

Nederlandsch Boschbouw-Tijdschrift

Oprichter Dr. J. R. Beversluis
Orgaan van de

Nederlandsche Boschbouwvereniging

8e Jaargang

No. 12

December 1935

Oorspronkelijke Bijdragen

DER EINFLUSS DER HOLZART, INSBESONDERE DER LÄRCHE, AUF DEN BIOLOGISCHEN ZUSTAND DES BODENS

von

Professor Dr. WITTICH, Eberswalde.

(Voordracht, gehouden voor de 9den Wetenschappelijken cursus van de Ned. Boschbouwvereniging te Wageningen op 4 October 1935).

Einleitend darf ich bemerken, dass ich die Waldwirtschaft in den Niederlanden bisher aus eigener Anschauung nicht kannte. Wenn ich trotzdem diesen Vortrag übernommen habe, so deshalb, weil ich überzeugt bin, dass das Grundsätzliche der auf den verschiedensten Standorten gewonnenen Untersuchungsergebnisse auch für das hiesige Waldgebiet Geltung hat. Denn es liegt mir fern, hier etwa örtliche Erfahrungen, soweit sie als Ganzes beobachtete Erscheinungen darstellen, mitzuteilen. Ich habe mich vielmehr bemüht, soweit unsere Forschungsmethoden das heute schon ermöglichen, die Ergebnisse der Untersuchungen auf die bedingenden Faktoren zurückzuführen. Damit aber gewinnen sie über die örtlichen Verhältnisse hinaus an Bedeutung. Im übrigen werde ich die Untersuchungen im benachbarten Nordwestdeutschland, das ja ähnliche waldbauliche Verhältnisse wie die Niederlande aufweist, in den Vordergrund stellen, die Untersuchungen in anderen Gebieten, soweit das zur Klärung der Zusammenhänge zweckmässig erscheint, allerdings gelegentlich vergleichsweise mit heranzuziehen.

Die Niederlande und Nordwestdeutschland stellen ein Gebiet dar, in dem häufige und schwere Bodenerkrankungen vorkommen. Ueber die Ursachen brauche ich kaum etwas zu sagen. Auf der einen Seite das Klima: hohe Luftfeuchtigkeit, starke Bewölkung, geringe sommerliche Wärmemenge usw., auf der anderen Seite die besonderen Bodenverhältnisse. Sie wissen, dass die Niederlande und der grösste Teil von Nordwestdeutschland von der letzten Eiszeit nicht mehr erreicht wurden, und dass die Böden, die während der letzten Zwischeneiszeit und zeitweise vermutlich auch während der letzten Vereisung dem ozeanischen Klima ausgesetzt waren,

unter dem Einfluss dieses Klimas stark gealtert sind. Als wichtigstes Vorbeugungs- und Bekämpfungsmittel gegen die Bodenerkrankungen wird neben allen möglichen anderen Massnahmen die Erziehung von Beständen bestimmter Holzartenzusammensetzung gefordert. Die Bedeutung dieses Problems ist allgemein anerkannt. Die praktische Durchführung stösst aber insofern auf Schwierigkeiten, als über die Rolle der einzelnen Holzarten, die Notwendigkeit und geeignetste Form einer Mischung, die Ansichten teilweise recht erheblich von einander abweichen. Man denke an die Lärche, deren Anbau im stärksten Masse propagiert, und zwar m. E. mit Recht propagiert wird. Aber man empfiehlt ihren Anbau nicht nur wegen ihrer allgemeinen hervorragenden waldbaulichen Eigenschaften, sondern nicht zuletzt wegen ihres angeblich ausgezeichneten Einflusses auf den biologischen Zustand des Bodens. Sie wurde als die in dieser Hinsicht günstigste Holzart an erster Stelle genannt. Man nahm von ihr an, dass sie die Bezeichnung Humuszehrer nicht nur im wirtschaftlichen, sondern vielleicht auch im physiologischen Sinne verdiene. Dem gegenüber stehen die teilweise erstaunlich grossen Humusmassen, die sich inzwischen unter vielen Lärchenbeständen angesammelt haben und die bei vielen berechnete Zweifel an ihren humuszehrenden Wirkungen haben aufkommen lassen. Ist dieser Humus nun Moder, also absorptiv gesättigt, wie von manchen, die diese Humusansammlungen nicht mehr leugnen können, behauptet wird, oder ist es etwa ungünstiger Trockentorf? Dies ihm äusserlich anzusehen, ist, wie die ganz verschiedenartigen Urteile beweisen, augenscheinlich sehr schwer. Man sieht, wie dringend nötig es ist, über diese Fragen Klarheit zu gewinnen, um unsere wirtschaftlichen Massnahmen auf eine sichere Grundlage stellen zu können.

Der biologische Bodenzustand unter einer Holzart oder Holzartenmischung ist das Ergebnis der gemeinsamen Wirkung einer grossen Zahl verschiedener Einzeleinflüsse. Da sich diese je nach den örtlichen Verhältnissen sehr verschieden auswirken, ist es begreiflicherweise nicht möglich, die Holzarten allgemein nach dem Grade ihrer Bodenpfleglichkeit zu ordnen. In biologischer Hinsicht wichtig ist zunächst der Einfluss der Holzart auf dem Wege über das *Bestandesklima*. Greifen wir einmal ein besonders anschauliches Beispiel heraus: Bei einer jährlichen Regenmenge von 500 mm dringen in einem Tannenbestand im Durchschnitt nur 100 mm durch das Kronendach zum Boden, in einem Kiefernbestand aber 325 mm, also mehr als die dreifache Menge. Es ist verständlich, dass in Gebieten mit geringen Niederschlägen dieser Nachteil der Tanne u. U. entscheidend den Verlauf der Umsetzungen zu beeinflussen vermag. Bei einer Niederschlagsmenge von 1000 mm, wie wir sie im Hauptver-

breitungsgebiet der Tanne in Süddeutschland vorfinden, beträgt der Unterschied nur 28 %, so dass hier dieser Nachteil der Tanne in der Gesamtwirkung erheblich an Bedeutung verliert, bei einem Uebermass von Feuchtigkeit sich u. U. sogar in das Gegenteil verkehrt. Aber auch bei derselben Niederschlagsmenge liegen die Verhältnisse für die gleiche Holzart je nach dem Standort verschieden. Auf vielen Böden findet sich unter der Kiefer eine starke Bodenvegetation, sehr häufig die Heidelbeere, die ihrerseits einen grossen Teil der durch das Kronendach dringenden Niederschläge abfängt und damit den ursprünglichen Vorteil, den diese Holzart gegenüber anderen aufwies, weitgehend ausgleicht. Auf den Böden dagegen, wo eine solche störende Flora fehlt, kommt dieser Vorteil zur vollen Geltung. Aehnlich wechselnd je nach den Standortverhältnissen ist der Einfluss der Holzart auf die sonstigen klimatischen Faktoren, in erster Linie auf die Bodentemperatur, die bekanntlich in erheblichem Masse die Lebensvorgänge im Boden zu beeinflussen vermag. Einen entscheidenden Faktor stellt auch hierbei die Bodenvegetation dar, die selbst bei der gleichen Holzart u. U. schon durch geringe Unterschiede in den Bodenverhältnissen in ihrem Charakter entscheidend beeinflusst wird und die ihrerseits das Mikroklima tiefgreifend zu verändern vermag. Setzt doch eine dichte Heidelbeerdecke unter Kiefer die durchschnittliche Temperatur der obersten Bodenschicht während der Vegetationszeit ebenso stark herab wie ein geschlossener Buchenunterstand, ohne aber gleichzeitig dessen besondere Vorteile in biologischer Hinsicht zu bieten. Ein Lichtholzbestand auf einem Standort, der eine solche Pflanzendecke aufkommen lässt, ist in seiner Wirkung auf das Bodenklima also ganz anders zu beurteilen als der gleiche Bestand auf einem Boden, auf dem das nicht der Fall ist. Gerade in der Kiefernwirtschaft auf unseren ostdeutschen Sandböden, wo diese beiden Möglichkeiten sehr dicht beieinander liegen, ist es für die Beurteilung des Gelingens vieler wirtschaftlicher Massnahmen, nicht zuletzt auch der Naturverjüngung, wichtig, zu wissen, ob mit dem einen oder aber mit dem anderen zu rechnen ist. Ich kann auf diese Dinge hier im einzelnen nicht eingehen, sondern ihre Bedeutung für die hier zur Erörterung stehenden Fragen nur eben andeuten. Mögen diese Zusammenhänge im ersten Augenblick vielleicht reichlich verwickelt erscheinen, sie sind es in Wirklichkeit nicht, und bewusst regelnde Eingriffe durch den Forstmann sind durchaus möglich. Voraussetzung ist natürlich, dass er seine Böden und die durch den Boden bedingte Zwangsläufigkeit der Entwicklung kennt. Er muss, um es etwas plastischer auszudrücken, wissen, ob er unter dieser oder jener Bestandesart auf dem betreffenden Standort eine Bodenvegetation zu erwarten hat oder nicht.

und ob es gegebenenfalls die Heidelbeere sein wird oder eine Pflanzengesellschaft ganz anderer Art. Und er muss natürlich weiter wissen, wie diese verschiedenen Möglichkeiten in biologischer Hinsicht zu beurteilen sind.

Den weitaus stärksten Einfluss auf den biologischen Zustand des Bodens übt zweifellos die *Zusammensetzung der Streu* aus. Ich darf an dieser Stelle schon vorausnehmen, was später eingehender behandelt werden wird, dass neben der Streu des Bestandes auch diejenige der lebenden Bodendecke mit ihren teilweise erstaunlich grossen Mengen in Rechnung gesetzt werden muss. Um ein Urteil über den Wert der Streu der verschiedenen Holzarten zu gewinnen, gab es zwei verschiedene Wege. Der eine, der bisher leider nur unvollständig zum Ziel geführt hat, stützt sich auf die chemische Untersuchung der Ausgangssubstanz, also der frischen Streu, oder, wie man sie mit einem schwedischen Ausdruck zu bezeichnen pflegt, der Förna. Man hoffte auf diese Weise klare Unterschiede zwischen den einzelnen Holzarten herauszufinden und daraus auf die verschiedene Abbaufähigkeit ihrer Streu Schlüsse ziehen zu können. Leider stiess dieser Weg auf grosse Schwierigkeiten. Denn in jeder Nadel, in jedem Blatt sind so ungeheuer viel verschiedene chemische Substanzen vorhanden, dass es ganz unmöglich ist, sie sämtlich zu analysieren. Aber ganz abgesehen von der grossen Zahl dieser Verbindungen besteht für die meisten Stoffe auch rein methodisch dazu garnicht die Möglichkeit. Wir sind ja nicht einmal imstande, die wichtigsten Grundstoffe der organischen Substanz, Zellulose, Lignin und die verschiedenen Hemizellulosen, sicher zu bestimmen. Man beschränkte sich infolgedessen darauf, Gruppen von Stoffen, die sich durch das gleiche Lösungsmittel erfassen liessen und die man als chemisch verwandt ansah, zu untersuchen. So findet man z. B. in einem Auszug mit kaltem Wasser im wesentlichen die verschiedenen Zucker, einige Aminosäuren, lösliche Proteine und ähnliche Verbindungen, die als Ganzes bestimmt werden. Ebenso die anderen Stoffgruppen. Wenn man auch gelegentlich glaubte, herausgefunden zu haben, dass das stärkere Vorkommen bestimmter Gruppen, wie beispielsweise der alkohol-ätherlöslichen Stoffe oder der im wesentlichen Lignin umfassenden Gruppe, die Ursache für die schlechte Zersetzungsfähigkeit der Streu bestimmter Holzarten sei, so kamen andere bei ihren Analysen wieder zu gegenteiligen Ergebnissen. Der eine fand, dass die Nadeln der Kiefer einen besonders hohen Ligningehalt haben und erklärte damit ihre schlechte Zersetzungsfähigkeit, ein anderer wieder fand genau umgekehrt, dass Kiefer und Fichte neben dem Humuszehrer Eiche den geringsten Ligningehalt aufweisen. Wenn diese Untersuchungen bisher zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt haben, so ist es durchaus falsch, den Schluss

daraus zu ziehen, dass kein Zusammenhang zwischen dem Gehalt an den verschiedenen organischen Verbindungen und der Abbaufähigkeit der Streu bestehe. Abgesehen davon, dass durch die Bestimmung grösserer Gruppen eine stoffliche Gleichheit vorgetäuscht werden kann, obwohl innerhalb dieser Gruppen vielleicht grundlegende Unterschiede bestehen, ist die Unsicherheit der analytischen Methode in Rechnung zu setzen. Was der eine als Lignin ermittelt ist ganz etwas anderes als das, was der andere als solches gefunden zu

	Aschefreie Substanz löslich in						Trockensubstanz				
	Äther %	Alkohol %	Kaltem Wasser %	Heissem Wasser %	H Cl %	Lignin %	N %	Rohasche %	Ca O %	Si O ₂ %	P ₂ O ₅ %
Kiefer	15.11	2.54	12.10	5.85	15.47	18.00	0.69	2.76	0.72	0.41	0.13
Eiche	6.03	3.80	15.24	10.01	23.93	17.62	0.71	6.62	1.52	1.80	0.56
Buche	5.07	3.75	10.10	7.07	23.41	30.34	0.78	7.81	1.77	2.42	0.51
Lärche	5.82	3.84	18.59	5.58	15.39	25.49	0.78	4.11	0.65	1.52	0.36
Akazie	3.46	3.70	11.96	3.99	29.09	22.79	3.10	7.49	2.80	0.16	0.92
Fichte	8.25	3.80	26.48	6.44	19.84	17.43	1.01	8.71	0.85	5.37	0.34

haben glaubt. Ich habe einige charakteristische Werte, die von Köhn nach der Methode von Waksman bestimmt wurden, herausgegriffen. Die Streu der ersten vier Holzarten stammt von desselben Boden, jungdiluvialem Sand meines Revieres Eberswalde, die der Fichte und Akazie von etwas besserem Standort.

Betrachten wir zunächst den Gehalt an äther-alkohollöslichen Stoffe, die — ähnlich wie die verschiedenen Fette, Wachse, Tannine, Alkaloide, Terpene und verwandte Verbindungen umfassen. Man nimmt an, dass ein hoher Gehalt an ihnen die Abbaufähigkeit der Streu herabsetzt. Wir können feststellen, dass die Kiefer tatsächlich ungewöhnlich reich daran ist, womit man an sich die ungünstigen Eigenschaften ihrer Streu erklären könnte. Demgegenüber fand Kleeberg, dass die leicht zersetzliche Birken- und Roteichenstreu einen fast eben so hohen Gehalt an alkohol-benzollöslichen Stoffen aufweist wie die der Kiefer. Betrachten wir den Ligningehalt, so finden wir, dass ausgerechnet Kiefer und Fichte besonders günstig, die Buche aber sehr schlecht abschneidet. Wir dürfen bei der Beurteilung solcher Ergebnisse die Unzulänglichkeit der Bestimmungsmethoden nicht vergessen.

Ein wesentlich klareres Bild haben wir von dem Zusammenhang, der zwischen dem Gehalt an Mineralstoffen, vor allem Kalk, bezw. dem Puffervermögen und der Abbaufähigkeit der Streu besteht. Bemerkenswert ist, dass hier die Möglichkeit einer sicheren methodischen Bestimmung ge-

ben war. Wichtig sind vor allem die Untersuchungen des schwedischen Forschers *Hesselman*, der zeigte, dass eine Streu mit hohem Gehalt an Kalk und basischen Pufferstoffen leicht abbaufähig ist. Wir sehen aus obiger Tabelle, dass sich hinsichtlich des Kalkgehaltes die Laubhölzer grundlegend von den Nadelhölzern unterscheiden. Der Gehalt der Streu an diesen Stoffen ist aber nicht nur von der Holzart abhängig, sondern sehr wesentlich auch vom Standort. Das heisst also, *Streu einer Kiefer, die auf kalkreichem Boden erwachsen ist, hat einen höheren Kalkgehalt und ein stärkeres Puffervermögen als die von einem armen Sande stammende Kiefernstreu und ist dementsprechend leichter zersetzlich*. *Krauss* hat gezeigt, dass bei Kalkmangel eine starke Verkieselung des Buchenblattes eintritt. *Diese durch den Standort bedingten Unterschiede sind so erheblich, dass sich die verschiedenen Holzarten gegenseitig überschneiden*, also z. B. die im Durchschnitt daran sehr arme Streu von Kiefer und Fichte auf kalkreichem Boden mehr Kalk enthalten kann als das auf einem kalkarmen Boden gebildete Buchen- oder Eichenblatt. Es kommt also bei dem Humusabbau nicht, wie vielfach fälschlicherweise angenommen wird, auf den Basengehalt der mit der Humusdecke in Berührung stehenden Bodenoberfläche an, sondern auf denjenigen aller durchwurzeltten Bodenschichten. *Der Boden wirkt also in erster Linie auf den Umweg über die Streu*. Damit gewinnt auf bestimmten Standorten die Tiefe der Wurzelentwicklung der verschiedenen Holzarten eine gewisse Bedeutung. Hierher gehören viele unserer mehretagigen diluvialen Böden. Ist z. B. Geschiebemergel von einer starken Sandschicht überlagert — in den Niederlanden anscheinend ein sehr häufiger Fall —, so können Holzarten mit grosser Wurzeltiefe dadurch gegenüber anderen eine relative Ueberlegenheit gewinnen, dass sie im Gegensatz zu diesen bis zum Geschiebemergel vordringen und infolgedessen eine kalk- und pufferreichere Streu bilden. In ähnlicher Weise wie hier die natürliche Wurzeltiefe wirkt sich auf stark devastierten Böden, wo infolge von Streunutzung oder ähnlichen Missgriffen die Wurzeln in ungesunder Weise auf die oberste Bodenschicht abgedrängt sind, die verschiedene Wurzelenergie der einzelnen Holzarten aus. Auf solchen Böden gewinnen die Holzarten, die trotz dieser Hemmnisse in die tieferen, an Nährstoffen nicht so verarmten Schichten einzudringen vermögen, eine relative Ueberlegenheit gegenüber anderen Holzarten, die dazu nicht imstande sind. Diese Wurzelenergie deckt sich nicht mit der natürlichen Wurzeltiefe. So versagt gewöhnlich auf einem verdichteten Boden die sonst tief wurzelnde Kiefer, während nach *Wiedemann* die Weisstanne und anscheinend auch die Lärche, ähnlich wie die Eiche, hier eine grosse Wurzelenergie auf-

weisen. Dies ist ein Moment, das unter solchen Verhältnissen unter allen Umständen in Rechnung gezogen werden muss.

Eine zweite Möglichkeit, ein Urteil über den Wert der Streu der verschiedenen Holzarten zu gewinnen, wäre die, dass man ihren Abbau oder allgemein den biologischen Zustand unter den verschiedenen Holzarten dort miteinander vergleicht, wo die sonstigen, den Abbau bestimmenden Faktoren, also in erster Linie das Bestandesklima, gleich sind. Ueberhaupt, wenn wir uns vor Augen halten, aus wieviel Einzeleinflüssen die Wirkung einer Holzart in biologischer Hinsicht resultiert, erscheint es notwendig, diese jeden für sich durch entsprechende Wahl der Vergleichsbestände zu isolieren, um ihre Wirkung gesondert erfassen zu können. Das wäre die ideale Art vorzugehen, der sich aber in der Praxis grosse Schwierigkeiten in den Weg stellen, da man nur selten in diesem Sinne differenzierte und trotzdem vergleichsfähige Bestände vorfindet. Das gilt ganz besonders für die Lichthölzer, weil hier durch die Einschaltung der Bodenflora besonders viel verschiedene Konstellationen möglich sind. Man kann nicht damit rechnen, durch Vergleich eines Lärchenbestandes mit auf gleichem Standort stockenden Fichtenbeständen ohne weiteres ein Urteil über die Abbaufähigkeit der Lärchen- und Fichtenstreu zu gewinnen. Stocken die Bestände z. B. auf Geschiebelehm, so haben wir unter Lärche in der Regel eine Süssgrasflora, stocken sie auf etwas weniger kräftigem Boden, so finden wir vielleicht die Heidelbeere, beides Pflanzendecken, die sehr wesentlich den Abbau der Lärchenstreu beeinflussen, während die Fichte in beiden Fällen eine nennenswerte Bodenflora nicht aufzuweisen pflegt. Und vergleichen wir diese beiden Holzarten auf armem Sand, wo auch unter der Lärche eine lebende Pflanzendecke fehlt, so wirkt sich im Ergebnis nicht nur die Beschaffenheit der Streu, sondern auch die stärkere Wärme- und Feuchtigkeitszufuhr aus. Man kann diese Faktoren ausschalten und damit den Einfluss der Streu ziemlich weitgehend isolieren, wenn man feststellt, wie z. B. die Einmischung von Kiefer in einen Fichtenbestand den biologischen Zustand des Bodens und die Natur der Humusdecke gegenüber einem reinen Fichtenbestand mit annähernd gleichen Belichtungsverhältnissen verändert. Ebenso gewinnt man ein Urteil über die Streu der Lärche, wenn man in entsprechender Weise die Veränderungen untersucht, die durch ihre Einmischung in einen Buchen- oder Fichtenbestand hervorgerufen werden. Man gewinnt in dieser Weise ein ungefähres Urteil über den Wert der Streu der verschiedenen Holzarten. Eine scharfe Isolierung aller den Humuszustand bestimmenden Faktoren ist aber vorläufig nicht möglich. Es blieb, wenn wir von dieser angedeuteten Möglichkeit, von der weit-

gehend Gebrauch gemacht wurde, absehen, nur der Weg übrig, dass man den Einfluss der Holzart in biologischer Hinsicht zunächst als Komplexwirkung untersuchte und das Material nach dem Gesichtspunkt sichtet, ob das Vorherrschenden bestimmter Faktoren bzw. Faktorenkomplexe oder, allgemein gesagt, ob auf bestimmten Flächen wiederkehrende Besonderheiten sich etwa einheitlich in einer bestimmten Richtung auswirkten.

Bevor ich auf die Einzelheiten der Untersuchungsergebnisse eingehe, erscheint es mir notwendig, kurz Sinn und Zweck der angewandten biologischen Untersuchungsmethoden zu skizzieren, da hierüber, wie sich gerade vor kurzem wieder zeigte, bei manchen grundlegende Irrtümer bestehen. Der Abbau der organischen Substanz ist bei der Unzahl der chemischen Verbindungen, der starken Spezialisierung der Mikroorganismen und ihrer dauernden gegenseitigen Beeinflussung ein Vorgang, den in seinen Einzelheiten zu verfolgen zum mindesten heute noch ganz unmöglich ist. Greifen wir einmal ein kleines Gebiet heraus, den Eiweissabbau, von dem ich vermute, dass er Ihnen am geläufigsten ist. Nach der üblichen Darstellung werden bei der Eiweisszertrümmerung durch bestimmte Mikroorganismenarten zunächst Peptone und Polypeptide gebildet, die dann zu Aminosäuren weiter verarbeitet werden. Daraus wird Ammoniak abgespalten, das unter günstigen Verhältnissen von den Nitritbakterien übernommen, zu salpetriger Säure oxydiert und an die Nitratbakterien weitergegeben wird, die den als Pflanzennährstoff wichtigen Salpeter daraus herstellen. Dieses immer wieder vorgetragene Paradebeispiel, das sozusagen eine Arbeit am laufenden Band darstellt, wobei das komplizierte Eiweissmolekül in verschiedenen Arbeitsgängen bis zum einfachen Pflanzennährstoff abgebaut wird, ist durchaus irreführend und bedenklich. Denn es erweckt den Anschein, als vollzöge sich der Abbau der organischen Substanz in ganz bestimmten klar zu übersehenden Etappen und als sei damit die Möglichkeit gegeben, diese Vorgänge im einzelnen genau zu überwachen. Tatsächlich liegen die Dinge ganz anders. Die genannten Stoffe kommen als Zwischenstufen der Zersetzung zwar vor, aber durchaus nicht in der geschilderten scharfen Aufeinanderfolge und nicht etwa so, dass ein vollständiger Uebergang der einen Substanz in die andere erfolgte. Sehen wir ganz davon ab, dass wir ja nur eine Teilentwicklungsreihe des Eiweissabbaues, die Reihe Aminosäure — Ammoniak verfolgten, und die zahlreichen anderen Abbauprodukte der Aminosäuren nicht berücksichtigt haben, so liegen die Dinge in Wirklichkeit auch *grundsätzlich* anders. Bei der geschilderten mikrobiellen Zertrümmerung der Eiweisskörper erfolgt gleichzeitig mit dem Abbau eine Neubildung von Mikrobenplasma. Dazu ist wieder die Festlagerung von ab-

gebautem Stickstoff nötig. In welchem Umfang dieser rückläufige Prozess erfolgt, hängt ganz von den Umweltbedingungen ab. Der so im Körper der Mikroorganismen festgelegte Stickstoff wird erst wieder frei, wenn der Organismus stirbt und seinerseits der Zersetzung unterliegt. Aber auch dann erfolgt eine teilweise neue Zellsynthese, so dass also der Stickstoff meist einen je nach den Umweltbedingungen mehr oder minder langen Umweg über die Körpersubstanz zahlreicher Mikroorganismengenerationen durchmachen muss, bis er mineralisiert ist. Aber auch dieser Vorgang erfolgt nicht vollständig, sondern ein bestimmter Teil der stickstoffhaltigen Substanz wird als Humuskörper organisch festgelegt. Der vorher geschilderte scheinbar klar zu übersehende Stickstoffabbau erweist sich bei näherer Betrachtung als ein Vorgang von fast hoffnungslos komplexer Natur. Dabei handelt es sich hier nur um einen winzigen Ausschnitt aus dem Gebiet der Stoffumsetzung. Abbau und Neubau von organischer Substanz fließen fortlaufend ineinander über und werden in ihrem Verlauf durch zahlreiche ihrerseits wieder veränderliche Faktoren beeinflusst. Während es sehr schwer ist, Einblick in den Einzelverlauf dieser Prozesse zu gewinnen, besteht die Möglichkeit, die Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz als Ganzes zu verfolgen. Dazu stellt man fest, wieviel aus dem geschilderten Hin- und Her der Ab- und Aufbauprozesse ausscheidet, d. h. wieviel von der organischen Substanz mineralisiert wird, indem man die in einer bestimmten Zeit gebildeten, nicht wieder in den Aufbauprozess einbezogenen Endprodukte der Zersetzung, oder anders ausgedrückt, die Menge der mineralisierten Substanz untersucht. Die wichtigsten Endstoffe des Abbaues sind Kohlenstoff und Stickstoff, die als Kohlendioxyd bzw. als Ammoniak, Nitrit und Salpeter in Freiheit gesetzt werden. Da die Mobilisation von Phosphor und grössenteils auch von Kali sowie einiger anderer Elemente weitgehend der Stickstoffmobilisierung folgen, so gewinnt man durch Messung der Produktion an diesen Stoffen ein scharfes Bild von dem Gesamtabbau der organischen Substanz. Wenn wir also die Produktion an mineralisiertem Stickstoff untersuchen, so geschieht das nicht etwa, um die Leistung der sogenannten Stickstoffbakterien zu verfolgen. Die kann sehr gross gewesen sein, auch wenn keine Neubildung von mineralisiertem Stickstoff festgestellt wurde, einfach deshalb, weil er sofort wieder in den Kreislauf einbezogen wurde. Wir erfassen damit vielmehr das Ergebnis der gemeinsamen Tätigkeit all der zahllosen Organismen, die den Boden bewohnen.

Man hat vielfach den Fehler begangen, dass man bei Beurteilung des Einflusses der Holzart auf den biologischen Zu-

stand des Bodens den *Standort* nicht berücksichtigte. Es führt zu durchaus falschen Schlüssen, wenn man beispielsweise den durchschnittlichen Zustand unter Eichen-Buchen-Mischbeständen mit dem unter reiner Kiefer vergleicht. Denn Eische und Buche pflegen als die anspruchsvolleren Holzarten im allgemeinen auf sehr viel kräftigeren Böden vorzukommen als reine Kiefernbestände. Umgekehrt wurde in Ueberschätzung dieser Tatsache die unrichtige Ansicht geäußert, dass der selbständige Einfluss der Holzart auf den Bodenzustand praktisch bedeutungslos sei und die beobachteten Unterschiede auf einer Täuschung beruhten, verursacht durch eben diese natürliche Verteilung der Holzarten auf die verschiedenen Standorte.

Um den selbständigen Einfluss des Standortes zu isolieren, habe ich gleichartige Bestände auf sehr wechselnden Bodentypen des Alt- und Jungdiluviums miteinander verglichen. Besonders lehrreich in dieser Hinsicht war ein Profil, das ich quer durch Holstein legte, weil hier bei annähernd gleichem Klima jung- und altdiluviale Böden zusammenstießen. Man findet im Osten eine Endmoräne der letzten Eiszeit mit waldbaulichen Verhältnissen, die von denen des ostdeutschen Diluviums kaum zu unterscheiden sind. In der Mitte und im Westen liegen altdiluviale Endmoränen, dazwischen die verschiedensten Bodenformen des Diluviums, Sander, Geschiebemergel der Grundmoräne, Talsande, Dünensande usw. und schliesslich die wegen ihrer Neigung zur Dichtlagerung biologisch besonders ungünstigen Flottsandböden. Der Unterschied ist ganz ungeheuer. Humus von Beständen der basenreichen Endmoräne Ostholsteins wies z. B. die zehnfache Umsetzungsstärke, $\frac{1}{7}$ der Austauschazidität und nur $\frac{1}{20}$ der Wasserstoffionenkonzentration von Humus gleichartiger Bestände der stark gealterten, mit Flottsand überlagerten Endmoräne des Warthestadiums auf. Dazwischen finden sich den verschiedenen Bodenarten entsprechend alle Uebergänge. Ich kann auf die interessanten Einzelheiten hier leider nicht eingehen.

Wir wollen jetzt etwas vorgreifen und mit diesen durch den Standort bedingten Unterschieden die vergleichen, die durch verschiedene Holzartenbestockung hervorgerufen werden. Eichen-Buchen-Mischbestände als besonders günstiger Typ haben nicht ganz die dreifache, reine Buche etwas mehr als die doppelte Stickstoffmobilisierung der ungünstigen Fichte. Demgegenüber, wie gesagt, die zehnfache Umsetzungsstärke im Humus der besten Standorte gegenüber dem der schlechtesten! Ähnlich Kohlensäureproduktion, Austauschazidität und Wasserstoffionenkonzentration. *Eine ausgesprochen günstige Holzart auf armem Standort besitzt einen schlechteren Bodenzustand als die ungünstigste Holzart auf gutem Boden.* Dadurch wird verständlich, dass in den Nieder-

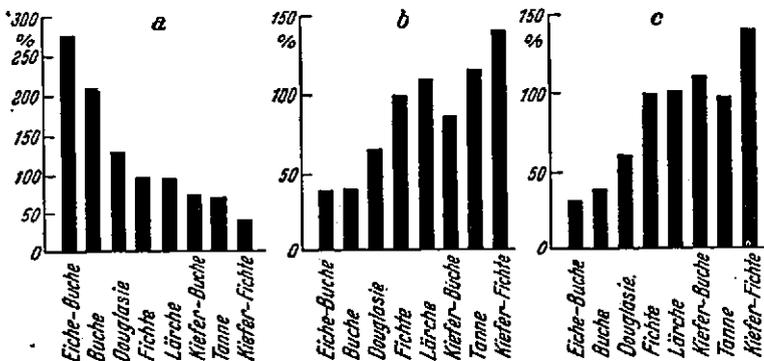
landen und Nordwestdeutschland, wo biologisch ungünstige Standorte gehäuft auftreten, auch günstige Holzarten wie etwa die Buche zu Trockentorfbildnern werden müssen, unter denen man auf normalem Standort einen guten biologischen Zustand anzutreffen gewohnt ist. Daraus, wie man das getan hat, abzuleiten, dass die Buche in diesem Gebiete eine physiologisch grundsätzlich andere Rolle spiele, ist unberechtigt. Es handelt sich lediglich um durch den Standort bedingte graduelle Unterschiede im biologischen Zustand, die alle Holzarten gleichmässig betreffen. Aus demselben Grunde besagt es garnichts, wenn berichtet wird, dass irgendetwas auf kräftigem Boden der biologischen Zustand unter Lärche ausgezeichnet sei. Und es ist ausgesprochen falsch, diese an sich richtige Beobachtung als Gegenbeweis zu verwenden gegen die Feststellung, dass die Lärche, verglichen mit den anderen Holzarten, eine verhältnismässig ungünstige Streu liefert. Da sie, bevor man sie als angeblichen Humuszehrer auf die trockenortgefährdeten Böden brachte, hauptsächlich auf kräftigen Standorten angebaut wurde, wo der Einfluss des guten Standortes ihre ungünstigen Eigenschaften überdeckt, ist es bis zu einem gewissen Grade verständlich, dass der Satz, die Lärche sei ein ausgesprochener Humuszehrer, aufkommen konnte. Man hatte als Wirkung der Holzart angesehen, was in Wirklichkeit Folge des Standortes war. Nur wenn man sich immer wieder vor Augen hält, dass die durch den Boden bedingten Unterschiede im biologischen Zustand sehr viel grösser sind, als die Unterschiede zwischen den verschiedenen Holzarten, wird man vor solchen fehlerhaften Schlussfolgerungen bewahrt bleiben. Und nur, wenn man — das kann nicht genügend betont werden — ohne jeden Kompromiss unbedingte Gleichheit des Standortes als Voraussetzung für den Vergleich anerkennt, hat man Aussicht, den Einfluss der verschiedenen Holzarten auf den biologischen Zustand des Bodens zu erfassen.

Die Tatsache, dass der Einfluss des Standortes gegenüber dem der Holzart ungewöhnlich stark ist, führt zu einer weiteren Schlussfolgerung: Wir können durch eine verhältnismässig geringe Verbesserung der entscheidenden Bodeneigenschaften die Unterschiede zwischen Holzarten überbrücken, die hinsichtlich ihres Einflusses auf den Bodenzustand nicht allzuweit auseinanderstehen. Wenn man also z. B. der Buche, deren Blatt auf gleichem Standort an sich schwerer zersetzlich ist als das der Eiche, eine gewisse Menge Kalk gibt, so kann man der Zersetzungsfähigkeit der in Zukunft als Folge der Düngung kalkreicheren Buchenstreu ohne Schwierigkeit so fördern, dass sie ebenso leicht zersetzlich ist wie die Eichenförrna von nicht gekalktem Boden. Diese Zukunftswirkung einer Kalkung von Heidekulturen darf nicht übersehen werden.

Um die Holzarten ungefähr gegeneinander abzustufen zu können, habe ich Bestände verglichen, die nebeneinander auf demselben Boden stocken. Andererseits umfassen diese Vergleiche die verschiedensten Bodenarten. Ursprünglich hatte ich damit gerechnet, dass je nach dem Standort eine wechselnde Einstufung nötig sein würde, dass also auf dem einen Standort beispielsweise die Lärche der Buche, auf dem anderen aber umgekehrt die Buche der Lärche überlegen sei. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das in nennenswertem Masse nur bei bestimmten klar sich abhebenden Typen der Fall ist. So zeigen Bestände mit starker Bodenvegetation ein je nach deren Charakter und damit auch dem Standort wechselndes Verhalten in biologischer Hinsicht. Ähnlich der schon erwähnte Fall, wo auf Grund verschiedener Wurzelteile bezw. -energie die eine Holzart im Gegensatz zur anderen nährstoffreiche Schichten fasst und damit eine günstigere Streu zu bilden vermag. Sehen wir von diesen besonderen Fällen ab, so zeigen die Untersuchungen, dass *trotz der starken Schwankungen in der absoluten Höhe der Werte das Verhältnis zwischen den einzelnen Holzarten und Holzartenmischungen auf den verschiedensten Standorten ungefähr das gleiche bleibt*. Es mögen auch hier gewisse feinere Unterschiede vorliegen, die sich zunächst nicht erfassen liessen. Doch spielen sie keinesfalls eine solche Rolle, dass es zweckmässig erschiene, ihnen auf Kosten anderer dringenderer Untersuchungen schon jetzt nachzugehen. Damit ergab sich die Möglichkeit, für Bestände ohne stärkere Bodenvegetation die Ergebnisse unabhängig vom Standort zu Durchschnittswerten zusammenzufassen. Die zu einem solchen Durchschnitt zusammengefassten Einzelwerte sind bei der jeweiligen Holzart also auf ganz verschiedenen Böden gewonnen, aber genau auf denselben Standorten wie die der zum Vergleich herangezogenen Bestandesart. Ich möchte, um die Art des Vorgehens zu veranschaulichen, wenigstens ein Beispiel herausgreifen, und zwar den Vergleich zwischen Buchen- bezw. Eischen- Buchenbeständen einerseits und Fichte andererseits. Für die übrigen Holzarten gilt dann analog dasselbe. Fasst man sämtliche Werte — im ganzen 54 Bestände — zu einem Durchschnitt zusammen, so ergibt sich, dass die Mineralisierung des Stickstoffes im Buchenhumus 220% derjenigen des Fichtenhumus beträgt, die Wasserstoffkonzentration $\frac{1}{3}$, die Austauschazidität ungefähr die Hälfte. Ähnlich die Kohlensäureproduktion, die sich zahlenmässig nicht vergleichen lässt, weil nur ein Teil der Proben in dieser Richtung untersucht werden konnte. Das Mass der Ueberlegenheit der Buche gegenüber der Fichte ist natürlich nicht in jeder einzelnen Versuchsreihe völlig gleich. Immerhin ist der Unterschied zwischen diesen Holzarten so deutlich, dass die Produktion an mineralisiertem Stickstoff und

Kohlensäure in jedem Einzelfall höher, und ebenso die Austauschazidität und die Wasserstoffionenkonzentration niedriger liegen als unter dem entsprechenden Fichtenbestand. Vergleicht man in derselben Weise die Eichen-Buchen-Mischbestände mit Fichte, so kommt man zu einem ähnlichen Ergebnis. Nur ist die Ueberlegenheit der Eiche-Buche noch grösser als die der reinen Buchenbestände. So beträgt hier die N-Mobilisierung 280% derjenigen der Fichte. Daraus kann man weiter den Schluss ziehen, dass die Mischung Eiche-Buche auch der reinen Buche überlegen, und zwar um ein bestimmtes Mass überlegen ist. Nun sind andererseits aber auch Eichen-Buchen-Mischbestände mit reinen Buchenbeständen unmittelbar verglichen worden, wobei sich ebenfalls eine ganz bestimmte Ueberlegenheit der Eichen-Buchen-Mischbestände gegenüber der Buche ergab. Wir haben nun die Möglichkeit, die auf diese Weise unmittelbar gefundene Abstufung der beiden Bestandarten gegeneinander mit derjenigen zu vergleichen, die sich vorher auf indirektem Wege, aus dem gemeinsamen Vergleich mit der Fichte, ergeben hatte. Das ist eine sehr wertvolle Kontrolle. In analoger Weise wurden die verschiedenen anderen Holzarten und Holzartenmischungen behandelt. Zunächst also unmittelbarer Vergleich, darauf Ueberprüfung der dabei gefundenen Abstufung durch indirekten Vergleich. Für diese Ueberprüfung gab es im allgemeinen gleich mehrere Möglichkeiten, da ja die einzelnen Holzarten mit den verschiedensten anderen und diese wiederum untereinander verglichen waren. Für die Beurteilung des Genauigkeitsgrades ist das sehr wichtig. Grobe Fehleinstufungen dürften ausgeschlossen sein, da bei allen Beständen ohne stärkere Bodenvegetation das durch direkten Vergleich ermittelte Verhältnis zwischen den einzelnen Holzarten hinsichtlich jedes einzelnen Faktors

Abbildung 1.



ungefähr dem entsprach, was sich auf indirektem Wege ergeben hatte. Die Beziehungen sind auffallend scharf. Daraus geht klar hervor, dass, von den genannten Sonderfällen ab-

gesehen, das Verhältnis der Holzarten zueinander durch Verschiedenheiten im Standort zum mindesten nicht stark verändert wird.

Einige der wichtigsten Holzarten und Holzartenmischungen, deren genaue Abstufung gegeneinander durch ein genügendes Material gesichert erschien, sind in Abb. 1 dargestellt. Andere Holzarten mit weniger Untersuchungen, für die sich nur die ungefähre Stellung angeben liess, sind hier nicht aufgezählt. Es fehlen auf der Tafel ausserdem aber eine Reihe wichtiger Bestandesarten, über die an sich genügend Untersuchungsmaterial vorliegt. So findet man gereine Eichenbestände, noch Bestände von Kiefer oder Birke, einfach deshalb, weil unter Reinbeständen dieser Holzarten fast stets eine stärkere Bodenflora vorhanden ist. Und da diese, wie die Ergebnisse zeigten, einen ganz entscheidenden Einfluss auf den biologischen Zustand des Bodens ausübt, ist es nicht möglich, die Durchschnittswerte zu vergleichen. Betrachten wir beispielsweise die Kiefer. Wenn wir vom ersten Stangenholzarbeiter absehen, so gibt es nur wenig reine Bestände, in denen es nicht zur Ausbildung einer den biologischen Zustand beeinflussenden Bodenflora kommt. Sehr häufig pflügt sich eine Decke von Heidelbeere oder *Aira flexuosa* zu entwickeln, auf guten Standorten aber tritt Süssgras oder mitunter sogar dichter Himbeerunterwuchs auf. Unter dem Einfluss dieser Flora finden wir je nach ihrem Charakter so verschiedenartige, ja geradezu entgegengesetzte Ergebnisse, dass es sinnlos wäre, sie zu Durchschnittswerten zusammenzufassen. Hier ist eine getrennte Betrachtung der Bestände schon deshalb notwendig, weil nur so die Möglichkeit für eine ursächliche Klärung der Verschiedenheiten besteht. Will man den Einfluss der Bodenflora ausschalten, so bleibt nur der eine Weg, Mischung dieser Holzarten mit Schatthölzern, deren Einfluss in biologischer Hinsicht bekannt ist, und die die Bodenflora zurückhalten, zu untersuchen. Man würde damit den wesentlichsten Faktor, der den biologischen Zustand des Bodens bestimmt, die Zersetzbarkeit der Streu, annähernd erfassen.

Betrachten wir die Darstellungen der Abb. 1 zunächst einmal im grossen, so finden wir links einen entgegengesetzten Aufbau wie in der Mitte und rechts. Die Bestandesarten mit der stärksten Stickstoffmobilisierung haben die geringste Wasserstoffionenkonzentration und Austauschazidität. Ähnlich entspricht — hier nicht dargestellt — einer starken Stickstoffmobilisierung eine hohe Kohlensäureproduktion. Zwischen Laubholz einerseits und Nadelholz andererseits besteht ein scharfer Unterschied. Die übliche Klassifizierung der Holzarten nach dem Grade ihrer Bodenpfleglichkeit, bei der Laub- und Nadelhölzer in bunter Reihenfolge rangieren, ein Nadelholz, die Lärche, sogar an erster Stelle steht, ist nicht zutref-

fend. Die günstigste Nadelholzart, die Douglasie, ist in biologischer Hinsicht noch immer ungünstiger zu werten als die Buche, die in Nordwestdeutschland als biologisch schädlich verrufen ist. Und man sieht, dass die Lärche durchaus nicht dort rangiert, wo man sie vermutet hätte. Die im Mineralboden gefundenen Werte, die hier nicht dargestellt sind, entsprechen ungefähr denen des Auflagehumus, d.h. unter untätigem Trockentorf finden wir auch einen biologisch ungünstigen, versauerten Mineralboden. Da diese Veränderungen aber erst sekundär unter dem Einfluss des Auflagehumus erfolgen, so kommt hier ein neuer, variierend wirkender Faktor, der eine genaue Abstufung ausschliesst, hinzu, das Alter der Bestände. Bei jungen Beständen ist der Unterschied im Zustand des Mineralbodens unter einer günstigen Holzart und einer ungünstigen geringer, als unter alten Beständen, die schon einen längeren Einfluss ausgeübt haben.

(Wordt vervolgd).
