

## BODENKUNDE

Von Herwig Schiller

Die Fähigkeit des Bodens, die Pflanzenenerträge zu beeinflussen, beruht auf einer Reihe von chemischen und physikalischen Bodenmerkmalen. Ihr Zusammenwirken ergibt die natürliche Bodenfruchtbarkeit eines Standortes, welche durch menschliche Maßnahmen tiefgreifend verändert werden kann. Die Bodenkunde bemüht sich daher, einerseits die natürliche Ertragsfähigkeit von Böden festzustellen und andererseits Unterlagen für den Land- und Forstbau zu erarbeiten.

Entsprechend der großen Bedeutung des Bodens für die Ernährung und als Siedlungsfläche wurden auch in Oberösterreich umfangreiche Erhebungen, zahlreiche Untersuchungen und wissenschaftliche Arbeiten durchgeführt. Viele von ihnen erlangten über unser Bundesland hinaus Beachtung, doch kann nicht auf die Ergebnisse im einzelnen, sondern nur allgemein auf die bearbeitenden Fachgebiete eingegangen werden.

### Feldaufnahmen

Die ersten systematischen Aufnahmen von Böden führte zu Beginn der dreißiger Jahre die Landwirtschaftlich-chemische Bundesversuchsanstalt Linz nach TILL\* (1923) durch. Im Zuge von Feldbegehungen nahm man den Ton-, Humus- und Kalkgehalt der Ober- und Unterböden auf, fertigte Karten, bei denen gleichartige Flächen ausgewiesen wurden, an und trug in diese die Bodenmerkmale mit Kennworten ein. Bis zum Jahre 1938 wurden an 65 Gemeinden Bodenmerkmalskarten übergeben, die Arbeitsunterlagen aber gingen im Zweiten Weltkrieg verloren (WOHACK 1934, 1935; BURGGASSER 1936; BURGGASSER & SCHILLER 1956).

Die großen Fortschritte der Naturwissenschaften wirkten sich auch tiefgreifend auf den Landbau aus. Als Folge stimmten die im vorigen Jahrhundert für die Steuerbemessung erstellten Katastralreinerträge nur mehr grob mit den

\* Die Literaturzusammenstellung befindet sich in »Bibliographie zur Landeskunde von Oberösterreich 1930–1980«, Jb. Oö. Mus.-Ver., Band 128/I, Ergänzungsband 2.

zunehmenden Ertragsleistungen überein. Deshalb wurde 1934 für das deutsche Reichsgebiet das Bodenschätzungsgesetz erlassen, welches später die Grundlage für die Neubewertung der Böden auch in Österreich bildete. In ihm wird die Ertragsfähigkeit der Böden mittels eines Schätzungsrahmens in Relativwerten – den Bodenzahlen – festgelegt und aus ihnen durch Zu- und Abschläge für die Klima- und Geländeverhältnisse des Standortes die Acker- bzw. Grünlandzahlen ermittelt. Der beste Boden am günstigsten Standort mit der höchsten Ertragsleistung erhielt die Ackerzahl 100, die übrigen Böden wurden im Vergleich dazu mit Hundertsätzen bewertet. Mit dieser Bodenschätzung wurde in Oberösterreich 1940 begonnen und aufgrund des Rechtsüberleitungsgesetzes nach dem Zweiten Weltkrieg fortgeführt. Im Jahre 1972 waren dann alle Acker- und Grünlandflächen Oberösterreichs neu bewertet. 1970 wurde das Bodenschätzungsgesetz (BGBl. Nr. 233/1970) zur Überprüfung und Nachschätzung beschlossen (GRUBHOFER 1970). In den Amtsblättern der Österreichischen Finanzverwaltung sind in den Teilkundmachungen 138/1974, 97/1975, 87/1976, 122/1977 und 204/1978 zur Durchführung des Gesetzes die Vergleichsflächen mit ihren Eigenschaften und Ertragsfähigkeiten veröffentlicht, von denen in Oberösterreich 33 Bundes- und 71 Landesmusterstücke liegen. Die Ergebnisse der Bodenschätzung im einzelnen sind in Karten, u. zwar für Landgemeinden im Maßstab 1 : 2000 bzw. für Städte 1 : 1000, und in Schriftoperaten niedergelegt. Der große Unterschied in der Ertragsfähigkeit der landwirtschaftlichen Nutzflächen Oberösterreichs drückt sich besonders in der großen Spannweite der Ackerzahlen von 15 bis 90 und geringer in den Grünlandzahlen von 25 bis 50 aus.

Durch die Verwitterung entstehen, ausgehend von der obersten Gesteinsschicht, charakteristische Horizonte, die im Aussehen und in der Mächtigkeit je nach dem Klima, den Wasserverhältnissen und dem Relief des Standortes, bzw. der Einwirkung von Mensch, Pflanze und Tier, Unterschiede aufweisen. Ihre Abfolge läßt sich aus Vertikalschnitten im Boden, den Profilen, gut ersehen. Böden mit gleicher Profildifferenzierung werden einem Bodentyp zugordnet. Von der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft wurde ein Typensystem für Österreich erstellt (FINK 1969), welches auf dem »natürlichen System« von KUBIENA (1953) beruht. Die österreichische Lokalformenkartierung hat dazu noch neben ihren eigenen auch Erfahrungen der amerikanischen, belgischen und niederländischen Feldbodenkundler, sowie jene von JANIK (1955) aus der Gemeinde Ottensheim in ihre Klassifikation einbezogen. Wertvolle Unterlagen zur Abgrenzung der Bodentypen voneinander lieferten weiters eine Reihe oberösterreichischer Arbeiten (SCHILLER & HÖFLER 1949; BURGASSER & SCHILLER 1956; SCHILLER & JANIK 1958; BLÜMEL, JANIK & SCHILLER 1959; JANIK & SCHILLER 1960), in denen durch chemische und physikalische Daten das morphologische Bild ergänzt wurde. Ferner wurde versucht, den Einfluß von Ausgangsgestein und Zeit auf die Bodenentwicklung

zu erfassen (BLÜMEL, JANIK & SCHILLER 1960; KOHL & SCHILLER 1963; JANIK 1965, 1967, 1969, 1974). Beispielhaft wurden die Böden von Linz und die des Zaubertales großmaßstäblich aufgenommen und in eine Landeskarte die Grenzen der wichtigsten Bodentypen Oberösterreichs eingezeichnet (JANIK 1961, 1962, 1970). Die routinemäßige Kartierung der Lokalformen begann in Oberösterreich 1960, und es waren bis 1981 363 Ortsgemeinden, d. s. 85 Prozent, erfaßt. Diese Feldaufnahmen sind niedergelegt in Bodenkarten, meistens im Maßstab 1 : 25 000, und dazugehörigen Erläuterungsheften. Die Unterlagen dienen vor allem der landwirtschaftlichen Förderung und der Landschaftsplanung und sind bei der Bundesanstalt für Bodenkunde in Wien erhältlich.

### Chemische und physikalische Untersuchungen

Die Ertragsfähigkeit der Böden wird wesentlich von der Textur, d. h. von der Korngrößenzusammensetzung der mineralischen Komponente, bestimmt. Die großen Teilchen werden als Sand, die mittleren als Schluff, die kleinsten als Ton bezeichnet, und für die Ermittlung ihres Anteiles wurden verschiedene Methoden entwickelt. So hat LINSER (1949) in Küvetten die Körnung einer Bodensuspension mit Hilfe des Mikroskops charakterisiert und SCHILLER (1949) den Feinton ( $< 2 \mu$ ) mittels Zentrifuge festgestellt. Der Einfluß des Ausgangsgesteins auf die Textur wurde überprüft und auch die chemischen Eigenschaften von Tonen österreichischer Herkunft ermittelt (JANIK 1972, 1974, 1975). Aufgrund der Erkenntnisse aus Bodenschätzung und Bodenkartierung war es möglich, bereits 1960 eine Bodenartenkarte von Oberösterreich zu erstellen (JANIK 1960). Ferner wurde die Auswirkung der Bodenart auf Ertrag und Qualität der Pflanzen mittels Feldversuchen überprüft (PRIMOST 1959, 1962, 1965, 1977).

Die unterschiedliche Wirkung der organischen Substanz im Boden, sei es in physikalischer, chemischer und biologischer Richtung, hängt von der Humusart und -menge ab. Die Gehaltsbestimmung kann durch Verbrennen oder durch Oxydation mit einer Lösung von Dichromat-Schwefelsäure erfolgen (SKUTETZKY 1949). Auf die Bedeutung der organischen Substanz für die Bodenflora und -fauna wurde immer schon hingewiesen (BURGGASSER 1944; WOHACK 1948) bzw. wurden spezielle Forschungen darüber angestellt (FRANZ 1949, 1953, 1961; REPP 1953; GUSENLEITNER 1959, 1960, 1961; KOBERG 1962, 1966; KLUG 1965). LINSER (1954) setzte sich grundsätzlich mit dem chemischen Verhalten der organischen Stoffe im Boden auseinander, zum anderen wurde experimentell deren Einfluß auf die Wasserkapazität (LINSER & PELIKAN 1956) bzw. auf die P-Dynamik (KAINDL & MAYR 1958) geprüft und ihre Bedeutung für den Nährstoffhaushalt hervorgehoben (BRONNER 1977). Durch den Acker- und Gartenbau wird die organische Substanz stark mineralisiert. Solange

Stallmist in den Betrieben anfiel, konnte der Ab- und Aufbau im Boden im Gleichgewicht gehalten werden, mit der Einführung der viehlosen Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Nutzflächen aber rückte die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in den Mittelpunkt bäuerlichen und wissenschaftlichen Interesses. Vor allem galt es zu klären, ob andere organische Dünger (SCHILLER 1952, 1953, 1956; LINSER 1949; PRIMOST 1951; RITTMAYER & UNZEITIG 1978) oder die Strohdüngung als Ersatz für Stallmist geeignet wären (BARBIER 1962, 1964; WIMMER 1980). Die Auswirkung jahrzehntelanger fehlender Stallmistdüngung auf Kenndaten der Böden von Zuckerrübenbaubetrieben und auf die Ertragsleistung eines Gartenbodens wurde ermittelt (BARBIER 1961; BRONNER & JANIK 1974; SCHILLER 1961).

Die Bodenacidität nimmt unter den Faktoren für die Bodenfruchtbarkeit eine dominierende Stellung ein, da mit der Versauerung eines Bodens seine physikalischen und chemischen Eigenschaften nachteilig verändert werden. Nur bei optimaler Bodenreaktion sind hohe Ertragsleistungen zu erwarten, und es wurde deshalb gleich nach Gründung der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Linz (1899 in Schärding) die Bestimmung des Kalkbedarfes aufgenommen (HANUSCH 1904) und in ihren Laboratorien bis heute fortgeführt (WOHACK 1929; BURGGASSER 1930; SCHILLER & Ma. 1959; JANIK 1974). Außerdem haben WOHACK (1934) und BURGGASSER (1949) auf die Anzeige einer Kalkarmut von Äckern und Wiesen durch säureverträgliche Pflanzen hingewiesen. Schließlich ermittelten SCHILLER und Mitarbeiter (1962, 1967, 1975) den Zusammenhang zwischen dem pH-Wert des Bodens einerseits und der Reaktionszahl nach ELLENBERG bzw. der Änderung der Wiesenflora andererseits. Die Wirkung der Kalkdünger, ihre Anwendung (HANUSCH 1901; WOHACK 1931; BURGGASSER 1945) und die der alkalischen Jauchen auf den Boden bzw. von Düngersickersäften beim Mergelrätzen wurden untersucht (SCHILLER 1952, 1953, 1955). Feldversuche zur Ermittlung optimaler Kalkgaben wurden angelegt (WOHACK 1931) und die Zweckmäßigkeit von Meliorations- gegenüber Gesundheits- und Erhaltungskalkung überprüft (JANIK & R. SCHACHL 1973). Ferner wurde der Zusammenhang zwischen Bodenreaktion und Grünlanderträgen bzw. dem Befall an Kartoffelschorf erforscht (SCHILLER & LENGAUER 1964, 1968; GUSENLEITNER & Ma. 1972, 1974). Schließlich konnten die bei sauren Böden auftretenden Pflanzenschäden durch die Toxizität freiwerdender Al- und Mn-Ionen bestätigt werden (BLASL & BACHLER 1982). Übersichtskarten über den Reaktionszustand der Böden Oberösterreichs liegen vor (SCHILLER & Ma. 1959; JANIK 1974).

Die Art der räumlichen Anordnung der festen Bodenteilchen – das Bodengefüge – ist maßgebend für den Volumsanteil der Poren und ihrer Größe. Diese haben durch variable Wasser- und Luftgehalte auch Einfluß auf die Höhe der Ernteerträge eines Bodens. Die Stabilität der Bodenteilchen unter der Einwirkung von Witterung, Bodenbearbeitung, Düngung und Frucht-

folge hängt von den kolloidchemischen Eigenschaften ihrer an- und organischen Stoffe, der biologischen Aktivität und der Bodenreaktion ab. Für die Beurteilung des Bodengefüges dient u. a. die Spatendiagnose, deren Anwendung und die daraus abzuleitenden ackerbaulichen Maßnahmen ausführlich erläutert wurde (BURGGASSER 1946). BURGGASSER (1949, 1953) legte Garegroßversuche an und führte die Zweischichtackerung mit dem Anbau von raschwüchsigen Pflanzen als Gründecke in Oberösterreich ein. In Ergänzung hiezu wies SCHILLER (1949) auf die Notwendigkeit einer richtigen Bodenbearbeitung nach der Getreideernte hin. Mit Hilfe der Kolloidanalyse wurde die Ausflockung von Bodenkolloiden durch Gips (SCHILLER 1949, 1952), der Einfluß von Frost (SCHILLER 1956) und der Bodenentwicklung auf die Aggregatstabilität festgestellt (BLÜMEL & Ma. 1959). Die Infiltration der Niederschläge und ihre Speicherung ist weitgehend von der Porenverteilung im Bodenprofil abhängig, wie durch Messungen der Bodenfeuchte in Lößlehmen in Oberösterreich aufgezeigt wurde (BRONNER 1963). LINSER (1956) arbeitete ein Verfahren zur Bestimmung der Mikrowasserkapazität von Erden aus, um den Wassergehalt der Gefäßversuche richtig einstellen zu können.

Die Wuchsleistung der Pflanzen wird weitgehend vom Gehalt des Bodens an Nährstoffen und deren Verfügbarkeit bestimmt. Die Nährstoffaufnahme erfolgt aus der Bodenlösung sowie durch Kontaktaustausch zwischen Wurzeln und den Sorptionsträgern des Bodens. Die Wirkung der Nährstoffe hängt im hohen Maße von der Witterung und dem Aneignungsvermögen der Pflanzen ab. Die Nährstoffversorgung der Böden kann mit Feld- bzw. Gefäßversuchen oder mit Untersuchungen von Bodenproben im Laboratorium festgestellt werden. Da auf die Verfügbarkeit der Nährstoffe eine große Zahl von Faktoren Einfluß ausüben, ergeben sich viele offene Düngungsfragen, die zu zahlreichen Untersuchungen und Forschungen anregten. Vorerst sind die Feldversuche zur Feststellung des Bedarfes der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen an Handelsdüngern zu erwähnen (WOHACK 1931, 1932, 1933, 1934, 1936, 1937, 1938). Um viele Böden unseres Bundeslandes zu erfassen, gründete WOHACK – einmalig für Österreich – Versuchsringe (WOHACK 1930, 1932). Die Wirkungen des Nährstoffes wurden aus seiner Ertragssteigerung (WOHACK 1932) errechnet, gleich wie bei den Feldversuchen nach MITSCHERLICH, welche die öö. Landjugend nach dem Zweiten Weltkrieg durchführte. Letztere Ergebnisse wurden bei der kritischen Erörterung der Systeme über die Klassifizierung der Nährstoffgehalte von Böden verwendet (LENGAUER & SCHILLER 1974). Von deren richtiger Bewertung hängt nämlich die Wirtschaftlichkeit der Handelsdüngung in Verbindung mit den Wirtschaftsdüngern ab (WOHACK 1934; SCHILLER 1959, 1974). Einen wesentlichen Fortschritt brachte die Methode nach NEUBAUER, bei der mittels Aufnahme durch Roggenkeimpflanzen eine Aussage über die leicht verfügbaren Nährstoffe des Bodens ermöglicht wurde (WOHACK 1929). Auf die chemische Extraktion der Böden nach EGNER-RIEHM

stellte man später um und leitete damit die serienmäßige Untersuchung aller landwirtschaftlichen Nutzflächen Oberösterreichs auf ihren Nährstoffzustand ein (BURGGASSER 1940). Fast jeder Betrieb erhielt einen Nährstoffbefund seiner Böden, in dem die lactatlöslichen P- und K-Gehalte nach drei Klassen beurteilt und entsprechende Düngermengen empfohlen wurden. Zur leichteren Orientierung über die Lage der untersuchten Parzellen ließ BURGGASSER (1944) Hofkarten beilegen, die bei den Bauern großen Anklang fanden. Die Ergebnisse für die erste und zweite Untersuchungsreihe wurden zusammengefaßt und geordnet nach Landschaftseinheiten bzw. Gerichtsbezirken kartennäßig für unser Bundesland dargestellt (SCHILLER & Ma. 1959; JANIK 1974). Parallel zu den Untersuchungsaktionen liefen zahlreiche Forschungsprojekte über Fragen der Abhängigkeit der lactatlöslichen P- und K-Gehalte vom Ausgangsgestein, der Düngung, ihren Zusammenhang mit anderen chemischen oder biologischen Faktoren bzw. ihren Einfluß auf das Pflanzenwachstum (BRONNER 1969, 1971; BURGGASSER 1944; GUSENLEITNER 1972, 1974, 1978; JANIK & GUSENLEITNER 1973, 1974; KUMP 1975; MRACZEK 1979, 1980; SCHILLER & Ma. 1953, 1955, 1956, 1958, 1959, 1960, 1962, 1967, 1975). Ferner wurde über die Auswirkung anderer Bodeneigenschaften auf die Nährstoffeffektivität gearbeitet (BACHLER 1970, 1971; BLASL 1980; KAINDL 1951; LINSER & Ma. 1959; SCHILLER & Ma. 1964, 1965, 1977, 1978).

Mit dem Fortschritt der Labortechnik konnte in den sechziger Jahren die Nährstoffuntersuchung auf die Erdalkalitionen (Ca, Mg) und Spurenelemente (B, Cu, Fe, Mn und Zn) erweitert werden. Die Untersuchungen erstreckten sich vorerst auf Böden, auf denen Wachstumsstörungen bei Pflanzen, die nicht mit einem Mangel an Hauptnährstoffen zu erklären waren, auftraten (BARBIER 1964, 1965; MAYR & FROHNER 1972; BLASL & MAYR 1978), dann auf ausgewählte Standorte (SCHILLER 1961, 1967; AICHBERGER 1980) und schließlich auf zufallsmäßig ausgewählte Proben aus der serienmäßigen Nährstoffuntersuchung (JANIK 1971, 1972, 1974). Außerdem wurde die Schwermetallanreicherung von Böden nach Klärschlammdüngungen festgestellt (AICHBERGER 1980) und Ca-, Mg- und Fe-Werte unterschiedlicher Extraktionsverfahren verglichen (BACHLER 1965, 1968; JANIK 1971).

Fast der gesamte Stickstoff im Boden ist organisch gebunden und das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff kennzeichnend für die Humusform und charakteristisch für die Bodenentwicklung (SCHILLER & JANIK 1958; JANIK & SCHILLER 1960). Ferner hat der Humus Einfluß auf die Acidität, den Wassergehalt, die Durchlüftung und Temperatur des Bodens und damit auf die Umwandlung der organischen in anorganische Stickstoffverbindungen. Das Ausmaß dieser N-Mineralisierung durch Mikroorganismen wird einerseits beeinflusst von der Art und Menge leicht verrottbaren Humus (BACHLER 1974; BRONNER & BACHLER 1978, 1980), andererseits hängt die N-Verfügbarkeit von der Größe der  $\text{NH}_4$ -Bindung an Sorptionskomplexen im Boden ab (SCHILLER

1965; SCHILLER & LENGAUER 1968). Der Gehalt des Bodens an  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{NH}_4^-$ -Ionen schwankt stark während eines Jahres, doch ließen sich zwischen den Werten des mineralisierten Stickstoffes, bestimmt zu Vegetationsbeginn, und den Erntedaten von Zuckerrüben bzw. zu den Erträgen von Wintergetreide Zusammenhänge feststellen (AICHBERGER 1980; BRONNER 1973, 1974; WIMMER 1980). Mit einer großen Zahl von Feldversuchen wurde der Einfluß des Standortes auf die N-Nachlieferung untersucht, wobei auch Bodenkenndaten mit einbezogen wurden (BRONNER 1976; MRACZEK 1979, 1980; NEUBAUER 1977; PRIMOST 1959, 1965, 1977; SCHILLER & LENGAUER 1968). Bei Grünland wurde außerdem geprüft, ob eine Beziehung zwischen der N-Zahl nach ELLENBERG und dem N-Gehalt des Bodens besteht (SCHILLER & Ma. 1962).

### Biometrische Auswertung

Durch die Anwendung neuer Methoden zur Bestimmung der löslichen und austauschbaren Nährstoffe im Boden fielen viele Untersuchungsergebnisse, deren Aussagewert nicht bekannt war, an. Um diese interpretieren zu können, war vorerst zu prüfen, wie die Werte zueinander bzw. zu den Kenndaten der Pflanzen- und Tierproduktion in Beziehung stehen. Als ein möglicher Weg boten sich Regressions- und Korrelationsrechnungen an (SCHILLER & LENGAUER 1964; SCHILLER & Ma. 1962, 1967, 1975). Dadurch angeregt wurden, erstmals im deutschen Sprachraum, drei Seminare an der Landwirtschaftlich-chemischen Bundesversuchsanstalt Linz zu nachstehenden Themen abgehalten:

1. Anwendung der Regressionsanalyse in der landwirtschaftlichen Forschung (EHRENDORFER, FERRARI, LENGAUER, ROPPERT, SCHILLER, SCHMETTERER, alle 1965).
2. Zum Problem der Kausalität (ADAM, LENGAUER & SCHILLER, LINSE, ROPPERT, SCHILLER, LENGAUER, alle 1968).
3. Probennahme und Stichprobenentnahme (LENGAUER, LUTZ, MAYR, SCHMETTERER, SCHÜLLER, WENZL, alle 1970).

Außerdem konnte ein numerisch-graphisches Verfahren zur Feststellung des Einflusses von Bodenfaktoren auf den Pflanzenertrag angewendet werden (SCHILLER & LENGAUER 1962), und weiters wurde die Streuung von Analysendaten, die Reproduzierbarkeit von Untersuchungsergebnissen und die wechselseitige Abhängigkeit von Variablen in Mehrfachregressionen überprüft (ILK & NIMMERSVOLL 1974; FLORIAN 1974; LENGAUER 1978).