

## Waldentwicklung auf Quasi-Dauerflächen im Luzulo-Fagetum der Buntsandsteinrhön (Forstamt Mittelsinn) zwischen 1950 und 1990

Forest development on quasi-permanent plots in the Luzulo-Fagetum of the  
"Buntsandstein-Rhön" (Department of Forestry Mittelsinn) in the period  
from 1950 to 1990

Von H. RÖDER, A. FISCHER und W. KLOCK

### Zusammenfassung

Im Jahre 1950 wurden während einer Forsteinrichtung 110 pflanzensoziologische Erhebungen in Beständen des Luzulo-Fagetum bzw. in Nadelholzbeständen auf vergleichbarem Standort im FA Mittelsinn (Rhön, auf Buntsandstein) durchgeführt und ihre Position präzise dokumentiert. Vierzig Jahre später (1990) konnten 54 Erhebungen auf fast identischen Flächen („Quasi-Dauerflächen“) wiederholt werden.

Im Untersuchungszeitraum hat sich die Assoziationszugehörigkeit der Bestände (Luzulo-Fagetum) nicht geändert. Große Veränderungen gab es aber auf dem Niveau der Untereinheiten. Die damalige *Calluna*-Ausbildung, gekennzeichnet durch Säure- und Magerkeitszeiger, ist im neuen Aufnahmemaaterial nicht mehr enthalten; statt dessen ist eine *Epilobium*-Ausbildung, vor allem mit anspruchsvollen Schlagflurarten, neu entstanden. Sowohl 1950 als auch 1990 konnte eine Typische Ausbildung ausgewiesen werden. Die Bestände sind *unabhängig voneinander* in die neuen Einheiten übergegangen. – Die Auswertung über die ELLENBERG'schen Zeigerwerte quantifiziert die zunehmende Bedeutung der Arten mit hohen Nährstoffansprüchen. Der Anstieg der Reaktionszahl (*Rückgang* der Bedeutung der säureanzeigenden Arten!) wird ausführlich diskutiert; es wird herausgestellt, daß dieser Anstieg nicht zwingend Ausdruck eines pH-Anstieges im Boden ist, sondern vornehmlich aus der Verbesserung der Nährstoff-, speziell der Stickstoffbereitstellung resultiert; die enge Koppelung von Stickstoff- und Reaktionszahl wird nachgewiesen.

Zusammenfassend spiegelt sich in der floristischen Struktur der Bestände (Luzulo-Fagetum und entsprechende Nadelholzbestände) im wesentlichen eine im Verlaufe der zurückliegenden vier Jahrzehnte entscheidend verbesserte Nährstoffsituation wider.

*Schlagworte:* Vegetationsveränderung, Dauerfläche, Pflanzensoziologie, Zeigerwerte, Luzulo-Fagetum

### Summary

In 1950, in the course of a forest survey, 110 phytosociological relevés in stands of the Luzulo-Fagetum and in coniferous forest stands on comparable sites were carried out at the Department of Forestry Mittelsinn (Rhön, triassic sandstone formation) and the location precisely documented. 40 years later (1990) 54 relevés on almost identical sites ("quasi-permanent plots") were repeated.

In the period under study there were no alterations in the affiliation of the forest stands to the association Luzulo-Fagetum, whereas great changes were observed to have occurred at the sub-unit level. The former "Calluna sub-unit", characterized by acidity and leanness indicators, is no longer part of the new inventories. Instead an "Epilobium sub-unit" has evolved with, in particular, felled-area flora species with high nutritional demands. In 1950 as well as in 1990 a "Typical sub-unit" existed. The transition of the stands into new sub-units occurred quite independently. The evaluation by means of ELLENBERG indicator values quantifies the increasing importance of species with high nutrient requirements. The rise in soil reaction values (i. e. *decline* in acid indicating species!) is discussed in detail. Emphasis is placed on the fact, that this increase need not be necessarily the effect of increasing pH value of the soil, but rather the reflection of the improvement in the nutrient and, in particular, the nitrogen supply. Evidence is provided, that a close correlation exists between nitrogen and soil reaction values.

In brief, the floristic structure of the stands (Luzulo-Fagetum and corresponding coniferous forest stands) generally reflects the considerable improvement in nutrient supply in the course of the past four decades.

Key words: changes in vegetation, permanent plot, phytosociology, indicator values, Luzulo-Fagetum

## 1 Einleitung

Pflanzensoziologische Aufnahmen sind Dokumentationen der floristischen Zusammensetzung von Phytozosen zum Erhebungszeitpunkt. Ändern sich die Umweltbedingungen, so ist mit Änderungen im Konkurrenzgefüge und daraus resultierend im Artenbestand (quantitativ und/oder qualitativ) zu rechnen. Historische pflanzensoziologische Aufnahmen erweisen sich somit als Dokumente eines zurückliegenden Umweltzustandes; mit dem aktuellen Zustand verglichen lassen sich Aussagen sowohl über eventuelle Umschichtungen in der floristischen Zusammensetzung der Bestände als auch – die Standortweiserfunktion der Vegetation nutzend – über Änderungen der Umweltvariablen machen (vgl. WITTIG 1988).

In den letzten Jahren sind in den verschiedensten Teilen Nord- und Mitteleuropas (Finnland, Schweden, Niederlande, Deutschland, Polen, Schweiz, Österreich) und in einer größeren Zahl von Wald-Pflanzengesellschaften derartige Zustandsvergleiche durchgeführt worden: BUCK-FEUCHT (1986), BURGER (1988, 1991), FALKENGREN-GRERUP (1986), KUHN et al. (1987), MEDWECKA-KORNAS und GAWRONSKI (1991), NIEPPOLA (1992), RODENKIRCHEN (1991), ROST-SIEBERT und JAHN (1988), SCHMIDT (1993), TREPL (1982), VAN DER WERF (1987), WILMANN (1989), WILMANN und BOGENRIEDER (1986), WILMANN et al. (1986), WITTIG et al. (1985), ZUKRIGL et al. (1993). Nur ausnahmsweise standen dabei echte Dauerflächen zur Verfügung. Oft basieren die Untersuchungen auf einem Typenvergleich, wobei die Wiederholungsaufnahmen ganz neu, aber im gleichen Gebiet und unter Berücksichtigung vergleichbarer Auswahlkriterien festgelegt werden.

Die Auswertungen derartiger Untersuchungen werden dabei im wesentlichen auf drei Umweltparameter bezogen:

1. *Nährstoff-(speziell Stickstoff-)versorgung*: Fast durchgehend (aber z. B. nicht signifikant in den Wäldern auf basenreichen Standorten im Osten Österreichs, ZUKRIGL et al. 1993) wird bei derartigen Zeitpaarvergleichen als herausragende Änderung eine deutliche *Zunahme* solcher Pflanzenarten nachgewiesen, die für Standorte mit guter Stickstoffversorgung kennzeichnend sind. Tatsächlich konnte FISCHER (1993) das „schleichende“ Fortschreiten dieser Entwicklung in einer zehnjährigen Dauerstudie mit jährlicher Vegetationserhebung in Kiefernwäldern auf nährstoffarmen, sauren Sandböden belegen.

2. *Lichtgenuß*: I. d. R. läßt sich aus dem Arteninventar der Bodenvegetation auf eine *Abnahme* des Lichtgenusses im Bereich der Bodenvegetation schließen (Ausnahme z. B. BURGER 1991). Diese Änderungen können entweder in der internen Bestandesdynamik der Wälder begründet sein (die Bestände werden zwischen den Erhebungen ja älter und ändern ggf. ihre Struktur) oder auch Ausdruck des Waldumbaus nach zurückliegender stärkerer bzw. devastierender Nutzung sein.

3. *Boden-pH*: Bezüglich des Bodenzustandes wurde unter dem Eindruck der Diskussion über „sauren Regen“ zunächst mit einer Zunahme der säureanzeigenden Waldbodenpflanzen gerechnet. Die erwartete Zunahme der Bedeutung der Säurezeiger konnte z. B. von WITTIG et al. (1985) für den Flattergras-Buchenwald der Westfälischen Bucht und von SCHMIDT (1993) für diverse Waldtypen des Osterzgebirges dokumentiert werden. In der Mehrzahl der Fälle ließ sich diese Annahme aber nicht bestätigen; im Gegenteil nahmen Arten, die als „säuretolerant“ oder als „Säurezeiger“ bekannt sind, nach Artenzahl und Menge oft sogar ab.

Das entscheidende Problem des methodischen Ansatzes eines Vergleiches historischer und aktueller pflanzensoziologischer Aufnahmen ist es, daß eine exakte Lokalisierung der historischen Aufnahmen meist nicht möglich ist: Aufnahmeflächen werden nur ausnahmsweise mit dauerhaften Markierungen versehen. – Aus dem Forstamt Mittelsinn (Rhön) existieren aber 110 pflanzensoziologische Aufnahmen, die im Jahre 1950 im Rahmen der Forsteinrichtung auf Buntsandstein (Luzulo-Fagetum bzw. standörtlich entsprechende Nadelholzbestände) vom Drittautor erstellt worden waren (EHRHARDT u. KLOCK 1951). Die Position der Aufnahmeflächen war seinerzeit in einer Karte (Maßstab 1: 10.000) durch

Nadelstiche exakt festgehalten worden. Der damalige Bearbeiter behielt die Flächen als langjähriger Leiter des Forstamtes Mittelsinn unter Beobachtung und beteiligte sich an der Flächenrekonstruktion für eine Wiederholungserhebung. In diesem besonders günstig gelagerten Fall konnte die Zweiterhebung also auf einer relativ großen Zahl von „Quasi-Dauerflächen“ (BOCKER et al. 1983) stattfinden!

Von ursprünglich 110 Aufnahmebeständen erwiesen sich 54 als geeignet für die Wiederholungsaufnahme; es wurden nur solche Flächen in die Wiederholungserhebung einbezogen, die nach wie vor Wald trugen, und zwar zum Zeitpunkt der Zweiterhebung einen mindestens achtzigjährigen Wald. Die Wiederholungserhebung erfolgte im Sommer 1990.

Damit liegt eine recht große Zahl (54) von qualitativ sehr guten Erhebungspaaren (Quasi-Dauerflächen) aus einem kleinen, standörtlich einheitlichen Gebiet (Distrikte I bis III des FA Mittelsinn; Buntsandstein) und einer einzigen Wald-Assoziation (Luzulo-Fagetum einschließlich seiner Ausbildungen als Nadelholzforst) und ein relativ langer Beobachtungszeitraum (vier Jahrzehnte) vor.

Die Analyse des Aufnahmematerials erfolgt auf zwei Ebenen: 1. Floristischer Vergleich der Bestandeszustände 1950/1990. 2. Standörtliche Analyse: Mit Hilfe der Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1991) lassen sich aus pflanzensoziologischen Aufnahmen hinsichtlich einiger wichtiger Standortfaktoren (Nährstoffverfügbarkeit, Bodenwasserverfügbarkeit, Beleuchtungssituation) indirekt quantitative Aussagen ableiten.

Ziel der Arbeit ist es aufzuklären, ob sich die vorgefundene Waldgesellschaft (im wesentlichen Luzulo-Fagetum) im Untersuchungszeitraum qualitativ geändert hat und ob dies mittels der Zeigerwerte quantifiziert werden kann. Kritisch hinterfragt werden sollen Möglichkeiten und Grenzen der standörtlichen Interpretation entsprechender Ergebnisse.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungsflächen liegen in den Distrikten I bis III des Forstamtes Mittelsinn (Rhön) an der Grenze zum Spessart (Abb. 1) im Höhenbereich von 200 bis 500 mNN. Sie liegen im Übergangsbereich vom subatlantischen zum subkontinental getönten Klima in der Stufe der collinen bis submontanen Buchen- und Eichenmischwälder. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8,8 °C, der Jahresniederschlag bei 750 mm (DEUTSCHER WETTERDIENST 1952–90). Das Ausgangssubstrat ist Mittlerer Buntsandstein, worauf vorwiegend quarzreiche, basenarme Braunerden mit niedrigem pH-Wert entwickelt sind.

## 3 Methoden

### 3.1 Pflanzensoziologischer Vergleich

Sowohl die historischen als auch die aktuellen Aufnahmen wurden nach der in Mitteleuropa gängigen pflanzensoziologischen Methode durchgeführt. Bei der Erstbearbeitung wurde die Artmächtigkeitsskala nach BRAUN-BLANQUET (1928) verwendet (Stufen +, 1, 2, 3, 4, 5; vrgl.

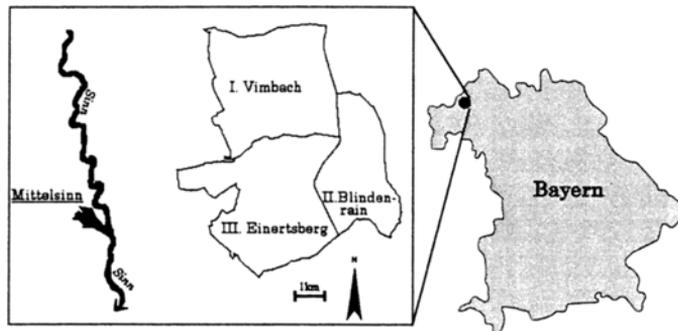


Abb. 1. Lage des Untersuchungsgebietes in Bayern/Deutschland

Fig. 1. Position of the study area in Bavaria/Germany, Department of Forestry „Mittelsinn“, district I–III





Fuß von Tab. 1). Bei der Wiederholungs-erhebung wurde die von BARKMAN et al. (1964) vorgeschlagene Detaillierung dieser Skala für die Artmächtigkeitszahl „2“ übernommen. Die qualitativen Auswertungen werden durch diese Modifikation im Erhebungsverfahren nicht beeinflusst; bei der quantitativen Auswertung der Artmächtigkeiten erfolgte eine entsprechende Angleichung.

Die Größe der Aufnahme-flächen wurde bei der Zweiterhebung entsprechend der Ersterhebung gewählt und liegt zwischen 100 und 400 m<sup>2</sup>.

Die Aufnahmen aus den Jahren 1950 und 1990 sind in Tabelle 1 (linke bzw. rechte Spalte) wiedergegeben. Die Abfolge der Aufnahmen stimmt in beiden Tabellenteilen überein; diese sind damit unmittelbar vergleichbar.

Der Tabellengliederung liegen folgende Befunde zu Grunde:

1. Im Zeitraum zwischen den beiden Erhebungen wurden auf 12 Flächen Meliorationsmaßnahmen in Form von Kalkungen durchgeführt (vgl. Tab. 2). Diese Aufnahmen wurden als eigenes Kollektiv behandelt, auch bei den Aufnahmen von 1950, die den Zustand vor Düngung repräsentieren.

2. Bestände mit führenden Laubbäumen entsprechen im Untersuchungsgebiet stärker dem natürlichen Zustand als Wälder mit führenden Nadelbäumen. Wie schon bei der Auswertung der Ersterhebung werden die Aufnahmen entsprechend zusammengefaßt (damals als „Natürliche Waldgesellschaften“ bzw. als „Kunstbestände“ bezeichnet).

3. Die Arten der Bodenvegetation sind zu Differentialartengruppen zusammengefaßt. Da einige Arten bzw. Artengruppen nur zu einem der beiden Aufnahmezeitpunkte vorhanden waren, signalisieren fehlende Artmächtigkeitsangaben, daß die entsprechenden Arten noch nicht vorhanden waren (Tab. 1, Zustand 1950) bzw. zwischenzeitlich verschwunden sind (Tab. 1, Zustand 1990).

*Tabelle 2.* Übersicht der zwischen 1950 und 1990 durchgeführten Meliorationsmaßnahmen (Daten entnommen aus der Meliorationskarte des FoA Mittelsinn)

*Table 2.* Survey of melioration operations between 1950 and 1990 (data taken from the melioration map of the Department of Forestry "Mittelsinn")

Aufnahme Nr.	Zeitpunkt	Art und Menge der Düngergabe (Menge in 100 kg/ha)
27,32	1950–1951	Kohlensaurer Kalk (keine Mengenangabe)
6, 11, 25, 33, 38, 43	1965–1976	30 Kalk + 6 Hyperphos
4	1981	13,5 Kalk + 13,5 Dolomit + 3,4 Hyperphos
3, 16, 37, 43	1981	11 Kalk + 11 Dolomit + 2,75 Hyperphos

### 3.2 Standörtliche Analyse

Zur standörtlichen Beurteilung der Wälder 1950 bzw. 1990 auf vegetationskundlichem Wege werden die Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1991) herangezogen. Die arithmetische Mittelung der Zeigerwerte führt zu Daten, die – wie die Plausibilitätskontrolle immer wieder zeigt – die Standortsituation von Beständen, besonders in Relation zueinander, gut wiedergeben; trotz des ordinalen Charakters scheinen die Zeigerwertklassen in etwa äquidistant definiert zu sein. Deshalb hat sich diese Art der Berechnung für die standörtliche Charakterisierung von Pflanzenbeständen und Pflanzengesellschaften etabliert. In der vorliegenden Studie werden bei der Mittelwertberechnung die Zeigerwerte nicht gewichtet. Es kommen die Zeigerwerte der Bodenfaktoren Feuchtigkeit (Feuchtezahl F), Bodenreaktion (Reaktionszahl R) und Stickstoffverfügbarkeit (Stickstoffzahl N) sowie der Beleuchtungssituation (Lichtzahl L) zur Auswertung.

Das Problem der Mittelwertbildung ordinaler Größen wird durch die von MOLLER (1987) vorgeschlagene Berechnung von Zeigerwertindices umgangen. Dabei wird der Anteil der Arten eines Bestandes mit Zeigerwert oberhalb einer vorgegebenen Grenzziffer errechnet.

Im vorliegenden Falle ergab sich eine weitgehende Übereinstimmung der über beide Wege ermittelten Ergebnisse (vgl. entsprechende Ergebnisse bei MAHN u. FISCHER 1989), so daß auf eine parallele Wiedergabe verzichtet werden kann.

Die Kennwerte werden auf Unterschiedshypothesen mit dem verteilungsfreien Signifikanztest nach FISHER-PITMAN (BORTZ et al. 1991) geprüft (zweiseitiger Test,  $\alpha \leq 0,05$ ). Dieser Test ist geeignet für ordinal skalierte Werte und setzt keine Normalverteilung voraus.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Floristischer und pflanzensoziologischer Vergleich 1950/1990

Die Gesamtzahl der vorkommenden Arten aus der Kraut- und Mooschicht ist mit 87 im Jahre 1990 etwas niedriger als im Jahre 1950 mit 94; dabei sind 34 Arten, die 1950 registriert wurden, verschwunden und durch 27 neu erscheinende Arten ersetzt worden. Die mittlere Artenzahl je Aufnahmefläche hat sich aber von 12,8 auf 15,4 erhöht.

Pflanzensoziologisch lassen sich alle laubholzdominierten Bestände 1950 wie 1990 dem Luzulo-Fagetum (vgl. OBERDORFER 1992) zuordnen: Pflanzenarten saurer Böden einschließlich *Luzula luzuloides* als Charakterart beherrschen die Bodenvegetation; mit *Anemone nemorosa*, *Poa nemoralis* und *Viola reichenbachiana* ist ein (wenn auch schwacher) Anschluß an die Klasse *Querco-Fagetea* gegeben. Die standörtlich vergleichbaren Nadelholzforste haben eine insgesamt sehr ähnliche Artenzusammensetzung. Die in Tabelle 1 entsprechend der Gliederung von 1950 als Differentialarten der Nadelholzflächen zusammengefaßten Arten sind nur schwach auf die Nadelholzbestände konzentriert, und dieser Unterschied verwischt weiter bis 1990.

Die laubholzdominierten Bestände im Zustand des Jahres 1950 lassen sich mit den Säure- und Magerkeitszeigern *Calluna vulgaris*, *Melampyrum pratense*, *Trientalis europaea*, *Molinia caerulea* agg. und *Leucobryum glaucum* in eine „*Calluna*-Ausbildung“ und eine „Typische Ausbildung“ unterteilen (weitere, in EHRHARDT u. KLOCK 1951 herausgearbeitete Einheiten lassen sich in dem auf etwa die halbe Aufnahmezahl geschrumpften Datensatz nicht nachvollziehen). Die Aufnahmen der zwischenzeitlich gedüngten Flächen unterscheiden sich 1950 nicht von den übrigen Beständen.

Damit ergibt sich für die 54 Aufnahmen aus dem Jahre 1950 folgende Gliederung:

- Laubholzdominiertes Luzulo-Fagetum, *Calluna*-Ausbildung.
- Laubholzdominiertes Luzulo-Fagetum, Typische Ausbildung.
- Nadelholzbestände auf Luzulo-Fagetum-Standort.
- Nach 1950 gedüngte Flächen (8 von Laubholz und 4 von Nadelholz dominierte Bestände).

1990 läßt sich in den laubholzdominierten Beständen diese Gliederung in wesentlichen Teilen nicht mehr nachvollziehen: Die Säurezeiger der *Calluna*-Differentialartengruppe von 1950 sind stark zurückgegangen. Statt dessen haben sich in zahlreichen Beständen Schlagflurarten angesiedelt: *Epilobium angustifolium*, *Calamagrostis epigejos*, *Digitalis purpurea*, *Juncus effusus*, *Rubus idaeus* und *R. fruticosus*. Mit diesen Arten läßt sich 1990 eine „*Epilobium*-Ausbildung“ von einer „Typischen Ausbildung“ abtrennen.

Damit ergibt sich 1990 für die 54 Bestände folgende Gliederung:

- Laubholzdominiertes Luzulo-Fagetum, *Epilobium*-Ausbildung.
- Laubholzdominiertes Luzulo-Fagetum, Typische Ausbildung.
- Nadelholzbestände auf Luzulo-Fagetum-Standort.
- Nach 1950 gedüngte Flächen (9 von Laubholz und 3 von Nadelholz dominierte Bestände).

Im Zeitraum von 1950 bis 1990 hat auf den ungedüngten Flächen zwischen Nadel- und Laubholzbeständen keine Umbestockung stattgefunden. Auf den gedüngten Flächen ist ein Bestand (Nr. 4) durch die Entnahme von Altkiefern in einen Buchenbestand überführt worden; ansonsten ist auch hier die vorwiegende Bestockung gleich geblieben.



*Luzulo-Fagetum (laubholzdominierte Bestände, ungedüngt; n = 33)*

Für die Luzulo-Fagetum-Bestände ergeben sich bezüglich der mittleren R-, N- und F-Zahl deutliche und signifikante Zunahmen (Abb. 3; vgl. auch die mittleren Zeigerwerte für die seit 1950 verschwundenen bzw. bis 1990 neu hinzugekommenen Arten in den Zeigerwertspektren, Abb. 4), wogegen für die L-Zahl kein Änderungstrend statistisch absicherbar ist. Aus dem Zeigerwertspektrum wird die Abnahme der Arten mit Reaktionszahl R kleiner 3, mit Stickstoffzahl N kleiner 5 und mit Feuchtezahl F kleiner 6 deutlich (Abb. 4).

*Nach 1950 gedüngte Bestände (n = 12)*

Die Unterschiede der mittleren Standortzahlen zwischen 1950 und 1990 (Abb. 3) sind meist deutlich und statistisch signifikant. Die mittlere Reaktions- und die mittlere Stickstoffzahl haben zugenommen, die mittlere Lichtzahl hat abgenommen. Nur die mittlere Feuchtezahl verblieb auf dem Niveau von 1950. – Die Zeigerwertspektren (Abb. 5) verdeutlichen, daß die Zahl der Arten mit niedrigen Reaktionszahlen (1, 2) deutlich zurückgegangen ist, umgekehrt die Zahl der Arten mit hohen Reaktionszahlen zugenommen hat. Ähnlich fallen auch die Änderungen bei der Stickstoffzahl aus. Bei der Feuchtezahl dagegen sind die Spektren von 1950 und 1990 fast identisch. Bei der Lichtzahl ist eine Zunahme der Arten mit dem Zeigerwert 4 deutlich, während bei den Werten 5, 6 und 8 eine deutliche Abnahme stattgefunden hat.

*Ungedüngte Nadelholzbestände auf Luzulo-Fagetum-Standort (n = 9)*

Bei den ungedüngten Nadelholzbeständen lassen sich keine statistisch absicherbaren Änderungen nachweisen und unterscheiden sich entsprechend die Zeigerwertspektren von 1950 und 1990 kaum voneinander; auf eine graphische Wiedergabe wird deshalb verzichtet.

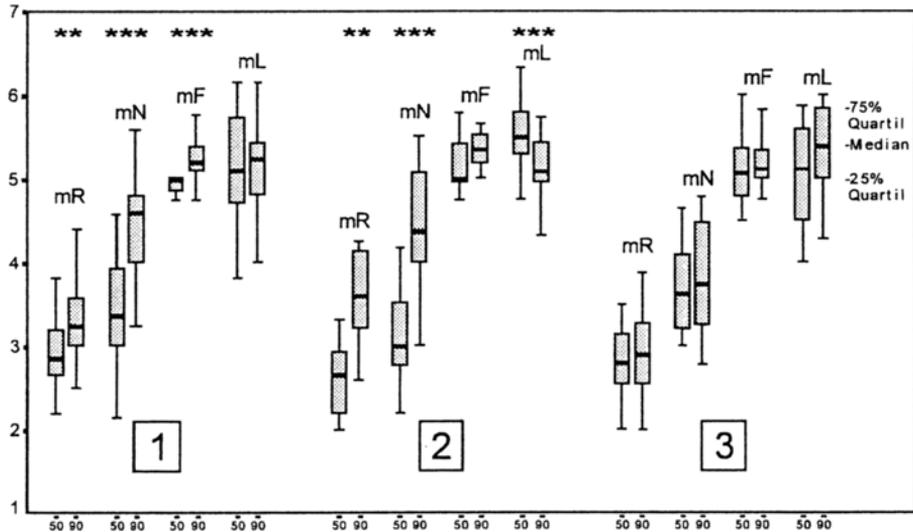


Abb. 3. Boxplot der mittleren Standortfaktoren mR, mN, mF und mL 1950 (50) und 1990 (90), aufgeteilt in (1) Luzulo-Fagetum (laubholzdominiert), ungedüngt, (2) Forst- bzw. Waldbestände, nach 1950 gekalkt (laub- oder nadelholzdominiert) und (3) nadelholzdominierte Forstbestände auf Luzulo-Fagetum-Standort, ungedüngt. Signifikanzniveau: \*\* hoch-, \*\*\* höchst signifikant

Fig. 3. Boxplot of the mean ecological indicator values mR (mean soil reaction value), mN (mean nitrogen availability value), mF (mean moisture value), and mL (mean light value) 1950 (50) and 1990 (90), respectively. (1) Luzulo-Fagetum (dominated by broad leaved trees), unfertilized, (2) fertilized forest stands (dominated by broad-leaved or needle trees), and (3) forest stands dominated by needle trees, unfertilized. Level of significance: \*\* high, \*\*\* most significant

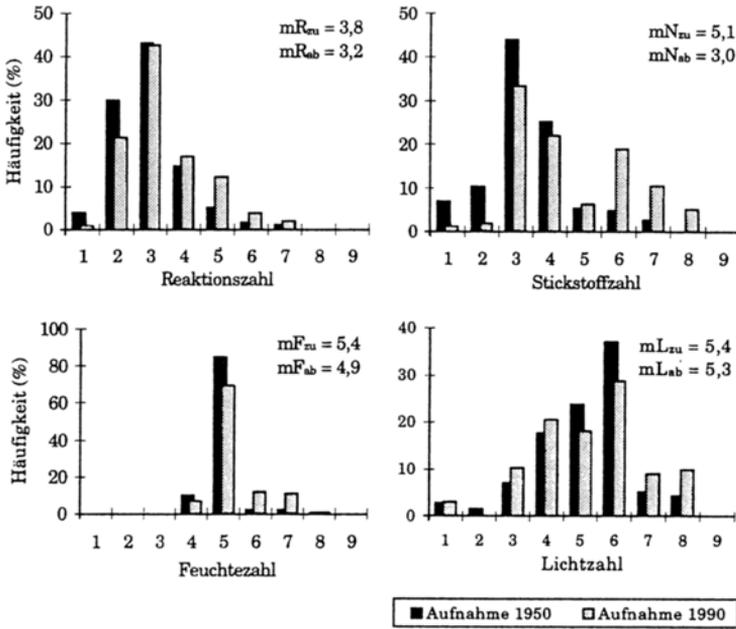


Abb. 4. Zeigerwertspektren der ungedüngten Laubholzbestände 1950 und 1990 im Vergleich  
 Fig. 4. Ranges of ecological indicator values of unfertilized stands of broad-leaved forest stands 1950 and 1990

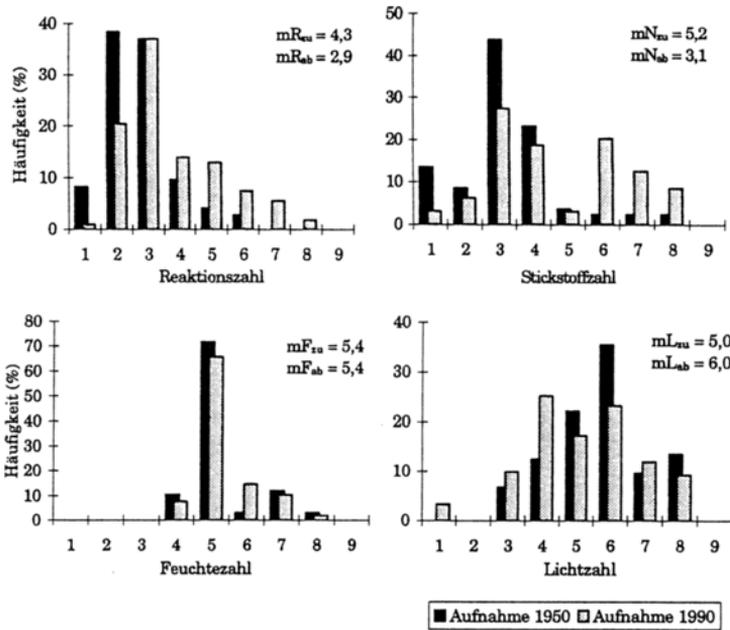


Abb. 5. Zeigerwertspektren der gedüngten Waldbestände 1950 und 1990 im Vergleich  
 Fig. 5. Ranges of ecological indicator values of fertilized forest stands 1950 and 1990

## 5 Diskussion

### *Die standörtliche Aussage von Flora und Vegetation*

Ein Set von 54 Paaren pflanzensoziologischer Aufnahmen aus einer einzigen Waldassoziation (einschließlich ihrer forstlichen Abwandlung) von Quasi-Dauerflächen gestattete es, die Vegetationsentwicklung in einem vierzigjährigen Zeitraum nachzuzeichnen. Dabei lassen sich zwei wesentliche Aussagen herausstellen:

1. Auf Assoziationsebene haben sich die Waldbestände *nicht* geändert; sie gehören nach wie vor zum Luzulo-Fagetum.

2. Innerhalb der Grenzen dieser Assoziation haben sich sehr wohl floristisch-soziologische Bestandesveränderungen ergeben: Statt der Gliederung in eine „*Calluna*-“ und eine „Typische Ausbildung“ 1950 ergibt sich 1990 eine Gliederung in eine „Typische“ und eine „*Epilobium*-Ausbildung“. Dabei haben sich die Bestände *unabhängig voneinander* verändert: Sowohl Bestände der ehemaligen *Calluna*-Ausbildung als auch Bestände der ehemaligen Typischen Ausbildung sind in die heutige Typische und die heutige *Epilobium*-Ausbildung übergegangen (Abb. 2)! Die Differentialarten kennzeichnen die ehemalige *Calluna*-Ausbildung hinsichtlich der Nährstoff-(Stickstoff-)verfügbarkeit als schwach ausgestattet, die *Epilobium*-Ausbildung als gut ausgestattet; die 1950 und 1990 quasi identisch entwickelte Typische Ausbildung steht dazwischen. – Damit kann die Änderung der floristischen Zusammensetzung der Bestände im Zeitraum von 40 Jahren als deutlicher Hinweis darauf gewertet werden, daß sich die *Nährstoffverfügbarkeit* und dabei speziell die *Stickstoffverfügbarkeit* entscheidend geändert hat. Die standörtliche Reihung der drei Ausbildungen des Luzulo-Fagetum berücksichtigend läßt sich formulieren, die Bestände der ehemaligen *Calluna*-Ausbildung hätten sich „zumindest“ bis zum Stadium der Typischen Ausbildung mit bereits relativ reichlicher Stickstoffversorgung, teilweise sogar darüber hinaus bis zur *Epilobium*-Ausbildung mit noch reichlicherer Stickstoffversorgung entwickelt.

Die standörtliche Bewertung mittels der Zeigerwerte gestattet es, diese qualitative Aussage zu quantifizieren: Im laubholzdominierten Luzulo-Fagetum erhöhte sich in den letzten 40 Jahren die mittlere Stickstoffzahl höchstsignifikant von 3,4 auf 4,6; wurden die Bestände zwischenzeitlich gekalkt, so fällt der Unterschied nur unwesentlich größer aus.

Signifikante Änderungen haben sich auch hinsichtlich der „Säure“zeiger ergeben. Ihre Bedeutung ist nach Artenzahl und Menge im gesamten Aufnahmematerial entscheidend *zurückgegangen*, entsprechend die mittlere Reaktionszahl *gestiegen*! Für eine „Bodenversauerung“ lassen sich *aus der Vegetation* also keinerlei Indizien ableiten.

Bezüglich des Wasserhaushaltes läßt sich aus der Bodenvegetation eine bessere Verfügbarkeit ableiten; die entsprechenden mittleren Zeigerzahlen sind zwar nur geringfügig, aber höchstsignifikant angestiegen. Bezüglich der Lichtsituation weist nur die Düngungsvariante auf eine Verdunkelung der Bestände hin (ansonsten keine signifikanten Änderungen).

### *Der Weiserwert der Reaktionszahl*

Während sich die N-, F- und L-Zeigerwerte auf die unmittelbare Verfügbarkeit von Wachstumsfaktoren (Stickstoff, Wasser, Lichtquanten) beziehen, hat die Reaktionszahl einen anderen Charakter: Nicht die Wasserstoffionenkonzentration der Bodenlösung ansich ist für die Pflanzen maßgeblich, sondern die komplexe physikalisch-chemisch-biologische Bodensituation, die vom pH-Wert als einer leicht meßbaren Kenngröße signalisiert wird. Vom pH-Wert abhängig sind z. B. die Mobilität der Tonminerale (besonders zwischen pH 5,0 und 6,5), die biologische Aktivität (bei niedrigem pH gering), die Mobilität toxisch wirkender Ionen (z. B. Al-Ionen unterhalb pH 4,5), die Verfügbarkeit von Phosphat (bei Ca-Anwesenheit und damit höherem pH als Ca-Phosphat festgelegt, bei sehr niedrigem pH-Wert an Sesquioxide adsorbiert), die Basensättigung (unterhalb pH 5 stark zurückgehend), vor allem aber die Stickstoffnachlieferung: Im bodensauren Bereich findet zwar der erste Schritt der N-Mineralisation, die Ammonifizierung ( $R-NH_2 \rightarrow NH_3$ ) statt, doch liegt das Optimum des von den Bakterien der Gattungen *Nitrosomonas* und *Nitrobacter* durch-

geführten zweiten Schrittes, der autotrophen Nitrifizierung ( $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$ ) zwischen pH 6 und 8 und wird unter pH 6 zunehmend gehemmt. – Hinsichtlich der Nährstoffe sind stark saure Böden also durch geringere Basensättigung und oft durch eine überwiegende N-Bereitstellung in Form des von den meisten Pflanzen nur schwer verwertbaren Ammoniums, im schwach saurem bis neutralen Bereich dagegen durch höhere Basensättigung und eine vorwiegende N-Bereitstellung in Form von Nitrat gekennzeichnet. So liegt der Nitrifizierungsgrad in südbadischen Waldböden im Luzulo-Fagetum zwischen 2 und 37%, im Melico-Fagetum (standörtlicher Mittelbereich) zwischen 67 und 84% und im Cephalanthero-Fagetum zwischen 90 und 100% (BUCKING 1972). Dabei gibt es, wie von RUNGE (1974) im Luzulo-Fagetum des Solling gezeigt, innerhalb des Bodens eine starke Differenzierung der N-Bereitstellung mit fast fehlender  $\text{NO}_3$ -N-Bereitstellung in den oberen organischen Horizonten. Es ist allerdings bekannt, daß andere, nicht pH-sensitive Mikroorganismen (v. a. Pilze) zur Nitrat-Bereitstellung auch im sauren Boden beitragen, wenn auch mit geringerer Effizienz.

Von den bei BUCKING genannten Arten „stickstoffarmer Böden mit fast reiner bzw. vorwiegender Ammonium-Versorgung“ haben von 1950 bis 1990 im Untersuchungsgebiet *Calluna vulgaris*, *Melampyrum pratense*, *Teucrium scorodonia* und *Anthoxanthum odoratum* abgenommen, während von den Arten stickstoffreicher Böden mit vorwiegender Nitrifikation *Urtica dioica* zugenommen hat. Die beiden erstgenannten Arten gelten dabei als ausgesprochene Rohhumus-Flachwurzler (OBERDORFER 1990).

Wie Gefäßversuche von BOGNER (1968) zeigen, vermögen einige als „Säurezeiger“ bekannte Arten wie *Calluna vulgaris* und *Vaccinium myrtillus* bei reiner Nitrat-N-Versorgung nicht zu gedeihen und sind damit auf den bodensauren Bereich mit überwiegender Ammonium-Bereitstellung konzentriert, während andere Arten umgekehrt bei reiner Ammonium-N-Versorgung nicht gedeihen und im basischen Standortbereich vorkommen. Durch Nitratzufuhr im sauren Bereich sollten also derartige „Nicht-Säurezeiger“ gefördert und „Säurezeiger“ via Konkurrenz zurückgedrängt werden. Tatsächlich zeigt eine Korrelationsanalyse, daß im vorliegenden Datensatz die mittlere Stickstoff- und mittlere Reaktionszahl höchstsignifikant positiv miteinander korreliert sind (Tab. 3). – Die Wasserstoffionenkonzentration bzw. R-Zeigerzahl darf also lediglich als grobe Richtgröße für wachstumsrelevante Rahmenbedingungen speziell des Nährstoffhaushaltes der Pflanzen oder mit ELLENBERG (1982) als „Symptom für den Fruchtbarkeitszustand des Bodens“ gewertet werden, nicht aber als unmittelbare pH-Kennzahl (s. ausführliche Beispiele der standörtlichen Zusammenhänge bei ZIMMERLI u. SCHUTZ 1995).

Tabelle 3 Korrelationsanalyse der Zeigerwerte

Table 3 Analysis of correlation of ecological indicator values

F	—		
R	- <sup>*</sup>	—	
N	- <sup>**</sup>	—	+ <sup>***</sup>
	L	F	R

— Keine signifikante Korrelation

-<sup>\*</sup> einfach signifikant negativ korreliert

-<sup>\*\*</sup> hoch signifikant negativ korreliert

+<sup>\*\*\*</sup> höchst signifikant positiv korreliert

(Spearman Korrelationskoeffizient, zweiseitiger Test,  $\alpha \leq 0,05$ )

Eine Abnahme der „Saure-“zeiger bzw. ein Anstieg der R-Zahl im Laufe der Zeit kann also nicht zwingend als Hinweis auf einen pH-Anstieg in den Bodenlösung gewertet werden. Daß in den letzten Jahrzehnten in vielen schwach gepufferten Böden Europas deutliche pH-Depressionen stattgefunden haben steht ebenso außer Frage wie der erhöhte Eintrag von Stickstoff- und Schwefelverbindungen sowie von Basen-Kationen (K, Ca, Mg; regional

sehr differenziert; vgl. Zusammenstellung in REHFUESS 1990). Der Rückgang der „Säure-“ zeiger in den hier untersuchten Beständen und der signifikante Anstieg der Reaktionszahl sind somit als ein weiterer Hinweis auf die *Verbesserung der Wachstumsbedingungen anspruchsvoller Pflanzenarten* zu werten.

#### *Der Einfluß von Düngung und Nadelholzbesatz*

Die Bestandesentwicklung der nach 1950 gedüngten Luzulo-Fagetum-Bestände unterscheidet sich nicht wesentlich von der Entwicklung der ungedüngten Bestände. Die Düngung hat also auf floristisch-soziologischer Ebene langfristig keinen wesentlichen Effekt gezeigt.

In ungedüngten, nadelholzbestockten Beständen auf Luzulo-Fagetum-Standort hat die Herausbildung einer *Epilobium*-Ausbildung nur ansatzweise stattgefunden; die floristischen Änderungen sind dort so gering, daß die Zeigerwerte bezüglich der Bodenfaktoren keine signifikanten Änderungen von 1950 bis 1990 anzeigen. Anscheinend führt die Ansammlung der schwer zersetzbaren Nadelstreu v. a. in der Humusaufgabe zu einer so ungünstigen biologisch-chemischen Situation, daß sich ein verbessertes Nährstoffangebot nicht oder nur ansatzweise auswirken kann.

#### *Gesamtwertung*

Der Vergleich der 54 Aufnahmepaare von 1950 bzw. 1990 auf Quasi-Dauerflächen zeigt, daß sich in erster Linie die *Nährstoffverfügbarkeit* geändert hat, und zwar insbesondere als erhöhte Bereitstellung von *Stickstoff* in pflanzenverfügbarer Form. Dies entspricht dem eingangs für große Teile Nord- und Mitteleuropas herausgestellten Trend. Im Untersuchungsgebiet fällt dieser Effekt so markant aus, daß eine zusätzliche Änderung des Nährstoffhaushaltes durch Kalkung keine weitere floristische Änderung der Bestände zur Folge hatte. Gekoppelt ist der europaweite Trend der Herausbildung einer „anspruchsvolleren“ Bodenvegetation mit einer die Ertragstafelwerte weit übersteigenden Wüchsigkeit der Bäume (ROHLE 1995). Da in den vegetationskundlichen Vergleichsstudien stets nur ein Ausgangs- und ein Endzustand miteinander verglichen werden, kann nichts über den Zeitpunkt des Einsetzens und über die Dynamik der Förderung anspruchsvollerer Arten und damit auch nichts über die Parallelisierung der Entwicklung von Bodenvegetation und Baumwachstum gesagt werden. Nährstoffzufuhr über den Luftweg ist nachgewiesen; erhöhte Mineralisationsraten der Humusaufgabe vor Ort (z. B. wegen verlängerter Vegetationsperiode oder erhöhten Frühjahrstemperaturen) und andere Gründe sind denkbar.

Bemerkenswert ist, daß sich diese Entwicklungstrends in den Nadelholzbeständen auf vergleichbarem Standort nicht in diesem Maße auswirken wie unter Laubholz. Die anfallende Nadelstreu und die daraus resultierende ungünstigere Humusform scheinen ein erhöhtes Nährstoff-(Stickstoff-)angebot nicht verfügbar zu machen. Entsprechendes wurde im Luzulo-Fagetum des Schwarzwaldes beobachtet (BURGER 1988).

Die Verbesserung der Lebensbedingungen für anspruchsvollere Arten im Wald verschlechtert die Lebensbedingungen für die konkurrenzschwachen und damit auf „Mangelstandorte“ beschränkten Arten. Diese auf der Auswertung von Roten Listen von ELLENBERG (1985) gemachte allgemeine Feststellung läßt sich im Untersuchungsgebiet in konkreten Waldbeständen nachweisen.

Die vorliegende Studie bezieht sich nur auf ein kleines Testgebiet, aber auf den Standort einer in Mitteleuropa weit verbreiteten Waldgesellschaft. Insofern gelten die gemachten Aussagen weit über den engeren Untersuchungsraum hinaus.

## Literatur

- BARKMAN, J. J.; DOING, H.; SEGAL, S., 1964: Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. Acta bot. Neerl. 13, 394–419.  
BOCKER, R.; KOWARIK, I.; BORNKAMM, R., 1983: Untersuchungen zur Anwendung der Zeigerwerte nach Ellenberg. Verh. Ges. Ökol. 11, 35–56.

- BOGNER, W., 1968: Experimentelle Prüfung von Waldbodenpflanzen auf ihre Ansprüche an die Form der Stickstoffernährung. Mitt. Ver. Forstl. Standortskde. Forstpfl.züchtung 18, 3–45 (wörtl. Wiedergabe der Diss. Univ. Hohenheim, 1966, 131 S.).
- BORTZ, J.; LIENERT, G. A.; BOEHNKE, K., 1991: Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik. Berlin, Heidelberg: Springer.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1928: Pflanzensoziologie. Berlin: Springer.
- BUCK-FEUCHT, G., 1986: Vergleich alter und neuer Waldvegetationsaufnahmen im Forstbezirk Kirchheim unter Teck. Mitt. Ver. Forstl. Standortskd. Forstpfl.züchtung 32, 43–49.
- BÜCKING, W., 1972: Zur Stickstoffversorgung von südwestdeutschen Waldgesellschaften. Flora 161, 383–400.
- BÜRGER, R., 1988: Veränderungen der Bodenvegetation als Indikator für mögliche landschaftsökologische Folgen des Waldsterbens. 4. Statuskolloquium des PEF, 8.–10. 3. 1988, Karlsruhe.
- BÜRGER, R., 1991: Immissionen und Kronenverlichtung als Ursachen für Veränderungen der Waldbodenvegetation im Schwarzwald. Tuexenia 11, 407–424.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (Hrsg.), 1952–90: Monatlicher Witterungsbericht. Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes 1.–38. Jahrgang, Meßstationen Bad Brückenau und Bad Kissingen, Offenbach a. M.
- EHRHARDT, F.; KLÖCK, W., 1951: Die waldbauliche Auswertung pflanzensoziologischer und bodenkundlicher Untersuchungen auf Buntsandstein (Forstamt Mittelsinn, Nordspessart). Forstw. Cbl. 70, 267–309.
- ELLENBERG, H., 1982: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. 3. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- ELLENBERG, H.; WEBER, H. E.; DULL, R.; WIRTH, V.; WERNER, W.; PAULISSEN, D., 1991: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobot. 18, 248.
- ELLENBERG, H. jr., 1985: Veränderungen der Flora Mitteleuropas unter dem Einfluss von Düngung und Immissionen. Schweiz. Z. Forstwes. 136, 19–39.
- FALKENGREN-GRERUP, U., 1986: Soil acidification and vegetation changes in deciduous forest in southern Sweden. Oecologia 70, 339–347.
- FISCHER, A. (1993): Zehnjährige vegetationskundliche Dauerbeobachtungen stadtnaher Waldbestände. Reaktion der Waldvegetation auf anthropogene Beeinflussungen. Forstw. Cbl. 112, 141–158.
- FISCHER, A., 1995: Forstliche Vegetationskunde. Pareys Studentexte 82. Berlin, Wien: Blackwell.
- KUHN, N.; AMIET, R.; HUFSCHMID, N., 1987: Veränderungen in der Waldvegetation der Schweiz infolge Nährstoffanreicherungen aus der Atmosphäre. Allg. Forst- Jagdz. 158, 77–84.
- MAHN, D.; FISCHER, A., 1989: Die Bedeutung der Biologischen Landwirtschaft für den Naturschutz im Grünland. Ber. ANL/Laufen 13, 261–275.
- MEDWECKA-KORNAS, A.; GAWRONSKI, ST., 1991: Acidophilous mixed forests in the Ojcow National Park: thirty years pressure of air pollution. Veröff. Geobot. Inst ETH 106, 174–207.
- MÖLLER, H., 1987: Wege zur Ansprache der aktuellen Bodenazidität auf der Basis der Reaktionszahlen von Ellenberg ohne arithmetisches Mitteln dieser Werte. Tuexenia 7, 499–505.
- NIEPPOLA, J., 1992: Long-term vegetation changes in stands of *Pinus sylvestris* in southern Finland. J. Veg. Sc. 3, 475–484.
- OBERDORFER, E., 1990: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 6. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- OBERDORFER, E., (Hrsg.), 1992: Süddeutsche Pflanzengesellschaften. Teil IV: Wälder und Gebüsche. 2. Aufl. Textband u. Tabellenband. Jena, Stuttgart, New York: Fischer.
- REHFUESS, K.-E., 1990: Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Pareys Studentexte 29. Hamburg, Berlin: Parey.
- RODENKIRCHEN, H., 1991: Der Wandel der Bodenvegetation in den Kiefernforsten des Staatlichen Forstamtes Waldsassen infolge anthropogen bedingter Bodenänderungen. Bayreuther Bodenkd. Ber. 17, 261–273.
- ROHLE, H., 1995: Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. Ertragskundliche Auswertung langfristig beobachteter Versuchsreihen unter besonderer Berücksichtigung von Trendänderungen im Wuchsverhalten. Mitt. Staatsforstverwaltung Bayerns 48.
- ROST-SIEBERT, K.; JAHN, G., 1988: Veränderungen der Waldbodenvegetation während der letzten Jahrzehnte. Eignung zur Bioindikation von Immissionswirkungen? Forst und Holz 43, 75–81.
- RUNGE, M., 1974: Die Stickstoff-Mineralisation im Boden eines Sauerhumus-Buchenwaldes. Teil II: Die Nitratproduktion. Oecol. Plant. 9, 219–230.
- SCHMIDT, P. A., 1993: Veränderungen der Flora und Vegetation von Wäldern unter Immissionseinfluß. Forstw. Cbl. 112, 213–224.
- TREPL, L., 1982: Zur anthropogenen Beeinträchtigung stadtnaher Wälder. Das Beispiel der Eilenriede bei Hannover. Tuexenia 2, 195–208.
- VAN DER WERF, S., 1987: Die Erfassung von Veränderungen in niederländischen Wäldern nach 25 Jahren und ihre möglichen Ursachen. – Kongress- u. Tagungsber. Martin-Luther Univ. Halle-Wittenberg 1987/46: „Erfassung und Bewertung anthropogener Vegetationsveränderungen“, Teil 3, 187–201.

- WILMANN, O., 1989: Zur Frage der Reaktion der Waldboden-Vegetation auf Stoffeintrag durch Regen – eine Studie auf der Schwabischen Alb. *Allgem. Forst- u. Jagd-Ztg.* **160**, 165–175.
- WILMANN, O.; BOGENRIEDER, A., 1986: Veränderungen der Buchenwälder des Kaiserstuhls im Laufe von vier Jahrzehnten und ihre Interpretation – pflanzensoziologische Tabellen als Dokumente. *Abh. Westf. Mus. Naturk.* **48**, 55–79.
- WILMANN, O.; BOGENRIEDER, A.; MULLER, W. A., 1986: Der Nachweis spontaner, teils anthropogener, teils immissionsbedingter Änderungen von Eichen-Hainbuchenwäldern – eine Fallstudie im Kaiserstuhl/Baden. *Nat. u. Landsch.* **61**, 415–422.
- WITTIG, R., 1988: Retrospective studies of changes in central european forests by means of repeating phytosociological surveys. In: SALBITANO, F. (ed.): „Human influence on forest ecosystem development in Europe“. ESF FERN-CNP, Pitagora Editrice, 139–147, Bologna.
- WITTIG, R.; BALLACH, H.-J.; BRAND, J. C., 1985: Increase of number of acid indicators in the herb layer of the Millet Grass-Beech Forest of the Westphalian Bight. *Angew. Bot.* **59**, 219–232.
- ZIMMERLI, ST.; SCHUTZ, M., 1995: Zur ökologischen Charakterisierung von Waldgesellschaften am Beispiel des Waldsimen-Buchenwaldes (*Luzula silvaticae*-Fagetum). *Schweiz. Z. Forstwes.* **146**, 157–179.
- ZUKRIGL, K.; EGGER, G.; RAUCHECKER, M., 1993: Untersuchungen über Vegetationsveränderungen durch Stickstoffeintrag in österreichische Waldokosysteme. *Phytocoenologia* **23**, 95–114.

*Anschriften der Verfasser:* Dipl.- Forstw. H. RODER und Prof. Dr. A. FISCHER, Lehrbereich Geobotanik, Forstwissenschaftliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, Hohenbachernstraße 22, D-85354 Freising;  
LTD a.D. W. KLOCK, Silberstraße 35, D-97074 Würzburg