

MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

HEFT 20

WIEN 1978

MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

HEFT 20

WIEN 1978

SCHRIFTLEITUNG
Prof.Dr.J.FINK und Doz.Dr.F.SOLAR

Eigentümer, Herausgeber und Verleger:
Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft

Für den Inhalt verantwortlich:
Prof.Dr.J.FINK u.Doiz.Dr.F.SOLAR

1180 Wien, Gregor Mendelstraße 33

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| NACHRUF für Hofrat Dipl.Ing.DDr.Vinzenz JANIK | 1 |
| Karel MRAZ: Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Erforschung von Waldhumusformen unter besonderer Berücksich- tigung der Grundprinzipien der Systematik | 3 |
| E. KLAGHOFER: Stoffbewegung im Boden | 23 |
| H. RIEDL: Die Bodentemperaturverhältnisse am Südrand des Tennengebirges - ein Beitrag zum UNESCO-Programm Man and Biosphere | 31 |
| KURZFASSUNGEN von Vorträgen: | |
| H. WACHTEL: Das Problem des Löslichkeitsrückganges (Alterung und Fixierung) des Düngerphosphates im Boden | 61 |
| R. GRETZMACHER: Bodenwirtschaft in Nigeria | 67 |
| G.F. HAUSER:FAO-Arbeiten zur Förderung der Bodendüngung in Entwicklungsländern | 69 |
| TÄTIGKEITSBERICHT | 73 |

Hofrat Dipl.Ing.DDr. Vinzenz JANIK †

Kurz vor seinem Übertritt in den dauernden Ruhestand verschied am 9.12.1976 Hofrat Dipl.Ing.DDr.Vinzenz JANIK.

Hofrat JANIK wurde am 22.6.1911 geboren, besuchte das Staatsgymnasium in Preßburg und graduierte an der Hochschule für Bodenkultur in Wien im Jahre 1933 zum Ingenieur. Nach dem Studium leitete er den elterlichen Weinbaubetrieb und beschäftigte sich dort mit der Selektionierung und Züchtung von Rebsorten. Im Jahre 1945 mußte er seine Heimatstadt Preßburg verlassen. Einige Jahre mußte er sich als Landarbeiter in Wien seinen Lebensunterhalt verdienen, bis er 1949 von der Oberösterreichischen Finanzlandesdirektion als Bodenschätzer aufgenommen wurde. Mit großem Eifer widmete sich JANIK der neuen Aufgabe, arbeitete an einem zweckmäßigen Kartierungssystem für Böden und reichte eine Dissertation hierüber an der Hochschule für Bodenkultur ein, aufgrund der er im Jahre 1953 zum Dr.agr.promoviert wurde. Sein überdurchschnittliches feldbodenkundliches Können war ausschlaggebend, daß Hofrat JANIK 1959 der im Aufbau befindlichen Bundesanstalt für Bodenkartierung zugeteilt wurde. Die enge Verbundenheit der Bodenkunde mit der Quartärgeologie veranlaßte ihn, an der Universität Wien Geologie zu belegen. Im Jahre 1967 erlangte er dort den Dr.phil.

Seinem Wissensdrang folgend bewarb sich JANIK 1968 um die Leitung der bodenkundlichen Abteilung der Landw.chem.Bundesversuchsanstalt Linz, beseelt vom Wunsch, sein feldbodenkundliches Wissen um Kenntnisse in der Bodenchemie und der Bodenphysik zu erweitern. Diese Funktion hatte er bis zu seinem Tode inne. Aus eigener Initiative spezialisierte er sich in den letzten Jahren seines Wirkens auf die Beurteilung von Bodendünnschliffen und war schließlich auf dem Gebiet der Bodenmikromorphologie einer der wenigen versierten Fachleute.

Hofrat JANIK war Mitglied der Österreichischen, Deutschen und Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft, der Österreichischen Geographischen, der Österreichischen Geologischen und der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft sowie der Deutschen Quartärvereinigung.

Außer seinen Dissertationen hat Hofrat JANIK 29 wissenschaftliche Arbeiten, 27 populärwissenschaftliche Abhandlungen und 7 geologische und bodenkundliche Karten publiziert.

Hofrat DDr.JANIK erhielt 1964 den Dr. Körnerpreis für Wissenschaft und Kunst und 1971 das Goldene Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich.



Dipl.-Ing.DDr.Vinzenz JANIK

NEUE ERKENNTNISSE AUF DEM GEBIET DER ERFORSCHUNG VON
WALDHUMUSFORMEN UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG
DER GRUNDPRINZIPIEN DER SYSTEMATIK

von Karel MRAZ

(aus d.Forschungsinst.f.Forstwirtschaft, Zbraslav n.Vlt.-Strnady b.Prag, CSSR)

Vielleicht ist die auf die Bedürfnisse der Landwirtschaft orientierte agrikulturchemische Betrachtungsweise daran schuld, daß man oft nur von Humus schlechthin spricht. Tatsächlich ist der Humus der landwirtschaftlichen Nutzfläche dank der Auswahl geeigneter Standorte für landwirtschaftliche Zwecke einerseits und dank der Bearbeitung andererseits im Vergleich mit dem Waldhumus weitgehend einheitlich. Dies betrifft besonders die Zersetzungs- und Humifizierungsprozesse, die sich auf die morphologische Beschaffenheit und andere damit verbundene Eigenschaften auswirken. Während der landwirtschaftliche Humus in der Regel in der Form von Mull vorliegt, der durch glatte Zersetzung der Ernterückstände, durch günstige Humifizierung, durch Vermischung der Humusstoffe mit dem Mineralboden und durch ein daraus resultierendes dauernd hohes Nährstoffangebot gekennzeichnet ist, umfaßt der Waldhumus sehr verschiedene Humusformen.

Als Gründer der Lehre über die Waldhumusformen muß H.v.POST (1862) angesehen werden. Bald darauf, bereits vor beinahe 100 Jahren, führte der bekannte dänische Forscher P.E.MÜLLER Untersuchungen durch, bei denen er sich bezeichnenderweise schon des Mikroskops bediente. Ihn deswegen "Vater der Bodenmikromorphologie" zu nennen, wie dies F.H.MEYER tut, finde ich allerdings unberechtigt; dieser Titel steht wohl Walter KUBIENA zu.

Die von MÜLLER gut charakterisierten Grundformen, nämlich Mull und Rohhumus, den er als Mör bezeichnet, werden noch heute als extreme Bildungen anerkannt und im wesentlichen durch die von ihm beschriebenen Merkmale charakterisiert. Beim Rohhumus bzw. Mör sind es bekanntlich vor allem die mit dem gehemmten Streuabbau verknüpfte Auflagebildung, die fehlende oder unvollkommene Vermischung der Humusstoffe mit dem Mineralboden und das häu-

fige Vorkommen von Pilzmyzel, besonders von braunschwarzen Pilzhyphen.

Die Bezeichnung der Grundformen, Mull und Mör, ist vielfach kritisiert worden, ist aber so gebräuchlich, daß es wohl nicht angebracht wäre, sie zu ändern. Nur sollte man das Wort Mor als Mör aussprechen, wie dies in den skandinavischen Sprachen der Fall ist. Dadurch fällt der Einwand weg, daß das Wort Mor in verschiedenen Sprachen andere Bedeutung hat. S.A. WILDE (1966) schlug neue Namen vor, wodurch aber lediglich die Sprachverwirrung noch gewachsen ist.

Die Bedeutung der Waldhumusformen ist, sowohl vom praktischen wie auch vom bodenkundlich-wissenschaftlichen Standpunkt aus gesehen, sehr groß. Da die Waldhumusform einen morphologisch ausgeprägten Ausdruck des Ergebnisses der am Standort verlaufenden Prozesse der Stoffproduktion, der Zersetzung und der Humusbildung darstellt, kann sie zugleich als relativ leicht und mit geringem Aufwand (im Vergleich mit analytischen Methoden) überall bestimmbare Erscheinung zur Beurteilung des Zustandes des Stoffkreislaufes, also auch des Nährstoffkreislaufes, dienen. Unter natürlichen oder naturnahen Bestandesverhältnissen charakterisiert die Waldhumusform den natürlichen Nährstoffkreislauf und damit, von Ausnahmefällen abgesehen, auch die natürliche Produktionsfähigkeit des Ökosystems. Durch Vergleich der natürlichen Waldhumusform mit der durch wirtschaftliche Maßnahmen, z.B. durch die Bestandeszusammensetzung, veränderten Waldhumusform als Zustandstyp, der jeweils den veränderten Zustand des Stoffkreislaufes charakterisiert, kann z.B. die Meliorationsbedürftigkeit und die Eignung der früher durchgeführten Maßnahmen, etwa der Düngung usw., beurteilt werden. Durch richtige Ansprache der Waldhumusformen wird demnach auch die Beurteilung ermöglicht, inwieweit die erfolgte Bewirtschaftungsweise die naturgegebene Produktionsfähigkeit des Standortes ausnützt. Denn die in der Rohhumusaufgabe befindlichen Nährstoffe sind zwar nicht verloren, aber es sind unausgenützte, hohe, immobilisierte Vorräte, gewissermaßen totes Kapital, das der Pflanzenproduktion entzogen ist. Außerdem übt diese Auflage ungünstigen Einfluß auf den Boden aus; die Waldhumusform steuert somit in beträchtlichem Ausmaß die Bodenentwicklung (vgl. die Charakteristik bei DUCHAUFOUR, 1956). In der neueren Literatur wird daher die Bildung

von Waldhumusformen zu den wichtigsten Bodenbildungsprozessen gezählt (MÜCKENHAUSEN, 1962 usw.). Die Waldhumusform ist ferner angesichts der sehr unterschiedlichen hydrologischen Eigenschaften verschiedener Waldhumusformen auch für die heute immer wichtiger werdende Wasserwirtschaft von Bedeutung. Darüber hinaus sind auch die biochemischen Eigenschaften der Waldhumusform wasserwirtschaftlich von Interesse; so können verschiedene Waldhumusformen - und zwar die aus forstlicher Sicht günstigen - durch Eutrophierung des Wassers in Stauseen einerseits zur Verstopfung und Vernichtung der Wasserleitungen beitragen, andererseits durch übermäßige Zufuhr von Nitraten das Wasser gesundheitsschädlich machen, worüber bereits umfangreiche Literatur vorliegt. Auch die aus bestimmten Humusaufgaben stammenden beweglichen Huminstoffe können dazu beitragen, daß das Wasser aus gesundheitlichen Gründen nicht mehr als Trinkwasser verwendet werden kann.

Um den genannten Anforderungen gerecht zu werden, muß die Waldhumusform genetisch aufgefaßt werden. Der Systematik der Waldhumusformen müssen als Grundprinzipien diejenigen Faktoren und Prozesse und die mit ihnen verbundenen Merkmale zugrundeliegen, die einerseits die Entwicklung und Bildung der Waldhumusformen steuern und andererseits auch ihre wichtigen Eigenschaften bestimmen. Die Wahl der Merkmale zur Unterscheidung der Waldhumusformen darf also nicht willkürlich geschehen. Wenn wir nämlich von vornherein unterstellen, daß ein gewisses Merkmal das wichtigste sei und wenn wir die Systematik oder Klassifikation darauf aufbauten, entstünde eine künstliche Klassifikation, die nicht befriedigen kann. So erwähnte z.B. S.A. WILDE, daß von seiner Schule die grundsätzliche Einteilung in Mull als günstige und Auflagehumus als ungünstige Waldhumusform fallengelassen wurde, als festgestellt wurde, daß auf bestimmten mächtigen Humusaufgaben produktivste Waldbestände stocken, während andererseits auf bestimmten Mullformen - dem Prairie-Mull - nur gebüschartige Wälder zu finden sind. Dieser Grundsatz stimmt auch mit unseren Erfahrungen überein. Daraus folgt, daß es nicht genügt, zu ermitteln, ob es zur Auflagebildung kommt oder ob der Humus mit dem Mineralboden vermischt wird; vielmehr muß nach anderen, ökologisch wichtigen Merkmalen gesucht werden.

Wenn wir jedoch die bis heute aufgestellten Klassifikationen der Waldhumusformen untersuchen, stellen wir fest, daß sich von den ältesten zu den

neuesten Schemata wie ein roter Faden die Auffassung zieht, daß die Vermischung des Humus mit dem Mineralboden ein ganz wesentliches Kriterium darstellt. Auch die wahrscheinlich ausführlichste Klassifikation von EHWALD (1956), die sich auf eine wohl erschöpfende Auswertung der Literatur (DUCHAUFOR, HARTMANN, KUBIENA, WITTICH usw.) und auf eigene Forschungsergebnisse des Verfassers stützt und die als Grundlage der Richtlinien für praktische Standortserkundung in beiden Teilen Deutschlands diene, geht von dieser Auffassung aus, indem sie die glatte Streuzersetzung mit der intensiven Vermischung von Humus und Mineralboden verknüpft und beides als eine Einheit als Grundcharakteristik des Mulls benützt. Als Gegenstück dazu werden Landhumusformen mit gehemmter Streuzersetzung oder unvollständiger bzw. fehlender Vermischung von Humus und Mineralboden genannt.

Demnach gäbe es im Grunde nur zwei Möglichkeiten:

1. Waldhumusformen mit glatter Streuzersetzung und Vermischung von Humus und Mineralboden, oder
2. Waldhumusformen mit gehemmter Streuzersetzung und mehr oder weniger fehlender Vermischung.

Diese Verknüpfung der Streuzersetzungsgeschwindigkeit mit der Vermischung mit dem Mineralboden ruft die Vorstellung hervor, es wäre die Vermischung mit dem Mineralboden eine absolut notwendige Vorbedingung für die Entstehung des Mulls, ja sogar vielfach auch für die glatte Streuzersetzung und damit für die Bildung günstiger Waldhumusformen schlechthin.

Dazu haben auch einige spezielle Untersuchungen über Streuzersetzung beigetragen, wie z.B. jene von WITTICH, die ergeben haben, daß die in den Boden geratenen Nadeln sich schnell zersetzen, während die dem Boden aufliegenden lange Jahre unversehrt blieben.

Auch der berühmte österreichische Bodenzoologe H. FRANZ schreibt wörtlich: "Wo mineralische Bodenkolloide, in erster Linie Tonminerale, fehlen, kann kein Mullhumus entstehen, es bilden sich verschiedene Moderformen oder Rohhumus".

In einer weitaus überwiegenden Anzahl von Fällen stimmt diese Grundauffassung vollkommen, so daß Bedenken dagegen als ungerechtfertigt und nutzlos

erscheinen mögen. Es ist jedoch zur Aufstellung einer genetischen Systematik der Waldhumusformen und zur Ermittlung der Faktoren, die die differenzierte Bildung von Mull und Mör als extreme Waldhumusformen steuern, nötig zu wissen, ob die Vermischung des Humus mit dem Mineralboden und die glatte Streuzersetzung tatsächlich untereinander ursächlich verknüpft sind, ob eine die andere bedingt, und welche wichtiger bzw. primär ist, oder ob beide die gleiche Bedeutung haben, die ihnen z.B. in der genannten Klassifikation durch Anwendung als gleichbedeutende Kriterien auf höchster Ebene eingeräumt wird.

Sollte es sich zeigen, daß beide erwähnten Merkmale einander nicht bedingen, müßten sie in der Systematik als Kriterien selbständig und auf verschiedener Ebene Anwendung finden. Dadurch würde einerseits die Anzahl der möglichen Kombinationen und somit auch der Waldhumusformen steigen, andererseits würde es neues Licht auf die Frage nach den Ursachen der Entstehung verschiedener Waldhumusformen werfen.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, möchte ich noch einmal betonen, daß ich an dem grundsätzlich günstigen Einfluß der Vermischung des organischen mit dem mineralischen Material durchaus nicht zweifle. Es handelt sich, wie gesagt, lediglich um die Feststellung, ob die Vermischung mit dem Mineralboden eine unbedingt notwendige Voraussetzung für glatte Streuzersetzung und günstige Humifizierung darstellt oder nicht und ob beide Erscheinungen miteinander ursächlich verknüpft sind oder nicht.

Als wir vor einigen Jahren mit der Aufgabe beauftragt wurden, eine Systematik der Waldhumusformen in den Böden der Tschechoslowakei zu erarbeiten, richteten wir unsere Aufmerksamkeit eben auf diese prinzipiellen Fragen der Systematik.

Begriffe und Methodik:

Die Waldhumusform fassen wir als Typ des Humusprofils auf, denn nur so kann sie die genetischen Zusammenhänge bei der Umformung des pflanzlichen Ausgangsmaterials in verschiedene Zwischen- und Endprodukte charakterisieren. Somit entspricht die Waldhumusform dem Humustyp bei F. HARTMANN. Eine besondere systematische Charakterisierung und Benennung der einzelnen Materialien, die eigentlich verschiedenen genetischen Horizonten des Humusprofils

entsprechen, wie dies F. HARTMANN unter der Bezeichnung "Humusformen" tut (ähnlich auch FREI in der Schweiz), halten wir nicht für angebracht. Dafür werden vielfach dieselben oder ähnliche Namen angewandt wie für die Waldhumusformen als Profiltypen (bzw. Humustypen HARTMANN's, z.B. Mull, Moder usw. mit verschiedenen Vorsilben, wie Fein-, Grob- usw.).

Statt dessen sind wir bestrebt, die einzelnen genetischen Horizonte L, F und H der Auflage und die humosen Mineralbodenhorizonte A_h bzw. A_{eh} bei podsoligen Böden hinsichtlich der Vertretung verschiedener genetischer Strukturelemente möglichst genau zu charakterisieren.

Zu den genetischen Strukturelementen zählen:

1. Pflanzliche (in geringem Ausmaß auch tierische) Gewebestrukturen als Ausgangsmaterial und gleitende Übergänge zu Zwischenprodukten
2. Exkrememente der Bodentiere, die sehr verschiedene Beschaffenheit und Eigenschaften haben können und die z.T. Humusstoffe enthalten; sie stellen Zwischen-, aber z.T. auch Endprodukte dar.

Der sogen. amorphe Humus kommt seltener vor, als allgemein angenommen wird. Meist sind darin Reste zerfallener Exkrememente und Bruchstücke pflanzlicher Strukturen erkennbar.

3. Humus in organomineralischen Komplexen. Er stellt das Endprodukt dar, aber auch hier wird weiter je nach Beschaffenheit, Humusgehalt, Größe der Aggregate usw. unterteilt.

Die Bestimmung und Ermittlung der Anteile dieser Elemente geschieht durch Schätzung des Gehaltes in % unter Anwendung des Mikroskops bei direkter Auflichtuntersuchung oder (bzw. und) im Dünnschliff. Die Ergebnisse werden in graphischer Form übersichtlich dargestellt. Dadurch wird der Anteil der oben genannten genetischen Strukturelemente durch besondere Darstellung hervorgehoben (Ausgangsmaterial: durch Schraffur, u.zw. Streu durch waagrechte Schraffen, Wurzeln durch gekreuzte Schraffen; Exkrememente: je nach Größe durch Punkte und Kreise; organomineralische Komplexe durch senkrechte Schraffur).

Außer der mikromorphologischen Untersuchung wurden jeweils auch chemische Analysen durchgeführt, z.T. wurde auch die Fraktionierung der Humusstoffe, im wesentlichen nach TJURIN, vorgenommen.

Die Versuchsflächen wurden grundsätzlich auch pflanzensoziologisch untersucht. Sie sind auf verschiedene charakteristische Standorte und Waldgesellschaften in verschiedenen Höhenstufen vom Auenwald der Elbe bis in die subalpinen Lagen der Hohen Tatra verteilt. Es wurden auch alle Versuchsflächen darauf untersucht, welche Waldhumusformen vorliegen. Sie wurden im Rahmen einer langjährigen Grundlagenforschung von den Mikrobiologen unseres Institutes (O. LANGKRAMER und A. SOBOTKA) unter bodenzoologischer Mitarbeit von H. KHOLOVA festgestellt. Dadurch ergab sich die Möglichkeit, die morphologisch, insbesondere mikromorphologisch definierten Waldhumusformen auch mikrobiologisch und bodenzoologisch (hinsichtlich des Mesoedaphons) zu charakterisieren. Mikrobiologisch wurden Mischproben der oberen humosen Mineralbodenhorizonte untersucht, wobei die üblichen Methoden wie Plattengußverfahren Anwendung fanden. Die bodenzoologischen Befunde bezogen sich auf den Oberboden inklusive Humusaufgabe, sofern eine solche vorhanden war.

Ergebnisse:

Im Rahmen unserer Untersuchungen wurden zwei Humusformen festgestellt, auf deren Eigenschaften man näher eingehen muß, weil sie zur Lösung der oben erwähnten wichtigen Fragen hinsichtlich der Faktoren und Prozesse, welche die differenzierte Bildung von Mull und Mör bedingen, wesentlich beitragen.

Zunächst ist eine interessante Waldhumusform zu erwähnen, die dem mullartigen Moder KUBIENA's entspricht, nicht jedoch dem was die meisten Autoren unter mullartigem Moder verstehen, nämlich den Übergang zwischen Mull und Moder. Diese Autoren (z.B. E. EHWALD, 1956) definieren den mullartigen Moder wie folgt: "Im A₁-Horizont oft noch ⁺ reichlich Regenwurmlosung; H-Horizont selten 1 cm mächtig; häufig, z.B. unter Fichte, auf frischen, sehr nährstoffreichen Böden". Diese Waldhumusform gehört bei EHWALD zu den Landhumusformen mit gehemmter Streuzersetzung und unvollständiger Vermischung von Humus und Mineralboden. W.L. KUBIENA hingegen versteht unter mullartigem Moder eine Waldhumusform, die vorwiegend aus rundlichen Losungsstücken besteht, die aus Pflanzenresten und Mineralkörnern und Splintern, aber ohne wesentlichen Tonanteil aufgebaut sind. Insbesondere seine Zeichnung eines Aggregates bzw. eines Losungsstückes dieser Waldhumusform im Dünnschliff zeigt

ganz überzeugend, daß es sich um unsere Waldhumusform handelt. Wegen der Uneinigkeit in der Nomenklatur und im Hinblick auf ihre Eigenschaften schlage ich für sie den Namen *Semimull*, also etwa Halbmull, vor. Den Aufbau der genetischen Elemente des Semimulls zeigt am besten der Dünnschliff. Man sieht, daß die etwa gleich großen Elemente Tierkot bzw. Losungsstücke sind, die wahrscheinlich von großen Diplopoden stammen und aus einem Gemisch von zerbissenen pflanzlichen Strukturen, Mineralsplittern und Humusstoffen aufgebaut sind. Die Karbonatform enthält viele Kalkhumate, die wahrscheinlich nach Austrocknung zur Bildung charakteristischer Risse beitragen, die in der silikatischen Form nicht zu finden sind.

Wesentlich ist, daß der Semimull glatten Streuabbau aufweist und in der Bodenvegetation Mullpflanzen vorherrschen, die auf günstigen Nährstoffkreislauf hindeuten. Es bildet sich keine holorganische Auflage. Deswegen gehört diese Waldhumusform nicht zu der II. Gruppe der Landhumusformen nach EHWALD, die durch gehemmte Streuzersetzung und unvollständige bzw. fehlende Vermischung von Humus und Mineralboden gekennzeichnet sind, sondern sinngemäß zur Gruppe I., d. s. Landhumusformen mit glatter Streuzersetzung und intensiver Vermischung von Humus und Mineralboden, wenn auch Ton nicht in wesentlicher Menge vorhanden ist. Vom echten Mull unterscheidet sich Semimull dadurch, daß die für den Mull charakteristische Koppelung von Humusstoffen an Ton und Bildung von Ton-Humuskomplexen angesichts des geringen Tonanteiles in den Hintergrund tritt.

Den Semimull - sowohl seine silikatische wie auch seine karbonatische Ausbildung - finden wir in bestimmten nitrophilen Schuttwäldern aus Ahornen, Linden, Ulmen, Hainbuchen usw., also im *Carpino-Aceretum* bzw. im *Ulmo-Aceretum*. Der Boden ist auf noch nicht ganz konsolidiertem Hangschutt entstanden und enthält nur wenig Feinerde. Bevorzugt bildet sich Semimull auf herausragenden Felsen mit nur dünner Verwitterungsschicht. Der humose Oberboden ist nur von spärlichen Resten vorjähriger Streu bedeckt.

Die andere erwähnte interessante Humusform ist meines Wissens noch nirgends beschrieben worden und könnte als *Pseudomull* bezeichnet werden.

Auch diese Waldhumusform kommt in Ahornmischwäldern und *Lunaria-*

Schluchtwäldern auf Hanggeröll aus langsam verwitternden Gesteinen (v.a. aus Quarziten und Lydditen) vor, aber auch auf Blockschutt aus Basalt. Es ist hier praktisch kein mineralischer Feinboden vorhanden. Streu und F-Horizont fehlen praktisch fast völlig. Schwärzlicher, feinkörniger, koprogener Humus ist unter der dichten Bodenvegetation aus anspruchsvollen, nitrophilen, hygromorphen Pflanzen verborgen und füllt die Lücken zwischen den Steinen aus. Er ist sehr stark von Feinwurzeln durchflochten.

Im Dünnschliff sehen wir meist über 1 mm große, unregelmäßig geformte, hohlraumreiche Losungsbällchen und ihre Bruchstücke, überwiegend aus kleinen (unter 10 μ), schwärzlichen, humifizierten Teilchen bestehend, die mit Resten pflanzlicher Gewebe verschiedener Größe vermischt sind. Wahrscheinlich handelt es sich um Losung von Dendrobaena und kleinen Regenwürmern und auch um Insektenlarven. Nur sehr selten sind darin kleine Mineralsplitter enthalten. Ferner ist ein dichtes Geflecht von mykorrhizafreien Feinwurzeln zu sehen, die auch in das Innere der Aggregate hineinwachsen. Vereinzelt enthalten sie auch kleine rundliche Losung, die wohl von Milben stammt. Zwischen den Aggregaten finden sich auch Reste von Blättern, Holz und andere pflanzliche Strukturen. Vielfach kommen im Pseudomull Schnecken vor, und zwar auch in der silikatischen Ausbildung, häufiger aber auf Kalk.

Die chemischen Eigenschaften dieser Waldhumusformen haben wir mit dem typischen Mull aus dem Elbauenwald, mit einem Kalkmull auf Rendsina und mit einem Mull-Moder auf Parabraunerde unter Eichen-Hainbuchenwald verglichen (Tabelle 1).

Sowohl den Pseudomull als auch den Semimull können wir nicht dem echten Mull gleichsetzen, weil Tonhumuskomplexe⁺ fehlen. Andererseits erscheint der Anschluß an die Moderformengruppe sehr problematisch, weil hier keine gehemmte Streuzersetzung und daher auch keine normale H-, meist nicht einmal F-Horizontbildung vorliegt.

Den Pseudomull könnte man vielleicht mit einem Teil der als "Insektenmull", "Feinmull", "Arthropodenmull" und ähnlich bezeichneten Waldhumusformen vergleichen, allerdings werden diese Formen oft als Bildungen unter Auflagen von Streu und wenig zersetztem Material auf günstigen Standorten, oft in Fichten-

beständen, bezeichnet. Produktionsökologisch gesehen ist jedoch der Semimull wie auch der Pseudomull dem echten Mull viel näher als der Moderformengruppe. Beide genannten Humusformen haben mit dem Mull gemeinsam: glatte Streuzersetzung, ungehemmten Stoffkreislauf, gute Nährstoff-, insbesondere Stickstoffnachlieferung und günstige hydrologische Eigenschaften. Auch die chemischen Eigenschaften beweisen dies: C/N-Verhältnis um 15, hohe Basensättigung (die zu hohen H-Werte der Mehlich-Methode werden hier durch beträchtlichen Gehalt an organischen Säuren vorgetäuscht) und beim Pseudomull sehr hohe Gesamtstickstoffvorräte bei günstigem C/N-Verhältnis. Auch die Vegetation unterstützt diese Ansicht, denn es ist immer Mullvegetation. Die Wuchsleistung der Bestände ist gut, was angesichts der Beschaffenheit des Mineralbodens allein auf den sehr fruchtbaren Humus zurückzuführen ist. In diesem Zusammenhang sollten die Ergebnisse der Humusfraktionierung näher betrachtet werden. Man sieht, daß die Verteilung des Kohlenstoffs auf Humusfraktionen bei verschiedenen Waldhumusformen ziemlich ähnlich ist, daß sie beim Semimull und Pseudomull jener des echten Mulls gleicht, und ferner auch, daß das Huminsäure-Fulvosäure-Verhältnis, das vielfach als gute Charakteristik der Humusqualität angesehen wird, Höchstwerte in Moder- bis Rohhumusaufgaben erreicht.

Wenn wir die Humusstoff-Fraktionen auf den gesamten Feinboden beziehen, was ökologisch wichtig ist, sehen wir, daß der Pseudomull die höchsten Werte des Gehalts an Huminsäuren aufweist, eng gefolgt von ungünstigen Humusaufgaben der Mör-Gruppe, die allerdings angesichts ihres weiten C:N-Verhältnisses wesentlich weniger Stickstoff und andere Nährstoffe zur Verfügung stellen können.

Man kann auch die hohen Anteile von Humaten (2. Fraktion), wohl Kalkhumaten, in der Karbonatform des Semimulls feststellen.

Schließlich ist die Entstehungsweise des Semimulls und des Pseudomulls zu erklären. Wichtige Voraussetzung ist die günstige Streu der Edellaubhölzer, die hohen Eiweißgehalt hat und bei der es wohl nicht oder nur begrenzt zur Bildung von schwer zersetzlichen Tannin-Protein-Komplexen im Sinne von Handley (1954) kommt. Auch der klimatisch bzw. lokalklimatisch günstige Standort ist sehr wichtig. In beiden genannten Humusformen stellen wir Ergebnisse der

Tätigkeit von Bodentieren fest, insbesondere von streubewohnenden Regenwürmern, aber auch von anderen Tieren, z.B. von Milben. Es kommt hier nie zur Verpilzung, die G. ZACHARIAE als Folge der fehlenden Vermischung mit dem Mineralboden ansieht, wenn die Vermischung den Regenwürmern durch hohen Skelettgehalt des Bodens unmöglich gemacht wird.

ZACHARIAE kam auf Grund seiner zoologischen und mikromorphologischen Untersuchungen (1965) zum Schluß, daß die Mächtigkeit der organischen Auflage vorwiegend von der Geschwindigkeit und dem Verlauf der mikrobiellen Zersetzung und weniger und nur mittelbar von der Tieraktivität bestimmt wird. Er betont, daß "kein Beitrag der Tierwelt allein genügt, wenn die Mikroflora versagt".

Auch RICHARD stellte aufgrund seiner Untersuchungen über Zellulose- und Eiweißzersetzung mit Testschnüren (1945) fest, daß die Humusbildung letztlich auf die biologische Tätigkeit zurückzuführen ist.

In unserem Falle ist die hohe biologische Aktivität, die durch die eiweißreiche und an phenolischen Verbindungen arme Streu und durch den kleinklimatisch vorteilhaften Standort bedingt ist, die Hauptursache der günstigen Humusbildung. Die Mikroflora bestimmt die günstige Richtung der Zersetzungs- und Humifizierungsprozesse. Die mikrobiell vorzersetzte, nährstoffreiche Streu wird von Bodentieren, wahrscheinlich vor allem von Tieren der Prozeßfolge e) nach ZACHARIAE, d.h. Dendrobaena, Insektenlarven usw., zu hohlraumreichen Aggregaten verarbeitet, die die Räume zwischen den Steinen ausfüllen. Obwohl die Vermischung mit dem Mineralboden beim Pseudomull gänzlich ausbleibt (der Feinboden fehlt hier nämlich) und beim Semimull nur unvollständig ist (angesichts des Mangels an Ton und wegen der Behinderung der erdbewohnenden Regenwürmer durch hohen Skelettgehalt des Bodens, so daß die teilweise Vermischung hier hauptsächlich durch Diplopoden erfolgt), kommt es zu keiner Verpilzung oder Versauerung des Humushorizontes und zu keinen Zersetzungs- hemmungen. Die Nitratproduktion ist hoch; die etwas weiteren C:N-Verhältnisse des Pseudomulls (um 15) sind wohl durch die im Humus konzentrierten Feinwurzeln bedingt, die man nicht ganz zu entfernen vermag.

Aus dem Gesagten darf wohl gefolgert werden, daß Semimull und Pseudomull selbständige, ausgeprägte, fruchtbare Humusformen darstellen, die dem

echten Mull nahestehen, sich jedoch von ihm durch unvollständige bzw. fehlende Vermischung mit dem Mineralboden unterscheiden.

Aufgrund des geschilderten Materials erscheint es zweckmäßig, die Geschwindigkeit der Streuzersetzung (bzw. der Stoffumsetzungen) und das Ausmaß der Vermischung von Humus und Mineralboden als zwei voneinander weitgehend unabhängige Prozesse verschiedener ökologischer, dynamischer und genetischer Bedeutung voneinander zu trennen und als selbständige Kriterien anzuwenden, wobei den Zersetzungsvorgängen die primäre Stellung zukommt. Sie müssen deswegen in der Systematik auf höherer, vielleicht sogar auf höchster Ebene berücksichtigt werden.

Zur Frage einer modernen Systematik der Waldhumusformen:

Durch die oben besprochenen Ergebnisse glauben wir zur Frage der Grundprinzipien der genetischen und ökologischen Systematik der Waldhumusformen beigetragen zu haben.

Wenn wir auch andere Ergebnisse der Forschung aus neuerer Zeit berücksichtigen, können wir versuchen, einen Entwurf einer modernen Systematik der Waldhumusformen vorzulegen. Zu den wichtigsten neueren Errungenschaften auf dem Gebiet der Humusforschung gehören unseres Erachtens folgende Forschungsergebnisse:

- 1.) Die Ergebnisse von HANDLEY (1954), die beweisen, daß die differenzierte Bildung von Mull oder Mör mit dem verschiedenen Charakter der Blattproteine und der phenolischen Stoffe in Blättern und mit ihrer komplizierten gegenseitigen Beeinflussung zusammenhängt.
- 2.) Weiteren entscheidenden Beitrag zur Aufstellung einer zeitgemäßen Systematik der Waldhumusformen stellen die Forschungen von F.H.MEYER dar, der fand, daß der mykorrhizische Pilz *Cenococcum graniforme* einen wichtigen Faktor in der Mörbildung darstellt, weil seine Hyphen schwer zersetzlich sind und sich im Boden anreichern. Auch unsere Untersuchungen beweisen dies sowie auch den hohen Anteil von Feinwurzeln an der Bildung von Mör. Diese Erscheinungen sind nach unseren Ergebnissen standortsbedingt, was für Fichte, Douglasie und Strobe nachgewiesen werden konnte.

- 3.) Von entscheidender Bedeutung für die Erforschung der Waldhumusformen ist die Arbeit von W.L. KUBIENA, der die Bodenmikromorphologie begründet hat, und seine Arbeiten über Bodenentwicklung, die die Bedeutung der Humusformen in dieser Hinsicht hervorgehoben haben. Sehr wertvoll sind die unter Anwendung mikromorphologischer Methoden durchgeführten bodenzoologischen Untersuchungen von ZACHARIAE.
- 4.) Was die chemischen Untersuchungen anbelangt, haben die an sich wertvollen Forschungen über die chemische Struktur der Humusstoffe zur Systematik der Waldhumusformen wenig beigetragen. Wichtiger sind Erkenntnisse WITTICH's und anderer, insbesondere über die Rolle des Stickstoffs und seiner verschiedenen Formen.
- 5.) Ferner sind die Ergebnisse von Streuzersetzungsversuchen sehr wichtig, die z.B. von LEIBUNDGUT, WITTICH und anderen durchgeführt wurden.

Die Systematik der Waldhumusformen:

Eine Systematik der Waldhumusformen muß von diesen neuen Erkenntnissen ausgehen und sie in den Rahmen ihrer Grundprinzipien einordnen.

Die auf morphologischer Grundlage ausgeschiedenen Waldhumusformen haben wir mit den mikrobiologischen und standortsökologischen Erkenntnissen verglichen. Daraus ergab sich in einigen Fällen die Notwendigkeit einer weiteren Unterteilung größerer Gruppen, was vorwiegend mit dem Wasserhaushalt des Bodens oder mit dem Klima zusammenhängt.

I. Die Mull-Gruppe der Waldhumusformen:

mit glatter Streuzersetzung und zoogener Prägung; die Gruppe wird in 3 Untergruppen unterteilt:

Untergruppe a: Echter Mull (Eu-Mull)

ist durch die Koppelung von Humus an Ton in Form von Tonhumuskomplexen charakterisiert; die Vermischung mit dem Mineralboden ist vollkommen.

Untergruppe b: Semimull

ist Humus (feine und gröbere Partikel) in verschiedenen Stadien der Zersetzung, vermengt mit überwiegend grobkörnigerem, mineralischem Material; liegt in

Form ellipsoider bis zylindrischer, etwa 1 mm langer Aggregate vor.

Untergruppe c: Pseudomull

ist holorganischer, dunkel gefärbter Humus, der aus größeren hohlraumreichen Aggregaten besteht (Pflanzenstrukturen, die mehr oder weniger stark zerbrochen sind und viel Humusstoffe, oft auch kleine Losung und Lösungsbruchstücke von Milben usw. enthalten). Diese Aggregate sind meist Exkremente der streubewohnenden Regenwürmer. Charakteristisch sind die zahlreichen meist mykorrhizafreien Saugwurzeln der Bäume, die oft in die Aggregate hineinwachsen. Der Alpenmull (Teil des sogen. Alpenhumus) ist wahrscheinlich als eine alpine Nadelwaldausbildung des Pseudomulls zu werten.

II. Die Mör-Gruppe der Waldhumusformen:

mit gehemmter und unvollständiger Zersetzung der Streu, mit Bildung und Anhäufung von Zwischenprodukten des Abbaues auf der Oberfläche als Auflagehumus.

II.A. Die Teilgruppe der Moderformen:

mit deutlich entwickelter holorganischer Auflage (L-, F- und in bestimmten Fällen auch H-Horizonte) überwiegend zoogener Prägung, die einem humosen organomineralischen mullähnlichen Horizont aufliegt.

Untergruppe a: Mull-Moder

mit weniger entwickelter Auflage, meist nur L- und F-Horizonte, mit gut entwickeltem organomineralischem mullähnlichem A_h -Horizont.

Untergruppe b: Echter Moder (Eu-Moder)

mit ⁺ regelmäßig und gleichmäßig entwickelten Auflagehorizonten, die jedoch meist locker sind; der H-Horizont ist nicht verfestigt.

Untergruppe c: Pilz-Moder

ist im Aufbau dem Eu-Moder ähnlich, aber mit starker Entwicklung der Pilze (aber keine schwarzen Hyphen).

Untergruppe d: Tangel-Moder

mit mächtiger holorganischer Auflage, mit L-, F- und H-Horizonten, mit Mörcharakter, die einem mullähnlichen (bzw. pseudomullähnlichen) Horizont aufliegt.

II. B. Die Teilgruppe der Eu-Mörformen (Rohhumus):

mit gut ausgeprägter holorganischer Auflage, deren H-, manchmal auch F-Horizonte stark durch Pilzhyphen oder Feinwurzeln verflochten sind; verfestigt, sodaß sie sich in Stücke brechen oder schneiden lassen. Die Auflage liegt dem ausgelaugten A_e bzw. A_2 -Horizont auf, dessen oberer Teil (A_{eh}) durch eingeschwemmten Feinhumus schwärzlich gefärbt ist.

Untergruppe a: Rhizo-Mör

ist lockerer als der folgende, ⁺ nur durch Feinwurzeln verfestigt; kommt meist in Gebirgen vor.

Untergruppe b: Hyphae-Mör

mit sehr verfestigten H- und oft auch F-Horizonten der meist dünneren Auflage, die außer durch Feinwurzeln stark durch schwarze Hyphen (wohl des Pilzes *Cenococcum graniforme*) verflochten sind.

Seine Ausbildung auf stark austrocknenden Standorten bezeichnen wir als Xero-Mör.

Vergleich der mikromorphologisch definierten Waldhumusformen mit den Ergebnissen mikrobiologischer Untersuchungen:

Dieser Vergleich brachte interessante Ergebnisse, die die Berechtigung der Abgrenzung der ausgeschiedenen Humusformen beweisen. Die von F.H.MEYER bereits für die drei Grundformen Mull, Moder und Mör untersuchten mikrobiologischen Verhältnisse wurden von unseren Mikrobiologen (O.LANGKRAMER, A.SOBOTKA) für ein breites Spektrum von Waldhumusformen ermittelt und von uns im Zusammenhang mit den morphologischen und ökologischen Befunden interpretiert.

Es erwies sich als angebracht, die Keimzahlen und auch die biochemischen Werte auf die organische Substanz zu beziehen.

Der Bodenfeuchtegehalt, der Stickstoffgehalt der organischen Substanz und das Verhältnis der Bakterien zu den Pilzen und - wenn auch weniger - die Bodenatmung charakterisieren die Gruppen von Waldhumusformen (Tab. 2).

Auch die Nitrifikation charakterisiert die Waldhumusformen sehr gut.

Sie zeigt angesichts der großen Bedeutung der Nitrate für die forstliche Produktion (vgl. ZÖTTL) auch den praktischen Wert der Waldhumusformen an. Die Humusformen der Mull-Gruppe weisen allgemein hohe Nitratproduktion auf.

Die Keimzahlen sind ebenfalls charakteristisch. Der hohe Anteil der Bakterien (auf MPA und auch auf Thornton-Agar) zeigt gut die Qualität der Waldhumusformen im positiven Sinne, die Vertretung der mikroskopischen Pilze im negativen Sinne an.

Der hohe Anteil des Mesoedaphons im Ganzen und der Milben, die darin überwiegen, charakterisiert die Qualität der Humusformen im negativen Sinne; Mör-Formen haben 1100-2100 Exemplare pro 100 ccm Boden gegenüber 500-1500 Exemplaren in der Mull-Gruppe. Myriopoden und Gastropoden hingegen kommen eher in besseren Humusformen (Mull-Gruppe) vor.

Tabelle 1
 Analysendaten einiger Humusformen

| Humusform | Hori- zont | pH (KCl) | % C _t | % N _t | % N i. d. org. S. | C : N | % GV | nach Mehlich | | | V % Kappen |
|----------------------|----------------|-------------|------------------|------------------|----------------------|-------|------|--------------|----|----|---------------|
| | | | | | | | | H | T | V% | |
| Typischer Mull | A _h | 6,8 | 6,8 | 0,43 | 3,65 | 9 | 13,9 | 2 | 30 | 92 | - |
| Typischer Kalkmull | A _h | 7,1 | 9,2 | 0,63 | 4,0 | 10 | 23,8 | 12 | 50 | 76 | - |
| Kalk-Semimull | A _h | 6,9 | 15,2 | 1,44 | 5,47 | 13 | 37,6 | 13 | 97 | 86 | - |
| Semimull | A _h | 5,5 | 12,0 | 0,54 | 2,6 | 15 | 19,8 | 24 | 37 | 36 | 100 |
| Pseudomull (Sirá) | H _p | 5,2 | 39,6 | 2,20 | 3,3 | 15 | 62,9 | 79 | 97 | 19 | 59 |
| Pseudomull (Chýlava) | H _p | 5,5 | 48,1 | 2,57 | 3,1 | 18,7 | 81,3 | 56 | 81 | 31 | 100 |
| Kalk-Pseudomull | H _p | - | 41,6 | 3,09 | 4,3 | 16 | 78,7 | 28 | 80 | 65 | - |
| Mull-Moder | F | - | 26,9 | 1,34 | 2,9 | 20 | 42,3 | 54 | 75 | 28 | - |
| Mull-Moder | A _h | 4,3 | 6,3 | 0,29 | 2,6 | 10 | 9,9 | 23 | 13 | 0 | 15 |

Tabelle 2
Charakteristika der Humusformen-Gruppen

| Humusformen (-gruppen) | H ₂ O % | ppm CO ₂ i.d.org.S. | % N i.d.org.S. | Verhältnis Bakterien: Pilze |
|------------------------|--------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Mull-Gruppe | 21-51 | 1100-5700 | 3-6 | 3,4-48 |
| Mör-Gruppe | 6-47 | | | |
| Moder-Teilgruppe | | 1000-2900 | 3,5-4,4 | 1,6-7,5 |
| Eu-Mör-Teilgruppe | | 700-1400 | 2,4-3,3 | 1,7-6,7 |
| Xeromör | 6-19 | 700-1000 | | 0,7-1,2 |

LITERATUR

- DUCHAUFOR, Ph.: (1956), Pédologie, Applications Forestières et Agricoles; Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy
(1960), Précis de Pédologie; Paris
- EHWALD, E.: (1956), Über einige Probleme der forstlichen Humusforschung, insbesondere die Entstehung und die Einteilung der Waldhumusformen; Sitzungsber. DAL, Bd. V., H. 12, Hirzel, Leipzig
- FRANZ, H.: (1965), Die Bedeutung des bodenbiologischen Geschehens für den Bodenfruchtbarkeitszustand; Zt. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 108, S. 123-128
- HANDLEY, W.R.C.: (1954), Mull and Mor formation in relation to forest soils; Forestry commission, London
- HARTMANN, F.: (1952), Forstökologie; Wien
- KUBIENA, W.L.: (1953), Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas; Stuttgart
- LANGKRAMER, O., SOBOTKA, A., KHOLOVA, H.: (1967), Mikrobiologische Erforschung der wichtigsten Waldtypen. Schlußbericht eines Forschungsauftrages; VÜLHM Strnady
- LEIBUNDGUT, H.: (1953), Beobachtungen über den Streuabbau einiger Baumarten im Lehrwald der ETH. Schweiz; Zt. Forstwes., 104., S. 179-192
- MEYER, F.H.: (1959), Untersuchungen über die Aktivität der Mikroorganismen in Mull, Moder und Rohhumus; Arch. Mikrobiol. 33, S. 149-169
(1964), The role of the fungus *Cenococcum graniforme* (Sow.) Ferd. et Winge in the formation of mor: Soil Micro-morphology, S. 23-31, Elsevier, Amsterdam
- MÜCKENHAUSEN, E.: (1959, 1962), Die wichtigsten Böden der Bundesrepublik Deutschland; Frankfurt/Main
- MÜLLER, P.E.: (1887), Studien über die natürlichen Humusformen; Berlin
- POCHON, J., De BARJAC, H.: (1958), Traité de microbiologie des sols; Dunod, Paris
- POST, H.v.: (1862), Studier öfver Nutidens koprogena jordbildningar, Gyttje, Dy, Torf och Mylla; Kgl. Svensk. Vetensh. Akad. Handl. 4., Stockholm
- WILDE, S.A.: (1966), A new systematic terminology of forest humus layers; Soil Sci., 101., 5, S. 403-407

- WITTICH, W.: (1953), Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit starker Regenwurmtätigkeit; Schriftreihe Forstl.Fak.Univ.Göttingen, Bd.9, Frankfurt/Main
- ZACHARIAE, G.: (1965), Spuren tierischer Tätigkeit im Boden des Buchenwaldes; Forstwiss. Forsch., H.20
- ZÖTTL, H.W.: (1960), Die Mineralstickstoffanlieferung in Fichten- und Kiefernbeständen Bayerns; Forstwiss.Centr. 79, S.221-236.

STOFFBEWEGUNG IM BODEN

von E. KLAGHOFER

Wenn wir von Stoffen und deren Bewegung im Boden sprechen, so meinen wir die Bewegung von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen, aber auch die Bewegung von Wärme.

Man kann den Boden aus bodenphysikalischer Sicht als heterogenes, mehrphasiges, aus Einzelteilen bestehendes, disperses und hohlraumreiches System definieren, bei dem die Grenzflächen pro Volumseinheit sehr groß sein können.

Aus der dispersen Natur des Bodens und der daraus folgenden Grenzflächenaktivität erklären sich die Phänomene Quellen, Schrumpfen, Dispersion, Aggregation, Adhäsion, Adsorption, Ionenaustausch usw. Ein Bodensystem besitzt fast immer drei Phasen: die feste Phase (das sind die Bodenteilchen), die flüssige Phase (das ist das Bodenwasser, das stets gelöste Substanzen enthält, so daß man besser von einer Bodenlösung spricht) und die gasförmige Phase (das ist die Bodenluft). Die Anordnung der festen Phasenteilchen, die in ihrer Größe, Form und Orientierung sehr unterschiedlich sein können, bestimmen den sogenannten Porenraum, in dem sich Wasser und Luft bewegen kann oder zurückgehalten wird. Die chemische bzw. mineralogische Zusammensetzung der festen Phase und die Porenraumverteilung mit ihrem Inhalt bestimmen die Leitung und Speicherung der Wärme.

Wärme ist zwar nicht ohne weiteres als "Stoff" zu erkennen, aber sie bewegt sich im Boden wie Wasser und Luft. Die Wärmebewegung im Boden hängt im wesentlichen von der Energiebilanz an der Bodenoberfläche und den thermischen Eigenschaften des Bodens ab. Die thermischen Bodeneigenschaften sind: die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität.

Die allgemeine Bewegungsgleichung der Wärme im Boden kann durch die nachfolgende physikalische Gleichung beschrieben werden:

$$q_w(z,t) = -\lambda \nabla T(z,t)$$

wobei

- W der Wärmefluß ($W \cdot m^{-2}$),
- z die Tiefe (m),
- t die Zeit (s),
- T die Temperatur (K), und
- λ die thermische Leitfähigkeit des Bodens oder die Wärmeleitfähigkeit ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) ist.

Die Gleichung besagt, daß die Wärmeströmung proportional dem Temperaturgradienten und der Wärmeleitfähigkeit ist. Dabei gilt diese Gleichung nur im eindimensionalen Bereich und in einem homogenen Boden.

Da die Erhaltungssätze in einem physikalisch abgeschlossenen System stets Gültigkeit haben müssen, muß bei der Strömung eines Stoffes in einem Medium das Kontinuitätsprinzip Gültigkeit haben, d.h. die Änderung des Gehaltes eines bestimmten Mediums an einem zu betrachtenden Element ist gleich der Differenz zwischen Zu- und Abfluß in das und aus dem Element:

$$\frac{\delta A}{\delta t} = - \frac{\delta q_z}{\delta z} \quad \text{Kontinuitätsgleichung}$$

$\delta A / \delta t$ ist die Änderung eines Mediums in der Zeiteinheit, wobei A (=Menge) auf die Volumseinheit bezogen ist.

Im speziellen lautet das Kontinuitätsprinzip bei der Wärmeströmung: die Differenz des Wärmeflusses in eine und aus einem Bodenelement mit der Stärke δz ist gleich der Speicherrate.

$$-\nabla q_w(z,t) = \rho c \frac{\delta T(z,t)}{\delta z}$$

ρ Dichte ($kg \cdot m^{-3}$)

c spezifische Wärme ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

ρc Wärmekapazität ($J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$)

Aus der Strömungsgleichung und der Kontinuitätsbedingung folgt dann (gültig nur für z):

$$\nabla[\lambda \nabla T(z,t)] = \rho c \frac{\delta T(z,t)}{\delta z}$$

Die spezifische Wärme c ist dabei jene Wärmemenge, die notwendig ist, die Masseneinheit eines homogenen Stoffes um 1 K zu erwärmen. Ihre Bestimmung kann mittels eines Mischkalorimeters erfolgen, wobei aus der Gleichung

$$(c_W m_W + c_B m_B) \Delta T = U \cdot I \cdot 0,24 \cdot \Delta t$$

nach Kenntnis der spezifischen Wärme des Kalorimeters (= Wasser + Rührer + Thermometer) die spezifische Wärme des Bodens bestimmt werden kann. Im Mittel lag diese für eine kolluviale Braunerde bei $0,80 \text{ (J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ und kann nach BAVER und anderen von $0,8$ bis $1,3 \text{ (J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$ schwanken.

Die Wärmekapazität C ist das Produkt aus der spezifischen Wärme und der Dichte. Sie ist somit jene Wärmemenge, die notwendig ist, um eine Volumeneinheit eines Stoffes um 1 K zu erwärmen.

Man kann auch bei nicht homogenen Materialien, wie z.B. dem Boden, die Wärmekapazität als die Summe der volumetrischen Wärmekapazität der Einzelkomponenten des Bodens, d.s. die Feststoffe, das Wasser und die Luft, betrachten.

$$C = \rho C = x_s \rho_s c_s + x_w \rho_w c_w + x_a \rho_a c_a$$

Für Mittelwerte von ρ_s , ρ_w und ρ_a folgt dann

$$\rho C = 0,46 x_m + 0,60 x_o + x_w$$

wobei x_o der organische Anteil ist und der Anteil der Luft infolge der Kleinheit seiner Masse vernachlässigt wurde. Eine praktische Berechnung für eine kolluviale Braunerde in Petzenkirchen ergab:

$$x_m = 0,50, \quad x_o = 0,045, \quad x_w = 0,455$$

Daraus ergibt sich eine ρC von $1,09 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$. Mit einer im Mittel bestimmten Trockenraumdichte von $1,33$ ergibt sich ein $\rho C = 1,33 \cdot 0,19 = 1,05 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$, das sehr gut mit dem vorangegangenen Wert übereinstimmt.

Die Wärmeleitfähigkeit λ ist jene Wärmemenge, die durch die Flächeneinheit in der Zeiteinheit infolge eines Temperaturgradienten von 1 K pro Längeneinheit fließt. λ kann an ungestörten Bodenproben bei verschiedenen Wassergehalten mittels der sogenannten Nadelmethode bestimmt werden. Dabei wird eine Nadel, die mit einem Thermoelement gekoppelt ist, in den Boden eingeführt und der Temperaturabfall gemessen. Aus der Gleichung von GOLOVANOV (cit. in [2]) kann λ errechnet werden:

$$\lambda = \frac{q}{4\pi\Delta T} \ln \frac{t_2}{t_1}$$

wobei

- λ die Wärmeleitfähigkeit,
- q die Wärmegabe der Nadel pro Längeneinheit der Nadel,
- T die Temperaturdifferenz, und
- t_2, t_1 die Zeit ist.

Die Temperaturleitfähigkeit κ ist gleich dem Quotienten aus der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität. Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit kann z.B. dadurch erfolgen, daß Temperaturprofile mittels Thermometer gemessen werden. Aus einer analytischen Lösung der allgemeinen Wärmeleitungsgleichung

$$\nabla[\lambda \nabla T(z,t)] = \rho c \frac{\partial T(z,t)}{\partial z}$$

in der Form:

$$T(z,t) = T_0 + A_0 \exp\left(-\frac{z}{D}\right) \sin\left(\omega t - \frac{z}{D}\right)$$

kann aus der Phasenverschiebung des Temperaturverlaufes

$$\varphi_z = \frac{z}{D}$$

D bestimmt werden und daraus

$$\kappa = \frac{\lambda}{\rho c} = \frac{D^2}{2}$$

Aus dem Zusammenhang zwischen der Temperaturleitfähigkeit und der Wärmeleitfähigkeit $\kappa = \frac{\lambda}{\rho c}$ kann nun λ errechnet werden.

Nach diesen Darlegungen über den Wärmetransport im Boden soll kurz über die Bewegung von Gasen im Boden berichtet werden.

Wenn wir von der Bewegung von Gasen im Boden sprechen, dann interessiert uns hauptsächlich der Austausch von CO_2 und O_2 zwischen den Bodenporen und der Luft der Atmosphäre. CO_2 wird im Boden durch mikrobielle Tätigkeit erzeugt und O_2 wird von den Bodenlebewesen konsumiert. Wie erfolgt nun der Austausch von Gasen zwischen Boden und Atmosphäre?

Untersuchungen von BUCKINGHAM und ROMELL ergaben, daß der Austausch von Gasen zwischen dem Boden und der Atmosphäre durch aerodynamische Strömungen, verursacht durch Unterschiede im Gesamtdruck (z.B. durch Luftdruckveränderungen, Temperaturunterschiede, Einfluß des Windes und Eindringen von Regen in den Boden), auf den gesamten Gasaustausch bei landwirtschaftlich genutzten Böden fast keinen Einfluß ausübt. Man nimmt allgemein an, daß die

Diffusion der alleinige Faktor ist, durch die der Luftaustausch erfolgt.

Was ist eine Diffusion? Eine Diffusion von Gasen ist der molekulare Transport von Gasen durch ein poröses Medium. Da sich zwei Gase infolge der Diffusion so lange durchmischen bzw. die Moleküle der Gase sich gleichmäßig im Raum verteilen, entsteht, da der Partialdruck von Sauerstoff in der freien Atmosphäre immer höher, der von CO_2 dagegen niedriger als in der Bodenluft ist, bei Sauerstoff ein Diffusionsstrom in Richtung Boden, bei CO_2 dagegen in Richtung Atmosphäre. Wodurch wird nun der Transport von Gasen durch den Boden beschrieben?

Die stationäre Diffusion eines Gases durch die Bodensäule, in der Gas weder absorbiert noch produziert wird, erfolgt nach dem ersten FICK'schen Gesetz (Bewegungsgleichung)

$$q = -D_0 \cdot \nabla c$$

wobei

| | |
|-------|--|
| q | die diffundierende Menge in $\text{g mol/cm}^2 \cdot \text{s}$ |
| D_0 | die Diffusionskonstante der betrachteten Stoffkomponente in der Luft in cm^2/g , und |
| c | die Konzentration der betrachteten Komponente der Bodenluft in g mol/cm^2 ist. |

Wenn für eine Zeit- und Volumseinheit eine Gasmenge produziert oder aufgenommen wird, gilt das Kontinuitätsprinzip. Daraus ergibt sich die allgemeine Bewegungsgleichung für Gase (zweites FICK'sches Gesetz):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_0 \nabla \cdot \nabla c = -D_0 \Delta c$$

wobei D_0 der scheinbare Diffusionskoeffizient der betrachteten Komponente im Boden ist. Der funktionelle Zusammenhang $D_0 = f(D)$ berücksichtigt die Verminderung des Diffusionskoeffizienten D_0 durch das Vorhandensein der Bodenfeststoffe und des Bodenwassers.

Es stellt sich nun die Frage nach der Größe des Diffusionskoeffizienten für O_2 . Eine in situ-Messung zur Bestimmung des Diffusionskoeffizienten für O_2 kann z.B. nach WILLEY und TANNER (cit. in [2]) mittels im Boden versenkter Elektroden vorgenommen werden. Es wandert dabei fast der gesamte O_2 -Gehalt zu der Kathode. Die Spannung ist dann eine Funktion der Abnahme von O_2 , die

ihrerseits eine Funktion der Diffusion von O_2 ist. Es muß noch erwähnt werden, daß die Diffusion von CO_2 in der Luft und im Boden eine Beschränkung durch die Porenform und die Querschnittsform erhält.

Mit Hilfe der genannten Bewegungsgleichung und der genannten Faktoren wird es möglich sein, für praktische Zwecke die transportierte CO_2 - und O_2 -Menge, die durch Diffusion im Boden bewegt wird, zu bestimmen. Die Lösung der Diffusionsgleichung wird jedoch derzeit nur bei einer Annahme von stationären Bedingungen in einfacher Weise möglich sein. Es genügt aber oft schon eine Abschätzung des Gasaustausches (z.B. bei der Versorgung der Pflanze mit O_2 durch Gasaustausch) mit Hilfe eines stationären Modelles. Instationäre Modellberechnungen können mit Hilfe von Computerprogrammen durch numerische Lösungen, bei denen man die Differentialgleichung in eine Differenzgleichung auflöst, herbeigeführt werden. Bei der stationären Betrachtungsweise ist nicht nur der Austausch von Gas, sondern auch der Gehalt an Gasen im Boden maßgeblich. Man spricht dann von der sogenannten Belüftungskapazität.

Dies ist jener volumetrische Luftgehalt, den ein Boden aufweist, dessen Bodenwasser einer bestimmten Saugspannung ausgesetzt ist. So fand BAVER für verschiedene Bodenarten folgende Belüftungskapazitäten bei pF 2,7 (Feldkapazität):

| | |
|---------------------|-------------|
| schluffiger Lehm | 0,13 - 0,15 |
| Ton | 0,12 - 0,15 |
| Lehm | 0,11 |
| sandig toniger Lehm | 0,09 - 0,13 |
| schluffiger Lehm | 0,10 |
| Quarzsand | 0,22 |

Die praktische Bedeutung der Kenntnis des Gasaustausches liegt in der Beantwortung der Frage: Wie stark ist die CO_2 -Anreicherung und die damit verbundene Sauerstoffabnahme in der Bodenluft? Ein zu hoher CO_2 -Gehalt im Boden sollte vermieden werden, weil schon bei ca. 5 % CO_2 -Gehalt nach SCHEFFER-SCHACHT-SCHABEL eine Verlangsamung des Wachstums einsetzt. Es ist außerdem zu trachten, daß ein starker CO_2 -Austausch erfolgt. Dies hängt von dem Diffusionskoeffizienten ab, der ja, wie erwähnt, von dem Porenanteil und seiner Verteilung unabhängig

ist. So kann ein Verdichtungshorizont, z.B. infolge einer Pflugsohlenbildung, eine starke Diffusionsabnahme bewirken. Durch eine solche Behinderung des Diffusionsvorganges kommt es zu einer starken CO_2 -Anreicherung, die schädigend wirken kann.

LITERATUR

- [1] BAVER, L.D., et al.: Soil Physics, 1972, J.Wiley u.S., New York
- [2] FEDDES, R.A.: Water, heat and crop growth, 1971, Mededelingen Landbouwhogeschool, Wageningen, Nederland
- [3] SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde, 1970, Verlag F.Enke, Stuttgart.

DIE BODENTEMPERATURVERHÄLTNISSE AM SÜDRAND DES TENNENGEbirGES -
ein Beitrag zum UNESCO-Programm Man and Biosphere
von H. RIEDL (Salzburg)

I. Aufgabenstellung und Bedeutung der Bodentemperaturen im Landschafts-
haushalt:

Die vorliegenden Untersuchungen stellen ein Teilergebnis im Rahmen des internationalen Unesco-Programmes MAB dar. Das Geographische Institut der Universität Salzburg ist an diesem Großprojekt mit dem Teilprojekt "Sameralm" beteiligt. Die Sameralm liegt an der Südflanke des Tennengebirges in einer Seehöhe von 1510 m im Gemeindegebiet von Werfenweng und wurde im Jahre 1973 durch die Universität Salzburg vom Österreichischen Alpenverein gepachtet; seither wurde sie zu einer alpinen Forschungsstation ausgebaut. Der Beitrag der Geographie zum internationalen MAB-Programm beschäftigt sich mit dem Prägemechanismus sozial- und wirtschaftsgeographischer Wirkfaktoren, namentlich auf die natürliche Umwelt des Menschen im Bereiche der hochmontanen-subalpinen Höhenstufe. Die bisherigen Untersuchungen (H. RIEDL 1974, 1978; H. TOLLNER 1977) bestanden einerseits in klima- und bodengeographischen sowie geologisch-geomorphologischen Grundlagenforschungen, andererseits in der Herausarbeitung des almgeographischen Strukturwandels, wobei festgestellt wurde, daß der seit mehr als 25 Jahren andauernde betriebswirtschaftliche Wandel von der arbeitsintensiven Sennerei (H. RIEDL 1976) zur arbeitsextensiven Galtviehhaltung mit verschiedenen Wandlungerscheinungen im physisch-geographischen Prozeßgefüge verbunden ist. Im bodengeographischen-geomorphologischen Sektor konnte festgestellt werden, daß der verringerte Viehtritt in bestimmten Arealen des subalpinen Weidegebietes zu einem Nachlassen der Tagwasserstau bedingenden Krumenverdichtung führte. Damit ist ein erhöhtes Versickerungsausmaß des Niederschlages verbunden. Auf mikromorphologischem Gebiet erwies es sich, daß durch den sozial-wirtschaftsgeographischen Strukturwandel das weidebedingte Kleinterrassenrelief zu vernarben beginnt und es andererseits durch partielles Überstocken der Weideflächen durch das Galtvieh zu Plaikenbildungen kommt. Auf vegetationsgeographischem Gebiet zeigte es sich, daß mit

der Verringerung der Viehauftriebszahlen und des Einzelviehgewichtes sich eine Tendenz zur Verdichtung der Legföhrenhorste und Zwergwacholderbestände abzeichnet, womit sich die alten subalpinen Kulturflächen allmählich zu schließen beginnen. Auch der tertiäre Fremdenverkehrssektor formte den subalpinen Lebensraum an der Südflanke des Tennengebirges, insbesondere im Bereiche des sanfteren Geländes der Werfener Schichten, entscheidend um. Zerfall der alten Agrargemeinschaftsalmen durch den Einzug des Zweithausphänomens und damit der Verstädterung, große Bodenerosionen im Schittrassenbereich mit Abdeckung der Oberböden, Beeinflussung der Waldränder durch Schuttabfuhr von Schubraupen aus dem Pistengebiet stellen einige Strukturwandelmerkmale dar.

In ein derartiges Gesamtwirkungsgefüge müssen die Bodentemperaturmessungen hineingestellt werden. Die Bodentemperaturverhältnisse spielen im Kräftehaushalt der alpinen Landschaften eine große Rolle. Die Bodenoberfläche nimmt Wärme vor allem aus der Strahlung, und zwar aus der direkten Strahlung der Sonne, aber auch aus der diffusen Kurzwellenstrahlung des Himmels und aus der langwelligen Gegenstrahlung auf. Da die atmosphärische Trübung in höherzonalen Lebensräumen abnimmt, gewinnt in unserem Untersuchungsraum der Strahlungsfaktor für die Erwärmung der Böden wesentlich an Bedeutung. Die Wärmeaufnahme des Bodens ist grundsätzlich auch abhängig von der Leitung und dem Austausch aus der Luft; dabei gewinnt die Lufttemperaturinversion in Abhängigkeit von der geomorphologischen Hohlformengebung besondere Bedeutung. In dieser Hinsicht ist auch der Typus des "warmen Hanges" (H. TOLLNER 1977, S.72) oberhalb der Temperaturinversion für unterschiedliche Wärmeaufnahmen des Bodens durch die Luft von Belang. Grundsätzlich kann der Boden ausschließlich durch Leitung auch Wärme aus den unter der Bodenoberfläche liegenden Schichten erhalten, wenn deren Temperatur über der der Oberfläche liegt. Ein nicht zu unterschätzender Faktor der Wärmeaufnahme der Oberfläche rekrutiert aus oberflächlichen Kondensationsprozessen (Reif, Tau) oder aus dem Auftreffen eines Niederschlages, der wärmer ist als die Bodenoberfläche. Bilanzmäßig steht der Wärmeaufnahme des Bodens die Wärmeabgabe durch Ausstrahlung gegenüber. Die Ausstrahlung (D. BERENYI 1967, S.286) stellt einen Prozeß dar, der Tag und Nacht andauert, während die Oberfläche an die Luft und die tieferen

Bodenschichten tagsüber Wärme abgibt, wenn sie wärmer als die darüber liegende Luft oder die tieferen Bodenschichten ist.

Im allgemeinen erweist es sich, daß der Bodentypus für die Bodentemperaturverhältnisse besondere Bedeutung besitzt. Unterschiedliche Bodentypen müssen auf Grund verschiedenartiger physikalischer Eigenschaften auch Unterschiede im Temperaturverhalten aufweisen, wobei in den konkreten Landschaften die Auswirkung der strahlungsbedingten, lufttemperaturbedingten und hygrisch bedingten Wirkfaktoren und der pedologischen Faktoren in den Bodentemperaturkurven integriert in Erscheinung tritt.

Bei der gegenständlichen Untersuchung geht es besonders um die Herausarbeitung der bodenmorphologischen Merkmale, die für die Gestaltung der Bodentemperaturverhältnisse wichtig sind; sie bestehen grundsätzlich, was den Wärmehaushalt anlangt, aus jenen Mengen Luft und Wasser, welche die internen Räume des Bodens ausfüllen. Dementsprechend sind die profilmorphologischen Merkmale Struktur und Porosität als besondere Kennzeichen herauszuarbeiten, weil durch beide die Wärme- und Temperaturleitfähigkeit der Bodenhorizonte stark beeinflusst wird. Luftgefüllte Poren setzen die quantitative Leitfähigkeit der Bodenhorizonte herab. Hingegen besitzt das Porenwasser ein 24fach höheres Leitvermögen als die Porenluft (D. BERENYI 1967, S.77). Die Temperaturleitfähigkeit ist auch von der Bodenart abhängig, ein Umstand, der für die Positionswahl der Temperatursonden neben anderen Faktoren von Bedeutung war. Das Ausmaß der Bodenluft, des Bodenwassers, die verschiedenen Körnungskategorien, die sich vor allem auf die profilmorphologischen Merkmale der Lagerung, Struktur, Porosität, Vergleyungsart und Schwere des Bodens auswirken, gewinnen also für die Erwärmung des Bodens Bedeutung. Die Erwärmung erfolgt allgemein umso schneller, je besser die Wärmeleitfähigkeit des Bodens und je kleiner dessen Wärmekapazität ist. So steht die Erwärmung der Bodenhorizonte grundsätzlich zur durch die genannten Merkmale bestimmten quantitativen Leitfähigkeit im geraden und zur Wärmekapazität im umgekehrten Verhältnis.

Die Ergebnisse der Bodentemperaturmessungen im Rahmen des MAB-programmes werden künftighin mannigfache beziehungswissenschaftliche Auswertungen erfahren. So sei hier angedeutet, daß die Bodentemperaturverhält-

nisse nicht nur einen wesentlichen Faktor der Energiebilanz des subalpinen Lebensraumes darstellen, sondern auch für die Bodengenese von großer Bedeutung sind. Größe der Amplituden, Andauer der Isothermie, Frostdurchgänge und absolute Höhe der Erwärmung sind für das bodengenetisch relevante Maß der chemischen und physikalischen Verwitterung von Belang.

Die Bodentemperaturverhältnisse wirken sich jedoch auch auf mannigfache landschaftliche Kräftefelder aus, vor allem auf die biogeographischen Verhältnisse. Diese erhalten verschieden gerichtete Dynamiken aus dem anthropogenen Kräftefeld (mittelalterliche Entwaldung, heutige sozialgeographisch bedingte Verwaldung etc.), so daß gerade im Rahmen der gesellschaftlichen Relevanz auch die natürlichen Prozessgrundlagen bekanntgemacht werden müssen. So ist beispielsweise die Keimung der Pflanzen von einer deutlich ausgeprägten Optimumskurve (H. AULITZKY 1961, S.450) abhängig, wobei sich die Lage des Optimums und der Keimungsbereiche bei den einzelnen Arten verschiebt. Ähnliches gilt für das Wurzelwachstum und die Wurzelatmung. Indirekt beeinflussen die Bodentemperaturen sogar den Kohlendioxidstoffwechsel. An der Obergrenze der subalpinen Region gewinnt das Ausmaß des Bodenfrostes besondere Bedeutung für die Kausalgenese der Baumgrenze, wenn bei Bodengefrorenis, aber bei relativ hohen Lufttemperaturen und damit verbundener erhöhter Transpiration der Gehölzpflanzen die Wassernachlieferung versagt und die physiologische Dürre (W. TRANQUILLINI 1957) zum limitierenden geographischen Faktor des Baumwuchses wird. Andererseits muß im Rahmen des Wechselwirkungsprinzipes festgestellt werden, daß auch die Vegetation die Bodentemperatur beeinflussen kann, wodurch der sozial- und wirtschaftsgeographisch gezündete Eingriff des Menschen in die Vegetationsdecke besonderes Gewicht erhält. Wald und Weide haben beispielsweise verschiedenartige Albedoverhältnisse, wodurch die Absorption der Globalstrahlung verschiedenartig verläuft.

Selbstverständlich haben die Bodentemperaturen für die morphodynamischen Prozesse eine wesentliche Bedeutung. Zusammen mit dem hygrischen Regime spielt der Bodenfrost bei der Frage der Genese des Mikroreliefs eine große Rolle, z.B. bei der Frage, inwieweit die frostdynamisch gelenkte Solifluktion bei der Abtragung der Kruste eine Rolle spielt, oder inwieweit Bodentemperaturmaxima

dunkler Böden Austrocknungserscheinungen bewirken, die dann mit Strukturverlusten und der Tendenz zu starker Abspülung verbunden sein können. In letzterem Fall kann die anthropogen gezündete Denudation im subalpinen Alpenraum zusammen mit einem natürlichen Systemtrend verheerende irreparable Landschaftsschädigungen nach sich ziehen.

Es könnten hier viele andere Beziehungen der Bodentemperaturen, die in den angewandten geographischen Sektor einmünden, angeführt werden. Es sei hier nur noch die Schnee- und Lawinenkunde erwähnt, die sowohl in ihrer Grundlagenforschung als auch in ihrer Prognosetätigkeit auf Bodentemperaturmessungen zurückgreifen muß, da es von Belang ist, ob die basalen Schneeschichten Bodenhaftung durch Frost aufweisen oder nicht. Andererseits bewirken dicke Schneedecken ein Auslöschen der Bodentemperaturamplituden.

Die gegenständlichen Messungen der Bodentemperaturen wurden mit einem Thiess-Autographen bewerkstelligt, dessen drei von Blei ummantelte Thermoelemente über 10 m lange Kabel mit drei Schreibarmen in Verbindung stehen. Diese zeichnen die Bodentemperaturen in drei verschiedenen Bodentiefen synchron auf einer monatlich um die Achse rotierenden und durch Uhrwerk angetriebenen Meßtrommel auf. Um die numerischen Auswertungen der Meßstreifen, die im Winter oft unter schwierigen Bedingungen allmonatlich ausgewechselt werden mußten, machte sich Herr Mag. rer. nat. Karl MUCKENHUBER sehr verdient. Verlistet wurden die Dreistundenwerte in drei verschiedenen Bodentiefen von insgesamt drei Meßstationen sowie die Tagesmaxima und -minima. Durch Berechnung wurden die Tagessummen, die Tagesmittel sowie die Summierung und Mittelung der Pentadenwerte der Dreistundenablesungen ermittelt. Ausgehend von den Summen der Pentadenmittel wurden die Tagesgangmittel für die Dreistundenwerte errechnet. Zuletzt wurden noch aus den Tagesmittel-Maxima und -Minima die jeweiligen Monatsmittel berechnet.

Da die alpine Forschungsstation Sameralp nicht ständig besetzt ist, sondern vom Laboranten des Geographischen Institutes nur periodisch aufgesucht werden kann, sind Ausfälle in den Instrumentenregistrierungen zu verzeichnen. Für die folgenden Ausführungen wurden daher die Registrierungen des Zeitabschnittes August 1974 bis Juli 1975 herangezogen, da hier der größte Vollständigkeitsgrad gegeben war.

II. Naturräumliche Charakterisierung des Bereiches der drei Bodentemperaturmeßstellen:

Es wurden drei Bodentemperaturschreiber in verschiedenen Höhenlagen installiert. Der tiefste Standort befindet sich im Stationsbereich Forcher in 980 m Seehöhe am Eingang der Wengerau. Diese Basisstation besitzt außerdem einen Ombrographen und Totalisator zur Niederschlagsmessung und einen Thermohygrographen zur Messung der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit. Die Mittelstation Sameralm liegt in einer Seehöhe von 1510 m in der Nähe des Dr. Hackel-Schutzhauses des Österreichischen Alpenvereins; diese Station besitzt zusätzlich einen Totalisator und Thermohygrographen. In 1700 m Seehöhe befindet sich die Station Jochriedel, die nur mit einem Thermohygrographen ausgerüstet ist. Die dritte Bodentemperaturmeßstation befindet sich jedoch nicht dort, sondern im Bereiche der Prokschhütte der Naturfreunde in einer Seehöhe von 1600 m.

Die Basisstation dieser Meßreihe liegt geomorphologisch gesehen am Ausgang eines der typischen Karstsacktäler der Kalkalpen, das im Niveau von 1000 m Höhe, ohne Vorhandensein eines fluviatilen Einzugsbereiches, in einfacher plumper Grundrißgestaltung an die Südflanke der aus Ramsaudolomit und Dachsteinkalk aufgebauten Altlandschaft des Tennengebirges stößt. Damit ist eine große Hohlform gegeben, deren Talschluß-Steilrelief eine relative Höhe von mehr als 1000 Höhenmeter überwindet, so daß nicht nur glaziale Sedimente die Felssohle mächtig verhüllen, sondern auch jüngere Bergsturz-Murenakkumulationen sich von der Seite her kegelförmig in das Sacktal ergießen. Lawinenbahnen dringen bis gegen die Sohle des Karstsacktales vor, wobei entlang der Schuttbahnen die Untergrenze der Latschen und Grünerlen extrazonal um fast 500 Höhenmeter tief in die zonale hochmontane Buchen-Tannenstufe herabgedrückt wird. Die Basisbodentemperaturmeßstelle Forcher liegt klimaräumlich gesehen in einer Landschaft, aus der die Kaltluft schwer abfließen kann, wobei durch den breiten Sohlencharakter eine große Ausstrahlungsfläche geboten wird. Dadurch kommt eine typische Eiskellerwirkung zustande.

Die bisherigen Auswertungen der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit (H. RIEDL 1978) ergaben, daß im Sommer bei morgendlichen bis vormit-

täglichen und hauptsächlich nächtlichen Lufttemperaturinversionen das Karstsacktal der Wengerau zu diesen Zeiten nicht nur kälter als die südexponierten Hänge der Mittelstation ist, sondern in diesen Zeiträumen auch eine höhere relative Luftfeuchtigkeit als diese aufweist. Später Vormittag, Mittag und Nachmittag des Sommers bringen bei starker Erwärmung der Luft in 2 m Höhe jedoch geringere relative Luftfeuchtigkeitswerte als den hochgelegenen kühleren südexponierten Hängen im Bereiche der Sameralm. Grundlegend anders bilden sich im Bereiche der Basisstation Spätherbst, Hochwinter und Spätwinter mit ihren Tages- und nächtlichen Lufttemperaturinversionen ab, wobei sich in diesen Jahreszeiten diese starken Inversionen generell mit einer höheren relativen Luftfeuchtigkeit als in etwa 1500 m Höhe verbinden. So kann auch aus der biogeographischen Extrazonalität der Wuchsformen von Legföhre und Grünerle eine winterliche luftfeuchte Eiskellerwirkung im Bereiche der Basisstation im Vergleich zu den überaus wärmebegünstigten südexponierten Hanglagen um 1500 m Höhe erschlossen werden, wobei in dieser Jahreszeit die Wärmebegünstigung der Höhe sogar noch bis 1700 m Höhe reicht. Die Kühlwirkung der großen Hohlform geht nicht einmal in den sommerlichen Nächten verloren. Für 1975 ergab sich im Bereiche der Basisstation ein Ombrographenniederschlag von 1340 mm, wobei 636,9 mm im Sommer, 314,8 mm im Frühjahr, 172,0 mm im Herbst und 216,4 mm im Winter fielen. Dem markanten Julimaximum von 316 mm Niederschlag steht ein sekundäres Niederschlagsmaximum im Jänner mit 163,0 mm gegenüber. Es ist bezeichnend, daß auf die Frühjahrsmonate 23,5 %, auf die Herbstmonate aber nur 12,8 % des Jahresniederschlages entfielen. Für den relativ trockenen Herbst sind wetterlagenmäßig vor allem Hochdrucklagen und weiträumige Höhenströmungen hauptsächlich aus Südwest verantwortlich zu machen.

Die Bodentemperaturmeßstelle Sameralm liegt auf der Verflachung eines 25 Grad geneigten, nach Süden exponierten konvexen Hanges inmitten des milderen Sockelgeländes, das von leichten verwitterbaren Werfener Schichten aufgebaut ist. Eine seit dem Hochmittelalter etablierte Almenzone, die sich an das größere Bodenangebot und den Quellenreichtum des Sockelgeländes unter dem verkarsteten Kalkstockwerk knüpft, drückt die Waldgrenze stellenweise bis unter 1400 m Seehöhe hinab. An Stelle lichter, tief subalpiner Fichten-Lärchenwälder

entstand so ein ausgedehntes und weitgehend baumfreies, von Buckelwiesen und Viehgangeln facettiertes Hanggebiet, das von Bürstlinggrasen (*Aveno-Nardetum*) und Zwergwacholderhorsten überzogen ist. Dort, wo in die Hangformung Kalk miteinbezogen ist, bzw. wo es zu massiven allochthonen Kalküberschüttungen des Sockelgeländes der Werfener Schichten aus dem höheren Kalkwand- und Dolomitschrofelgelände kam, stellt sich an Stelle der subalpinen Wälder eine Blaugrashalde (*Seslerion-Semperviretum*) in extrazonaler Position ein (H. HARTL 1976), denn zonal tritt diese Blaugrashalde erst in der alpinen Stufe auf. So liegt also, lebensräumlich gesehen, die Bodentemperaturmittelstation Sameralm in dem potentiellen Übergangsstadium der hochmontanen Buchen-Tannenstufe zur subalpinen Fichten-Lärchenstufe. Klimaräumlich gesehen ergab die Auswertung der Thermohygrographstreifen für das Jahr 1974 ein Lufttemperaturjahresmittel von 3,4 °C, wie das Jahresmittel im Bereiche der Basisstation Forcher lautet, womit Inversion in der Tiefe und außerordentliche Begünstigung der Sameralm andererseits ersichtlich sind.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Lufttemperaturverhältnisse des Jahres 1974 im Vergleiche der beiden Stationen Sameralm (SA) und Forcher (F).

Tabelle 1: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur 1974

| Jahres- mittel | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. |
|-------------------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| SA 3,4 | -0,4 | -1,4 | 1,6 | 1,5 | 4,4 | 6,9 | 10,2 | 13,1 | 9,5 | -1,4 | -0,4 | -2,4 |
| F 3,4 | -5,5 | -2,7 | -1,1 | 1,6 | 5,7 | 6,9 | 11,7 | 14,9 | 10,5 | 1,1 | 0,4 | -3,0 |

Aus Tabelle 1 ist zu ersehen, daß sogar im Monatsmittelwert die Mittelstation Sameralm überaus lufttemperaturbegünstigt in Erscheinung tritt. Die unbewaldeten, südschauenden konvexen Steilhänge im Bereiche der Station Sameralm ragen in der kälteren Jahreszeit häufig aus dem Kaltluftreservoir der Wengerau heraus. In der wärmeren Jahreszeit (H. TOLLNER 1977, S.67) bilden sich vor allem bei einer instabilen thermischen Schichtung der Luft der freien Atmosphäre thermische Aufwinde, auf-, aber auch absteigende Luftquanten, häufig sogar in einem bestimmten Rhythmus aus. Infolge der tagsüber zunehmenden Einstrahlung treten die thermischen Aufwinde bis über Mittag hinaus zunehmend intensiver auf.

Die Wärmegunstsituation im Bereiche der Sameralm wird ferner noch dadurch verstärkt, daß dorthin außer hangparallelen Luftströmungen und lebhaft hangaufwärts ziehenden Winden der Allgemeinzirkulation auch Luftmassen gelangen, die vom Tennengebirgsplateau föhnartig herabziehen. Als Summenwirkung solcher Faktoren ergibt sich im Bereiche der Sameralm das markante Phänomen des "warmen Hanges", auf dem gepflanzte Erdbeeren blühen und fruchten.

Die große lebensräumliche Differenzierung der beiden Stationen Forcher und Sameralm ergibt sich besonders klar aus der Berechnung der Monats- und Tagesgangmittel des Lufttemperaturgradienten im Jahre 1974 (H. TOLLNER 1977, S. 70) zwischen beiden Stationen pro 100 Höhenmeter. Da zeigte sich, daß im Tagesverlauf die vertikalen Temperaturgradienten im Jahresdurchschnitt von 10 bis 18 Uhr positiv und von 20 bis 8 Uhr negativ verliefen. Wie auch aus Tabelle 1 abgeleitet werden kann, ergab sich im Jänner 1974 ein maximaler negativer Gradient von $-0,8^{\circ}$ pro 100 Höhenmeter.

In halber Höhe zwischen Sameralm und Jochriedel befindet sich die Bodentemperaturmeßstelle Prokschhaus, wofür die Lufttemperaturverhältnisse des Jochriedels mit in Erwägung gezogen werden müssen. Die Station Jochriedel befindet sich auf einem NW-SE verlaufenden Kamm im Werfener Schichtenbereich, der mit scharfer Kantenbildung an das Runsen-Dreiecks-Hangsteilrelief des höheren Dolomitstockwerkes stößt. Der Kamm zeigt asymmetrisches Querprofil, denn er fällt unter Plaikenbildung sehr steil zum obersten Lammertal ab, während seine SW-Abdachung sanfter verläuft. Lebensräumlich gesehen liegt die 1700 m hohe Meßstelle Jochriedel am Übergang der mittelsubalpinen Lärchen-Fichtenstufe zum geschlossenen hochsubalpinen Legföhrengürtel, der mit aufrechten Zwergsträuchern vergesellschaftet ist. Klimatisch gesehen unterscheidet sich die Station Jochriedel von der um 190 m tiefer gelegenen Station Sameralm hauptsächlich dadurch, daß auf dem Hochriedel - und dies gilt weitgehend ebenso für die Bodentemperaturmeßstelle Prokschhaus - die Luftströmung des allgemeinen Luftdruckgefälles vorherrscht, wobei der Höhenwind allenfalls etwas in der Richtung durch den Steilabfall des Tennengebirges abgelenkt werden kann. Trotzdem kann der Hochriedel auch von schräg aufwärtsziehenden Warmluftblasen der thermischen Vertikalzirkulation erreicht werden. Die Ermittlung

der Tagesgangmittel der Temperaturunterschiede pro 100 Meter zwischen Sameralm und Jochriedel im Jahre 1974 (H.TOLLNER 1977, S.68) ergab, daß von April 1974 (seit Vorliegen erster zuverlässiger Lufttemperaturmessungen auf dem Jochriedel) bis Dezember 1974 im monatlichen Durchschnitt Differenzen zwischen $0,32^{\circ}$ bis $0,80^{\circ}/100$ Höhenmeter sich einstellen. Als Mittelwert der Temperaturunterschiede ergab sich für die untersuchten 9 Monate $0,5^{\circ}$. Der Jochriedel erweist sich im Beobachtungszeitraum in einzelnen Stunden, vor allem abends, nachts und am Morgen, gelegentlich wärmer als die Sameralm. Wenngleich aus den mittwinterlichen Hochnebeldecken, die aus dem Salzachtal in die Wengerau hineinlappen, erschlossen werden kann, daß die Obergrenze der Kaltluftschicht der Temperaturinversion nur selten höher liegt als 1350 bis 1400 m, so kann sich bei Strahlungswetter manchmal die Sameralm noch in der Inversionsschicht befinden, die den Jochriedel aber nicht mehr erreicht. Andererseits stellt sich mitunter bei witterungsbedingter Überhitzung der Hänge bei der Sameralm ein starker Temperaturabfall gegen den Hochriedel ein.

III. Die bodengeographischen Verhältnisse der drei Bodentemperaturmeßstellen und die pedologische Lage der Temperatursonden:

Wie eingangs betont wurde, spielen bodenmorphologisch - typologische Rahmenbedingungen für die Bodentemperaturverhältnisse eine große Rolle. Die folgenden Ausführungen bringen katalogmäßig bodentypologische Kurzbeschreibungen. Es wird betont, daß die Diagnosen der profilmorphologischen Merkmale unmittelbar im Felde an Hand von künstlich ausgehobenen Profilgruben getätigt wurden. Die Farbbestimmungen erfolgten mit Hilfe der Munsell Soil Colour Charts im Zustande der Fließgrenze. Im gleichen Zustande wurden durch Fingerprobe Bodenart, Plastizität und Klebrigkeit ermittelt.

1) Basisstation Forcher:

Seehöhe 980 m, breiter Karstsacktalboden mit Neigung von 1 bis 2° nach SW. Witterung am Aufnahmedatum, dem 22.8.1977: nach nächtlichem und vormittägigem Dauerregen Schauerbewölkung mit Strichregen. Vegetation: Kunst-Wiese. Muttergestein: Werfener Schichten, Bodentyp: Braunerdekolluvium.

- A₁-Horizont: 0-15 cm, feucht, 10 YR 4/2, stark lehmiger Sand, grusig, vereinzelt steinig, stark humos (Mull), karbonathaltig (nicht nachhaltig aufbrausend), deutliche Krümelstruktur mit Krümeldurchmesser 1-2 mm, lockere Lagerung (Schau-felboden), mehrere Poren, plastisch und klebend, keine Fleckung und Konkretionen, schwach durchwurzelt, schwach belebt
- A₂-Horizont: 15-35 cm, feucht, 10 YR 4/3, sandiger Lehm, zu 30 % des Horizontvolumens von Steinen mit 2 cm durchschnittlicher Längsachsenlänge durchsetzt, humos, karbonatfrei, kantengerundete, 2 cm große blockige Aggregate, normale Lagerung (Stichboden), stark porös, plastisch und stark klebend, weder Fleckung noch Konkretionen, keine Durchwurzelung, schwach belebt
- (B) C₁-Horizont: 35-55 cm, feucht, 10 YR 5/4, toniger Lehm, zu 70 % des Horizontvolumens von Steinen mit durchschnittlicher Längsachsenlänge von 3,5 cm durchsetzt, humusfleckig, karbonathaltig, kantenscharfe kleinblockige Aggregate mit Durchmesser 1 cm, dichte Lagerung (Krampenboden), viele Poren, stark plastisch und stark klebend, mehrere deutliche Verwitterungsflecken, keine Konkretionen, keine Durchwurzelung, vereinzelte Wurmröhren
- C₂-Horizont: ab 55 cm, Schutt aus roten Tonschiefern und grauen Sandsteinen (Werfener Schichten), ferner Gutensteiner Kalk und Ramsaudolomit. Verhältnis der kalkigen zu den nicht kalkigen Komponenten 1:2. Das Substrat stellt fluviatil umgelagerten Murenschutt dar.

Das Gesamtprofil läßt eine kolluviale Humusanreicherung erkennen. Im A₁-Horizont dürfte anthropogene Aufkalkung vorliegen. Der (B)-Horizont wurde gekappt, so daß ein Stockwerkprofil vorliegt. Die kolluviale Humusanreicherung ist weitgehend anthropogen bedingt; der Standort wurde vor 30 Jahren noch als Erdäpfelacker genutzt.

Die oberste Temperatursonde liegt in einer Tiefe von 9 cm, sohin im A_1 -Horizont, der sich von den tieferen Horizonten durch leichtere Bodenart, geringere Porosität und geringeren Steingehalt unterscheidet. Die nächst tiefere Sonde befindet sich in 27 cm Tiefe im A_2 -Horizont, der der Bodenart nach und im Steingehalt eine Mittelstellung zu den tieferen Horizonten einnimmt; auch in der Porosität gleicht er mehr dem Unterboden als dem hangenden Horizont. Die tiefste Sonde befindet sich an der Unterkante einer allerdings von vielen Poren durchsetzten tonigen Lehm-Steinpackung nahe zum C_2 -Schutthorizont in einer Tiefe von 55 cm.

2) Mittelstation Sameralm:

Seehöhe 1510 m, 4° geneigte Verflachung im Hüttenbereich, nach S exponiert inmitten 25° geneigter Hänge. Witterung am Aufnahmetag, dem 22.8.1977: nach nächtlichem Dauerregen am Vormittag Nieselregen, Wolkenuntergrenze 1600 m. Vegetation: Nardetum mit starker Beteiligung von Lägerbeständen. Bodentypus: kolluvial beeinflusster, tagwasservergleyter Eisenpodsol über fossilem pseudovergleytem Podsol- B_s -Horizont.

- A_1 -Horizont: 0-10 cm, feucht, 7,5 YR 4/2, stark schluffiger Lehm, grusig, humos, vereinzelt Holzkohlenschmitzen, keine Karbonate, undeutlich krümelig, normale Lagerung, vereinzelt Poren, nicht plastisch, aber klebend, mehrere undeutliche Rostflecken mit 1 mm Durchmesser, keine Konkretionen, Wurzelfilz, schwach belebt
- A_{2e} -Horizont: 10-39 cm, naß, 10 YR 4/3 (Mischfarbe), schwach schluffiger, sandiger Lehm, grusig, Steingehalt (Größe 1,5 cm) bei 40 Volumsprozenten des Horizontes, schwächst humos, karbonatfrei, undeutliche kantenscharfe blockige Aggregate, dichte Lagerung, nicht plastisch, klebend, mehrere deutliche Rost- und Manganflecken mit Durchmesser von 2-3 mm, im unteren Teil des Horizontes viele deutliche Fahlflecken mit Durchmesser 1-2 cm, vereinzelt Mangankonkretionen mit Durchmesser von 2 mm, sehr schwache Durchwurzelung und schwache Belebung

- $B_{1\text{sg}}$ -Horizont: 39-75 cm, naß, 10 YR ... , schwach toniger Lehm mit Steingehalt von 50 Volumsprozentsen, schwächst humos, entlang von Wurmröhren Humusfilme, keine Karbonate, Struktur massiv, dichte Lagerung, einzelne Poren, plastisch, klebend, einige undeutliche Verwitterungsflecken, einige deutliche Rost- und Manganflecken (1 mm), keine Konkretionen, sehr schwache Durchwurzelung, aber einige Regenwurmröhren mit frischer Losung
- $B_{2\text{sg foss}}$ -Horizont: ab 75 cm, feucht, 10 YR ... , schwach lehmiger Ton, schwach grusig, einige Steine, Humusfilme entlang vereinzelter Röhren, keine Karbonate, deutliche kantenscharfe blockige Aggregate (Durchmesser 3-5 cm), dichte Lagerung, einzelne Poren, stark plastisch, stark klebend, mehrere deutliche Gleyflecken, keine Konkretionen, Wurzeln auslaufend, schwache biologische Tätigkeit.

Es liegt ein Stockwerkprofil vor, das eine erste Podsolgeneration ($B_{2\text{sg foss}}$) erkennen läßt. Der Oberboden der ersten Podsolgeneration ging durch Kappung verloren. Über der Inhomogenitätsfläche entstand ein jüngerer Eisenpodsol ($B_{1\text{sg}}$). Hinsichtlich der aktuellen Bodendynamik fungiert der fossile Illuvialhorizont als Staukörper, wobei der rezente Podsol in die Stauzone eingebunden wird, so daß gesamtheitlich bereits von einer alpinen Pseudogleydyamik gesprochen werden könnte.

Der oberste Temperaturfühler liegt in einer Tiefe von 10 cm, also am Übergang des A_1 -Horizontes zum Eluvialhorizont, d.h. am Übergang der normalen Lagerung zur Dichtlagerung und damit am Übergang zur Tagwasservergleyung einerseits und zur Stoffverarmung andererseits. Das nächst tiefere Thermoelement befindet sich in einer Bodentiefe von 30 cm, d.h. im unteren Teil des rezenten Eluvialhorizontes. Der tiefste Fühler befindet sich in einer Tiefe von 70 cm, das entspricht dem unteren Teil des rezenten Illuvialhorizontes mit seiner massiven Struktur, großem Steingehalt, bindigerer Bodenart und episodischem starkem Wasserstau. Der unterste Temperaturfühler liegt bereits nahe dem Staukörper (B_2), der die größte Bindigkeit von allen beschriebenen Horizonten bei fast völliger Grobstofffreiheit aufweist.

3) Station Prokschhaus:

Seehöhe 1600 m, Mikrodelle des Buckelwiesengeländes, Neigung 1° gegen NE, weidebeeinflusste Blaugrashalde - lichte Lärchenbestände. Witterung am Aufnahmetag, dem 22.8.1977: nach nächtlichem Dauerregen leichter Nieselregen, Wolkenuntergrenze bei 1800 m. Bodentypus: Pararendsina.

- A_1 -Horizont: 0-5 cm, feucht, 5 YR 3/2, schluffiger, schwach lehmiger Sand mit Volumsanteil von 20 % an 2,5 cm langem Schutt, stark humos, schwach karbonathaltig, feinkrümelige Struktur, normale Lagerung, stark porös, nicht plastisch, nicht klebend, weder Fleckung noch Konkretionen, Wurzelfilz, stark beiebt
- A_2 -Horizont: 5-20 cm, trocken, 7,5 YR 3/2, lehmiger Sand, vereinzelt 2 cm großer Schutt, stark humos, schwach karbonathaltig, deutlich kantenrunde, 1 cm große blockige Aggregate, normale Lagerung, einzelne Poren, nicht plastisch, nicht klebend, weder Fleckung noch Konkretionen, keine Wurzeln, schwach belebt
- C_1 -Horizont: ab 20 cm, Gutensteiner Dolomit mit brecciösem Habitus, von zahlreichen Spalten durchzogen, die mit A_2 -Material gefüllt sind. Zwischen den Fugen mittelgroße quaderförmige Schuttabsonderung.

Die oberste Temperatursonde liegt in einer Tiefe von 5,5 cm am Übergang des A_1 -Horizontes zum A_2 -Horizont, für den der Verlust der Krümelstruktur, die Minderung der Porosität sowie die Abnahme des Grobstoffgehaltes bezeichnend sind. Die mittlere Temperatursonde befindet sich in 18 cm Bodentiefe, in einer Zone, in der sich der A_2 -Horizont gegen den schuttartigen C_1 -Horizont absetzt. Die dritte Sonde in 40 cm Tiefe ist inmitten eines Überganges, nämlich der sukzessiven Schuttablösung aus dem anstehenden Gutensteiner Dolomitfels, situiert, wobei größtenteils bereits Felstemperaturen bei einer geringfügigen Bodenüberlagerung angezeigt werden.

IV. Der Bodentemperaturverlauf:

1) Der Jahresgang der Monatsmittel der Bodentemperaturen:

A) Station Prokschhaus

Abb. 1 zeigt den Jahresgang der Monatsmittel. Für das Kurvenbild ist breite "Trogsohlenform", die sich zwischen Oktober und Mai einstellt, charakteristisch. In diesem Zeitraum nehmen die Bodentemperaturen mit wachsender Tiefe des Bodens zu. Das tiefste Monatsmittel in 5,5 cm Tiefe stellt sich mit $0,6^{\circ}$ im März und in gleichem Maße im April ein, wobei gegenüber dem tieferen Lufttemperaturmittel von $-2,7^{\circ}$ im Februar ein Nachhinken um ein bis zwei Monate besteht. In 18 cm Tiefe liegt das tiefste Monatsmittel bei $0,8^{\circ}\text{C}$ zwischen Februar und April. In 40 cm Tiefe herrscht die deutlichste Verschiebung des geringsten Monatsmittels von $0,8^{\circ}$ ausschließlich in den April. Außerhalb dieser Trogsohlenmulde nehmen die Bodentemperaturen mit wachsender Bodentiefe ab. Dabei sind die Bodentemperaturen fast aller Tiefen von August–April höher als die Lufttemperatur, während sie von der ersten Aprilhälfte an bis in die zweite Maihälfte hinein in allen Tiefen unter den Werten der Lufttemperatur liegen. Zwischen der zweiten Maihälfte und der Augustmitte jedoch erwärmt sich der Boden in 5,5 cm und 18 cm Tiefe stärker als die Lufttemperatur. Der Felsschutzsockel der Pararendsina ist in diesem Zeitraum weiterhin allerdings geringfügig kälter als die Lufttemperatur. In diesem Mittfrühjahrs-sommerlichen Gang der Bodentemperaturen wird in allen Bodentiefen das höchste Monatsmittel im August erreicht u. zw. in 5,5 cm Tiefe mit $14,4^{\circ}$, in 18 cm Tiefe mit 13° und in 40 cm Tiefe mit $12,2^{\circ}$. Im Gegensatz zur Herbst-Winter- und Vorfrühjahrsphase, in der die Lufttemperatur bis zu $5,3^{\circ}$ tiefer als die Bodentemperatur in 5,5 cm Tiefe zu liegen kommt, herrscht in der Mittfrühlings-Sommerphase bei einem höchsten Lufttemperaturmittel von $12,8^{\circ}$ im August weder eine zeitliche Verschiebung der Monatsmaximabildung zwischen Luft- und Bodentemperatur noch eine derart große graduelle Differenz zwischen beiden wie bei dem anderen Phasentypus.

Wie Abb. 2 zeigt, fügt sich in obige Charakterisierung auch das Bild des Jahresganges der mittleren monatlichen Tagesschwankung ein, da sich im Oktober bereits ein bedeutendes Schrumpfen der mittleren Tagesamplituden bemerkbar macht und von November bis April überhaupt Isothermie in allen sondierten

Bodentiefen der Pararendsina herrscht. Man erkennt sehr eindringlich, daß mit der raschen Bodenerwärmung von Mitte April an auch ein sprunghaftes Heraussteigen der Bodentemperaturen aller Tiefen aus der generalisierten Isothermie des Spätherbstes, des Winters und des zeitigen Frühjahres stattfindet, wobei bis Juli in allen Tiefen die Tagesschwankungen ständig zunehmen. In der geringsten Bodentiefe von 5,5 cm allerdings wird das Maximum der mittleren Tagesschwankung mit $3,5^{\circ}$ im August erreicht, während die Maxima der Amplitudenmittel in 18 cm Tiefe und in 40 cm Tiefe mit jeweils $1,5^{\circ}$ und $0,9^{\circ}$ bereits im Juli erreicht werden.

So resultieren aus den bisherigen Kurvenbildern folgende Erkenntnisse:

- a) Die bedeutende Schneedecke bewirkt in 1600 m Höhe im Pararendsinnenmilieu der subalpinen Höhenstufe nicht nur ein Auslöschen der Tagesschwankungen, sondern auch bei der langen Andauer von Oktober bis April infolge der enormen Isolierungswirkung kein Absinken der Bodentemperaturen in Tiefen von 0 bis 5 cm unter 0° . Damit wird im zeitlichen Bereich des Trogsohlentyps jede morphodynamisch wirksame Frosttätigkeit unterbunden. Die Lufttemperaturkurve, die ja in 2 m Höhe über dem Boden gemessen wird, gibt zu völlig falschen Schlüssen Anlaß, da sich diese unter der 0° Linie bewegt. Morphodynamisch gesehen kann somit festgestellt werden, daß frostdynamische Vorgänge an der Bildung von Kleinstterrassen und Buckelwiesen im subalpinen Gelände nicht beteiligt sein können. Diese Formen stellen sohin Konvergenzerscheinungen zu frostdynamischen Kleinformen der alpinen Stufe oberhalb der Baumgrenze dar.
- b) Es resultiert aus dem Gang der Monatsmittel, daß das Einpendeln der Bodentemperaturen auf das isothermale, positiv angehobene Temperaturniveau im Herbst einen längeren Zeitraum in Anspruch nimmt als die abrupte Erwärmung des gesamten Bodens im Spätfrühjahr, in dem infolge des bereits hohen Sonnenstandes bei dem späten Abschmelzen der Schneedecke der Boden bereits einen hohen Grad an Einstrahlung erfährt.
- c) Es zeigt sich eine streng periodische Wärmebewegung in den verschiedenen Bodenhorizonten. Es kann daraus geschlossen werden, daß in der Herbst-Winter-Spätfrühjahrsphase, in der der Boden mit zunehmender Tiefe wärmer

wird, der Prozeß der Wärmeleitung überwiegt, mit dessen Hilfe die oberen Bodenschichten Wärme aus den unter ihr liegenden Schichten erhalten, da deren Temperatur über der der Bodenoberfläche liegt. Allerdings wird, wie Abb. 1 zeigt, dieser Wärmeleitungsprozeß im zeitlichen Frühjahr bei Annäherung aller Bodentiefentemperaturen bereits merklich abgeschwächt; zugleich steigen die Lufttemperaturen an. In der Spätfrühlings-Sommerphase, in der mit zunehmender Bodentiefe die Bodentemperaturen abnehmen, findet zunächst durch Einstrahlung, dann aber auch durch Wärmeaustausch aus der Luft während der ersten Aprilhälfte bis in die zweite Maihälfte hinein eine starke Wärmeaufnahme des Bodens statt, da in dieser Initialphase die Luft wärmer als die Bodenoberfläche ist. In der übrigen Zeit des sommerlichen Phasentyps gibt die Bodenoberfläche durch Ausstrahlung Wärme an die Luft, aber auch an die tieferen Bodenschichten ab, da die beiden A-Horizonte der Pararendsina wärmer sind als die darüberliegende Luft, aber auch sich wärmer verhalten als der in Schutt sich auflösende Dolomitmfels, der die Pararendsina trägt.

B) Station Sameralm

Das Jahresgangsdiagramm in Abb. 3 mußte mit Hilfe der Interpolationsmethode erstellt werden, weil durch technische Ausfälle der Instrumente und Betreuungsschwierigkeiten infolge akuter Lawinengefahr ein Datenausfall zu verzeichnen war. Allerdings wiegen die hoch- und spätwinterlichen Ausfälle infolge der einfachen Isothermien nur gering. Abb. 3 zeigt den Jahresgang der Monatsmittel für die einzelnen Sondertiefen. Für das Gesamtkurvenbild ist nicht mehr eine breite unterschrittene Trogsohlenform bestimmend, sondern eine bereits eingeeengte "Muldenform". Diese Mulde spannt sich zwischen Oktober und Mai aus. Zum Unterschied zur Station Prokschhaus besteht nun nicht mehr der einfache 2-phasenförmige Verlauf der Bodentemperaturen, vielmehr treten hier Verkomplizierungen ein. Eine Ähnlichkeit zum Phasentyp des Winterhalbjahres der Meßstelle Prokschhaus können wir hier nur in der Zeit von Mitte September bis Dezember beobachten, wodurch der Herbst recht klar hervortritt, weil mit wachsender Bodentiefe die Bodentemperaturen linear abnehmen. Ab Dezember hingegen steigen die Bodentemperaturen in der Tiefe von 30 cm relativ an, so

daß sie höher liegen als in der Tiefe von 70 cm. Im Februar beispielsweise erreicht die Bodentiefe von 10 cm mit dem Monatsmittel von 0° den tiefsten Wert, während dieser in 70 cm Tiefe mit $0,6^{\circ}$, in 30 cm Tiefe aber mit $1,5^{\circ}$ erreicht wird. Dieses Verhalten dauert von Dezember bis April an. Ab diesem Monat steigt die Bodentemperatur in 10 cm Tiefe rascher und höher an als in 70 cm Tiefe. Sie liegt jedoch noch unterhalb der Bodentemperatur in 30 cm Tiefe, die immer noch als Wärmespeicher fungiert. Erst ab Mai ist dieses in drei Unterabschnitte gliederbare Winterhalbjahr beendet, und das Sommerhalbjahr, wie es uns in der Meßstelle Prokschhaus mit der stetigen Zunahme der Bodentemperaturen mit wachsender Bodentiefe entgegentritt, stellt sich nun auch hier ein. Die Sommerphase dauert bis in die zweite Hälfte des August an. Von dieser bis Mitte September schaltet sich eine spätsommerliche Zwischenphase ein, in der das Verhalten der Bodentemperaturen zwischen April und Mai nachgeahmt wird. Auch in der spätsommerlichen kurzen Übergangsphase liegt die Bodentemperatur in 30 cm Tiefe mit $11,8^{\circ}$ höher als in 10 cm Tiefe mit $11,4^{\circ}$, aber auch höher als in 70 cm Tiefe mit $10,9^{\circ}$. In Tabelle 2 wird nun versucht, für alle drei Stationen eine Phasentypologie zu erarbeiten.

TABELLE 2

Phasentypologie des Jahresganges der Bodentemperaturmonatsmittel

| Station | Monate | Phasentyp | Verhalten der Bodentemperaturen |
|--------------|--|--|---|
| SA P F | Mai-2.H.Aug. Mai - Sept. April-Sept. | Mittfrühlings- Sommertyp (I) | regelhafte Temperaturabnahme mit wachsender Bodentiefe |
| SA P F | Mitte Sept.- Dez. Sept.-April -- | Herbst - Wintertyp (II) | regelhafte Temperaturzunahme mit wachsender Bodentiefe |
| SA P F | 2.H.Aug.- Mitte Sept. -- Sept.-Okt. | Spätsommer- Frühherbst- typ (IIIa) | mittlere Bodenschichten sind wärmer als tiefere und höhere. Die letzteren passen sich ein in I. |

TABELLE 2 (Fortsetzung)

| Station | Monate | Phasentyp | Verhalten der Bodentemperaturen |
|--------------|---|--|--|
| SA P F | April-Mai -- März-April | Frühlingstyp (IIIb) | mittlere Bodenschichten sind wärmer als tiefere und höhere; die letzteren passen sich ein in I. |
| SA P F | Mitte Dez. - April -- Okt. - Mai | Herbst- Winter- Frühjahrstyp (IV) | mittlere Bodenschichten sind wärmer als tiefere und höhere; die letzteren passen sich ein in II. |

SA = Mittelstation Sameralm, P = Gipfelstation Prokschhaus, F = Basisstation Forcher.

Verglichen mit der Meßstelle Prokschhaus besteht im Bereiche der Meßstelle Sameralm demnach nur hinsichtlich der Phasen I und II bzw. IIIb Äquivalenz der Merkmale. Tabelle 2 läßt grundsätzlich erkennen, daß die Typen III und IV keine alleinigen Individualfälle darstellen, sondern durch ihre partiellen Einpassungserscheinungen sehr deutlich zeigen, daß sie trotz der Individualität der Mittelschichten Beziehungen zu vorhergehenden Zeitabschnitten bzw. Zusammenhänge mit nachfolgenden Entwicklungen aufweisen. So stellt der spätsommerliche Phasentyp IIIa ein Ausklingen des Phasentypes I dar, und Typus IV zeigt mit der Herbstphase mehr Ähnlichkeit als mit Typus I oder IIIa. Der Mittfrühlingstyp IIIb zeigt mit dem Phasentypus I mehr Ähnlichkeit als mit allen anderen Phasen, ausgenommen IIIa, wodurch IIIb bereits enge dem Sommerhalbjahr zugehörig ist.

Sohin braucht, nachdem der Übergangscharakter der Phasen IIIa, IIIb und IV im typologischen Vergleichsverfahren erkannt wurde, nur mehr das individuelle Merkmal des Bodentemperaturverhaltens im Bereiche Sameralm in 30 cm Tiefe zu erklären versucht werden. Wie bereits im Abschnitt III/2 ausgeführt wurde, liegt die Sonde 30 cm nahe der Grenze Eluvial/Illuvialhorizont und damit an der Grenze des schluffigen bzw. sandigen Lehms zum tonigen Lehm bzw. schwach lehmigen Ton. Der untere Bereich des A_{2e} -Horizontes fungiert als eine Wärmeachse, die durch Wärmeleitung aus dem linderen B_{1g} -Horizont alimentiert wird, so daß durch die starke winterliche Wärmeabgabe der basalen B_s -Horizontpartien der Wärmegenuß des A_{2e} -Horizontes im Winter merklich

angehoben wird, ohne daß er Wärme an die Bodenoberfläche im entscheidenden Ausmaß abgibt. Wärmeabgabe an den A_1 -Horizont findet erst in Phase IIIb bei gleichzeitigem rapidem Lufttemperaturanstieg statt. In dem individuellen Verhalten des Bodens der Sameralm spiegelt sich im Vergleich zur Pararendsina der Meßstelle Prokschhaus mit ihrem einfachen Profilaufbau das genetisch komplizierte Stockwerksprofil mit seinem komplizierten Wasserhaushalt im gegenständlichen Falle wider.

So stellt sich diese anormale Wärmeachse hauptsächlich durch eine intensive Wärmeleitung aus dem tiefen B_{1sg} -Horizont dar, die im Falle unseres Podsolstockwerkes von Dezember bis April beherrschend ist und bei den leichten Bodenarten der seichten Pararendsina nicht in Erscheinung treten kann. Die Ursache liegt darin, daß die Pararendsina bei großer Wärmekapazität ihrer luftreichen Hohlräume und der lehmig-sandigen Bodenart, der normalen Lagerung und dem Fehlen der Vergleyung schlechte Wärmeleitungseigenschaften aufweist. Im Falle des vergleyten Podsolstockwerkes hingegen saugt sich der Staukörper ($B_{2sgfoss}$) zwischen Oktober und Feber bei nicht vorhandener Gefrornis der Oberfläche mit Schneetropfwasser voll, so daß bis zum Eintritt der seichten und kurzen Gefrornis an der Feber-März-Wende auf Grund der Pseudogleydyamik in den tieferen Bodenschichten bei kleiner Wärmekapazität eine ausgezeichnete Wärmeleitung in Richtung A_{2e} -Horizont besteht, der auf Grund seines verarmten Fraktionsspektrums und Fehlens massiver Aggregationen wie in 70 cm Tiefe nun umgekehrt auf Grund seiner größeren Wärmekapazität und geringeren Wärmeleitungsfähigkeit keine Wärme an den A_1 -Horizont abgeben kann.

Ein wesentlicher Unterschied zur Meßstelle Prokschhaus besteht in dem früheren Anstieg der Temperatur des A_1 -Horizontes bereits im März auf Grund der markanten Südexposition der Sameralmhänge gegenüber der Meßstelle Prokschhaus im April und Mai. In beiden Fällen aber sinken die Temperaturen im Herbst langsamer ab, als sie im Frühjahr ansteigen, womit eine typische Asymmetrie der Kurventäler verbunden ist.

C) Station Forcher

Abb. 4 zeigt im Gesamtkurvenbild weder Sohlental noch Muldental, sondern bereits die Tendenz zur Kerbenbildung, wobei nun auch in überaus

charakteristischer Weise die herbstliche Asymmetrie verloren geht. Die Bodentemperaturen entwickeln sich hier, wie in Abschnitt II ausgeführt wurde, unter der Einwirkung kräftiger Lufttemperaturinversionen. So kommt es auch, daß es hier um 620 m tiefer als in der Meßstelle Prokschhaus zu einer markanten Verschärfung der winterlichen Bodentemperaturverhältnisse kommt. Der Boden kühlt in Tiefen bis zu einem halben Meter zwischen September und November ungemein rasch aus und erwärmt sich im April wieder schockartig schnell. Im Februar wird in 9 cm Bodentiefe das tiefste Monatsmittel mit $-1,2^{\circ}$ erreicht; es liegt somit tiefer als alle bisherigen Monatsmittelminima. So ist es z.B. um $1,2^{\circ}$ tiefer als in der Bodentiefe 10 cm auf der um 530 m höheren Meßstelle Sameralm und tritt gegenüber der um 620 m höheren Meßstelle Prokschhaus um ein bis zwei Monate früher und um $1,8^{\circ}$ tiefer als dort entgegen. Das Maximum des Monatsmittels in der seichtesten Tiefe der Station Forcher wird im August mit $18,7^{\circ}$ erreicht, das ist um $3,7^{\circ}$ höher als in der oberflächennahen Bodenschichte der Sameralm und um $4,3^{\circ}$ höher als in der oberflächennahen Bodenschichte der Meßstelle Prokschhaus.

So kann also ersehen werden, daß in 9 cm Tiefe der Station Forcher von Jänner bis in die erste Märzwoche hinein im Durchschnitt dieser Monate Bodenfrost an der Sohle des Karstsacktales herrscht. Im großen Gegensatz dazu tritt Bodenfrost in der Meßstelle Prokschhaus überhaupt nicht und im Bereiche Sameralm nur sehr kurzfristig in Erscheinung. Im gesamten gesehen liegt im Meßbereich Forcher die größte Jahresamplitude der seichtesten Bodentiefe vor. Im Vergleiche Forcher, Sameralm und Prokschhaus beträgt die maximale Jahresamplitude der seichtesten Bodentiefe jeweils $19,9^{\circ}$, $15,0^{\circ}$, $13,8^{\circ}$. Eigenartigerweise ist mit dem Anwachsen der Jahresamplituden der Bodentemperaturen gegen die montane Tiefe hin kein Wachsen der mittleren Tagesschwankungen verbunden. Vergleicht man Abb.5 mit Abb.2, so sieht man im ersteren Falle ein deutliches Schrumpfen der mittleren Tagesschwankungen auf $1,2^{\circ}$ im August in 9 cm Tiefe gegenüber $3,5^{\circ}$ in 5,5 cm Tiefe in der Meßstelle Prokschhaus. Von Bedeutung ist auch, daß, obwohl in Abb.5 die Größe aller mittleren Tagesamplituden verringert ist, es zu keiner völligen Isothermie zwischen November und April wie in Abb. 2 kommt. In 9 cm Tiefe der Station Forcher pendelt völlige

Isothermie nur ganz kurzzeitig im Jänner ein.

Im Vergleich zu der Meßstelle Sameralm kann dem Diagramm der Abb. 4 entnommen werden, daß hier neben dem Phasentyp I und IIa unter völligem Verlust des Herbsttypus II unmittelbar an den Spätsommertyp IIIa der Winter-Vorfrühlingstypus IV anschließt, was wohl den schönsten Beweis für den streng kontinentalen Wintercharakter mit seinen exzessiven thermischen Verhältnissen in diesem alpinen Hochtal darstellt. Von Mitte September an bis März erscheint im monatlichen Durchschnitt die Bodentiefe in 27 cm wärmer als die oberen Bodenpartien, aber auch wärmer als die unteren Bodenlagen, ähnlich wie es sich in dem viel kürzeren Zeitraum von Mitte Dezember bis April auf der Sameralm ergibt. Auch im Meßbereich Forcher richtet sich der Wärmefluß während der raschen Abkühlung des A_1 -Horizontes aus den tiefen Teilen des dicht lagernden tonigen Lehm-(B)C-Horizontes gegen den A_2 -Horizont. Die Wärmeabgabe nach oben ist derart stark, daß von Feber bis März die Bodentemperatur des basalen (B)C-Horizontes sogar unter 0°C sinkt, zu einer Zeit, in der die Bodenoberfläche bereits rasch auf den Strahlungs- und Lufttemperaturanstieg zu reagieren beginnt und Wärme an den A_2 -Horizont nun von oben abgegeben werden kann, so daß dieser von Feber bis März eine schockartige zusätzliche Erwärmung erfährt. Erst während der Sommerphase I stellt sich wieder der normale Bodentemperaturgradient ein, da nun bei Ausaperung der Schneedecke der Wärmefluß durch Strahlung von oben nach unten dominiert.

2) Der Gang der Tagesgangmittel in einzelnen Monaten:

Durch die Untersuchung der Dreistundenmittel im monatlichen Durchschnitt erhält das bisherige Bild weitere gesetzmäßige Züge.

A) August 1974

Die Auswertung der Abb. 6 ergibt bei vergleichender Betrachtung aller Stationen und Bodentiefen folgende Gesetzmäßigkeiten:

- a) In der tiefsten Station treten in der Bodentiefe 9 cm die Maxima um 19,30 Uhr auf, das mittlere Tagesminimum um 10,30 Uhr. Gegenüber den Tagesgangmitteln der Lufttemperatur (Maximum erst um 15 Uhr) herrscht eine Verzögerung der Maxima und Minima um $4\frac{1}{2}$ Stunden.
- b) In 9 cm Tiefe beträgt die Amplitude der Tagesgangmittel nur mehr $0,8^{\circ}$

- gegenüber der Lufttemperaturschwankung von $9,1^{\circ}$. In 27 cm Tiefe herrscht mit $0,2^{\circ}$ und mit dem gleichen Betrag in 55 cm Tiefe bereits Isothermie.
- c) Auf den südexponierten Hängen der Sameralm stellt sich in 1510 m Höhe in der warmen Hangzone eine wesentlich größere Amplitude der Tagesgangmittel in 10 cm Tiefe ein; sie beträgt $4,8^{\circ}$ gegenüber der Lufttemperaturamplitude von 6° . Im Gegensatz zur Basisstation, wo die Inversion die Tagesamplituden niederdrückt, liegt das höchste Tagesmittel der Bodentemperatur auch über dem Lufttemperaturmaximum um 12 Uhr. Die Tagesgangmittelmaxima liegen in 10 cm Tiefe bei 15 Uhr, somit um drei Stunden vor der Basisstation und um drei Stunden gegenüber der Lufttemperatur in den Nachmittag verschoben. Die Minima treten uns ebenfalls um drei Stunden früher als in der Basisstation entgegen.
- d) Mit zunehmender Tiefe findet eine wesentliche Verzögerung der Tagesgangmittelmaxima statt. In der Basisstation verzögert sich das Maximum in 27 cm Tiefe gegenüber der Tiefe von 9 cm um mehr als drei Stunden; es stellt sich zwischen 21 Uhr und 6 Uhr ein. Das Minimum herrscht um 12,30 Uhr. Die Station Sameralm zeigt in 30 cm Tiefe Verzögerungen des Maximums um sechs bis neun Stunden. Dort tritt der Gipfel der Erwärmung erst zwischen 21 Uhr und 24 Uhr ein. Sehr schön ist die Verschiebung der mittleren Minima und Maxima in der Meßstelle Prokschhaus zu ersehen. In 5,5 cm Tiefe ergibt sich das Minimum um neun Uhr, in 18 cm Tiefe erst um 12 Uhr und in 40 cm Tiefe erreicht der Schutt des C_1 -Horizontes sein Minimum erst zwischen 15 Uhr und 18 Uhr, womit gegenüber dem A_1 -Horizont der Pararendsina eine Verzögerung des Minimums des Tagesgangmittels von sechs bis neun Stunden besteht! Das Maximum tritt um drei Uhr früh in 40 cm Tiefe ein und ist gegenüber der Bodenoberfläche um neun Stunden verspätet.
- e) Sowohl Sameralm als auch Prokschhaus zeigen in den obersten 20–30 cm der Böden ein differenziertes Verhalten. Die Oberflächentemperaturen liegen im Bereiche Sameralm bis 8 Uhr, im Bereiche Prokschhaus bis 10 Uhr unter den Werten der Bodentiefen von 30 cm und 18 cm. Erst dann werden die Oberflächen bis 24 Uhr und im Falle Meßstelle Prokschhaus bis 5 Uhr früh wärmer als die tieferen Bodenhorizonte.

B) September 1974

Bei Analyse des Kurvenbildes von Abb.7 ergeben sich folgende Tatsachen:

- a) Es ergeben sich keine Veränderungen hinsichtlich der verzögerten Zeitpunkte der Maxima und Minima der Tagesgangmittel in der Station Forcher.
- b) In 9 cm Tiefe der Basisstation Forcher schmilzt die mittlere Tagesamplitude auf $0,3^{\circ}$ zusammen gegenüber einer Lufttemperaturschwankung von $8,2^{\circ}$. In 27 cm Tiefe herrscht Isothermie mit $0,1^{\circ}$ und in 55 cm Tiefe eine Amplitude mit dem gleichen Wert. Gegenüber August ist der oberflächennahe Spitzenwert der Tagesgangmittel der Basisstation von $19,1^{\circ}$ auf 15° und das Maximum des tiefst gelegenen Sondenwertes von $15,5^{\circ}$ auf $13,6^{\circ}$ gesunken.
- c) Die Amplitude der oberflächennahen Bodentemperatur des Podsolstockwerkprofiles im Bereiche Sameralm ist immer noch deutlich ausgeprägt im Gegensatz zur immer stärkeren inversionsbedingten Ausbügung der Kurven in der Station Forcher. Die mittlere Tagesamplitude der Sameralm beträgt in 10 cm Tiefe im September 1974 3° gegenüber $4,8^{\circ}$ im August. Die mittlere Lufttemperaturamplitude unterscheidet sich mit $5,0^{\circ}$ nur um 1° gegenüber der von August.
- d) Die Verzögerung der mittleren Minima und Maxima der Tagesgangmittel in verschiedenen Bodentiefen ist wieder deutlich zu erkennen. In der Meßstelle Sameralm stellt sich das Maximum in 30 cm Tiefe um 3 Uhr ein, womit es um 12 Stunden gegenüber dem Oberflächenmaximum (15 Uhr) verspätet in Erscheinung tritt. Das Minimum stellt sich in der oberflächennahen Bodenschichte um 6 Uhr früh ein, in 30 cm Tiefe aber in der Zeit von 12 bis 15 Uhr. Man sieht, daß die Verzögerungen mit fortschreitender Jahreszeit enorm wachsen. Die um drei Stunden gegenüber der Sameralm später vollzogene maximale Erwärmung der höher gelegenen Pararendsina-A₁-Horizonte ist dadurch verständlich, daß es sich hier um einen Bodentyp handelt, der im Rahmen seiner zwar größeren Wärmekapazität, aber seines schlechteren Wärmeleitungsvermögens sich gegenüber dem Sameralmboden langsamer erwärmt.
- e) Der wesentlichste Unterschied des Septembers im Vergleich zum August 1974 liegt in der Struktur des Kurvenbildes. Im Gegensatz zum August schreitet

nun die Abkühlung der bodennahen Schichten in Meßstelle Sameralm und Prokschhaus in der zweiten Nachthälfte derart kräftig voran, daß die Bodentemperatur bereits unterhalb den Temperaturen der tiefsten Meßschichten von 70 cm Tiefe ($= 10,9-11,0^{\circ}$) und 40 cm Tiefe ($10,2-10,5^{\circ}$) mit $10,3^{\circ}$ in Station Sameralm und mit $9,9^{\circ}$ in Station Prokschhaus zu liegen kommt. Das zweite essentielle Kriterium des gesamten Kurvenbildes stellt das Aneinander-rücken aller Kurven dar; so beträgt die Temperaturdifferenz zwischen der höchsten Oberflächentemperatur in der Station Forcher ($= 15^{\circ}$) und dem tiefsten Tagesgangmittel des Oberflächenminimums ($9,9^{\circ}$) in der Station Prokschhaus, die um 620 m höher als Forcher liegt, nur $5,1^{\circ}$ gegenüber dem August mit $7,8^{\circ}$.

C) November 1974

In Abb.8 zeigt sich ein völlig anderes Strukturbild. Der Phasentyp des Herbstes tritt uns klar entgegen. Die Amplituden aller Stationen und aller Bodentiefen sind weitgehend ausgelöscht und im tiefen Temperaturniveau noch enger als im September aneinandergerückt.

- a) Sehr wesentlich ist nun die grundlegende Tatsache, daß die im Oktober bereits angebahnte Umkehr des Bodentemperaturverlaufes mit der Tiefe nun vollendet in Erscheinung tritt. Sowohl in der Station Sameralm als auch in der Station Prokschhaus ist Phasentypus II mit regelhafter Temperaturzunahme bei wachsender Bodentiefe deutlich zu erkennen. Nur die im Kältekeller des Karstsacktales eingebettete Basisstation verhält sich individuell.
- b) Alle Temperaturniveaus sind nun deutlich gegenüber September abgesunken. Die oberflächennahen Bodenschichten von Sameralm und Prokschhaus liegen mit völlig unbedeutenden Amplituden von $0,1^{\circ}$ in einem Temperaturniveau von $1,2^{\circ}$ bis $1,3^{\circ}$ und im zweiten Fall mit 0° -Schwankung im permanenten Niveau von $1,5^{\circ}$. Die oberflächennahe Bodenschicht bei Forcher stellt sich mit einer ähnlichen Amplitude von $0,2^{\circ}$ im Niveau von $2,4^{\circ}$ bis $2,6^{\circ}$ ein. So kühlt also im November die oberste Schichte des Podsoles in 1510 m Höhe am stärksten aus, etwas weniger die oberflächennahe Bodenschicht der Pararendsina in 1600 m Höhe und am wenigsten die Braunerdebodenhaut in 980 m Höhe. Allerdings betragen die Unterschiede dieser drei Abkühlungsmaße

insgesamt nur $1,2^{\circ}$ bis $1,3^{\circ}$. Dies bedeutet praktisch eine weitgehende Gleichschaltung der oberflächlichen Bodenabkühlung zwischen unterer hochmontaner und mittlerer subalpiner Stufe. Die wärmsten nun in der Tiefe gelegenen Bodenhorizonte zeigen die etwas größere Differenz von $3,5^{\circ}$ zwischen Forcher und Prokschhaus.

- c) Obwohl in der Basisstation praktisch Isothermie herrscht, besitzt die Amplitude der Tagesgangmittel der Lufttemperatur mit Minimum von $-2,1^{\circ}$ um drei Uhr früh und Maximummittel von $+3^{\circ}$ um 12 Uhr eine mittlere Tageschwankung von $5,1^{\circ}$, wobei die Bodentemperaturen aller Tiefen wärmer als die Lufttemperatur sind. Dies gilt auch für die Sameralm, wo nur kurz zu Mittag die oberflächennahe Bodentemperatur gering unter der Lufttemperatur liegt.

D) Februar 1975

Wie Abb.9 eindeutig zeigt, herrscht Isothermie in allen Stationen und Bodentiefen bei extremer Verschmälerung der Gesamtbreite des Kurvenbildes und partiellem Hineinrücken unter das 0° -Niveau.

- a) Strukturell von großer Bedeutung ist nun das Durchsetzen des Phasentypus IV (Tab.2) auch in der Meßstelle Sameralm. Nur die Meßstelle Prokschhaus zeigt den einfachen Typus II, der hier bis in den Vorfrühling andauert. Am wärmsten ist nun die Bodenoberfläche in der Meßstelle Prokschhaus, am kältesten die um 620 m tiefere Bodenoberfläche der Meßstelle Forcher mit $-1,2^{\circ}$ bis $-1,3^{\circ}$.
- b) Dieser Umstand ist aus den Lufttemperaturverhältnissen erklärbar. Für die Sameralm liegt im Februar ein Lufttemperaturmittel von $-1,4^{\circ}$ und für Forcher von $-2,7^{\circ}$ vor. Bereits im Dezember verbleiben die Lufttemperaturmittel der Station Forcher zur Gänze unter 0° ; es kann also nur die Lufttemperaturinversion für das stärkere Absinken der Oberflächentemperaturen im Karstsacktal der Wengerau gegenüber den höheren Stationen verantwortlich gemacht werden.
- c) Da die Bodentiefe von 55 cm in der Station Forcher im Niveau von 0° liegt und die Bodentiefe 27 cm von $0,0^{\circ}$ bis $1,1^{\circ}$ zu liegen kommt, haben die beiden Bodentiefen 27 cm und 55 cm aus dem Sommer ihre nach unten abnehmende Temperaturschichtung übernommen. Infolge krasser und lang andauernder

Lufttemperaturinversion sinkt jedoch die Oberflächentemperatur tiefer als die Temperaturen der anderen beiden Bodenmeßtiefen, wodurch der Wärme-
fluß aus dem tiefsten (B)C-Horizont in den A_2 -Horizont in Gang gesetzt wurde.
So verursacht die Lufttemperaturinversion des alpinen Hochtales im Zuge
lange andauernder Winternächte und im Zuge häufiger Wolkenfreiheit in der
Zeit der negativen Strahlungsbilanz, daß nicht nur die Tagesgangmittel der
Oberflächentemperaturen unter 0° absinken, sondern es wird durch diese
Faktorenkombination auch verhindert, daß sich eine regelhafte winterliche
Temperaturzunahme mit wachsender Bodentiefe einstellen kann. Das Einstel-
len einer medialen Wärmeachse im Boden hängt, wie bereits erwähnt, primär
mit der besseren Wärmeleitfähigkeit sowohl des feuchten Unterbodens im
Sameralmbereich als auch mit der des bindigen Unterbodens der Station
Forcher und der größeren Wärmekapazität der in mittlerer Tiefe liegenden
Bodenschichten zusammen. Die lange Persistenz der Wärmeachse bei Forcher
hingegen hängt mittelbar mit dem frühen Einstellen der Lufttemperaturinversion
zusammen, womit eine starke Ankurbelung der Wärmeleitung von unten nach
oben gegeben war. Somit liegt hier keine einfache Abschwächung der Strahlung
oder des Wärmeaustausches der Luft zur Tiefe hin wie im Sommer vor, son-
dern ein selbsttätiger bodenmorphologisch bedingter Wärmeleitungsmecha-
nismus, dessen Persistenzgrad und Zündung von exogenen Faktoren abhängt
und der in den tieferen Schichten nur eine Konvergenzerscheinung zum som-
merlichen Kräftespiel darstellt, im genetischen Sinne jedoch aus der Sum-
menwirkung struktureller endogener Individualitäten und exogener Hemm-
mechanismen hervorgeht.

Die Bedeutung solcher Wärmeachsen im Boden ist bis jetzt wenig beachtet
worden. Es müßten systematisch die alpinen Böden nach chemophysikalischen
Wirkungen solcher Wärmeachsen untersucht werden.

- d) In allen drei Stationen schrumpft die Differenz der Bodentemperaturen enorm
zusammen. Zwischen höchster Bodentemperatur der Station Sameralm in
30 cm Tiefe (Seehöhe 1510 m) mit $1,4^\circ$ bis $1,5^\circ$ und der Oberflächenboden-
temperatur der Station Forcher in 9 cm Tiefe (980 m Seehöhe) von $-1,2^\circ$ bis
 $-1,3^\circ$ besteht bei mehr als 500 Höhenmetern Unterschied nur mehr eine

Differenz von $2,6^{\circ}$ bis $2,8^{\circ}$, ein Zeichen dafür, wie Lufttemperaturinversionen in den Alpen lebensräumliche Nivellierungen großen Ausmaßes bewirken können.

E) Mai 1975

Abb. 10 zeigt die erste grundlegende Umorganisation der Bodentemperaturverhältnisse nach dem Winter, da nun deutliche Amplituden im Tagesgangmittelverlauf sichtbar werden.

- a) Im Gegensatz zum astronomischen Herbstbeginn, mit dem, wie bereits gezeigt, die Bandbreite aller Temperaturentwicklungen deutlich verschmälert wird, tritt der Mai mit breiter "sommerlicher" Ausfächerung aller Tiefentemperaturen in Erscheinung, wenngleich durch die lange Schneefleckenlage bei der Meßstelle Prokschhaus die Kurven dort noch gestaucht sind und ihre volle Amplitudenentfaltung erst im Juni erreichen. Jedenfalls besteht zum April mit seiner noch isothermen planparallelen und noch eng gebündelten Ausrichtung aller Kurven der denkbar größte Gegensatz. Er beruht auf nichts anderem als dem Termin der weitgehenden Ausaperung der Südhänge um 1500 m zur April-Maiwende und der längeren Andauer großer Schneeflecken an Nord-Nordosthängen bis anfangs Juni. Verdünnungen und Ausaperungen der Schneedecke machen sich hingegen bereits im April im Karstsacktal der Wengerau bemerkbar, wenngleich lokal der Lawinenschnee noch viel länger andauert. Zur Zeit der Hauptausaperung sind die Lufttemperatursprünge recht groß. Wie Tabelle 1 zeigt, steigt das Lufttemperaturmonatsmittel von April bis Mai um $4,1^{\circ}$ in der Station Forcher und um $2,9^{\circ}$ auf der Sameralm sowie um $3,1^{\circ}$ am Jochriedel, da ja auch die Globalstrahlung bereits ein hohes Maß erreicht hat.
- b) So verwundert es bei der vollen Ankurbelung des sommerlichen Kräftespiels nicht, daß auch der Phasentypus 1 zur Geltung kommt, d.h., daß im Mechanismus der Bodentemperaturenentwicklung der Sommer in allen Höhenlagen des Untersuchungsgebietes mit einem Schlage bestimmend wird und in der Pedosphäre jedenfalls keine markante Übergangsjahreszeit in diesem geographischen Raum zum Vorschein kommt. Am stärksten setzt dieser Prozeß in tiefer Höhenlage ein. Zwischen 9 cm Bodentiefe ($8,8^{\circ}$ bis $9,3^{\circ}$) bei

Forcher und 55 cm Tiefe ($5,7^{\circ}$ bis $5,9^{\circ}$) besteht bereits eine Differenz von $3,1^{\circ}$ bis $3,4^{\circ}$. In der Pararendsina beim Prokschhaus besteht hingegen infolge der andersartigen Schneelage zwischen der Oberflächentemperatur mit $1,7^{\circ}$ und der Temperatur in 40 cm Bodentiefe von $1,1^{\circ}$ nur eine Differenz von $0,6^{\circ}$. Insgesamt jedoch umspannt die Kurvenentwicklung zwischen $9,3^{\circ}$ (Forcher, 9 cm Tiefe) und $1,1^{\circ}$ (Prokschhaus, 40 cm Tiefe) bereits eine Temperaturdifferenz von $8,2^{\circ}$.

- c) In der Meßstation Forcher ist planparallele Temperaturabnahme bei Eindringen in den Boden zu verzeichnen. Bei der Station Sameralm jedoch besteht nächtliches Abkühlen des A_1 -Horizontes bis unter die Temperatur des A_{2e} -Horizontes und von 11 Uhr bis 22 Uhr Erwärmung über dessen Temperatur. Im Falle der Pararendsina sinkt die Temperatur des A_1 -Horizontes von 24 Uhr bis 6 Uhr sogar etwas unter die Temperatur des C_1 -Horizontes, steigt dann aber von 6 Uhr bis 24 Uhr bis zu einem halben Grad über die Temperatur des A_2 -Horizontes. Im Juni und Juli sinkt in der Nacht die Oberflächentemperatur beim Prokschhaus nicht mehr unter das Temperaturniveau der tieferen Bodenschichten. Dies tritt erst wieder ab August in Erscheinung, während die Sameralm, sofern Amplituden überhaupt ausgebildet sind, stets dieses Verhalten zeigt.
- d) Die Verzögerung der Maxima der Tagesgangmittel ist schwächer ausgeprägt als im September und anderen Monaten. In der Basisstation tritt überhaupt noch keine Verzögerung des Maximums in 27 cm Tiefe ein. In 55 cm Tiefe herrscht gegenüber 9 cm eine Maximumverzögerung von 9 Stunden. Im Falle der Station Sameralm besteht in 30 cm Tiefe eine Verzögerung um 3 Stunden gegenüber der Oberfläche und in 70 cm eine Verzögerung um 6 Stunden. In der Meßstelle Prokschhaus verzögert sich das Tagesgangmaximum in 18 cm Tiefe um drei Stunden gegenüber der Oberfläche und in 40 cm Tiefe um sechs Stunden. Somit ist zu ersehen, daß das Ausmaß der Verzögerung mit dem Fortschreiten des Sommerhalbjahres, insbesondere bei dann abnehmender Einstrahlung, wächst.

LITERATUR

- BERÉNYI, D.: (1967), Mikroklimatologie. Mikroklima der bodennahen Atmosphäre. Budapest, 328 S.
- AULITZKY, H.: (1961, 1962), Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentral-alpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie; Teil I-III, Band 10-11, S.446-532, S.302-376
- HARTL, H.: (1976), Eingriffe des Menschen in die Landschaft an der Südabdachung des Tennengebirges (Bischlingshöhe-Ladenberggebiet); Floristische Mitteilungen aus Salzburg, 1.Heft
- RIEDL, H.: (1974), Grundzüge der geomorphologischen und pflanzengeographischen Verhältnisse im Bereich der Sameralm, einer neuerrichteten Forschungsstation des Geographischen Institutes der Universität Salzburg; 70.-71. Jahresbericht des Sonnblick-Vereines 1972-1973, Wien, S.68-78
- (1978), Untersuchungen zur witterungsklimatologischen Beziehung von Temperatur- und Niederschlagsmessungen sowie zum kulturgeographischen Funktionswandel im Bereiche der Alpinen Forschungsstation Samer Alm. Math.-naturw. Klasse d.Akad.d.Wissenschaften
- MUCKENHUBER, K.: (1977), Die Bodentemperaturverhältnisse im Bereich der alpinen Forschungsstation im Hinblick auf Substrat, Bodentiefe, Höhenlage, Lufttemperaturverhältnisse; Hausarbeit am Geograph.Institut der Universität Salzburg, 65 Seiten
- TOLLNER, H.: (1977), Der Tagesgang des vertikalen Temperaturgradienten im Tennengebirge; 74.-75.Jahresbericht des Sonnblickvereines für die Jahre 1976-1977, Wien, S.67-72
- TRANQUILLINI, W.: (1957), Standortsklima, Wasserbilanz und CO₂-Gaswechsel junger Zirben (Pinus Cembra L.) an der alpinen Waldgrenze; Planta 49, S.612.

DAS PROBLEM DES LÖSLICHKEITSRÜCKGANGES (ALTERUNG UND FIXIERUNG)
DES DÜNGERPHOSPHATES IM BODEN

von H. WACHTEL

Einleitung:

In den letzten Jahrzehnten erkannte man die volle Bedeutung dieses Elementes für das Leben und damit auch für den Pflanzenbau, aber die Schwierigkeiten und Probleme die sich ergeben, wenn man diesen Nährstoff in der richtigen Menge und in der effektivsten Form den Pflanzen zuführen will, waren damit noch nicht gelöst.

Die Anwendung von Phosphor im Pflanzenbau geht über den Boden. Aus der außerordentlichen Verschiedenheit der Böden und der großen Zahl der chemischen Verbindungsmöglichkeiten des Phosphors ergibt sich eine Reihe von Fragen, die man in den Sammelbegriffen "Verfügbarkeit" und "Festlegung" (oder "Alterung") zusammenfassen kann. Diese Fragen könnten mit einiger Gründlichkeit nur in einem wochenlangen Seminar abgehandelt werden. Hier kann daher nur ein sehr allgemeiner tour d'horizon gegeben werden.

Die Verwertung des Phosphors im und über dem Boden:

Im Boden besteht eine gewisse Phosphor-Reserve, auf deren Ausnützung vor der Erfindung des Phosphatdüngers der Landbau jahrhundertlang gegründet war. Auf Grünland hielt sich der hierbei notwendigerweise geübte Raubbau in tragbaren Grenzen, auf Acker dagegen war er sehr erheblich. Es ist unter diesen Umständen verwunderlich, daß der Boden zu Beginn der Phosphat-Düngung noch die festgestellten Erträge zu leisten imstande war. Das Phosphordefizit auf Ackerland in früheren Jahrhunderten kann man wohl mit ca. 10-20 kg/ha/Jahr einschätzen.

Nach WILLIAMS (1951) kann man die natürliche, nicht pflanzenverfügbare Bodenreserve durch Säurebehandlung und anschließende Wiederaufkalkung mobilisieren. Auch durch Hitzeanwendung, wie Dämpfen, Verbrennen der Vegetation und Ausbrennen des Bodens, kann der verfügbare Phosphor im Boden vermehrt

werden, doch sind diese Raubbauverfahren im modernen Landbau nicht zweckmäßig. Auf ihnen beruht zum Teil aber auch heute noch vielfach die "shifting cultivation" in tropischen Gebieten. In unseren Zonen dagegen arbeitet man heute allgemein nach dem Grundsatz, dem Boden entzogene Nährstoffe zu ersetzen und - wo nötig - den Nährstoffgehalt zu verbessern.

Beim Phosphor geschieht dies durch Zufuhr von Düngerphosphaten und Phosphor im Wirtschaftsdünger, die mit dem Boden bestimmte Verbindungen eingehen und verschiedene Umsetzungen erfahren. Es ist zunächst daher erforderlich, die wichtigsten P-Formen im Boden kurz zu besprechen:

a) Mineralische Phosphate:

Calciumphosphate: Apatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ bzw. $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
 Octocalciumphosphat $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
 Dicalciumphosphat $\text{CaHPO}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$

Eisenphosphat: Strengit

Aluminiumphosphate: Variscit, Vivianit

Fe-Al-Phosphat: Barrandit

Ferner an Fe- und Al-Hydroxide angelagerte H_2PO_4^- -Ionen. Ca- sowie Fe- und Al-Phosphate können auch eingeschlossen (okkludiert) sein.

b) Organische Phosphate:

Organischer Phosphor ist in der Humussubstanz des Bodens vor allem als Phytin enthalten, das man sonst fast nur in Samen als P-Reserve der Pflanze findet. Im Boden wird es wahrscheinlich von Bakterien aufgebaut, die aber selbst kaum Phytin enthalten.

Die Löslichkeit und damit die Aufnehmbarkeit der einzelnen Bodenphosphate ist sehr unterschiedlich, meist aber relativ gering. Man kann sagen, daß die leichter löslichen Calciumphosphate und das Aluminiumphosphat - letzteres noch mehr als erstere - am meisten zur Ernährung der Pflanzen beitragen. Eine besondere Rolle spielen die an Eisen- und Al-Hydroxide angelagerten PO_4^- -Ionen sowie das mehr oder weniger fest an Ton adsorbierte Phosphat. Die sorbierten Ionen gehen mit der Zeit offensichtlich stabile Bindungen mit dem Fe, Al

und Si des Kristallgitters ein. Alle diese Formen stellen den Hauptanteil des "austauschbaren Phosphats". Die Aufnehmbarkeit der Al- und Eisenphosphate hängt sehr stark vom Grad ihrer Kristallisation, also der mehr oder weniger fortgeschrittenen Alterung dieser Verbindungen ab.

Fe-Phosphate, die im anaeroben Milieu reduziert werden, sowie Al-Phosphate gehen mit organischer Substanz wasserlösliche Komplexverbindungen ein. Daraus erklärt sich die gute P-Löslichkeit unter anaeroben Bodenverhältnissen.

Die Calciumphosphate neigen im neutralen und alkalischen Boden dazu, in schwerlösliche Formen und schließlich in Apatit überzugehen. Aber selbst hier bildet sich auch eine wechselnde Menge von Fe- und Al-Phosphaten.

Im allgemeinen ist gerade der Gehalt an Al-Phosphat ein Gradmesser für den Phosphor-Ernährungszustand eines Bodens.

Ausnutzung des Düngephosphats:

Aus Versuchen ergibt sich nur eine geringe Ausnutzbarkeit der Düngephosphate bei fortlaufender Düngung. Nur bei langdauernder Düngungspause kann man hohe P-Ausnutzungen erzielen, allerdings um den Preis verminderter Erträge. Bei regelmäßiger Düngung fand SCHMIDT bei Grünland eine Ausnutzung von 30, maximal 50 %, auf Acker dagegen nur von 12-18 %.

LARSEN spricht vom "ewigen Schlaf" des nicht ausgenutzten Restanteils der Düngerphosphorsäure. VAN DER PAAUW fand in Versuchen, daß "frischer" Phosphor aus der letzten Düngung etwa dreimal wirksamer war, als die Bodenreserve (P aus dem Boden selbst und aus früherer Düngung). SARKADI und KADAR (1974) fanden ein Verhältnis von 1:2, doch war der Wirkungsgrad des frischen Phosphors umso geringer, je höher der Phosphor-Gehalt im Boden lag. AMBERGER, SOMMER und SÜSS stellten fest, daß bei Zugabe von 100 ppm P ($23 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$) im Laufe von 2 Tagen 99 % des Phosphors bei einem Lößlehm, 54 % bei Anmoor auf Almkalk weniger lösliche Verbindungen eingegangen waren.

M. SILLANPÄÄ (1961) zeigte, daß die Fixierungsprozesse in finnischen Böden nach 18 Monaten noch nicht beendet waren, der Verlust der Wasserlöslichkeit war in 20 Stunden bis 10 Tagen vollständig erfolgt.

E.G. WILLIAMS vergleicht den Boden mit einem Schwamm, der Wasser umso leichter abgibt, je stärker er vollgesaugt ist. Ähnlich ist, vereinfacht, die Abgabe des Phosphors an die Pflanzen zu sehen, wofür die Begriffe P-Kapazität und P-Intensität geprägt wurden. Das Problem des Bodenphosphors wird klar, wenn man bedenkt, daß Mineralphosphate oft unlöslich bleiben, wenn andere Minerale schon verwittert sind.

Deutliche Beziehungen zwischen Ertrag, Fixierung und Verfügbarkeit wurden von BACHLER und BRONNER 1971 in Oberösterreich festgestellt. Hier lag die P-Fixierung untersuchter Böden bei durchschnittlich $1 \text{ t P}_2\text{O}_5/\text{ha}$, die sorbierte P-Menge bei 1,5 t. LARSEN gibt an, daß in Dänemark die (absolute) P-Wirkung in den letzten 60 Jahren - trotz inzwischen erfolgter Anreicherung der Böden - nicht abgenommen hat. Dagegen konnte von REICHARD in einem Grünlandversuch kein Unterschied zwischen jährlich gedüngtem Superphosphat und der einmaligen Vorausgabe für 10 Jahre festgestellt werden. Wesentlich für die Düngewirkung ist das sogenannte labile Phosphat, gemessen nach der isotopischen Austauschbarkeit (nach TALIBUDEEN) oder durch den A-Wert nach FRIED und DEAN bzw. den L-Wert nach LARSEN, um nur die wichtigsten Verfahren zu nennen. LARSEN (1964) fand keine Übereinstimmung zwischen SCHOFIELDS Phosphor-Potential ($1/2 \text{ pCA} + \text{pH}_2\text{PO}_4$) und der P-Aufnahme der Pflanzen. Das labile Phosphat bildet keine konstante Fraktion des gesamten anorganischen Phosphors. Zwischen dem labilen Boden-Phosphor und der Gesamtreserve stellt sich im Laufe der Zeit ein Gleichgewicht ein, sowohl bei Anreicherung wie bei Ausschöpfung. Die Halbwertszeit des Düngerphosphats wurde von LARSEN mit 1-9, ausnahmsweise mit 60 Jahren festgestellt. Eine simplifizierte, aber anschauliche Darstellung der Phosphordynamik zeigt ein Vergleich LARSENS: der leichtlösliche bzw. labile und der schwerlösliche Bodenphosphor ist vergleichbar mit dem Wasserstandsgefälle in einem Brunnen bei einem Sand- und einem Tonboden. Die isotopische Verdünnungsmethode kann man sich hierbei durch die Veränderung der Farbe des Brunnenwassers nach Färbung verdeutlichen.

Die Umwandlungen, die nach der Einbringung eines Kornes Superphosphat im Boden vor sich gehen, beginnen damit, daß zunächst gelöstes Monocalciumphosphat aus dem Korn austritt und mit Bodencalcium Dicalciumphosphat und

Phosphorsäure bildet, die ihrerseits mit Al und Fe des Bodens Al- und Fe-Phosphate bildet, auch in CaCO_3 -haltigen Böden. Das Dicalciumphosphat geht bei Anwesenheit von Kalk in Octocalciumphosphat und dann in Apatit über.

ÄVNIMELECH und HAGIN (1965) stellten fest, daß Superphosphat sich auf stark fixierenden Böden wie ein schwer löslicher Phosphat-Dünger verhält und so der Festlegung entgegenwirkt. Dies dürfte der Grund für die so universelle Anwendbarkeit des Superphosphats sein.

ZELLER, SCHÜLLER, REICHARD, OBERLÄNDER und LIBISELLER haben die ertragsmäßigen und bodenchemischen Verhältnisse bei Düngung mit verschiedenen Phosphor-Quellen auf mehreren niederösterreichischen Böden eingehend geprüft. Hierbei ergaben sich relativ lange Zeiträume bis zum Eintritt signifikanter Ertragsunterschiede, dann jedoch recht beträchtliche Mehrerträge durch Phosphor. 400 kg P_2O_5 brachten gegenüber 100 kg keinen Mehrertrag. Eigene Gefäßversuche mit hochgedüngten Böden ergaben meist deutliche Mehrerträge. MUNK stellte in Gefäßversuchen fest, daß mit reiner Entzugsdüngung der Gehalt des Bodens an aufnehmbarem Phosphat nicht gehalten werden konnte.

Eine Ausnahme von dieser Regel ist nur dort denkbar, wo nach unserer jetzigen Kenntnis zu hohe Bodenanalysenwerte festgestellt werden. Aber sicher ist es unbefriedigend, die Düngeempfehlung, wie es bis jetzt geschieht, nur nach dem Gehalt an löslichem Phosphat zu richten. Diese Werte werden auf einem sehr leichten Boden ganz anders einzuschätzen sein, als auf einem Tonboden und hier kommt es wieder, ähnlich wie beim Kali, auf die phosphorfixierende Kraft der vorhandenen Tonform an. Ein Aussetzen der Phosphat-Düngung bei hohen Bodenwerten wird bei Sandböden erforderlich sein, ist in anderen Fällen aber problematisch. Ein unkontrolliertes Absinkenlassen des Phosphor-Spiegels in einen Bereich, in dem der Boden das Phosphat wieder mit härterem Griff hält, wäre unzweckmäßig.

Ungenügende Phosphor-Versorgung ist oft durch rasche Ausschöpfung des wurzelnahen Bodenbereichs in 1–2 mm Umkreis um die Wurzel bewirkt. Der Mycorrhizapilz *Glomus fasciculatus* dagegen erweitert den ausbeutbaren Wurzelbereich befallener Wirtspflanzen lateral um etwa 7 cm. Dagegen wird P^{32} , injiziert in 1 cm Entfernung von der Wurzel, ohne Mycorrhizasymbiose nicht mehr

aufgenommen. Hier eröffnen sich der Betrachtung völlig neue Dimensionen.

Österreichische Böden scheinen an sich Phosphor relativ gut auszunützen. Dennoch wird man auf Dauer gesehen auch bei relativ gut versorgten Böden mit reiner Entzugsdüngung nicht das Auslangen finden. Immerhin scheinen Böden mit hohem Gehalt (siehe SARKADI und KADAR) ökonomischere Verwerter von Düngerphosphor zu sein. Dies vermindert das (ökologisch kaum sehr schwerwiegende) Problem der fortlaufenden Phosphat-Anreicherung der Böden. Während die erforderlichen Phosphat-Mengen zur Bodenabsicherung mit zunehmender Anreicherung sinken, nimmt der Bedarf der Ackerkulturen an Phosphor mit steigendem Ertragspotential zu. In 10 Jahren werden wahrscheinlich die benötigten Mengen für die Ersatzdüngung um ca. 20 % höher liegen. Dies wird andererseits durch den Wegfall der Aufdüngungszuschläge in gewissem Ausmaß kompensiert. Es verbleibt so für die praktische Düngung die Verabreichung der Entzugsmengen, je nach Boden und Phosphor-Gehalt mit einem nach heutiger Sicht unvermeidbaren "Tribut an die Festlegung".

Nach wie vor gilt im allgemeinen der fast seherische Ausspruch WAGNER's, des Altmeisters der Phosphatdüngung: "Man hat dem Boden, selbst wenn er durch wiederholte reichliche Düngung gesättigt sein sollte, nicht nur so viel Phosphorsäure zu geben, als der Rechnung nach die Erträge beanspruchen, die man dem Boden genommen hat oder von ihm erzielen will, sondern noch etwas mehr".

BODENWIRTSCHAFT IN NIGERIA

von R. GRETZMACHER.

Mit etwa 80 Mill. Einwohnern ist Nigeria der bevölkerungsreichste Staat Afrikas. Der Erdölreichtum überdeckt zum großen Teil die negativen Auswirkungen der sich nur sehr langsam entwickelnden Landwirtschaft. Nach Angaben der FAO ging die relative pro Kopf Produktion von Nahrungsmitteln von 100 im Zeitraum 1961 - 1965 auf 79 im Jahr 1974 zurück. 23,6 % der Fläche sind Ackerland. Im Norden des Landes sind verschiedene Hirsearten, im Süden die Stärkepflanze Cassava der Hauptenergieträger der Bevölkerung.

Die Regierung macht große Anstrengungen zur Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion - einerseits durch Beratungstätigkeit, andererseits durch die Schaffung mechanisierter Großfarmen.

Untersuchungen für die Planung eines solchen nigerianischen Großfarmenprojektes im regenreichen Süden des Landes zeigten, daß die bodenkundlichen und pflanzenbaulichen Gegebenheiten ein solches Projekt als durchführbar erscheinen lassen. Die einzelnen schon bestehenden oder noch im Aufbau befindlichen Großprojekte lassen erkennen, daß nach importierten, mechanisierten Methoden produziert werden kann. Die von den heimischen Landwirten praktizierte Methode des Wanderfeldbaues mit Brandrodung ist an die kleine Betriebsgröße (etwa 2 ha je Familie im nigerianischen Durchschnitt) gebunden und läßt sich nur sehr schwer mechanisieren. Neben der Erzeugung großer Mengen von Nahrungsmitteln einheitlicher Qualität fällt diesen Großfarmen auch die Aufgabe zu, die Infrastruktur der angrenzenden Agrargebiete zu verbessern. Zu diesen Aufgaben gehören die Vermehrung ertragreicher Sorten, die Düngemittelversorgung und -lagerung, die Maschinenlohnarbeit usw.

An Hand von Karten wurde ein Überblick über die Niederschlagsverhältnisse (300 - 3000 mm), die Geologie, Bodenkunde und Vegetation des durch seine Größe äußerst kontrastreichen Landes vermittelt.

Eine Übersichtskartierung des Projektgebietes ergab eine Aufgliederung in

zwei Bodentypen. Den Hauptanteil bilden rotlehminge Latosole auf Tonschiefern des Paleozäns, in den flußnahen Gebieten sind es alluviale Böden, die den lokalen Bodenserien Amagu-Omasi bzw. Umulokpa zugeordnet werden können. Diese Böden weisen ein sehr niedriges pH (4,5 - 5,0) auf und besitzen - vor allem die Latosole - einen Tonilluvialhorizont, der Probleme bei der Drainage schafft.

So nimmt bei einem ausgewählten Profil der Rohtongehalt von 11 % im A-Horizont auf 30 % im B_v und 43 % im anschließenden PS₁ zu. Da in diesem Gebiet Niederschläge von etwa 1500 - 2000 mm in der Zeit von Anfang Mai bis Ende November fallen, ist es bei diesen Bodenverhältnissen nach stärkeren Regenfällen nahezu unmöglich, einfache Feldwege zu befahren; Kulturarbeiten am Feld sind dann nur sehr eingeschränkt möglich.

Im Landesdurchschnitt liegen die Erträge noch auf einem äußerst niedrigen Niveau. Für Mais werden z.B. nur 850 kg je ha angegeben. Versuche von Forschungsstationen und Universitäten liefern mit neuen Sorten und modernen Methoden des Pflanzenbaues Erträge, die den Landesschnitt teilweise sogar um ein Vielfaches übertreffen. Wieweit dieses hohe Ertragsniveau auf die Großfarmen übertragen werden darf, kann erst die Praxis zeigen.

Bei der traditionellen Ackerkultur, die sich nur extensiv durchführen läßt, wird die Fruchtbarkeit der Böden durch den Wechsel von Wald mit Ackerland und durch die Bepflanzung mit Mischkulturen erhalten. Diese beiden Maßnahmen lassen sich beim Maschineneinsatz in der Landwirtschaft nicht mehr beibehalten. Es müssen daher neue Methoden zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit eingesetzt werden, außerdem ist der Einsatz von Mineraldünger unumgänglich notwendig. Es gibt langjährige Versuche, die - zum Teil auf Grund unterschiedlicher Ergebnisse - eindeutig die Schwierigkeit dieses Problems aufzeigen. Der Wegfall der Möglichkeit des Anbaues in Form von Mischkulturen schafft längere Bracheperioden im Jahresablauf. Diese Art der Monokultur in Verbindung mit dem Einsatz ertragreicher Sorten macht Versuche zur Optimierung der Bestandesdichte bei den einzelnen Kulturpflanzen dringend notwendig.

FAO-ARBEITEN ZUR FÖRDERUNG DER BODENDÜNGUNG
IN ENTWICKLUNGSLÄNDERN

von G.F. HAUSER

Im Jahr 1950 war eines der wichtigsten Ziele des neuen ETAP (Expanded Technical Assistant Program) der FAO die Erhöhung der Agrarproduktion in Entwicklungsländern. Den raschesten Erfolg versprach die Einführung der Kunstdüngeranwendung. Es bestand jedoch das Problem, für die primitiven Landwirtschaftsformen die ökonomisch richtigen Düngemengen zu finden, denn das traditionelle Schema über Bodenuntersuchungen und Versuchsfelder in Versuchsstationen führte zu keinem raschen Resultat. Bodenuntersuchungen korrelieren, wenn überhaupt, nur sehr schlecht mit Ertragssteigerungen. Ebenso sind Resultate von den gut geführten Versuchsfarmen auf die wesentlich ärmeren Bauernfelder nicht übertragbar.

Die Lösung wurde in einer Art Streuversuch gefunden, wobei man kleine Parzellen auf Bauernfeldern, gestreut über ein vorgegebenes Gebiet, anlegt. Die Größe solcher uniformer Gebiete liegt zwischen 50.000 und 300.000 ha. Pro Saison werden 80–120 Wiederholungen, je eine auf einem willkürlich gewählten Bauernfeld, vorgenommen. Je Jahr sind zwei solche Serien, eine für eine Winter- und eine für eine Sommerfrucht möglich. Jede Serie wird als ein gebietsweites Experiment betrachtet und die Resultate werden nach den üblichen Methoden, also unter Anwendung der statistischen Kontrollen, berechnet. Dabei ist die statistische Varianz zwischen den Wiederholungen (Feldern) natürlich relativ größer als bei den üblichen Versuchen auf nur einem Feld.

Die traditionellen Versuchsschemata, z.B. faktorielle Kombinationen, sind für diese Streuversuche meist ungeeignet, weil einerseits die Zahl der Behandlungen klein sein muß und andererseits die Ermittlung von Ertragskurven für jeden Hauptnährstoff nötig ist. Solche Kurven werden durch mindestens drei Punkte bestimmt. Werden Kurven für nur zwei Hauptnährstoffe angestrebt, dann enthält ein günstiges Schema folgende Kombinationen: 0 N₀P₁ N₁P₁ N₂P₁ N₁P₀ N₁P₂ N₁P₁K₁, also 7 Parzellen per Feld. Die 0-Parzelle ist immer nötig zur Errechnung der

Düngeökonomie. Die letzte NPK-Kombination dient der Kontrolle, ob das dritte Element nicht doch eine Wirkung zeigt. Die Kombination $N_1 P_1$ ist für die N- und die P-Kurve der Mittelwert.

Das günstigste Schema zur Ermittlung von Ertragskurven aller drei Hauptnährstoffe hat 8 Kombinationen: $0 N_0 P_0 K_0$, $N_1 P_1 K_1$, $N_2 P_1 K_1$, $N_1 P_0 K_1$, $N_1 P_2 K_1$,

$N_1 P_1 K_0$, $N_1 P_1 K_2$. Wieder ist die Kombination $N_1 P_1 K_1$ der Zentralpunkt des Systems und gehört allen drei Kurven an. (N-Kurve = $N_0 P_1 K_1$, $N_1 P_1 K_1$, $N_2 P_1 K_1$, P-Kurve = $N_1 P_0 K_1$, $N_1 P_1 K_1$, $N_1 P_2 K_1$, K-Kurve = $N_1 P_1 K_0$, $N_1 P_1 K_1$, $N_1 P_1 K_2$).

Dadurch, daß alle Elemente in Kombination gegeben werden, sind alle Zwischenwirkungen in den Ertragsresultaten enthalten, wodurch ihre Berechnung überflüssig wird.

Die Mittelwerte jeder Behandlung über alle Wiederholungen (Felder) im Gebiet werden errechnet. Dann werden die Ertragskurven für jeden Nährstoff getrennt ermittelt; dies geschieht am besten mit der parabolischen Funktion. Im resultierenden Kurvenbild wird der Mehrertrag in Geld ausgedrückt, nach den Preisen die der Bauer für sein Produkt erhält. Nun wird auch die Preisliste für den Kunstdünger eingezeichnet. Den höchsten Geldertrag pro Hektar ergibt jene Düngemenge, bei der der Abstand zwischen Preislinie und Mehrertragswert (Kurve) am größten ist. Die so errechneten optimalen Düngemengen für N, P und K zusammen ergeben jene Düngung, mit der der Bauer den höchsten Geldertrag per Hektar erzielen kann. Für sehr arme Bauern kommen aber auch noch kleinere Düngermengen in Frage, weil damit zwar der Geldertrag per Hektar nicht maximal, aber der Profit per investiertem Geld höher ist. Die FAO nimmt für Entwicklungsländer die untere Grenze des Verhältnisses von Geldertrag zu Düngekosten mit 2 an. Ist jedoch diese "benefit/cost ratio" kleiner als 2, so wird keine Düngung empfohlen.

In 40 Entwicklungsländern wurden während der letzten 14 Jahre im Rahmen FAO-gesteuerter Projekte über 300.000 solche Versuche durchgeführt. Nebenbei erfolgte die Ausbildung von ca. 7.000 Düngeberatern in den Einsatzgebieten. In 30 Ländern wurden Kreditsysteme, die alle noch in Funktion sind, zum erleichterten Düngeankauf für die Bauern mit Hilfe der Regierungen in Gang gesetzt.

Im großen Schnitt liegen die auf die geschilderte Weise ermittelten, nur durch Düngung bewirkten Mehrerträge bei 60 % über den Nullparzellen. Die Bauern bekommen im Schnitt den 3,3fachen Geldwert der für Kunstdünger investierten Mittel in Form der Ernte zurück.

Weltweit gesehen variieren die optimalen Düngemengen sehr wenig und liegen bei ganz primitiven, traditionell geführten Betrieben zwischen 20 und 40kg/ha je Hauptnährstoff. Alte, für Düngung wenig dankbare Sorten, ungünstige Kulturmethoden und andere Schwächen sind der Grund für die Begrenzung der Möglichkeit der Pflanze, Düngung in größerem Maß zu verwerten. In höher entwickelten Gebieten steigen die Optimalwerte auf 60-80 kg/ha und nur relativ selten höher, gewöhnlich auch dann nicht, wenn Hohertragsorten verwendet werden. Auch im Plantagenbau sind höhere Düngegaben nur selten üblich.

Die in diesen Arbeiten ermittelten prominenten Faktoren für die Erzielung hoher Erträge variieren stark mit dem Großklima und damit auch mit den Böden.

In ariden Gebieten spielt der an und für sich geringe Gehalt an organischen Stoffen im Boden eine untergeordnete Rolle, aber die Textur und die Tiefgründigkeit dieser meist kalkreichen Böden sind ebenso wie andere Faktoren, die der Pflanze Wasser zur Verfügung halten, von großem Einfluß. Eine große Gefahr ist der überhöhte Salzgehalt in vielen Böden.

In den feuchten Tropen spielt dagegen der Gehalt an organischen Stoffen im Boden eine sehr große Rolle. Mulching, Kompostanwendung und vor allem Bodenbedeckung gegen Sonneneinstrahlung können hier Erträge vervielfachen. Die Textur spielt in Böden unter feucht-tropischen Verhältnissen eine unterschiedliche Rolle. Die oft sehr schweren lateritischen Böden haben eine durch Eisenhäutchen stabilisierte Krümelstruktur, die sie (bis zu 80 % Tongehalt) permeabel und damit für den Anbau aller Pflanzen brauchbar macht. Das Haupttonmineral dieser Böden ist Kaolinit. Dagegen sind die ebenfalls sehr schweren Vertisole, deren Haupttonmineral Montmorillonit ist, undurchlässige, landwirtschaftlich schwierig zu bearbeitende Böden mit sehr begrenzter Fruchtbarkeit.

Die Resultate der FAO-Arbeiten zeigen, daß die Düngung auf den Boden ebenso wie auf die Pflanze abgestimmt sein muß, wenn man optimale Resultate erzielen will.

AUS DER GESELLSCHAFT

Tätigkeitsbericht

(zusammengestellt von M. EISENHUT)

Seit dem letzten Bericht ist ein langer Zeitraum verstrichen; dies ist auf verschiedene personelle Ursachen zurückzuführen. Es ist jedoch geplant, wieder regelmäßig über die Vereinstätigkeit zu berichten.

1970

- 21. 1. Generalversammlung, anschließend Vortrag von Prof.Dr.Schachtschabel: Neue Erkenntnisse der bodenkundlichen Forschung.
- 4. 3. Dipl.Ing.O. Pregl: Die Standsicherheit von Böschungen als bodenmechanisches Problem.
- 22. 4. Dipl.Ing.Dr.O.Danneberg: Untersuchungen mit 15 N bei Humifizierungsprozessen.
- 6. 5. Dipl.Ing.Dr.F.Solar: Die Entwicklung bodenphysikalischer Kennwerte und der Sesquioxid-Dynamik in hydromorphen Böden.
- 21.10. Prof.Dr.Szelenyi: Neue Untersuchungsmethoden des Wasser- und Lufthaushaltes der Böden.
- 25.11. Prof.Dr.W. Loub: Auswirkungen der Pflanzenschutzmittel auf das Bodenleben.
- 9.12. Ing.W. Bachler: Die P-Sorption und -Fixierung in ihrer Beziehung zu einigen Bodenmerkmalen und zur Zuckerrübenproduktion.
- 16.-17.10. Exkursion in das Klagenfurter Becken, Kärnten.

Veröffentlichungen: Heft 13 der Mitteilungen

Exkursionsführer über das Klagenfurter Becken.

20. 1. Generalversammlung, anschließend Vortrag von Prof.Dr.Schwertmann:
Neues zur Bodenazidität und Bodenversauerung.
3. 3. Dipl.Ing.Dr.Messiner: Extraktion und Ionentausch - Vergleich zweier
verschiedener Wege zur Ermittlung der Nährstoffversorgung im Boden.
21. 4. Dipl.Ing.A.Krabichler: Bodenkartierung in Österreich.
5. 5. Dr. Schwaighofer: Geologisch-bodenkundliche Studien zur Gesteins-
verwitterung auf den Kanarischen Inseln.
- 20.10. Dr. Löhnert: Subrosion und Grundwasserversalzung im Norddeutschen
Flachland.
- 2.11. Dr. Riedmüller: Beziehungen zwischen Bodenkunde und Baugologie.
- 15.12. Prof.Dr.H.Franz: Weiterentwicklung der Bodensystematik auf Grund
der genauen Kenntnis der Bodendynamik.
9. - 10.9. Exkursion in Tirol.

Veröffentlichungen: Heft 14 der Mitteilungen

Exkursionsführer über Tirol.

19. 1. Generalversammlung, anschließend Vortrag von Prof.Dr.H.Franz:
Nepal.
8. 3. Doz.Dr.Hofmann: Neue Enzymforschung in Böden.
22. 3. Dr. Gusenleitner: Der Aussagewert von Boden- und Blattanalysen.
19. 4. Dr.H. Müller: Beziehungen zwischen Ertrag und Qualität von Zucker-
rüben zu Merkmalen einer erweiterten Bodenuntersuchung.
31. 5. Doz.Dr. Blümel: Der Boden als Filter.
- 4.10. Dr. Nemeth: Neue Methoden zur Nährstoffuntersuchung und ihre Bedeu-
tung für Bodenkunde und Pflanzenernährung.
- 25.10. Prof. Smyk: Mykotoxine in Agrarböden - Biologie und Bodenmüdigkeit.
- 29.11. Doz.Dr.F.Solar: Aussagekraft von Bodenkennwerten für die Boden- und
Standortsbeurteilung.

13.12. Dipl.Ing.Stecker: Die Fortführung der Bodenschätzung unter besonderer Berücksichtigung der wirtschaftlichen Entwicklung in der Landwirtschaft.

8.-9.9. Exkursion im Raum Zell am See - Großglockner, Salzburg.

Veröffentlichungen: Heft 15 der Mitteilungen

Exkursionsführer über den Raum Zell am See - Großglockner.

1973

24. 1. Generalversammlung, anschließend Vortrag von Prof.Wind, Wageningen: Zusammenhänge zwischen Bodenkunde, Bodenphysik und Pflanzenwachstum.

4. 4. Dipl.Ing.Dr.O.Danneberg: Extraktion von Huminstoffen.

2. 5. Dr. W. Kilian: Waldböden in den südöstlichen Randalpen.

23. 5. Prof.DDr.Mückenhausen: Junge und alte Böden im Rheinischen Schiefergebirge.

7.11. DDr. V. Janik: Die Mikromorphologie von Böden auf Feinsedimenten in Oberösterreich.

21.11. Dr. H. Bronner: Kenndaten von Zuckerrübenböden bei rinderhaltenden und rinderlosen Betrieben.

28.-29.9. Exkursion in Oberösterreich.

Veröffentlichungen: Heft 16 der Mitteilungen

Exkursionsführer zum Thema: Waldböden in Oberösterreich.

1974

30. 1. Generalversammlung, anschließend Vortrag von Prof.Dr.S.Egerszegi, Budapest: Die Melioration von Sandböden.

27. 3. Prof.Dr.W. Loub: Umweltverschmutzung in bodenkundlicher Sicht.

24. 4. Dipl.Ing.Dr.O.Nestroy: Leitlinien des Wasserhaushaltes von Böden im Marchfeld.

8. 5. Dr.M.Knälmann, Hannover: Rückhaltevermögen von Böden für anionische Radionukleide.

29. 5. Doz.Dipl.Ing.Dr.F.Solar: Mikrostruktureinheiten und Elementverteilung in Böden.
- 20.11. Dipl.Ing.Dr.G. Husz: Standortfaktoren in der tropischen Landwirtschaft.
- 4.12. Dr.H.E.Oberländer: Der Beitrag der Radiochemie zur Erforschung des Humusgehaltes im Boden.
- 27.-28.9. Exkursion ins Marchfeld und ins östliche Weinviertel.

Veröffentlichungen: Heft 17 der Mitteilungen

Exkursionsführer zum Thema: Rübenböden im Marchfeld
und im östlichen Weinviertel.

1975

15. 1. Generalversammlung, anschließend Vortragsveranstaltung mit dem
Thema: Untersuchungsergebnisse an österreichischen Trockengebieten.
- Doz.Dr.F.Solar: "Standortkundlich relevante Bodenkennwerte".
- Dr.H.Müller: "Die Bewertungsmodelle von Standortfaktoren im Zuckerrübenbau".
- Doz.Dr.G.Husz: "Auswertungsmodelle zu bodenkundlichen Untersuchungsmethoden im Ausland".
- Dr.Harald Müller: "Tonmineralogie der Exkursionsprofile 1974".
- Dipl.Ing.A.Stecker: "Die Ackerzahl der Bodenschätzung als Wertmaßstab der natürlichen Ertragsbedingungen eines Standortes".
- Dipl.Ing.A.Krabichler: "Vorstellungen über ein neues Bodenuntersuchungssystem".
9. 4. Vortragsveranstaltung mit den Themen:
- Dipl.Ing.A.Stecker: "Eindrücke vom 10.Internationalen Bodenkundlichen Kongreß in Moskau 1974".
- Dr.H.Müller: a) "Sehenswürdigkeiten von Moskau sowie ein Bericht über die bodenkundliche Exkursion zum Studium der zonalen Bodenabfolge zwischen Moskau und Jalta"
- b) "Spurenelementbehandlungen zu Zuckerrüben in Abhängigkeit von Stickstoffmenge und analytischen Bodenkennwerten".
- Dr. W. Kilian: "Junge Bodenbildungen auf der Dachsteinhochfläche"

Dr.E.Klaghofer: "Die Verdunstung des Bodenwassers".

- 3.12. Generalthema: "Beurteilungsaspekte bei Grünlandböden; ihre praktische Anwendung bei der Bewirtschaftung und Bonitierung eines Standortes"

Dr.R.Libiseller: "Bodenkundliche und pflanzenbauliche Aspekte von Tiererkrankungen".

Doz.Dipl.Ing.Dr.E.Kutschera: "Die Pflanzensoziologie als Funktion von Standort und Bewirtschaftung".

Univ.Prof.Dr.H.Köhler: "Grünlandwirtschaft, Krankheitserscheinungen bei landwirtschaftlichen Nutztieren in Österreich (unter besonderer Berücksichtigung der Kalzinose, der Weidetanie und von Fruchtbarkeitsstörungen)".

Dipl.Ing.Dr.G.Schechtner: "Grünlandstandorte und ihre Ertragsleistung".

Dipl.Ing.Dr.P.Gruber: "Praktische Grünlandberatung".

Dipl.Ing.A.Stecker: "Fiskalische Bonitierung der Grünlandstandorte".

19.-20.9. Exkursion ins steirische Ennstal.

Veröffentlichungen: Exkursionsführer zum Thema: Grünlandstandorte im steirischen Ennstal.

1976

4. 2. Generalversammlung, anschließend Vortrag von Prof.Dr.H.Franz:
Vergleichende Ökologie der Wüste.

7. 4. Vortragsveranstaltung mit den Themen:

Dipl.Ing.Dr.H.Wachtel: "Das Problem des Löslichkeitsrückganges (Alterung) des Düngerphosphates im Boden".

Dipl.Ing.L.Groll: "Die Bedeutung der Boden- und Nährstofferosion durch Niederschlagswasser".

Dipl.Ing.Dr.G.Hauser: "Arbeiten der FAO zur Förderung der Bodendüngung in Entwicklungsländern".

Dipl.Ing.Dr.R.Gretzmacher: "Bodenwirtschaft in Nigeria".

- 15.12. Vortragsveranstaltung mit den Themen:

Univ.Prof.Dr.H.Franz: "Die Terrassen im Raum der Parndorfer Platte".

Coreferat von Dr.Harald Müller: "Schwermineraluntersuchungen im Seewinkel".

Dr. A. J. Havinga, Wageningen: "Pollenprofile im Östlichen Österreich unter besonderer Berücksichtigung des Hansag".

Dipl. Ing. P. Nelhiebel: "Die bodenkundlichen Verhältnisse im Seewinkel".

17.-18.9. Exkursion in den Raum Nördliches Burgenland - Seewinkel.

Veröffentlichungen: Exkursionsführer zum Thema: NW-Rand der Kleinen ungarischen Tiefebene mit besonderer Berücksichtigung der Böden auf den Schotterterrassen und der Salzböden.

1977

26. 1. Generalversammlung, anschließend Vortrag von Prof. Dr. J. Fink:
Bodenkundliche Eindrücke in Neuseeland und Brasilien.

20. 4. Vortragsveranstaltung unter dem Motto: Stoff- und Wasserbewegung
im Boden

Dipl. Ing. Dr. E. Klaghofer: "Grundbegriffe der Stoffbewegung im Boden".

Prof. Dipl. Ing. Dr. F. Kastanek: "Wasserbewegung im Boden".

Dr. H. Grimme, Hannover: "Nährstofftransport im Boden".

14. 12. Vortragsveranstaltung mit dem Thema: Hydromorphe Böden.

Doz. Dipl. Ing. Dr. F. Solar: "Hydromorphe Böden. Entwicklung und
Eigenschaften".

Prof. Dr. W. Loub: "Mikrobiologische Beurteilung von Böden unter beson-
derer Berücksichtigung hydromorpher Standorte".

Doz. Dipl. Ing. Dr. Hubert Müller: "Landwirtschaftliche Nutzung und
Eignung hydromorpher Böden".

Dipl. Ing. Dr. Harald Müller: "Tonmineralogische Charakteristik der
Machlandböden".

Doz. Dipl. Ing. Dr. H. Bronner: "Das landwirtschaftliche Ertragspotential
der Machlandböden und ihre Nutzung".

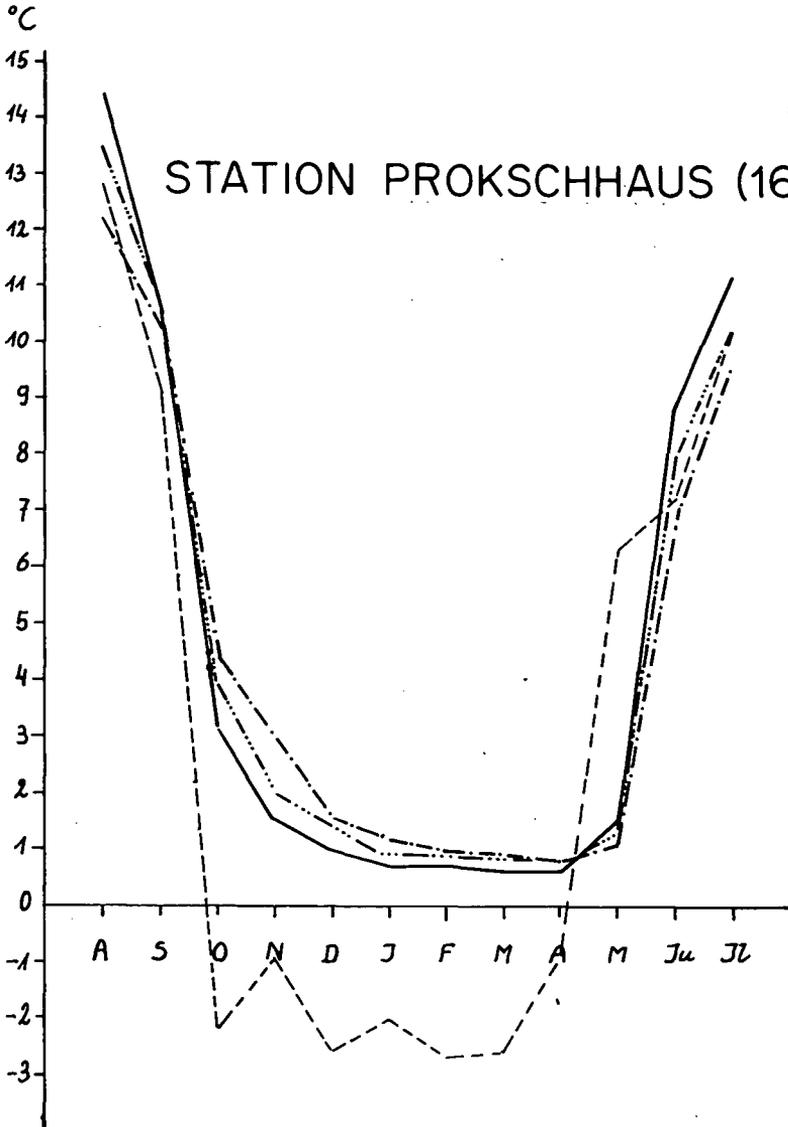
30.9.-1.10. Exkursion ins "Machland", Oberösterreich.

Veröffentlichungen: Heft 18/19 der Mitteilungen.

Exkursionsführer zum Thema: Landformung und Böden im
Machland.

Abb. 1

STATION PROKSCHHAUS (1600m)



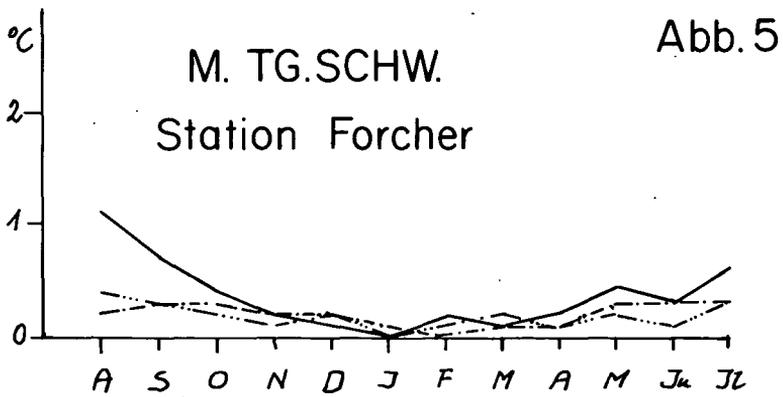
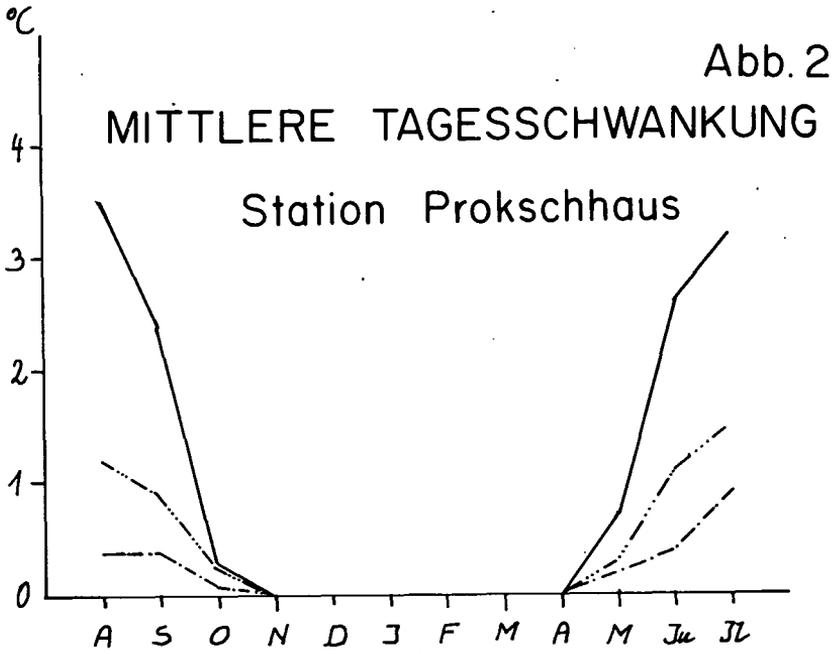


Abb. 3

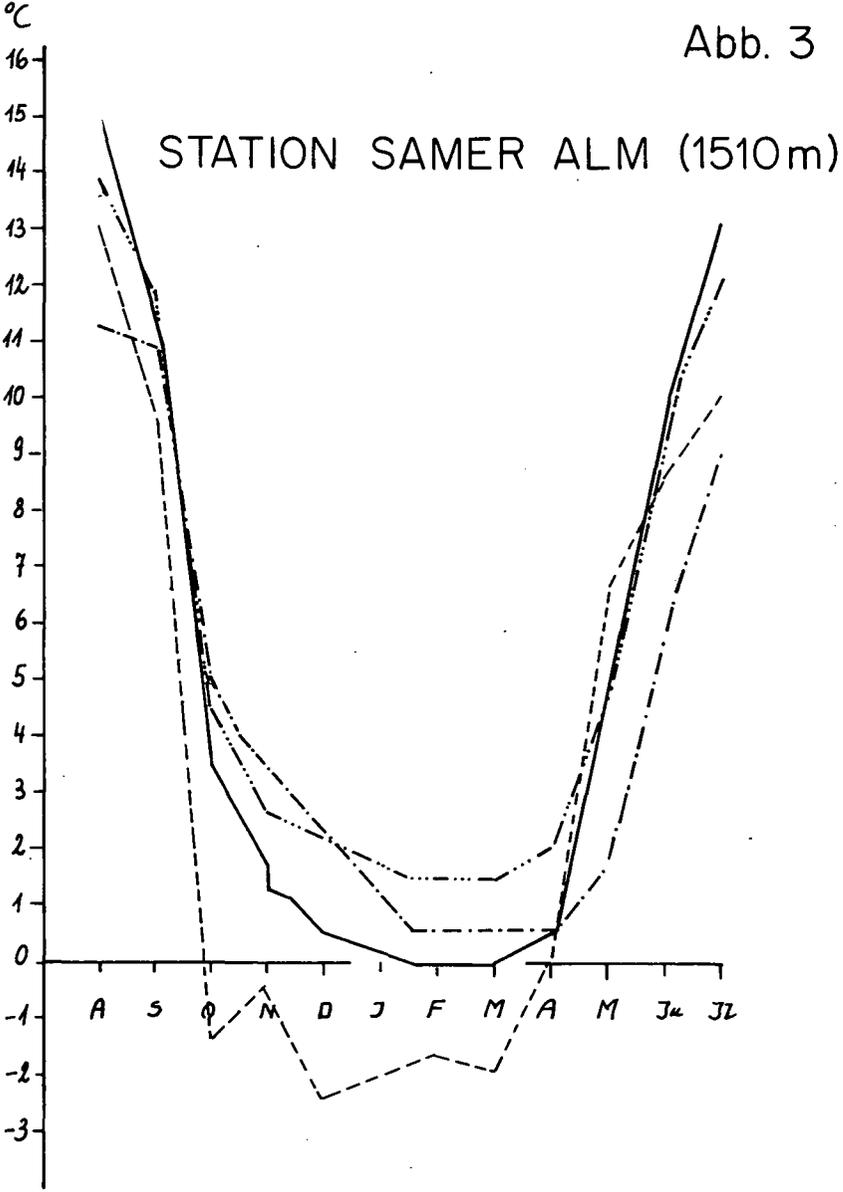
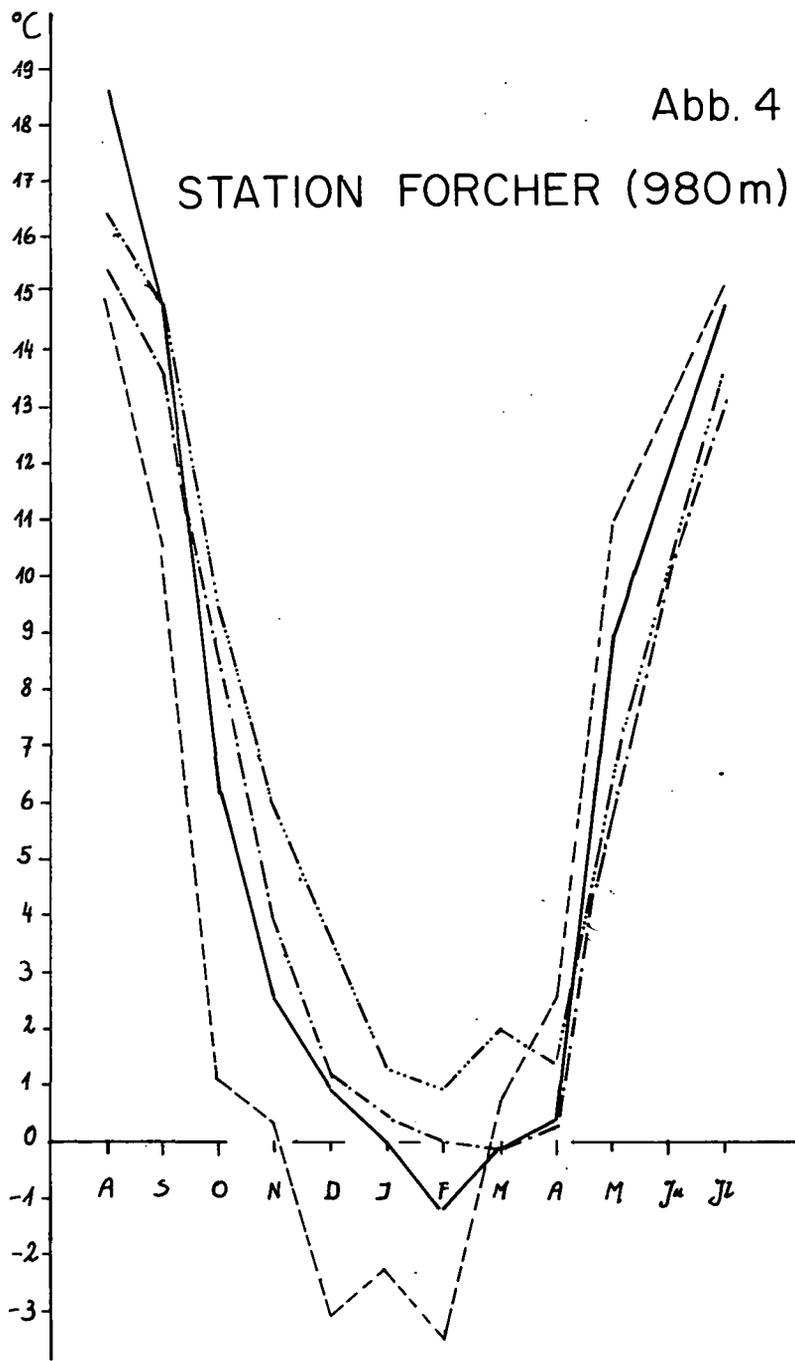


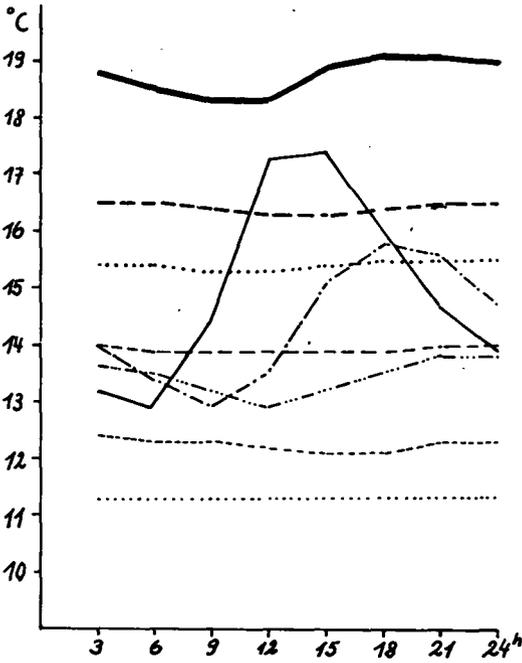
Abb. 4

STATION FORCHER (980m)



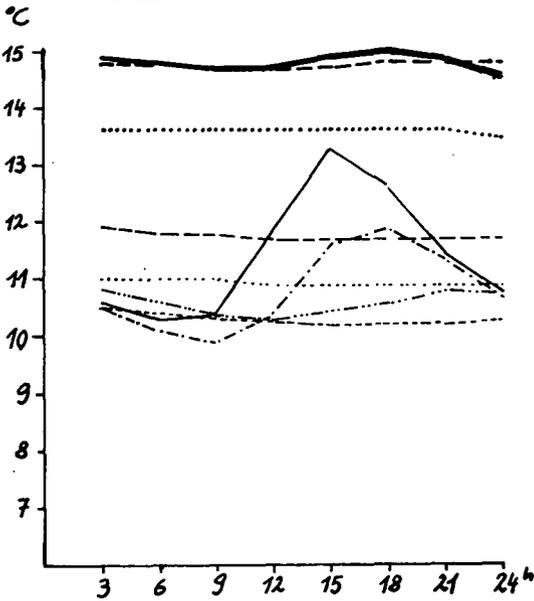
AUGUST 1974

Abb. 6



SEPTEMBER 1974

Abb. 7



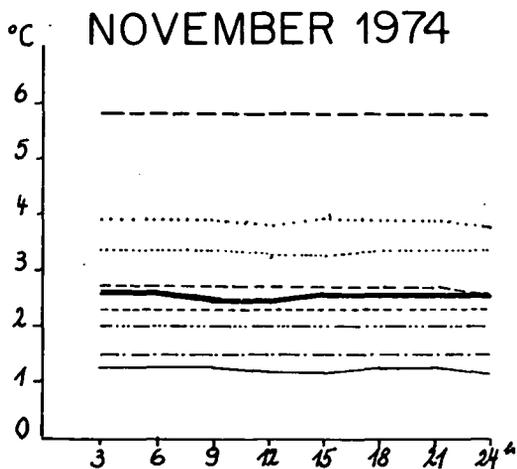


Abb. 8

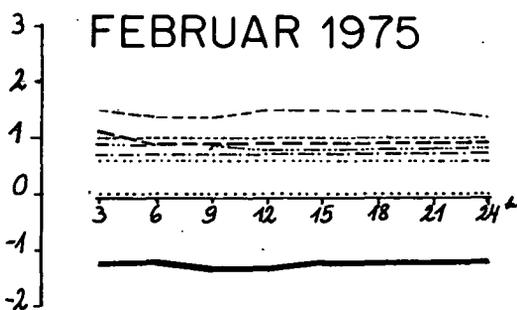


Abb. 9

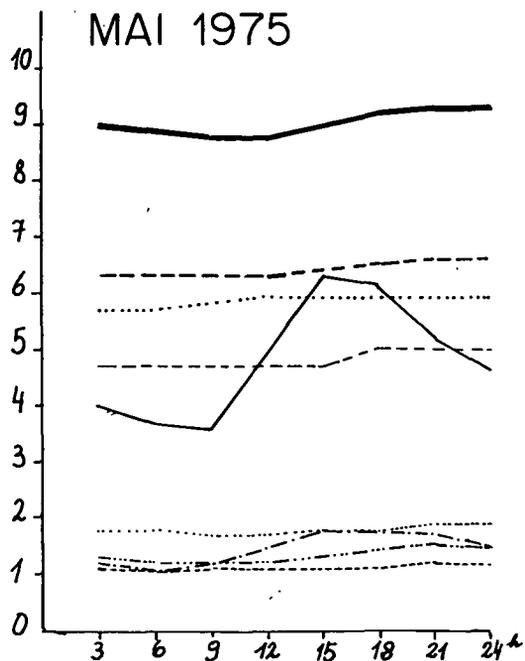


Abb. 10

LEGENDE zu Abb. 1-5

| | |
|-------|-----------------------------------|
| ----- | MM. LUFTTEMPERATUR |
| ————— | MM. SA=10 cm, P= 5,5 cm, F=9,0 cm |
| | MM. SA=30 cm, P= 18 cm, F= 27 cm |
| ----- | MM. SA=70 cm, P= 40 cm, F= 55 cm |

LEGENDE zu Abb. 6-10

| | |
|-------|------------------------|
| ————— | TGM. FORCHER 9,0 cm |
| ----- | -"- -"- 27,0 -"- |
| | -"- -"- 55,0 -"- |
| ————— | TGM. SAMER A. 10,0 -"- |
| ----- | -"- -"- 30,0 -"- |
| | -"- -"- 70,0 -"- |
| ----- | TGM. PROKSCHH. 5,5 -"- |
| | -"- -"- 18,0 -"- |
| ----- | -"- -"- 40,0 -"- |