Ber. Naturhist. Ges. 115, Hannover 1971

Spezifische Wärme und raum-zeitliche Verteilung der Wärmekapazität an drei edaphisch unterschiedlichen Standorten

Von MICHAEL MIESS*)

Mit 10 Abbildungen

Es werden Zahlenwerte der spezifischen Wärme, der Wärmekapazität für trockenen und feuchten Boden und der Dichte mitgeteilt. Untersucht wurden eine Podsol-Braunerde, ein Hochmoor- und ein Niedermoorprofil. Es wird gezeigt, daß Führungsgröße der Wärmekapazität im Hoch- und Niedermoor der jeweilige Wassergehalt ist, und daß die Wärmekapazität des trockenen Torfes der Größenordnung nach eine untergeordnete Rolle spielt. Für die drei Bodenprofile veranschaulichen Isoplethen-Diagramme den Jahresgang der Wärmekapazität in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt. Messungen der Bodentemperatur wurden benutzt, um durch harmonische Analyse der mittleren täglichen Temperaturwelle die Temperaturleitfähigkeit und daraus die Wärmeleitfähigkeit zu errechnen.

The paper deals with values of specific heat, of heat capacity in soils under dry and wet conditions and of soil density. The investigation was made in profiles of Brown Podzolic soil, highmoor and lowmoor. It is shown, that the leading value concerning heat capacity in the highmoor and lowmoor is given by water content, while in dry peat material the rate of heat capacity is of secondary importance. Isopleth-diagrams show the annual course of heat capacity in the three mentioned soil profiles.

1. Problemstellung

Bei der Unterschiedlichkeit der den Boden aufbauenden Substanzen, deren Zusammensetzung sich meist räumlich stark ändert, sind Meßergebnisse über die spezifische Wärme oftmals nur lokal gültig. A. BAUMGARTNER (1963) forderte daher „im Interesse genauer Wärmehaushaltsuntersuchungen . . . mehr experimentelle Untersuchungen der Wärmekapazität natürlicher Böden". Bisher wurden Meßwerte der spezifischen Wärme und der Wärmekapazität in Veröffentlichungen von E. A. MITSCHERLICH (1920), J. SCHUBERT (1930), HANN-SÜRING (1939), D. J. PORTMANN (1957), V. E. SUOMI (1957), E. FRANKEN-

*) Anschrift des Verfassers: Dr. MICHAEL MIESS, Technische Universität, 3000 Hannover-Herrenhausen, Herrenhäuser Straße 2. Institut für Meteorologie und Klimatologie der Technischen Universität Hannover.

BERGER (1960), R. GEIGER (1960) u. a. mitgeteilt. Die allgemeine Verwendung der meisten Zahlenwerte ist bei sehr genauen Ansprüchen dadurch erschwert, daß Bodenart und Bodentyp nicht präzise angegeben sind und die vertikale Veränderung der spezifischen Wärme im Bodenprofil meist nicht berücksichtigt wurde.

Die Wärmekapazität des Bodens läßt sich zerlegen in eine von der wasserfreien Bodensubstanz bestimmte Komponente, die über kürzere Zeiträume als konstant angesehen werden kann, und in eine zeitlich variable, durch den wechselnden Bodenwassergehalt gekennzeichnete Komponente. Voraussetzung für die Ermittlung der jeweils herrschenden „Gesamtwärmekapazität" $(\varrho \cdot c)_w$ in $[cal \cdot cm^{-3} \cdot {}^{\circ}C^{-1}]$ ist die Kenntnis der spezifischen Wärme (c) in $[cal \cdot g^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}]$, der Dichte der Lagerung (ϱ) in $[g \cdot cm^{-3}]$ und des Bodenwassergehalts (w) in [Vol.%]. Die Wärmekapazität des feuchten Bodens in natürlicher Lagerung ergibt sich dann — bei Vernachlässigung der vergleichsweise kleinen Wärmekapazität der Bodenluft und unter der Annahme, daß die Dichte und die spezifische Wärme des Wassers gleich 1 betragen — als Summe aus der Wärmekapazität des trockenen Bodens $(\varrho_{tr} \cdot c_{tr})$ und dem von Wasser erfüllten Volumenanteil (w). In Gleichungsform läßt sich für die Wärmekapazität des feuchten Bodens schreiben:

$$(\varrho \cdot c)_w \equiv (\varrho_{tr} \cdot c_{tr}) + W \; [cal \cdot cm^{-3} \cdot {}^{\circ}C^{-1}] \qquad (1)$$

Kenntnisse des Parameters „Wärmekapazität" sind erforderlich zur rechnerischen Ermittlung des tages- und jahreszeitlich wechselnden Bodenwärmestroms, d. h. jenes Anteils der Strahlungsenergie, der im Bodenprofil umgesetzt wird und dadurch vorübergehend anderen energiebeanspruchenden Prozessen an der Erdoberfläche (Evapotranspiration, Erwärmung der bodennahen Atmosphäre) entzogen bzw. beim nächtlichen Bodenwärmerückstrom wieder zugeführt wird. Der Bodenwärmestrom und damit die Wärmekapazität im Zusammenhang mit der Wärmeleitfähigkeit werden zu entscheidenden Gliedern der nächtlichen Energiebilanz an der Bodenoberfläche und damit der Frostgefährdung an einem Standort. Im Rahmen von Energiebilanzuntersuchungen im Bereich des großen Bremer Beckens über einem Hochmoor und Niedermoor (Teufelsmoor) und der angrenzenden Geestlandschaft (M. MIESS, 1968) wurden die nachfolgend mitgeteilten bodenphysikalischen Untersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der Wärmekapazität durchgeführt.

2. Die spezifische Wärme der festen Bodensubstanz

2.1 Methode

Im vorliegenden Falle wurde die spezifische Wärme mit einem adiabatischen Flüssigkeitskalorimeter der Firma JANKE & KUNKEL im Temperaturbereich zwischen 20 und 30° C bestimmt. Bei der Bestimmung wurde die „Aufheizmethode" angewandt. In den Innenkessel des Kalorimeters wurde die Boden-

probe zusammen mit einer Wassermenge bekannten Gewichts eingewogen. Von den zu untersuchenden Hochmoor- und Niedermoortorfen konnten maximal 200 g des vorher zwecks definierter Einwaage bei 105° C getrockneten Torfes in den ca. 2000 g Wasser fassenden Innenkessel eingewogen werden. Größere Torfeinwaagen ergaben eine breiige Aufschlämmung, die nicht mehr zuverlässig vom Rührwerk durchmischt wurde bzw. durch vergrößerte Reibung zur Bildung von „Rührwärme" führte. Das Bodenmaterial der Podsol-Braunerde konnte dagegen in Mengen von 500 g eingewogen werden, was die Genauigkeit der Bestimmung erhöht (Gleichung 2).

Die Bestimmung der spezifischen Wärme der Torfproben wurde auch dadurch erschwert, daß die Wiederbenetzung der getrockneten Torfproben im Kalorimetergefäß Schwierigkeiten bereitete, die nur dadurch beseitigt werden konnten, daß ein kleiner Teil der für die kalorimetrische Bestimmung erforderlichen Wassermenge zusammen mit der Torfeinwaage erhitzt wurde. Der gut durchmischten Probe im Innenkessel wurde nach Ablesung der Ausgangstemperatur am Beckmann-Thermometer ($^1/_{100}$ Gradeinteilung) über eine elektrische Eichvorrichtung eine genau bekannte Wärmemenge Q = 7434 cal zugeführt und nach erneutem Wärmeausgleich der resultierende Temperaturanstieg beobachtet. Die Auswertung der am Kalorimeter erzielten Meßergebnisse erfolgte nach der Gleichung:

$$c = \frac{1}{G}\left(\frac{Q}{\vartheta_{eb}-\vartheta_{ab}} - \frac{Q}{\vartheta_{ew}-\vartheta_{aw}}\right) \qquad [cal \cdot g^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}] \qquad (2)$$

c = spezifische Wärme [cal · g^{-1} · °C^{-1}]
G = Gewicht der Bodeneinwaage [g]
Q = über elektrische Eichvorrichtung zugeführte Wärmemenge [cal]
ϑ_{ab} = Anfangstemperatur mit Bodeneinwaage [°C]
ϑ_{eb} = Endtemperaturablesung mit Bodeneinwaage [°C]
ϑ_{aw} = Anfangstemperaturablesung bei Wasserwertbestimmung [°C]
ϑ_{ew} = Endtemperaturablesung bei Wasserwertbestimmung [°C]

Das zweite Glied der Klammer in Gleichung (2) bezeichnet den Wasserwert des Kalorimeters, der in mehreren Vorversuchen mit konstanter Wassermenge bestimmt wird. Die Differenz im Klammerausdruck wächst bei gegebenem Wasserwert mit zunehmender Bodeneinwaage. Im gleichen Sinne wächst die Genauigkeit des Meßergebnisses. Die obere Grenze für die Bodeneinwaage ergibt sich aus dem Fassungsvermögen des Kalorimeterkessels und der Forderung nach ausreichender Durchmischung des Boden-Wasser-Gemisches zwecks vollständigem Wärmeaustausch im Innenkessel des Kalorimeters.

Von der Außentemperatur abhängige Korrekturen der Temperaturablesungen am Beckmann-Thermometer entfallen beim adiabatischen Kalorimeter, da ein elektronisch gesteuerter Regelkreis für Temperaturgleichheit zwischen Meß-

medium im Innenkessel und umgebendem Außenkessel sorgt, was einen Wärmeaustausch mit der Umgebung ausschließt. Die richtige Funktion des Regelkreises wurde vor jeder Meßserie überprüft und gegebenenfalls neu abgeglichen.

2.2 Ergebnisse

In der folgenden Tabelle sind die bei der Bestimmung erzielten Werte der spezifischen Wärme für die Podsol-Braunerde mitgeteilt. Die angeführten Zahlenwerte sind Mittelwerte aus je 5 Einzelbestimmungen.

Tab. 1:

Spezifische Wärme der Podsol-Braunerde [cal · g^{-1} · °C^{-1}]

Bodentiefe cm									
0—5	10—15	15—20	25—35	35—45	45—55	55—65	65—75	75—85	85—95
Spez. Wärme									
0.19	0.20	0.19	0.19	0.25	0.26	0.29	0.29	0.29	0.29

Als kleinster Wert für die Standardabweichung wurde ± 0.009, als größter ± 0.017 [cal · g^{-1} · °C^{-1}] ermittelt. Der Variationskoeffizient ergab Werte zwischen ± 2,9 und ± 9,3%. Verlauf und Streuung der spezifischen Wärme werden anschaulich in der folgenden Abb. 1 dargestellt.

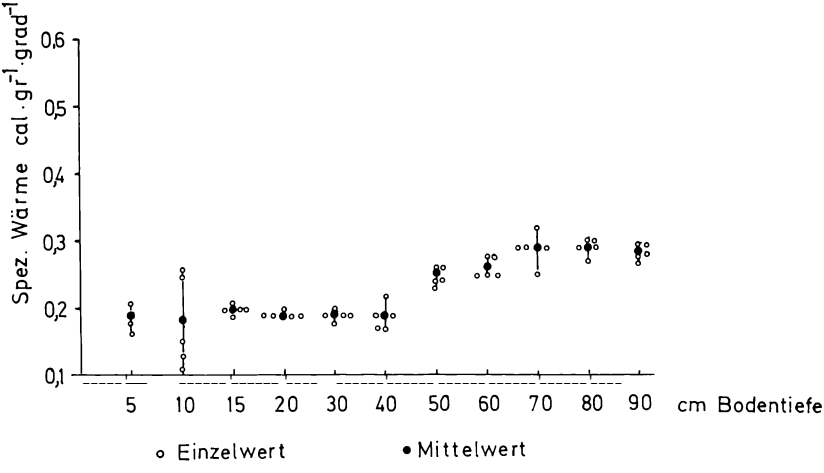


Abb. 1: Mittelwerte und Variationsbreite der spezifischen Wärme (c) für eine Podsol-Braunerde.
Mean values and variation of specific heat for a Brown Podzolic soil.

Gegenüber den Meßwerten, die für die Podsol-Braunerde erhalten wurden, streuen die Zahlenwerte der spezifischen Wärme der Torfproben merklich mehr;

z. B. lag die Standardabweichung für Hochmoortorfe bei ± 0.016 bis ± 0.053 [cal · g^{-1} · °C^{-1}] und für Niedermoortorfe zwischen ± 0.013 und ± 0.054 [cal · g^{-1} · °C^{-1}] (vgl. auch Abb. 2 und 3). Als Variationskoeffizient wurden für den Hochmoortorf Werte zwischen ± 5,0 und ± 19,7%, für den Niedermoortorf zwischen ± 2,7 und ± 10,3% errechnet. In diesen Angaben kommen die meßtechnischen Schwierigkeiten zum Ausdruck, die besonders bei der kalorimetrischen Bestimmung der spezifischen Wärme für Torfe bestehen:

1. können nur geringe Bodenmengen eingewogen werden,
2. ist es kaum vermeidbar, daß ein Teil der Probe durch den Auftrieb an der Oberfläche verbleibt und der Temperaturausgleich im Innenkessel dadurch unvollkommen ist,
3. müssen längere Bestimmungszeiten gewählt werden, die selbst bei einer geringen Temperaturdrift des Kalorimeters merkliche Fehler verursachen.

Die erzielten Mittelwerte für die spezifische Wärme trockener Hochmoortorfe werden in der folgenden Tabelle mitgeteilt; der Verlauf der Meßgröße und die Streuung um den Mittelwert sind der nachfolgenden Abb. 2 zu entnehmen.

Tab. 2:

Spezifische Wärme des Hochmoortorfes [cal · g^{-1} · °C^{-1}]

Bodentiefe cm	0—5	5—15	15—25	25—35	35—45	45—55	55—65	65—75	75—85	85—95
Spez. Wärme	0.36	0.26	0.35	0.36	0.32	0.38	0.34	0.33	0.32	0.36

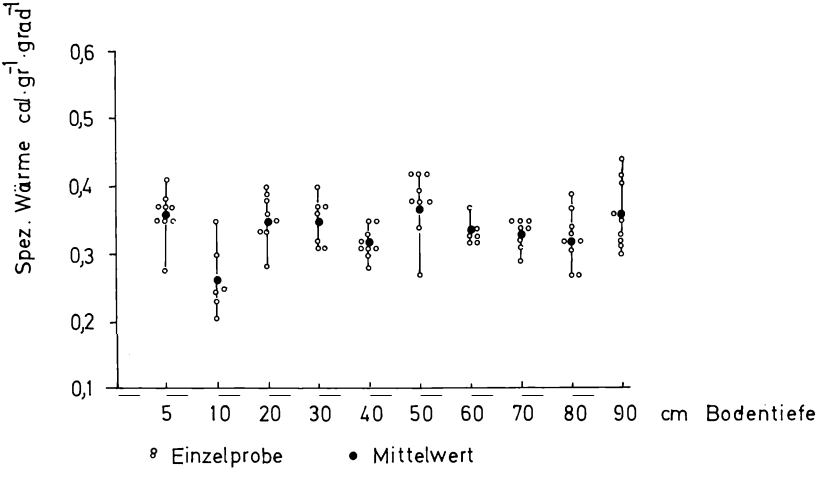


Abb. 2: Mittelwerte und Variationsbreite der spezifischen Wärme (c) für Hochmoortorf.
Mean values and variation of specific heat for a highmoor peat.

Für die stärker zersetzten Niedermoortorfe wurden die höchsten Werte spezifischer Wärme gemessen:

Tab. 3:

Spezifische Wärme des Niedermoortorfes [cal · g^{-1} · °C^{-1}]

Bodentiefe cm	0—5	5—15	15—25	25—35	40—60	90—100
Spez. Wärme	0.53	0.49	0.49	0.50	0.49	0.49

Im Mittel ergaben sich demnach für den Niedermoortorf Werte, die um 0.50 [cal · g^{-1} · °C^{-1}] liegen. In beiden Moorprofilen ist keine systematische Änderung der spezifischen Wärme mit der Bodentiefe erkennbar, was anschaulich auch der folgenden graphischen Darstellung (Abb. 3) entnommen werden kann. Alle angeführten Meßwerte beziehen sich auf bei 105° C getrocknete Bodenproben.

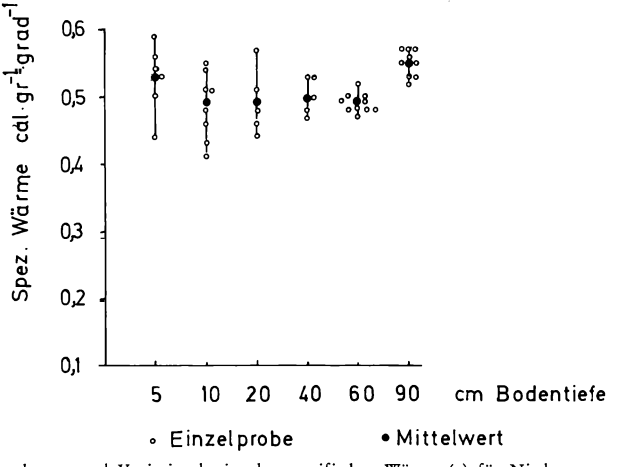


Abb. 3: Mittelwerte und Variationsbreite der spezifischen Wärme (c) für Niedermoortorf.
Mean values and variation of specific heat for a lowmoor peat.

3. Die Wärmekapazität der Volumeneinheit trockenen und feuchten Bodens

3.1 Methode

Bei gegebener spezifischer Wärme ist die Wärmekapazität der Volumeneinheit trockenen Bodens eine Funktion der Dichte der Lagerung (ϱ) [g · cm^{-3}]. Zur Umrechnung der spezifischen Wärme in Wärmekapazität der wasserfreien Bodensubstanz mußte die vertikale Verteilung der Dichte in den drei untersuchten Bodenprofilen bestimmt werden.

3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Dichtebestimmungen an den Bodenprofilen der erwähnten Profile sind in der folgenden Tab. 4 enthalten.

Tab. 4:

Dichte des trockenen Bodens in natürlicher Lagerung [$g \cdot cm^{-3}$]

Bodentiefe cm	Podsol-Braunerde	Hochmoor	Niedermoor
5—10	1.41	0.17	0.33
25—30	1.38	0.10	0.14
45—50	1.53	0.08	0.12
75—80	1.52	0.07	0.13
95—100	1.54	0.07	0.10

Nach den in Tab. 4 angeführten Zahlenwerten ist die Dichte in den Moorprofilen um ca. das 10- bis 15fache geringer als die Dichte der Podsol-Braunerde. Für das Mineralbodenprofil ergab sich außerdem eine Zunahme der Dichte mit der Bodentiefe. Ein umgekehrtes Verhalten des vertikalen Verlaufs der Dichte wurde in beiden Moorprofilen beobachtet (vgl. Abb. 4).

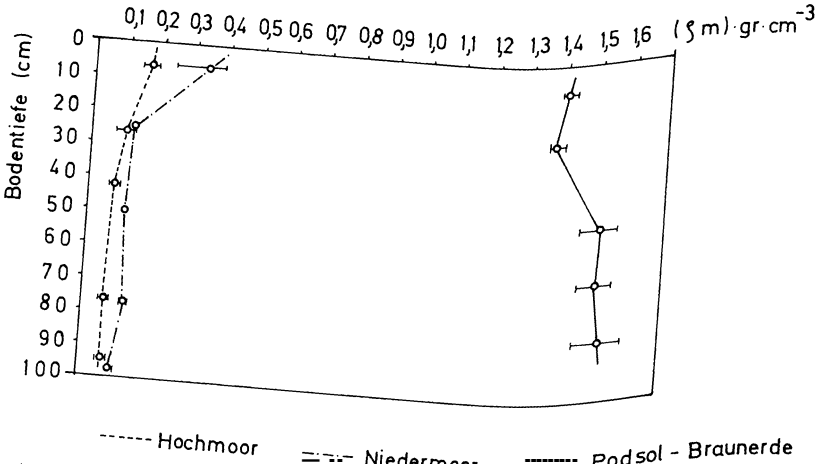


Abb. 4: Mittelwerte und Variation der Dichte der Lagerung (ϱ) in verschiedenen Bodentiefen.
Mean values and variation of soil density (ϱ) at various soil depths.

Die beiden Parameter spezifische Wärme und Dichte der trockenen Bodensubstanz dienen zunächst zur Ermittlung der Wärmekapazität der Volumeneinheit trockenen Bodens. Trotz der gegenüber der organischen Substanz meist kleineren Zahlenwerte der spezifischen Wärme für die Podsol-Braunerde ergeben sich, bedingt durch die höhere Dichte im Mineralboden, auch entsprechend höhere Werte für die Wärmekapazität je cm^3 trockenen Bodens als für das Hochmoor-

und Niedermoorprofil (Tab. 5). Die Zunahme der numerischen Werte der Wärmekapazität im C-Horizont der Podsol-Braunerde ist sowohl durch die Zunahme der spezifischen Wärme als auch durch die Zunahme der Dichte bedingt.

Tab. 5:

Wärmekapazität der Volumeneinheit trockenen Bodens [cal · cm^{-3} · °C^{-1}]

Bodentiefe cm	5—10	25—30	40—45	60—70	80—90
Podsol-Braunerde	0.27	0.27	0.27	0.40	0.45
Hochmoor	0.06	0.04	0.02	0.03	0.03
Niedermoor	0.11	0.06	0.06	0.06	0.06

Ein Vergleich der in Tab. 5 aufgeführten Zahlenwerte der Wärmekapazität trockener Bodensubstanz zeigt, daß die Zahlenwerte für die Podsol-Braunerde dem Betrage nach um das 4.5- bis 15fache größer sind als die des Hochmoores

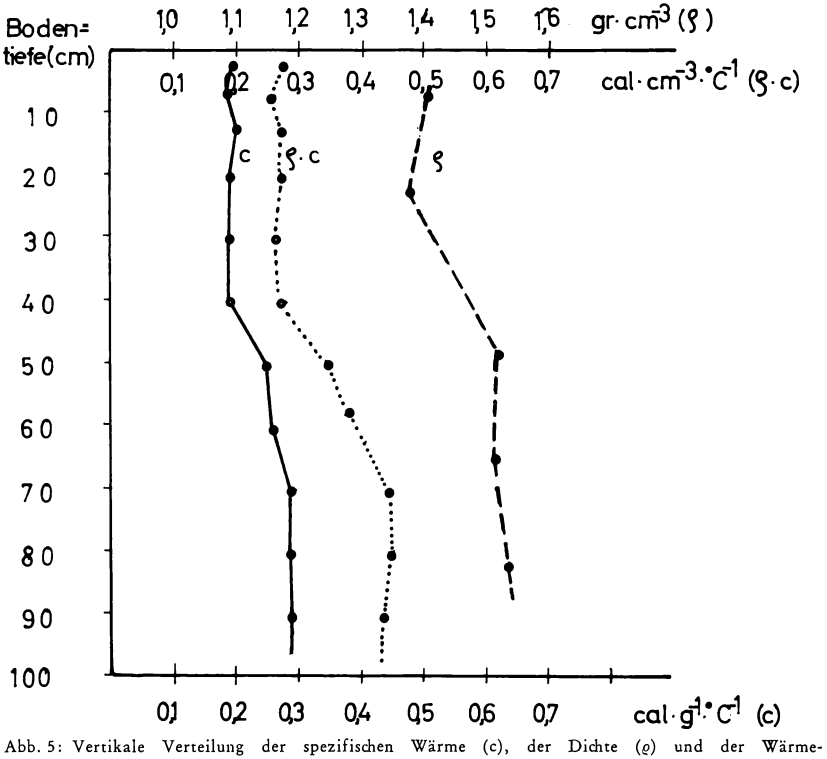


Abb. 5: Vertikale Verteilung der spezifischen Wärme (c), der Dichte (ϱ) und der Wärmekapazität ($\varrho \cdot c$) trockenen Bodens im Profil der Podsol-Braunerde
Vertical distribution of specific heat (c), soil density (ϱ) and heat capacity ($\varrho \cdot c$) for dry soil material in the profile of Brown Podzolic soil.

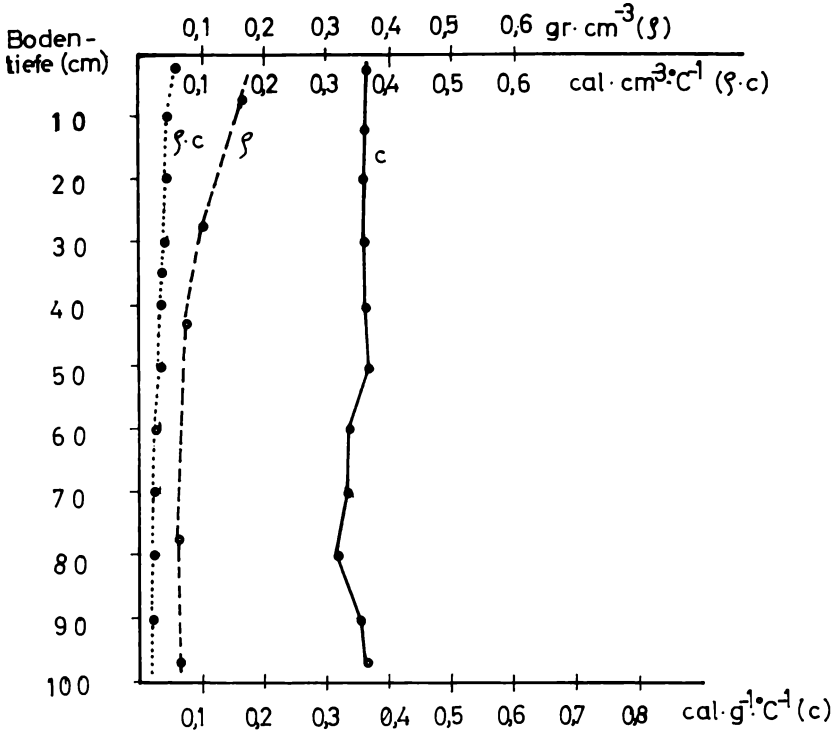


Abb. 6: Vertikale Verteilung der spezifischen Wärme (c), der Dichte (ϱ) und der Wärmekapazität ($\varrho \cdot c$) trockenen Bodens im Profil des Hochmoores.
Vertical distribution of specific heat (c), soil density (ϱ) and heat capacity ($\varrho \cdot c$) for dry soil material in the profile of highmoor.

und um das ca. 2.5- bis 7.5fache größer als die für Niedermoortorfe gefundenen Werte. In beiden Moorprofilen resultieren die kleineren Zahlenwerte aus geringeren Dichtewerten. Anschaulich werden diese Zusammenhänge für die drei untersuchten Böden in Abb. 5—7 gezeigt, die nebeneinander die bisher diskutierten Parameter spezifischer Wärme, Dichte und Wärmekapazität enthalten.

4. Raum-zeitliche Verteilung der Wärmekapazität

Während die Wärmekapazität des trockenen Bodens in diesem Zusammenhang als zeitlich konstant angenommen werden kann, verursacht der variable Wassergehalt des Bodens unperiodische Veränderungen der „Gesamtwärmekapazität". Besonders im Bodenprofil des Hochmoores und des Niedermoores wird, bedingt durch die geringe Dichte, der erste Term in Gleichung (1) gegen den zweiten klein, so daß die Wärmekapazität in den Moorprofilen entscheidend vom

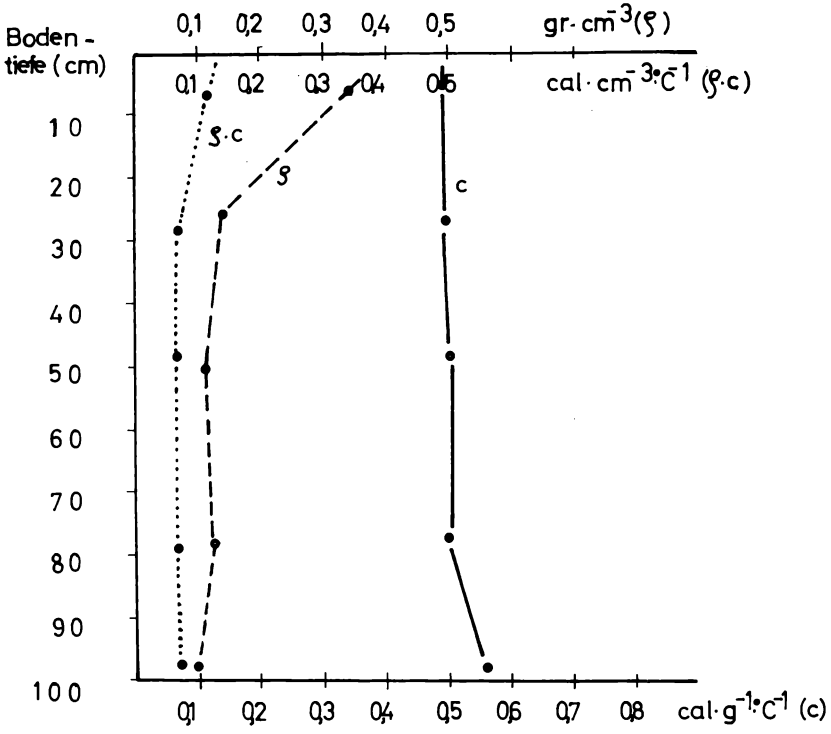
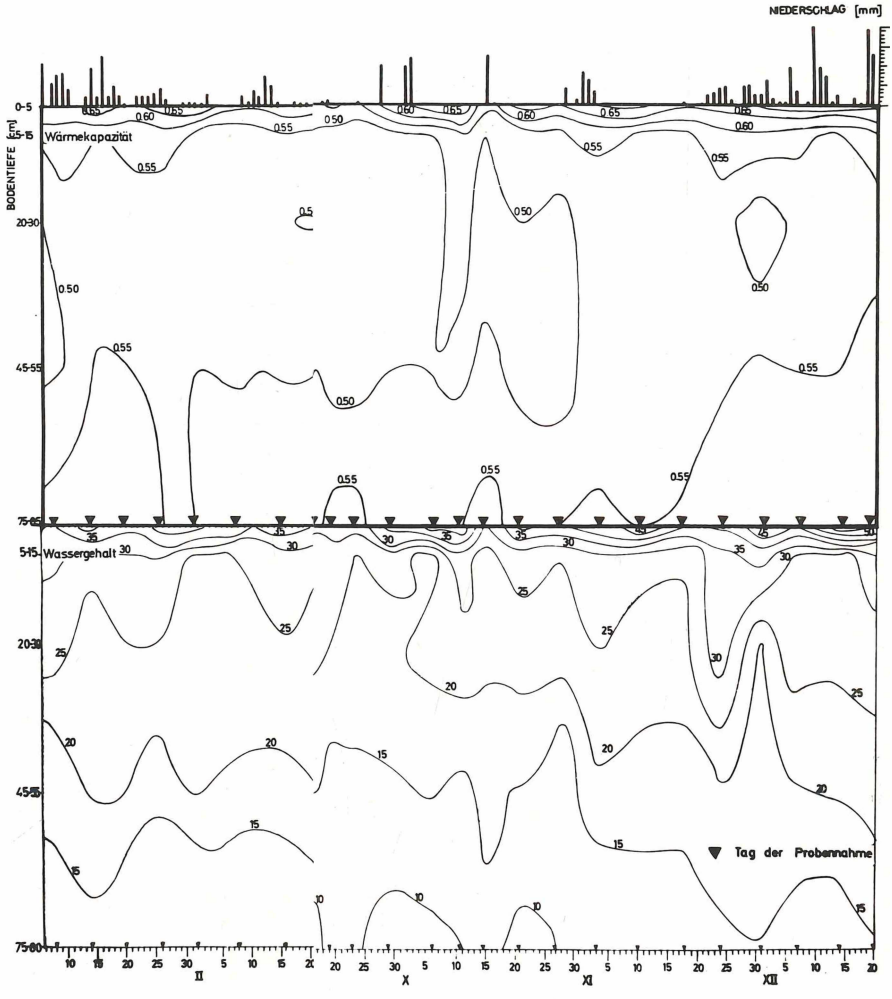


Abb. 7: Vertikale Verteilung der spezifischen Wärme (c), der Dichte (ϱ) und der Wärmekapazität ($\varrho \cdot c$) trockenen Bodens im Profil des Niedermoores.

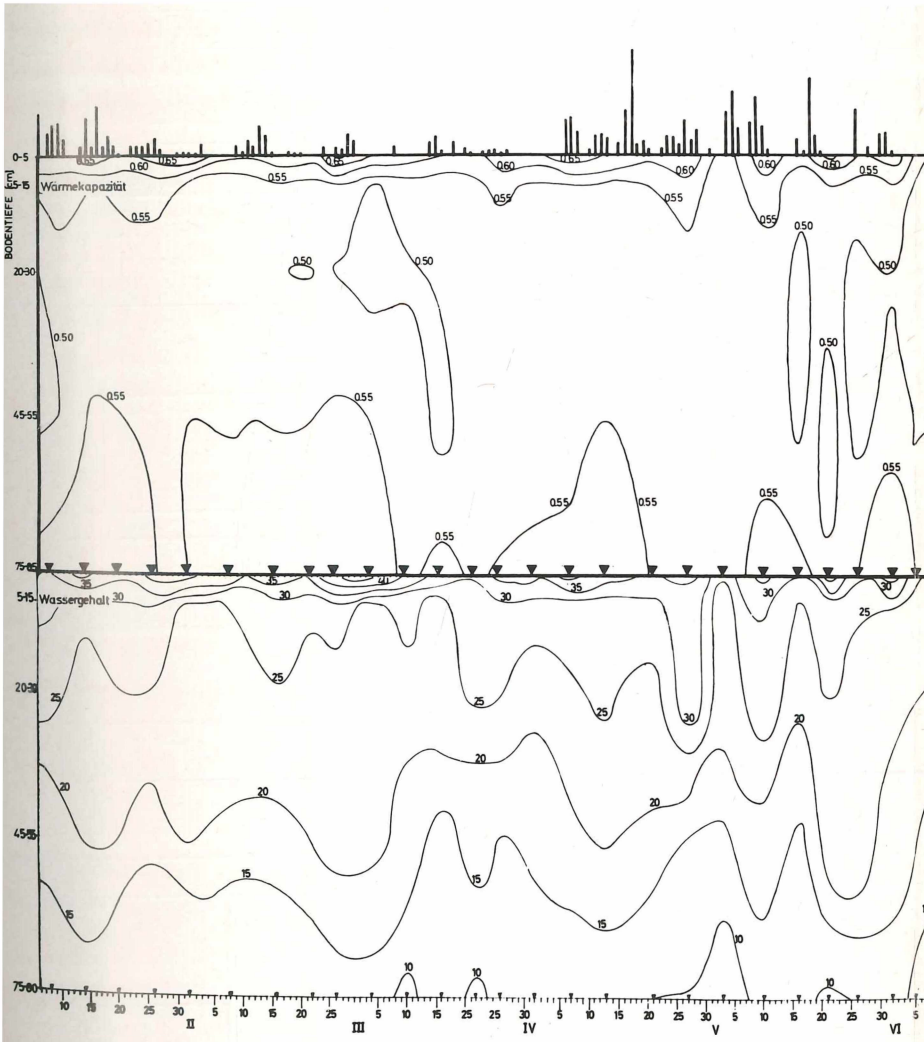
Vertical distribution of specific heat (c), soil density (ϱ) and heat capacity ($\varrho \cdot c$) for dry soil material in the profile of lowmoor.

Wassergehalt bestimmt wird. Bei Wassergehalten, die in den untersuchten Moorprofilen häufig mehr als 85 Vol.% betragen, ist der Anteil der Bodensubstanz an der Wärmekapazität lediglich 2,4 bis 7,0% im Hochmoor und 7,0 bis 12,9% im Niedermoor. Für den Mineralboden lauten die entsprechenden Zahlenwerte 100 bis 450%. Führungsgröße der Wärmekapazität in den Moorprofilen ist daher der jeweilige Wassergehalt. Als Orientierungswert und für praktische Zwecke mit nicht sehr hohen Genauigkeitsansprüchen genügt folglich die volumenprozentische Wassergehaltsbestimmung zur Ermittlung der Wärmekapazität in Moorböden.

Die Abbildungen 8—10 zeigen die Veränderungen der gesamten Wärmekapazität bei den drei untersuchten Böden. Die Auswirkungen der Zusammenhänge zwischen Dichte, Wassergehaltsänderungen und spez. Wärme sind deutlich



tliche Verteilung der Gesamt-Wärmekapazität (cal · cm^{-3} · °C^{-1})
ıalts (Vol.%) im Bodenprofil der Podsol-Braunerde 1965.
al distribution of heat capacity and water content in the profile of
-5.


BODENTIEFE [cm]
0-5
5-15
20-30
45-55
75-85
Wärmekapazität
0.50
0.55
0.60
5-15
20-30
45-55
75-85
Wassergehalt
30
25
20
15
10
II
III
IV
V
VI

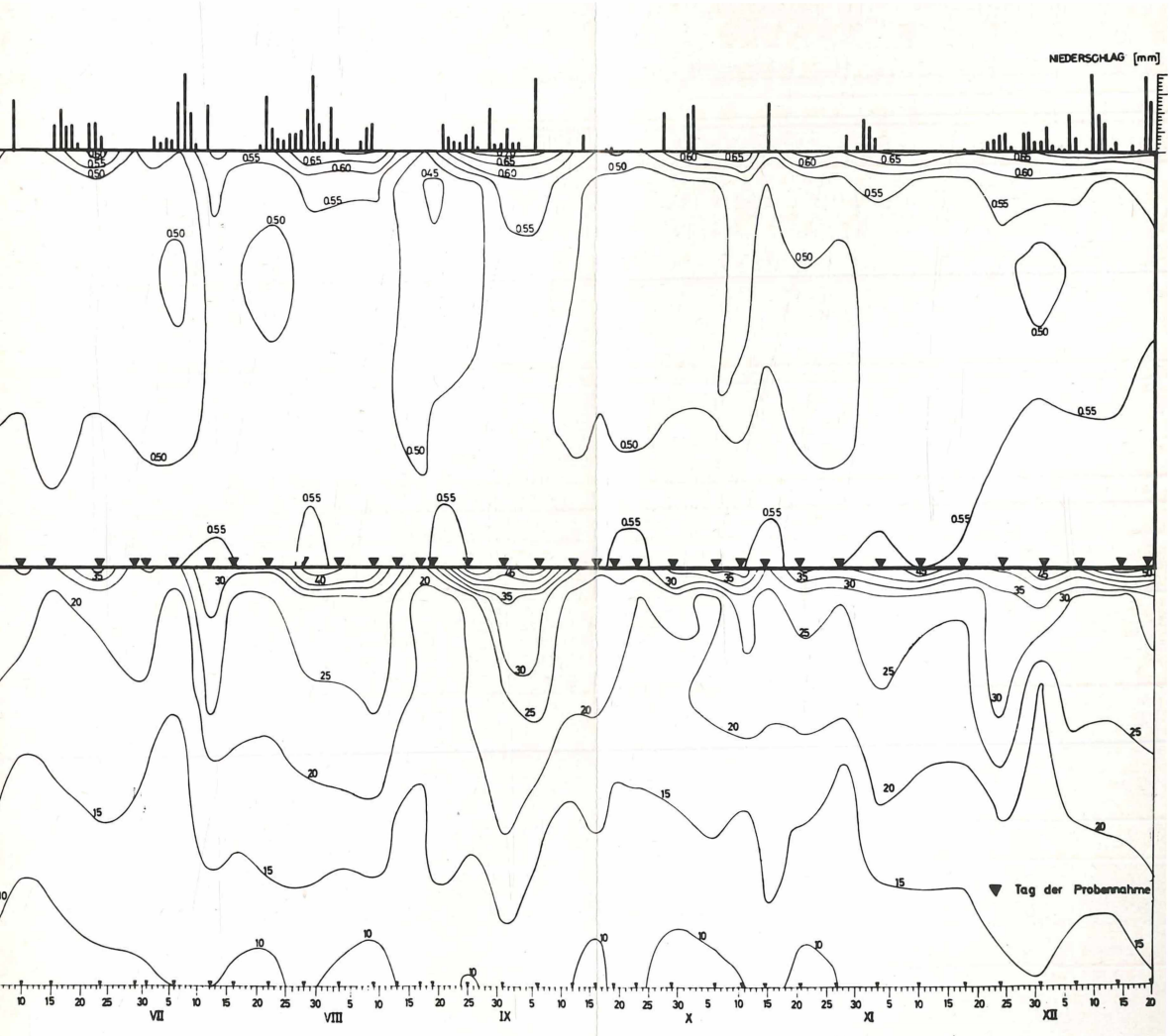


Abb. 8: Die räumliche und zeitliche Verteilung der Gesamt-Wärmekapazität (cal · cm^{-3} · °C^{-1}) und des Bodenwassergehalts (Vol.%) im Bodenprofil der Podsol-Braunerde 1965.
The spatial and temporal distribution of heat capacity and water content in the profile of Brown Podzolic soil 1965.

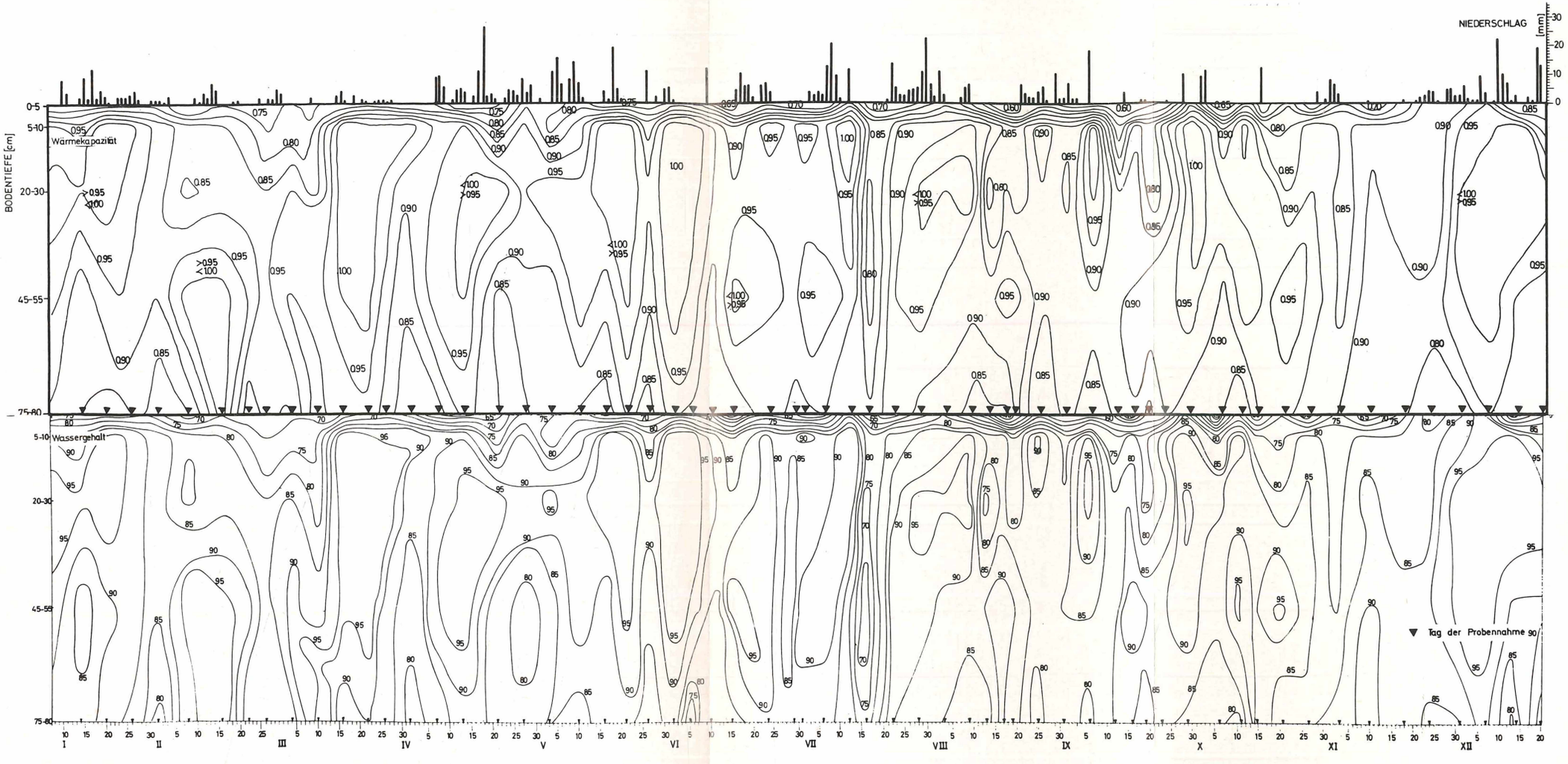


Abb. 9: Die räumliche und zeitliche Verteilung der Gesamt-Wärmekapazität (cal · cm^{-3} · °C^{-1}) und des Bodenwassergehalts (Vol.%) im Bodenprofil des Hochmoores 1965.
The spatial and temporal distribution of heat capacity and water content in the profile of highmoor 1965.

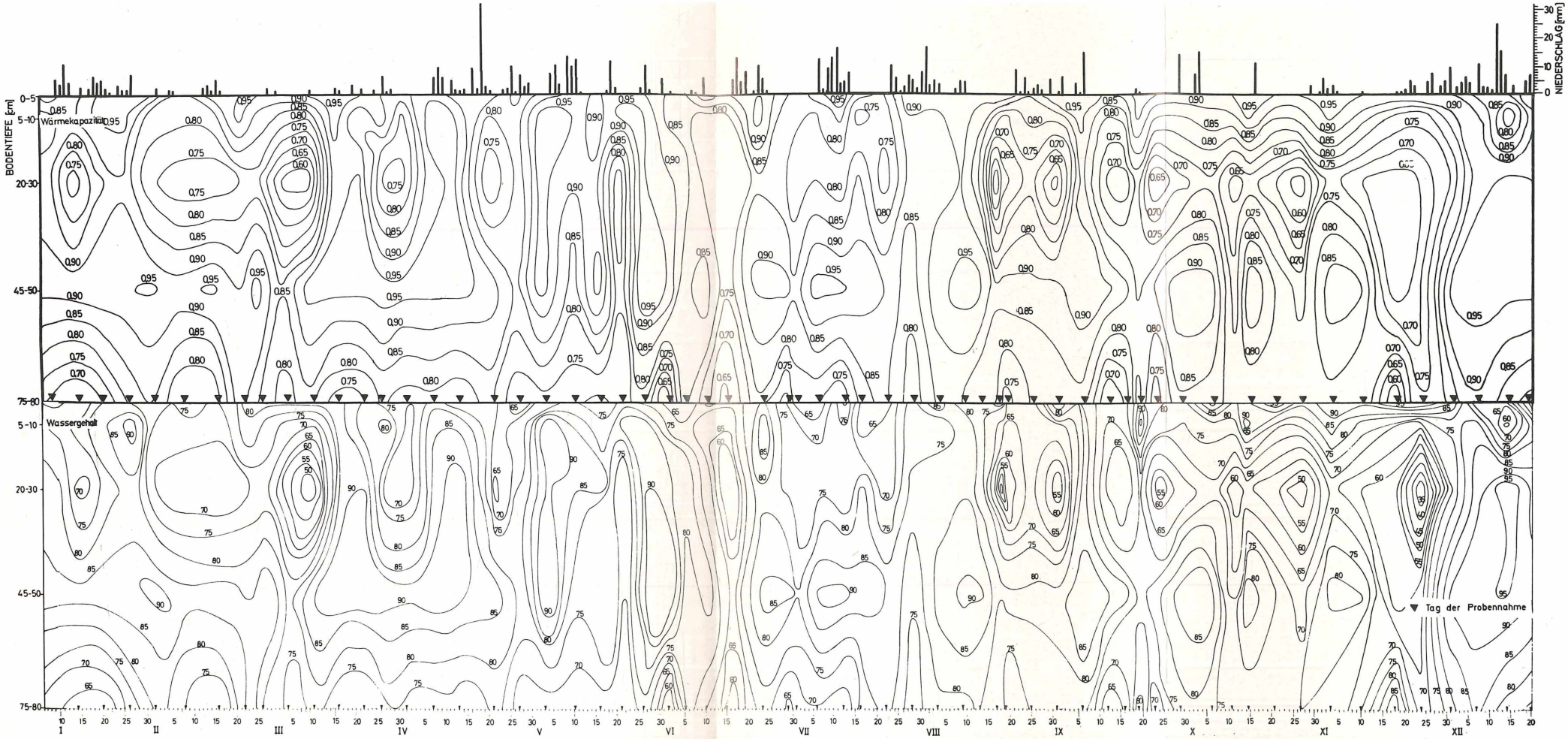


Abb. 10: Die räumliche und zeitliche Verteilung der Gesamt-Wärmekapazität (cal · cm^{-3} · °C^{-1}) und des Bodenwassergehalts (Vol.%) im Bodenprofil des Niedermoores.
The spatial and temporal distribution of heat capacity and water content in the profile of lowmoor.

zu erkennen. Sie führen dazu, daß bei der Podsol-Braunerde trotz hoher Wärmekapazität des trockenen Bodens die Gesamtwärmekapazität deutlich niedriger ist als bei den beiden Moorböden und daß sie sich auch im Verlaufe der Zeit weniger ändert. Die stärksten Veränderungen sind beim Niedermoorprofil zu erkennen. Die Ursache hierfür ist der in diesem Profil besonders starke Wechsel der Wassergehalte, die, wie die Ähnlichkeit der Niederschlagswerte zeigt (s. Säulendiagramm in Abb. 8—10) eine Folge der hydrologischen Standortsituation sind.

5. Ermittlung der Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit

Auf eine Meßreihe der Bodentemperatur an den drei Standorten wurde die harmonische Analyse zur Ermittlung der Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit bei gegebenem Bodenwassergehalt angewandt. Die harmonische Analyse verallgemeinert den quasi periodischen Verlauf der Bodentemperatur und betrachtet die Schwingung der Temperaturmeßreihe als Sinusreihe, deren spezifische harmonische Konstanten (Amplituden und Phasenwinkel) zunächst zur Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit (K) dienen. Die Formeln zur Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit durch harmonische Analyse von Meßreihen der Bodentemperatur sind bei J. KERÄNEN (1920), HANN-SÜRING (1939), J. BRACHT (1949) und O. ECKEL (1961) diskutiert. Die Wärmeleitfähigkeit (λ) ergibt sich schließlich aus der Beziehung:

$$\lambda = K \cdot (\varrho \cdot c) \qquad [cal \cdot cm^{-1} \cdot sec^{-1} \cdot {}^{\circ}C^{-1}] \tag{3}$$

Mittelwerte der Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit, gewonnen aus Phasen- und Amplitudenmethode im Meßzeitraum 9. 8. bis 18. 8. 1965, sind in Tab. 6 und 7 enthalten.

Tab. 6:

Temperaturleitfähigkeit (K) [$cm^2 \cdot sec^{-1}$] im Podsol-Braunerdeprofil, Hochmoorprofil und Niedermoorprofil (Mittel aus Phasen und Amplitudenmethode)

Bodenschicht	Podsol-Braunerde-Profil	Hochmoor-Profil	Niedermoor-Profil
1— 5 cm	0,00691	0,00217	0,00182
5—10 cm	0,00345	0,00095	0,00067
10—20 cm	0,00686	0,00742	0,00561

Tab. 7:

Wärmeleitfähigkeit (λ) [cal · cm^{-1} · sec^{-1} · °C^{-1}] im Podsol-Braunerdeprofil, Hochmoorprofil und Niedermoorprofil (Mittel aus Phasen- und Amplitudenmethode)

Bodenschicht	Podsol-Braunerde-Profil	Hochmoor-Profil	Niedermoor-Profil
1— 5 cm	0,00350	0,00127	0,00166
5—10 cm	0,00185	0,00055	0,00057
10—20 cm	0,00329	0,00544	0,00401

Die Zahlenwerte für die Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit ergaben für die obersten 10 cm in beiden Moorprofilen sehr ähnliche Beträge, die kleiner sind als die entsprechenden Werte im Mineralbodenprofil. Erst ab 10 cm Bodentiefe vermag der höhere Wassergehalt in den Moorprofilen die λ-Werte über die des Mineralbodens anzuheben.

Die nach der Amplituden- und Phasenmethode ermittelten Werte für die Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit wichen z. T. beträchtlich voneinander ab, und zwar ergab die Amplitudenmethode meist kleinere Werte für K und λ. Als Grund für die abweichenden Ergebnisse nennt O. ECKEL (1960) die unterschiedliche Genauigkeit der einzelnen Meßgrößen (Temperatur, Bodentiefe, Zeit), die sich in den beiden Formeln für K ungleich auswirken. Selbst wenn man nur diese ungleiche Meßgenauigkeit berücksichtigt, so ergeben sich (nach O. ECKEL, 1960) nach der Phasenmethode bereits mittlere Fehler von 10%, nach der Amplitudenmethode Fehler von 20%. Bedenkt man aber darüber hinaus, daß die bei der harmonischen Analyse vorausgesetzte Periodizität des Temperaturverlaufs im Boden durch zahlreiche Einflüsse gestört wird, so muß mit noch größeren Fehlern gerechnet werden. Besonders in grundwassernahen Böden (Niedermoor, Hochmoor) beeinflussen Vorgänge den Temperaturgang, die mit der Wärmeleitung im physikalischen Sinne nicht im Zusammenhang stehen. Z. B. kann durch kapillaren Wassernachschub aus anders temperierten Horizonten der Temperaturgang der benachbarten Schichten mitgestaltet werden. Hinzu kommen Wasserdampfverlagerungen durch Kondensations- und Verdunstungsvorgänge im Boden selbst.

G. AL. NAKSHABANDI & H. KOHNKE (1965) haben in einer neueren Arbeit gezeigt, daß die Temperatur- und Wärmeleitfähigkeit enger mit der Wasserspannung, ausgedrückt durch den pF-Wert, als mit dem absoluten Wassergehalt verknüpft ist, d. h., daß die geometrische Anordnung der Wassermoleküle zwischen den Bodenaggregaten die Wärmeleitfähigkeit des Gesamtsystems Boden stark beeinflußt. Einflüsse durch Dichte und Körnung treten gegenüber der Wasserspannung nach G. AL. NAKSHABANDI & H. KOHNKE (1965) zurück.

Schrifttum

BAUMGARTNER, A.: Untersuchungen über den Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Waldes.= Ber. Dt. Wetterdienstes 5, Nr. 28, Offenbach 1965.

BRACHT, J.: Über die Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens und des Schnees und den Wärmeumsatz im Erdboden. — Berlin 1949.

CHUDNOVSKII, A. F.: Heat Transfer in the Soil. — Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem 1962

ECKEL, O.: Zur Kontrolle und Verarbeitung der Bodentemperaturmessungen. I. Teil. — Wetter und Leben, Bd. 12, 63—69, Wien 1960.

ECKEL, O.: Zur Kontrolle und Verarbeitung der Bodentemperaturmessungen. — II. Teil. — Wetter und Leben, Bd. 13, 23—28, Wien 1961.

FRANKENBERGER, E.: Beiträge zum Internationalen Geophys. Jahr 1957/58. 1. Meßergebnisse und Berechnungen zum Wärmehaushalt der Erdoberfläche. — Ber. Dt. Wetterdienstes 10, Nr. 15, Offenbach 1960.

GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 3. Aufl., Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1961.

HANN-SÜHRING: Lehrbuch der Meteorologie. Bd. 1, W. Keller, Leipzig 1939.

HARTGE, K. H.: Die Bestimmung von Porenvolumen und Porengrößenverteilung. — Z. Kulturtechnik 6, H. 4, S. 193, Berlin 1965.

KERÄNEN, J.: Über die Temperatur des Bodens und der Schneedecke in Sodankyla. — Helsingfors 1920.

LEIDENFROST, W.: Messung der spez. Wärme. Allgemeines und Verfahren zur Messung der mittleren spezfischen Wärme fester Körper. — Arch. techn. Messen V, 9212—1, München 1955.

MIESS, M.: Vergleichende Darstellung von meteorologischen Meßergebnissen und Wärmehaushaltsuntersuchungen an drei verschiedenen Standorten in Norddeutschland. — Ber. Inst. Meteorol. und Klimatol. T. U. Hannover, Nr. 2, 1968.

MITSCHERLICH, E. A.: Bodenkunde für Land- und Forstwirte. Niemeyer, Halle 1950.

NAKSHABANDI, G. A., und H. KOHNKE: Thermal Conductivity and Diffusivity of Soils as Related to Moisture Tension and other Physical Properties.— —Agricult. Meteorol. 2, S. 271, Amsterdam 1965.

PORTMANN, D. J.: Soil Density, Water Content and Heat-Capacity. Exploring the Atmosphere's First Mile. — Proc. Great Plains Turbulence Field Program, Vol. 1, S. 41, Pergamon Press London, New York, Paris 1957.

STALEY, R. C., und J. R. GERHARD: Soil Heat Flux Measurements. Exploring the Atmosphere's First Mile. — Proc. Great Plains Turbulence Field Program, Vgl. 1, S, 58, Pergamon Press London, New York, Paris 1957.

SUOMI, V. E.: Soil Density and Heat Capacity. Exploring the Atmosphere/s First Mile. = Proc. Great Plains Turbulence Field Program, Vol. 1, Pergamon Press London, New York, Paris 1957.

SUOMI, V. E., und C. B. TANNER: Evapotranspiration Estimates from Heat Budget Measurements over a Field Crops. — Transact. Am. Geophys. Union, 39 Nr. 2, S. 298, 1958.

WIJK, W. R. van: Soil Microclimate, its Creation, Observation and Modification. — Agricult. Meteorol., Meteorol. Monographs 6, Nr. 28, 1965.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1971

Band/Volume: 115

Autor(en)/Author(s): Miess Michael

Artikel/Article: Spezifische Wärme und raum zeitliche Verteilung der Wärmekapazität an drei edaphisch unterschiedlichen Standorten 47-59