rehfuess, K. E., 1979: Underplanting of pines with legumes in Germany. Proc. Workshop «Symbiotic nitrogen fixation in the management of temperate forests», Corvallis, 374—387.
- Renger, M., 1971: Die Ermittlung der Porengrössenverteilung aus der Körnung, dem Gehalt an organischer Substanz und der Lagerungsdichte. Z. f. Pflanzenern. Bodenkunde 130, 53—67.
- Richard, F., Lüscher, P., und Strobel, T. 1978: Physikalische Eigenschaften von Böden in der Schweiz. Hg.: Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen Birmensdorf.
- Schlenker, G., und Kreutzer, K., 1976: Vergleich von Klassifikationssystemen für forstliche Standortkartierungen. Proc. XIV. IUFRO World Congress Div. I, 219—237.
- Shrivastava, M. B., und Ulrich, B., 1977: Schätzung quantitativer Bodenparameter bei der forstlichen Standortkartierung am Beispiel des hessischen Berglandes. I. Wasser- und Lufthaushalt. Forstwiss. Centralbl. 96, 186—200.
- Süss, M., 1977: Wirkungen von Lupinenunterbau auf die P-, K-, Ca- und Mg-Vorräte zweier Oberpfälzer Böden unter Kiefer. Dipl.-Arbeit Univ. München.
- Stahr, K., 1979: Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenbildung und Standortseigenschaften im Südschwarzwald. Freiburger Bodenkundl. Abhandlungen, Heft 9.
- Ulrich, B., Mayer, R., und Khanna, P. K., 1979: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. J. P. Sauerländer's Verlag Frankfurt.
- Zech, W., und Völkl, W., 1979: Beitrag zur bodensystematischen Stellung kalkalpiner Verwitterungslehme. Mitt. Deutsch. Bodenkdl. Ges. 29, 661—668.
- Zöttl, H. W., Stahr, K., und Keilen, K., 1977: Bodenentwicklung und Standortseigenschaften im Gebiet des Bärhaldegranits. Allg. Forst- u. Jagdztg. 148, 185—197.

