Zeitschrift: Bericht über das Geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich
Herausgeber: Geobotanisches Forschungsinstitut Zürich
Band: - (1940)

Artikel: Untersuchung über die jahreszeitliche Schwankung der Bodenazidität
Autor: Lüdi, Werner
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-377477

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

UNTERSUCHUNG ÜBER DIE JAHRESZEITLICHE SCHWANKUNG DER BODENAZIDITÄT

Von *Werner Lüdi*, Zollikon/Zürich.

Während der Jahre 1935 bis 1938 machten wir in Verbindung mit einer Untersuchung über die Zersetzung der Laubstreu auch fortlaufende Messungen der aktuellen Bodenazidität. Diese ergaben eigentümliche und unerwartete Schwankungen. Nun hatte kurz vorher D. Fehér[1] in Sopron (Ungarn) ebenfalls solche Schwankungen gefunden und eingehend untersucht. Er fand sie sowohl in Waldböden bei Sopron als auch in Wiesenböden, Kulturböden, Steppenböden dieser Gegend und in Waldböden Norddeutschlands und Skandinaviens. Die Schwankungen wiesen eine regelmäßige jährliche Periodizität auf: die Wasserstoffionenzahl erreichte die niedrigsten Werte im Spätsommer und Herbst, stieg mit dem Beginne des Winters plötzlich an (Maximum gewöhnlich im Dezember), zeigte im Frühling ein kleines Minimum, nahm wieder zu, um dann während des Sommers langsam abzufallen. Fehér brachte diese Schwankungen der Azidität mit bodenbiologischen Vorgängen, namentlich der Bakterientätigkeit, in Zusammenhang, die wieder durch Temperatur und Bodenwasser in maßgebender Weise beeinflußt werden: die stärkste Tätigkeit des Bodenlebens findet im Hochsommer und Herbst statt, bei hoher Temperatur und geringem Bodenwasser. Dabei sind die Bakterienzersetzungsprozesse in dieser Zeit vorwiegend aërob, wobei keine Säuren gebildet werden. Mit dem Eintritt des Winters sinkt die Temperatur ab, der Wassergehalt des Bodens nimmt zu. Die Tätigkeit der Bodenorganismen wird dadurch stark eingeschränkt, während zugleich der Laubfall sowie das Absterben vieler Pflanzen dem Boden eine Menge toter organischer Stoffe zuführen. Namentlich die aëroben Bakterien

[1] Fehér, D., Untersuchungen über die zeitlichen Änderungen der Azidität und des Humusgehaltes des Waldbodens. Wiss. Arch. f. Landwirtschaft, Arch. f. Pflanzenbau **4** 1930 (74–87). — Untersuchungen über die zeitlichen Änderungen der Bodenazidität. Ib. **9** 1932 (172–196). — Wir wurden auf diese Untersuchungen aufmerksam gemacht durch einen Vortrag von Fehér in der Zürch. Botan. Ges. am 31. Oktober 1933.

werden geschädigt, während die Erschwerung des Luftzutrittes durch das viele Bodenwasser eine Begünstigung der anaëroben Bakterien bewirkt, deren Abbauprodukte reichlich Säuren erzeugen. Die von Fehér gefundenen Aziditätsschwankungen sind außerordentlich groß. Sie erreichen in manchen Böden innerhalb eines Jahres 2–3 pH-Einheiten, in einzelnen Fällen bis 4 Einheiten, was einer Vermehrung oder Verminderung der Zahl der freien Wasserstoffionen um das 100- bis 1000fache, resp. 10000fache entspricht. Und das trotz der Pufferung der Böden, die der pH-Änderung bedeutenden Widerstand entgegensetzt. Solche Änderungen sind von großer Bedeutung für die praktische Aziditätsmessung der Böden und machen den Wert einer einmaligen Messung illusorisch. Fehér führt denn auch Widersprüche, die bei solchen Untersuchungen aufgetreten sind, auf jahreszeitliche Aziditätsschwankungen zurück und fordert zur Vermeidung solcher Fehler an Stelle der Einzelmessung Mittelwerte einer Reihe von Messungen, die sich in gleichen Abständen über das ganze Jahr erstrecken sollen. Doch zeigen seine Ergebnisse, daß auch dies nicht genügt; denn die verschiedenen Jahre seiner Messungsreihen weisen wiederum sehr bedeutende Unterschiede auf, die im Mittel eine ganze pH-Einheit erreichen können.

Die praktische Tragweite der Ergebnisse von Fehér veranlaßte uns, die Schwankungen der Bodenazidität bei unseren Untersuchungen näher zu verfolgen. Die eingangs genannten Laubstreuversuche führten wir im Sihlwald bei Zürich und im Garten des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich aus, mit insgesamt 4 Laublagern[1]. Das erste war im Tannenboden bei Sihlwald am Osthang der Albiskette auf einem flachen Boden mit geschlossenem 100jährigem Buchenwald angelegt. In der Strauchschicht, die in der Umgebung nur schwach entwickelt ist, herrschen Jungpflanzen von *Fagus silvatica* mit eingestreuten *Abies alba* und *Picea excelsa*. Die Krautschicht setzt sich vorwiegend zusammen aus *Asperula odorata*, *Anemone nemorosa*, *Milium effusum*, Keimlingen von *Fagus*. Der Boden ist lehmig, ohne oberflächliche Humusschicht. In den obersten 4 cm finden sich in der braunen Erde grauliche Schlieren und nestartige Einlagerungen von Humus. Darunter kommt gleichmäßige, feine Braunerde. Das

[1] Der Forstverwaltung der Stadt Zürich sprechen wir für die Förderung dieser Untersuchung unsern besten Dank aus.

zweite Lager befand sich auf der gegenüberliegenden Talseite, am Hasenrain, einem flachen Westhang, im offenen Bestande von *Fagus* mit *Quercus robur*, und etwas *Fraxinus excelsior*, *Acer pseudoplatanus* und *Abies alba*. Die Strauchschicht besteht aus reich zusammengesetztem Laubgebüsch von ca. 10% Deckung. In der Feldschicht herrscht *Carex montana*, *Brachypodium silvaticum*, *Asperula odorata*, und reichlich sind beigemischt *Vaccinium myrtillus*, *Oxalis acetosella*, *Fragaria vesca*, *Galium silvaticum*, *Lamium galeobdolon* und *Solidago virga aurea*. Der Untergrund wird von Moräne gebildet, die reich ist an Silikatsteinen und entkalkten Sandkalken. Die Bodenoberfläche zeigt Ansätze zur Mullbildung. Darunter schließt Braunerde ohne graue Flecken an. Das dritte Lager befand sich etwas oberhalb des zweiten in der flachen Mulde des Langmooses, in einem etwa 70jährigen Bestande von *Fichten* und großen Strünken einer früheren Baumgeneration. Vereinzelt sind *Abies* und *Fagus* eingestreut. Die Strauchschicht fehlt beinahe ganz; die Krautschicht ist wenig entwickelt und wird vorwiegend von *Oxalis acetosella* gebildet. Eingestreut sind *Lamium galeobdolon*, *Ajuga reptans*, *Carex silvatica*, *Dryopteris filix mas*, *Anemone nemorosa*, *Primula elatior*. Die Moose *Eurhynchium striatum* und *Thuidium tamariscinum* decken etwa 15% der Bodenoberfläche. Der Boden ist bis auf ca. 10 cm Tiefe lehmig humos, etwas schlierig, ohne Streueschicht. — Im Institutsgarten legten wir das Laublager in einer Fettwiese mit alten Obstbäumen an, die früher gut gedüngt worden war.

Die Sihlwaldflächen lagen 550–600 m über Meer, die Fläche im Institutsgarten 470 m.

Jeden Monat wurden in der unmittelbaren Nähe der Laublager zwei oberflächliche Bodenproben entnommen (0–5 cm Tiefe), deren aktuelle Azidität (pH) und Wassergehalt wir bestimmten. Die Bestimmung der Azidität geschah mit der Chinhydronelektrode, nachdem der lufttrockene Boden 24 Stunden mit destilliertem Wasser (1 : 2) eingeweicht worden war.

In Abbildung 1 geben wir die Ergebnisse der monatlichen Aziditätsmessungen in Kurvenform wieder. Jeder Kurvenpunkt wurde aus dem Mittelwert der beiden Parallelproben gebildet. Diese wichen in der Regel nur wenig voneinander ab (± 0,1 pH); nur in 21 von 96 Fällen wurde die Differenz von 0,3 pH-Einheiten überschritten, in 3 Fällen auch 0,5 pH. Diese 21 größeren Abweichungen verteilen

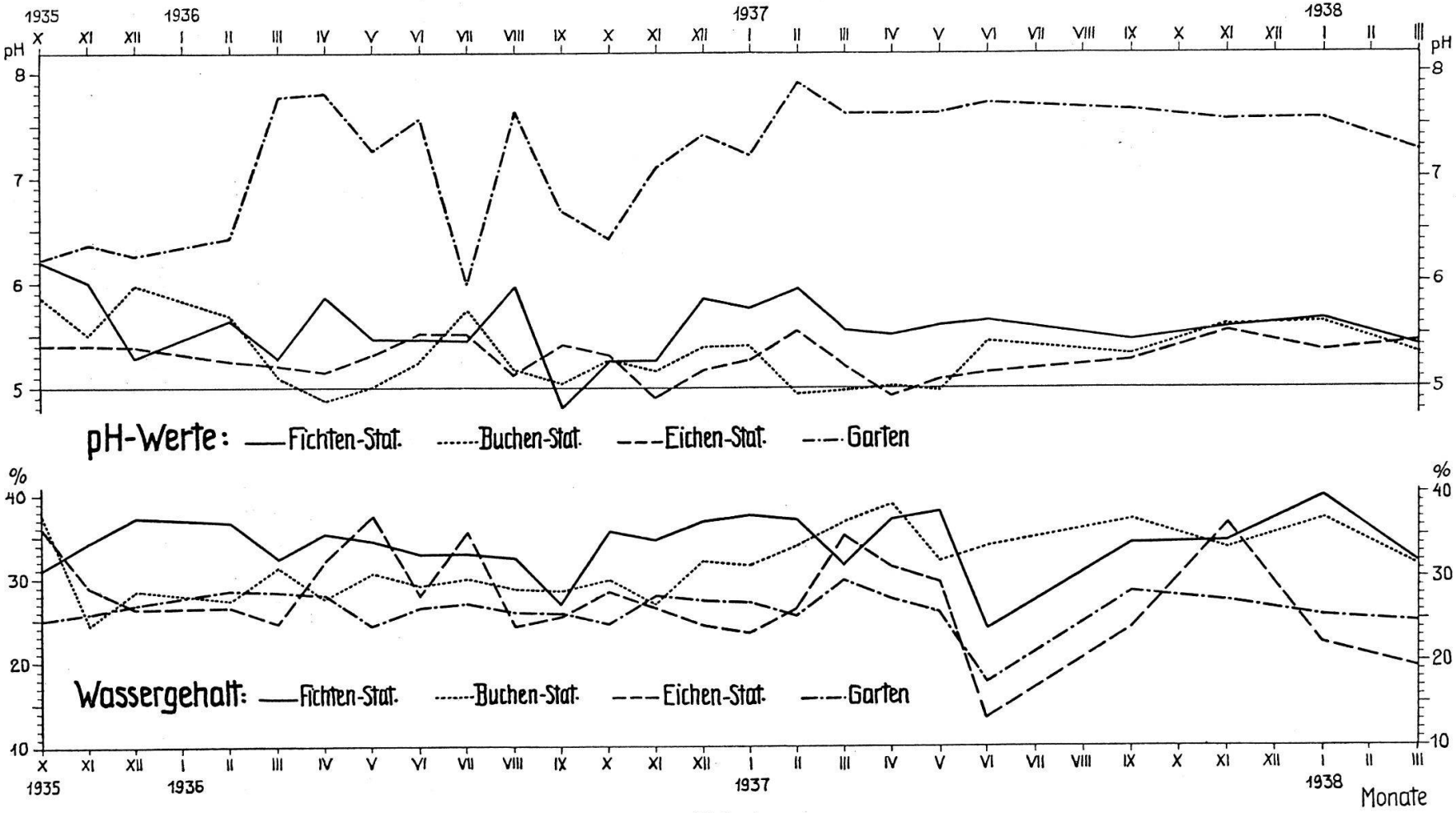

Abb. 1

Bodenproben aus dem Sihlwald und dem Institutsgarten in Zürich. Kurven der monatlichen Werte der Azidität und des Wassergehaltes.

sich wie folgt: Garten = 8, Eichenstandort = 5, Fichtenstandort = 5, Buchenstandort = 3. Sie sind über das ganze Jahr verstreut, mit Ausnahme der Monate Januar und August. Doch scheint ein kleines Überwiegen der Frühlings- und Herbstmonate vorzuliegen, was vielleicht mit den starken Änderungen im Rhythmus des Bodenlebens, die sich in jenen Zeiten vollziehen, zusammenhängt. Der Verlauf der Kurven als Ganzes wird aber durch diese in den Abweichungen der Parallelproben liegende Fehlermöglichkeit nicht wesentlich beeinflußt. Eine zusammenhängende Reihe größerer Unterschiede im Aziditätsgrad der Parallelproben findet sich nur in den Gartenproben vom Oktober 1935 bis Februar 1936. Aber auch wenn hier der höhere pH-Wert immer der richtige wäre, so würde die Kurve, verglichen mit später, trotzdem andauernd sehr tief verlaufen.

In der Tabelle 1 haben wir für jeden Standort den mittleren pH-Wert aus allen Messungen (1935/1938, 48 Einzelmessungen an jedem Standorte), den Mittelwert für die Jahre 1936 und 1937 sowie die Extremwerte der Aziditätsschwankung zusammengestellt. Die Jahresreihen sind nicht vollständig. Da sich die Probenentnahmen nach den Erfordernissen der Vermorschungsuntersuchung richteten, fiel im Jahre 1936 in einem Monate, im Jahre 1937 in vier Monaten die Messung aus.

Tabelle 1.

Mittelwerte und Extreme der Aziditätsmessungen im Sihlwald.

	Fichten-Standort	Buchen-Standort	Eichen-Standort	Wiese im Garten
Mittel aller Messungen	5,56	5,31	5,28	7,18
Mittel 1936	5,46	5,23	5,25	7,09
Mittel 1937	5,62	5,19	5,24	7,59
Extreme aller Werte	4,75–6,21	4,81–6,26	4,73–5,75	5,91–7,98
Max. Schwankung in pH-Einheiten	1,46	1,45	1,02	2,07

Die drei Waldstandorte sind sauer, der Gartenstandort ist alkalisch. Die Aziditätsunterschiede zwischen dem Buchen- und dem Eichenstandort sind sehr klein, bleiben in den Mittelwerten innerhalb der Fehlergrenze. Der Boden des Fichtenstandortes ist deutlich weniger sauer. Im Mittel der verschiedenen Jahre zeigen die Waldböden gute Übereinstimmung. Dagegen ist der Gartenboden im Jahre 1937 deutlich alkalischer als im Jahre 1936.

Ganz anders wird aber das Bild, wenn wir die monatlichen Werte

betrachten. Da ergeben sich starke Aziditätsschwankungen, die im Extrem, das aber nur durch vereinzelte Proben gegeben wird, bei den Waldböden 1–1,5, beim Gartenboden bis 2 pH-Einheiten betragen. Diese Schwankungen gehen aber im allgemeinen nicht parallel, sondern die Aziditätskurve jedes Bodens nimmt ihren eigenen Verlauf.

Im Gartenboden sind die Aziditätsschwankungen auf den ersten Teil der Beobachtungszeit beschränkt. Sie erreichen dort ein sehr starkes Ausmaß. Die pH-Kurve beginnt mit Werten zwischen 6,2 und 6,4, schnellt dann im Vorfrühling unvermittelt auf 7,8 hinauf und hält sich in der Folge dauernd im alkalischen Gebiete, mit zwei Ausnahmen im Sommer und Herbst 1936, wo vorübergehend wieder saure Werte erreicht werden. Auffallend ist der außerordentlich gleichmäßige Gang dieser Kurve in der zweiten Hälfte der Beobachtungszeit.

Die Kurven der sauren Waldböden verlaufen in wechselnden Kombinationen bald parallel, bald gegensätzlich zueinander. Der Fichtenboden zeigt im ersten Teil der Beobachtungszeit unter den drei Böden die stärksten Schwankungen, im zweiten Teil die kleinsten. Dort geht seine Kurve derjenigen des Gartenbodens parallel. Die Kurve des Buchenbodens verläuft im ersten Drittel in starken Schwankungen direkt gegensätzlich zur Garten- und Fichtenkurve, teilweise auch noch später. Der Eichenboden ergibt im ersten und letzten Drittel eine ruhige Kurve; im mittleren Drittel sind die Schwankungen größer und gehen bald zur einen oder zur andern Kurve parallel, bald ganz selbständig. Im allgemeinen ist die Parallelität in der zweiten Hälfte der Beobachtungszeit größer als in der ersten, und wir können im letzten Drittel ein langsames Ausflachen der Kurvenausschläge und eine Angleichung der drei Kurven aneinander feststellen. Aber auch da ergeben sich wieder Ausnahmen, wie die Buchenkurve im Juni 1937, die Eichenkurve im Januar 1938.

Auch in der absoluten Höhe des Kurvenstandes ist zwischen den Waldstandorten keine Gesetzmäßigkeit zu finden: in der ersten Hälfte der Beobachtungszeit zeigen sowohl Buchen- als auch Eichen- und Fichtenböden höchste und tiefste Werte; in der zweiten Hälfte führt die Fichte; Buche und Eiche wechseln zuerst mehrmals ihren Platz, und dann steht die Buche etwas über der Fichte. Die nur wenig verschiedenen Mittelwerte sind also recht komplizierte Gebilde.

Was die jahreszeitliche Verteilung der Minimal- und Maximalwerte anbetrifft, so geben Hochsommer und Herbst (VIII.–X.) eher höhere

Azidität (Ausnahmen: Fichten im VIII. 1936, Fichte und Buche im X. 1935), während sie im Winter (XII.–II.) teilweise deutlich abnimmt. Im Frühling wird sie im allgemeinen höher (Ausnahmen: Garten III., IV. 1936, Fichten IV. 1936). Die Schwankungen sind aber wenig regelmäßig. Den Beobachtungen Fehérs entsprechen sie nicht.

Die Mittel aus den beiden Beobachtungsjahren können zwar nicht für alle Monate gebildet werden. Doch ist zu ersehen, daß auch die zweijährigen Mittel noch unausgeglichene Schwankungen ergeben.

Schließlich vergleichen wir unsere Aziditätskurven noch mit denen des Wassergehaltes im Boden, die der Abbildung 1 beigefügt sind. Die jahreszeitliche Periodizität der Bodenwasserkurve, die nach Fehér im Sommer niedrig, im Winter hoch sein sollte, ist nur schwach ausgeprägt. Einzelne Monate fallen ganz aus der Regel. Die Ursache liegt wohl in der Zufälligkeit der Probenentnahme: diese fiel gelegentlich im Sommer in eine nasse Periode, im Winter in eine trockene. Der Sommer ist bei uns eben keine Trockenzeit, sondern die Zeit der größten Niederschläge, so daß trotz der stärkeren Verdunstung hohe Bodenwasserwerte häufig sein werden.

Unsere Wassergehaltskurven verlaufen unter sich nicht parallel. Die geringsten Schwankungen finden sich im Garten und am Buchenstandort, die stärksten am Eichenstandort. Mittlere Schwankungen, aber im allgemeinen den höchsten Wassergehalt, zeigt der Boden des Fichtenstandortes.

Der Wassergehalt des Bodens sollte nach Fehér parallel der Azidität verlaufen: hoher Wassergehalt = hohe Azidität, und umgekehrt.

Diese Parallelität von Azidität und Wassergehalt läßt sich an unseren Beobachtungsorten im allgemeinen nicht nachweisen. So macht zum Beispiel die Fichten-Wassergehaltkurve im III. 36, IX. 36 und III. 37 kräftige Einbuchtungen nach unten, denen jeweilen eine Erhöhung der Azidität entspricht. Der Gartenboden zeigt bei sehr geringen Schwankungen des Wassergehaltes im ersten Teile der Beobachtungszeit starke Veränderungen der Azidität. Dem außerordentlich geringen Wassergehalt der Böden vom Juni 1937 entspricht nur eine schwache Abnahme der Azidität; stark nimmt sie nur im Buchenboden ab; aber gerade im Buchenboden nimmt der Wassergehalt nicht ab, sondern zu.

Die Ergebnisse der Aziditätsschwankungen an den vier Standorten der Laublager im Sihlwald und im Institutsgarten haben uns dann veranlaßt, das Problem an einem geeigneten Objekt etwas genauer zu verfolgen. Wir wählten dazu einen Waldboden aus Diluvialschutt, auf dem Zürichberg in der Nähe der Escherhöhe gelegen und ganz flach gegen Südwesten geneigt, etwa 660 m über Meer. Ursprünglich war hier ein etwas feuchter Buchenwald mit mehr oder weniger Laubholz-Abies-Beimischung vorhanden, und die Untervegetation hat diesen Fagetum-Charakter auch bewahrt. Der Oberwuchs ist durch die Bemühungen des Försters in großen Teilen des Waldes sehr verändert worden, und unser Untersuchungsobjekt wurde in einen gemischten Laubwald von Mittelwaldcharakter verwandelt, in dem jetzt die Buche wieder hochkommt. So lassen sich in der Baumschicht heute zwei Stockwerke unterscheiden: ein höheres Stockwerk (± 20 m hoch) von *Fraxinus* und *Acer pseudoplatanus* sowie vereinzelten *Quercus robur*, *Tilia platyphyllos*, *Betula pendula* und *Fagus silvatica* gebildet, und ein niedrigeres Stockwerk (ca. 7–12 m) von *Fagus* und vereinzelten *Abies*. Die floristische Analyse des etwa 4 a großen Waldstückes ergab folgendes Bild:

Baumschicht (Deckung 90%, pro Are etwa 20 Stämme und Stämmchen in unregelmäßiger Verteilung:

1	*Abies alba*	2–	*Acer pseudoplatanus*
+	*Betula pendula*	–1	*Tilia platyphyllos*
+	*Carpinus betulus*	4	*Fraxinus excelsior*
2–	*Fagus silvatica*	+	*Prunus avium*
1	*Quercus robur*		

Strauchschicht (Deckung kleiner als 5%):

1	*Picea excelsa*	+–	*Acer pseudoplatanus*
+	*Abies alba*	+	*Acer campestre*
+–	*Corylus avellana*	+	*Tilia platyphyllos*
1	*Fagus silvatica*	+	*Viburnum opulus*
+	*Crataegus oxyacantha*	+	*Viburnum lantana*

Feldschicht (Deckung 80%):

+	*Dryopteris dilatata*	2	*Hedera helix*
–1	*Deschampsia caespitosa*	+–	*Viola silvatica*
3	*Carex pilosa*	1	*Oxalis acetosella*
2	*Carex silvatica*	+	*Primula elatior*
1–	*Polygonatum multiflorum*	+	*Ajuga reptans*
+	*Paris quadrifolia*	3	*Lamium galeobdolon*
4	*Anemone nemorosa*	2	*Asperula odorata*
+	*Fragaria vesca*	+	*Fraxinus*-Keimlinge
3	*Rubus sp.*	+	*Phyteuma spicatum*

Die Untersuchung des Bodens ergab folgende Werte:

Korngröße. Sie wurde nach der Methode von Atterberg bestimmt. Wir bringen die Mittel aus zwei Proben.

Bodentiefe	Grobsand 2–0,2 mm %	Feinsand 0,2–0,02 mm %	Schluff 0,02–0,002 mm %	Kolloid-Ton 0,002 mm %
0–5 cm . . .	11,5	41,6	31,1	15,8
±15 cm . . .	12,6	33,4	30,5	23,5

Volumenverteilung. Im Jahre 1935 veröffentlichten wir[1] eine Untersuchung, die in der Nähe, in einem völlig gleichartigen Boden ausgeführt wurde. Wir bringen nachstehend nochmals das Ergebnis, das wir mit der von H. Burger entwickelten Methode erhielten.

Feinerde vol.%	Steine vol.%	Wassergehalt vol.%	Luftgehalt vol.%	Wasserkapazität vol.%	Luftkapazität vol.%
44,6	1,6	41,9	11,9	47,8	6,0

Die Bodenazidität ergab im Mittel im frischen Boden pH 5,7, im getrockneten 5,6 (s. unten). Der Glühverlust betrug im Mittel von 5 Proben in 0–5 cm Bodentiefe = 10,2%, in 15 cm Bodentiefe 5,0%. Der Glührückstand hatte eine hellziegelrote Färbung. Der Gehalt an kolloidalem Humus war gering, in der Oberflächenschicht etwas größer als in 15 cm Tiefe.

Der Boden ist also von lehmiger Beschaffenheit, gut wasserhaltend, aber trotzdem gekrümelt und gut durchlüftet, mäßig sauer. Mit der Tiefe wird der Gehalt an kolloidalem Ton größer. Eine oberflächliche Humusschicht fehlt; die anfallenden toten organischen Stoffe werden völlig zersetzt. Immerhin ist die oberste Bodenschicht bis in 3–5 cm Tiefe normalerweise an Humusstoffen angereichert auf etwa 7%, während in 10–15 cm Tiefe der Humusgehalt sehr unbedeutend wird. Die humose Oberflächenschicht ist an vielen Stellen verletzt, namentlich durch die Tätigkeit der zahlreichen Regenwürmer, die Erde aus der größeren Bodentiefe an die Oberfläche bringen und damit eine andauernde Durchmischung des Bodens bewirken. Der humose Horizont bildet sich aber stets wieder neu, und wir haben ihn an den zur Probenentnahme ausgewählten Stellen beinahe immer angetroffen. Vegetation und Bodenuntersuchung lassen also auf einen guten und nährstoffkräftigen Waldboden mit lebhaftem Bodenleben schließen.

[1] Werner Lüdi und Gina Luzzatto, Vergleichende Untersuchung zweier Methoden zur physikalischen Bodenanalyse. Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel **34** 1935 (51–62).

Die Proben wurden während drei Jahren, vom April 1937 bis Juni 1940, monatlich entnommen (in der Regel um die Mitte des Monats), jedesmal an fünf mit krautiger Untervegetation bewachsenen Stellen, die über die ganze Fläche verteilt waren. Jede Stelle lieferte eine Probe aus 0–5 cm Tiefe und eine zweite aus 10–15 cm Tiefe. Daraufhin wurde der Wassergehalt und die Wasserstoffionenkonzentration der Proben im frischen und lufttrockenen Zustande bestimmt. Die Mittelwerte, die jeweilen aus den 5 Parallelproben gebildet wurden, sind samt den zugehörigen mittleren Fehlern in der Tabelle 2 und in der Abbildung 3 zusammengestellt worden. Außerdem bildeten wir für jeden Monat das dreijährige Mittel (Tab. 3 und Abb. 2), die jährlichen und dreijährigen Mittelwerte und die Mittel der gesamten Beobachtungsperiode (Tab. 4). In dieser Tabelle geben wir auch die extremen Schwankungen sowohl der monatlichen Mittelwerte als der einzelnen Messungen.

Die mittleren Fehler sind bei den pH-Messungen klein. Wenn wir für ein sicheres Ergebnis verlangen, daß der mittlere Fehler 3% des Mittelwertes nicht übersteige, so haben wir von insgesamt 148 pH-Werten nur 21, die unsicher bleiben, und die meisten von ihnen entfernen sich nicht weit von der geforderten Fehlergrenze. Viel größer sind die Abweichungen bei den Wassergehaltsbestimmungen, bei denen aus 0–3 cm Tiefe nur etwa ein Viertel, aus 10–15 cm Tiefe die Hälfte als sicher gelten können. Die Ungleichheiten der Wasserführung hindern aber nicht, daß die Einzelwerte mit wenig Ausnahmen doch in der Größenordnung übereinstimmten.

Jedenfalls zeigt die Betrachtung sowohl der mittleren Fehler als auch der extremen Schwankungen der pH-Werte und des Wassergehaltes, daß es sehr zweckmäßig war, stets ein fünfzähliges Mittel zu bilden. Oft weichen die fünf Parallelmessungen nicht wesentlich voneinander ab; nicht selten treten aber beträchtliche Abweichungen auf, die manchmal mehrere Proben, manchmal aber nur einzelne von ihnen betreffen. Fehlmessungen kommen nur ganz vereinzelt in Frage. Beim getrockneten Boden wurden die Abweichungen jeweilen durch weitere Messungen nachgeprüft. Die maximalen Schwankungen aller Einzelproben erfahren durch diese verhältnismäßig selten auftretenden, großen Abweichungen eine sehr bedeutende Ausweitung, wie es der Vergleich der vier untersten Zeilen der Tabelle 4 zeigt.

Tabelle 2. Azidität und Wassergehalt der Bodenproben vom Zürichberg.

Jahr und Monat	pH								Wassergehalt			
	0–3 cm Bodentiefe				10–15 cm Bodentiefe				0–3 cm		10–15 cm	
	frisch		getrocknet		frisch		getrocknet					
	pH Mittel	mittl. Fehler	pH Mittel	mittl. Fehler	pH Mittel	mittl. Fehler	pH Mittel	mittl. Fehler	% Mittel	mittl. Fehler	% Mittel	mittl. Fehler
1937 IV.	5,83	±0,21	5,76	±0,12	5,45	±0,15	5,61	±0,26	33,2	±2,7	23,6	±0,7
V.	5,74	±0,28	5,56	±0,26	5,55	±0,10	5,39	±0,10	31,1	±1,27	22,4	±0,8
VI.	5,71	±0,22	5,37	±0,19	5,72	±0,30	5,48	±0,24	19,7	±0,9	17,2	±0,9
VII.	5,61	±0,28	5,46	±0,18	5,48	±0,26	5,52	±0,16	20,5	±2,2	14,4	±0,85
VIII.	5,92	±0,11	5,62	±0,20	5,83	±0,15	5,54	±0,18	19,6	±1,4	16,6	±2,0
IX.	5,50	±0,21	5,36	±0,16	5,26	±0,21	5,37	±0,13	25,1	±1,33	19,6	±0,98
X.	5,56	±0,10	5,39	±0,08	5,42	±0,12	5,39	±0,11	28,4	±0,6	21,4	±0,48
XI.	5,74	±0,10	5,76	±0,07	5,55	±0,10	5,56	±0,09	31,4	±1,5	22,7	±1,05
XII.	5,66	±0,11	5,53	±0,07	5,27	±0,13	5,28	±0,16	28,7	±0,8	23,1	±0,62
1938 I.	5,65	±0,10	5,33	±0,12	5,36	±0,15	5,07	±0,08	30,1	±0,8	23,9	±0,5
II.	5,72	±0,17	5,65	±0,09	5,45	±0,12	5,38	±0,05	30,3	±1,1	23,9	±0,6
III.	6,01	±0,10	5,89	±0,12	5,86	±0,14	5,79	±0,13	28,6	±1,7	22,4	±1,0
IV.	5,65	±0,02	5,66	±0,05	5,52	±0,02	5,57	±0,05	27,1	±0,86	21,8	±0,3
V.	5,76	±0,19	5,60	±0,19	5,51	±0,14	5,41	±0,13	27,1	±1,0	21,1	±0,67
VI.	5,90	±0,03	5,84	±0,08	5,89	±0,04	5,71	±0,035	29,7	±2,0	21,2	±0,14
VII.	6,09	±0,04	6,05	±0,05	6,07	±0,02	6,03	±0,07	32,6	±0,8	25,5	±1,0
VIII.	5,58	±0,16	5,39	±0,11	5,58	±0,19	5,38	±0,15	25,1	±1,0	19,7	±1,4
IX.	5,49	±0,13	5,59	±0,04	5,44	±0,13	5,60	±0,05	23,0	±0,9	19,8	±0,9
X.	5,90	±0,06	5,74	±0,06	5,70	±0,13	5,67	±0,06	26,5	±1,1	18,2	±0,4
XI.	6,12	±0,05	6,06	±0,07	5,68	±0,08	5,62	±0,04	26,7	±0,9	21,5	±0,13
XII.	5,94	±0,07	5,76	±0,05	5,82	±0,07	5,66	±0,02	28,1	±1,8	22,4	±0,9
1939 I.	5,40	±0,09	5,31	±0,09	5,32	±0,09	5,17	±0,05	31,4	±1,2	23,4	±0,6
II.	5,42	±0,05	5,38	±0,07	5,31	±0,05	5,29	±0,04	29,1	±1,0	20,7	±0,3
III.	5,59	±0,04	5,47	±0,03	5,45	±0,05	5,42	±0,06	27,6	±0,9	21,6	±0,1
IV.	5,70	±0,04	5,64	±0,03	5,56	±0,05	5,46	±0,05	29,3	±0,9	22,7	±0,8
V.	6,01	±0,04	5,89	±0,02	5,83	±0,05	5,69	±0,06	33,9	±0,8	24,7	±0,8
VI.	5,75	±0,05	5,69	±0,05	5,65	±0,04	5,57	±0,08	31,4	±0,6	23,0	±1,0
VII.	6,12	±0,08	5,83	±0,06	5,95	±0,08	5,77	±0,08	28,0	±1,6	19,8	±0,4
VIII.	5,67	±0,05	5,37	±0,03	5,58	±0,03	5,16	±0,05	19,3	±0,7	15,5	±0,5
IX.	5,73	±0,16	5,51	±0,15	5,71	±0,08	5,50	±0,10	31,9	±0,8	21,9	±0,7
X.	5,70	±0,12	5,37	±0,09	5,61	±0,04	5,42	±0,04	32,3	±1,7	21,1	±0,3
XI.	5,82	±0,21	5,58	±0,22	5,81	±0,08	5,66	±0,08	31,1	±1,0	21,1	±0,2
XII.	5,91	±0,12	5,68	±0,09	5,85	±0,09	5,62	±0,08	31,4	±1,4	23,2	±0,5
1940 II.	6,18	±0,08	6,01	±0,08	5,79	±0,06	5,60	±0,08	44,9	±3,6	22,8	±1,7
III.	6,10	±0,05	5,76	±0,03	5,97	±0,08	5,55	±0,04	35,1	±1,2	22,0	±0,7
IV.	6,30	±0,07	6,09	±0,07	6,30	±0,16	6,02	±0,11	32,3	±1,0	21,5	±0,5
VI.	5,87	±0,06	5,60	±0,06	5,88	±0,14	5,61	±0,14	23,2	±1,7	17,6	±0,6

Um eine breitere Vergleichsbasis zu erhalten, prüften wir die Wasserstoffionenzahl sowohl beim frischen als auch beim lufttrockenen Boden. Im Mittel sind die pH-Werte der trockenen Böden um ein bis zwei Zehntel Einheiten kleiner; die Azidität ist also infolge des Trocknens etwas größer geworden, ein Vorgang, der seit langem bekannt ist. Beim Betrachten der Monatswerte erkennt man aber, daß das Verhältnis in der Azidität zwischen den frischen und lufttrockenen Böden keineswegs konstant in den angegebenen Grenzen verläuft, sondern auch in den monatlichen Mittelwerten wesentlich schwankt. Nicht selten erreicht der Mittelwert des trockenen Bodens den des feuchten oder übersteigt ihn sogar ein wenig, während er in anderen Fällen bis um 0,4 pH-Einheiten zurückbleiben kann.

In bezug auf die absoluten Werte ist die Azidität in der oberflächlichen Bodenschicht im Mittel etwa um 0,1 pH-Einheiten niedriger als in 10–15 cm Bodentiefe. Dies gilt auch für die monatlichen Mittelwerte.

Betrachten wir nun die zeitlichen Veränderungen der Azidität etwas genauer. Die Mittelwerte der drei Jahre weichen nur wenig voneinander ab, für die trockenen Böden nicht um mehr als 0,1 pH-Einheiten, für die frischen Böden im Maximum um 0,22 pH-Einheiten.

Die Kurven der aus den dreijährigen Beobachtungen gebildeten Mittelwerte (Abb. 2) verlaufen für frischen und trockenen Boden der oberflächlichen Schicht und der tieferen Bodenschicht im wesentlichen übereinstimmend. Sie steigen von einem Mindestwerte im Januar an bis zu einem Maximum im März (frische Böden) oder April (getrocknete Böden), sinken etwas ab bis zum Mai (10–15 cm Bodentiefe) oder Juni (0–5 cm Bodentiefe), erreichen den Maximalwert des Jahres im Juli, um gleich wieder stark abzufallen zu einem Minimalwert im August (getrocknete Böden) oder September (frische Böden). Dann steigen sie ein drittes Mal auf zu einem Maximum im November, das für die oberflächliche Bodenschicht annähernd den Juliwert erreicht. Die Höchstwerte verteilen sich also über die verschiedenen Jahreszeiten: Frühling (März-April), Sommer (Juli), Vorwinter (November), und ebenso die Mindestwerte: Winter (Januar), Frühling-Vorsommer (Mai-Juni; hier nur wenig ausgebildet) und Spätsommer-Frühherbst (August-September).

Das Kurvenbild wird wiederum viel mannigfaltiger, wenn wir nicht mehr Mittelwerte, sondern die einzelnen Monate betrachten

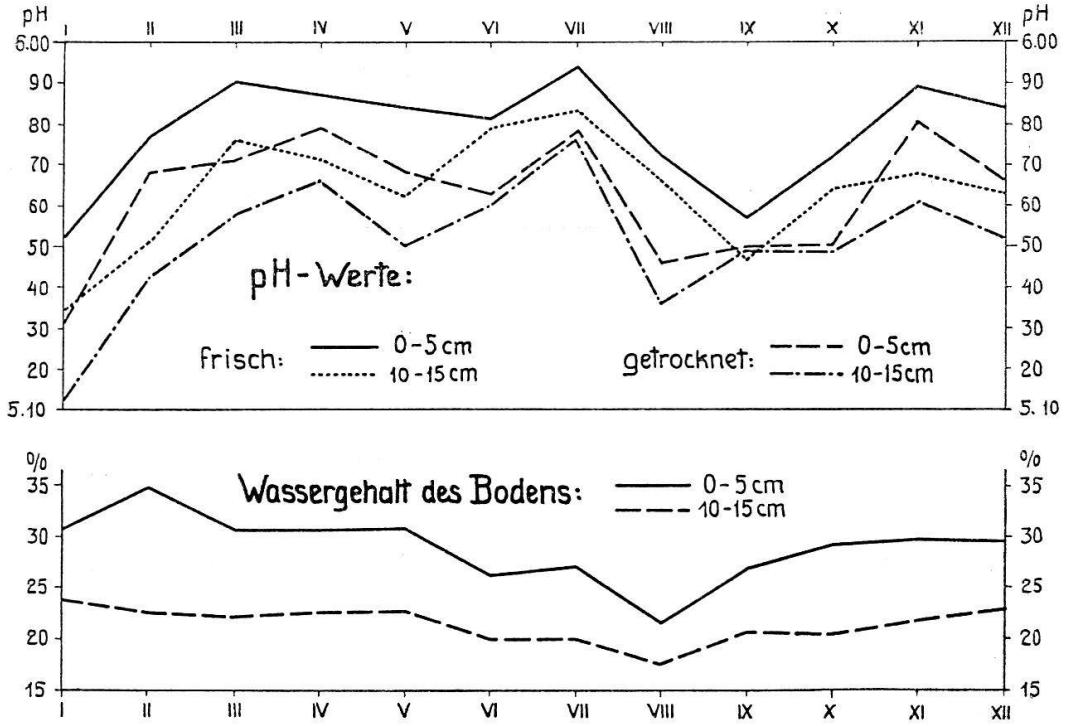

Abb. 2
Bodenproben vom Zürichberg. Kurven der mittleren monatlichen Werte der Azidität und des Wassergehaltes.

an Hand der Abbildung 3. Im ganzen genommen verlaufen die verschiedenen Kurven annähernd parallel. Dabei weist die Kurve des frischen Bodens aus der Oberflächenschicht die höchsten pH-Werte auf, wird aber von der Kurve der tieferen Bodenschicht mehrmals erreicht und einmal übergipfelt. Kleine Schwankungen und Überschneidungen sind häufig. In diesen Fällen finden wir gewöhnlich, daß die Kurven zu 2 und 2 parallel gehen, wobei die Kombination auf verschiedene Weise erfolgt. So steigen im Juni 1937 die Kurven der beiden Proben der Tiefenschicht, während die der Oberflächenschicht fallen. Im folgenden Monat steigen die Kurven der trockenen Böden und die der frischen Böden fallen. Ebenso verhält sich der September 1938. Im November 1938 steigen die Kurven der Oberflächenschicht und die der Tiefenschicht fallen, wenngleich nur ganz schwach. Ebenso verhält sich der Dezember 1939 und der Februar 1940. In andern Fällen verläuft nur eine Kurve wesentlich abweichend von den übrigen, so im April-Juni 1937 die des frischen Bodens der Tiefenschicht.

Tabelle 3. Mittlere Azidität und Wassergehalt der Bodenproben vom Zürichberg für die einzelnen Monate.

Monate	pH				Wassergehalt	
	0–3 cm Bodentiefe		10–15 cm Bodentiefe		0–3 cm	10–15 cm
	frisch	getrocknet	frisch	getrocknet	% Mittel	% Mittel
	pH Mittel	pH Mittel	pH Mittel	pH Mittel		
I. . . .	5,52	5,32	5,34	5,12	30,7	23,8
II. . . .	5,77	5,68	5,51	5,42	34,8	22,5
III. . .	5,90	5,71	5,76	5,58	30,4	22,0
IV. . .	5,87	5,79	5,71	5,66	30,5	22,4
V. . . .	5,84	5,68	5,62	5,50	30,7	22,7
VI. . .	5,81	5,63	5,79	5,60	26,0	19,8
VII. . .	5,94	5,78	5,83	5,77	27,0	19,9
VIII. . .	5,72	5,46	5,66	5,36	21,3	17,3
IX. . .	5,57	5,49	5,47	5,49	26,6	20,4
X. . . .	5,72	5,50	5,64	5,49	29,1	20,2
XI. . .	5,89	5,80	5,68	5,61	29,7	21,8
XII. . .	5,84	5,66	5,63	5,52	29,3	22,9

Die einzelnen Minimalwerte und Maximalwerte der Kurven verteilen sich unregelmäßig über das ganze Jahr; beinahe alle Monate sind sowohl in der einen als auch in der andern Richtung beteiligt. Von regelmäßigem, sich über das Jahr erstreckendem Auf und Ab ist keine Rede; sogar Schwankungen, die in der einen oder anderen Richtung mehrere Monate umfassen, sind nicht unbedingt die Regel. Es läßt sich immerhin sagen, daß im Herbst- und Winterhalbjahr, etwa vom August oder September an bis in den Februar, eher die höhere Azidität vorherrscht, vom März bis zum Juli die niedrigere. Aber auch darin treten ausgesprochene Ausnahmen ein, namentlich in der oberflächlichen Bodenschicht, wie im Spätherbst-Vorwinter 1938 und im Winter 1939/40.

Es stellt sich die Frage, ob Beziehungen im Verlaufe der Aziditätskurve zum Wassergehalt des Bodens oder zu den jahreszeitlichen Schwankungen von Niederschlag und Temperatur nachzuweisen seien.

In Abbildung 3 haben wir die Kurve des Wassergehaltes des Bodens, wie er regelmäßig mit der Aziditätsbestimmung festgestellt wurde, aufgezeichnet. Wir sehen, daß der Wassergehalt in den oberflächlichen Schichten größer und wesentlich stärkeren Schwankungen ausgesetzt ist als in den tieferen Bodenschichten. Der Mittelwert aus allen Messungen beträgt in 0–5 cm Tiefe 28,8%, in 10–15 cm Tiefe 21,2%. Die Höchstwerte in der Oberflächenschicht nähern sich mehrfach der Wasserkapazität und überschreiten sie in einigen Proben vom Februar 1940. Diese Böden waren gefroren und ließen beim Auffrieren Wasser auslaufen. Wir nahmen zwar die Gewichtsbestimmung erst vor, nachdem das Auftauen im Laboratorium beendigt war. Trotzdem blieb offenbar noch ein Überschuß von Wasser zurück.

In der Regel ist der Wassergehalt der Böden im Sommer niedriger, im Winter höher, was sich deutlich in den dreijährigen Mittelwerten zeigt. In den einzelnen Monaten dagegen ist diese Regel häufig durchbrochen, namentlich in den oberflächlichen Bodenschichten. So zeigt zum Beispiel der Monat Juli 1938 einen ausgesprochen hohen Gehalt des Bodenwassers als Folge der hohen Niederschläge, die vor der Probenentnahme gefallen waren.

Tabelle 4. Mittelwerte und Extreme der Aziditätsmessungen und des Wassergehaltes in den Zürichbergböden.

	pH				Wassergehalt %	
	0–5 cm Bodentiefe		10–15 cm Bodentiefe			
	frisch	trocken	frisch	trocken	0–5 cm Tiefe	10–15 cm Tiefe
IV.1937–III.1938 .	5,72	5,56	5,53	5,45	27,2	20,9
IV.1938–III.1939 .	5,74	5,65	5,62	5,54	27,8	21,4
IV.1939–III.1940 . (ohne Januar)	5,88	5,67	5,75	5,55	29,1	21,6
Mittel aller Werte . (IV. 37.–VI. 40.)	5,79	5,64	5,65	5,53	28,8	21,2
Extreme der monatlichen Mittelwerte	5,40–6,30	5,31–6,09	5,26–6,30	5,07–6,03	19,3–44,9	14,4–25,5
Max. Schwankung .	0,90	0,78	1,04	0,96	25,6	11,1
Extreme aller Werte	4,76–6,56	4,42–6,33	4,53–6,85	4,81–6,48	14,7–53,7	11,6–29,2
Max. Schwankung .	1,80	1,91	2,32	1,67	39,0	17,6

Wenn wir nun das Verhalten der Wassergehaltskurve zur Aziditätskurve prüfen, so ergeben sich alle möglichen Beziehungen: hoher Wassergehalt und hohe Azidität, hoher Wassergehalt und niedrige Azidität, niedriger Wassergehalt und hohe Azidität, niedriger Wassergehalt und niedrige Azidität. Nach der Theorie von Fehér sollte ein Wassermaximum von niedriger pH-Kurve (= hohe Azidität) begleitet sein und umgekehrt. Wir finden aber die umgekehrte Beziehung häufig und gut ausgeprägt (zum Beispiel April 1937, Juli 1938, August-September 1938, August 1939, Juni 1940).

Das könnte damit im Zusammenhange stehen, daß der Wassergehalt des Bodens, den wir als Augenblickswert gemessen haben, raschen Veränderungen ausgesetzt ist, namentlich im Sommer, wo starke Niederschläge mit weitgehender Austrocknung abwechseln, während die Azidität sich langsam verändert und somit vom Durchschnittswert der vergangenen Zeitperiode abhängig ist. Wir haben deshalb die Beobachtungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich beigezogen und unter die Aziditäts- und Wassergehaltskurven der Abbildung 3 noch die mittleren Temperaturen und Gesamtniederschläge der Station Zürich sowohl für die Beobachtungsmonate als im langjährigen Mittel hingesetzt.

Die beobachteten Mitteltemperaturen der einzelnen Monate folgen im allgemeinen den vieljährigen Mittelwerten, und nur in einzelnen Monaten treten größere Abweichungen auf. Außerordentlich viel stärker, mit großen Ausschlägen nach unten und nach oben, sind dagegen naturgemäß die Abweichungen bei der Niederschlagskurve.

Beim Vergleiche dieser beiden Kurven mit der Kurve der pH-Werte ergibt sich eine offensichtliche Beziehung in dem Sinne, daß hohe oder ausgesprochen zunehmende Temperatur und geringe Niederschläge eine Abnahme der Azidität begünstigen (so zum Beispiel VI., VIII. 37, III. 38, XI. 38, IV., VII. 39, IV. 40). Doch finden wir in den Sommermonaten gelegentlich die Verbindung von geringer Azidität mit hohem Niederschlag und hoher Temperatur (so zum Beispiel VI., VII. 38). Hier wirkt sichtlich die hohe Temperatur ausgleichend. Umgekehrt begünstigt hoher Niederschlag die Zunahme der Azidität, besonders wenn er mit niedriger oder abnehmender Temperatur parallel geht (so z. B. IX. 37, I. 38, X. 39 z. T.). Manchmal scheint eine Aziditätsänderung auch nur durch die Veränderung der Temperatur hervorgerufen worden zu sein (z. B. IV. 1938).

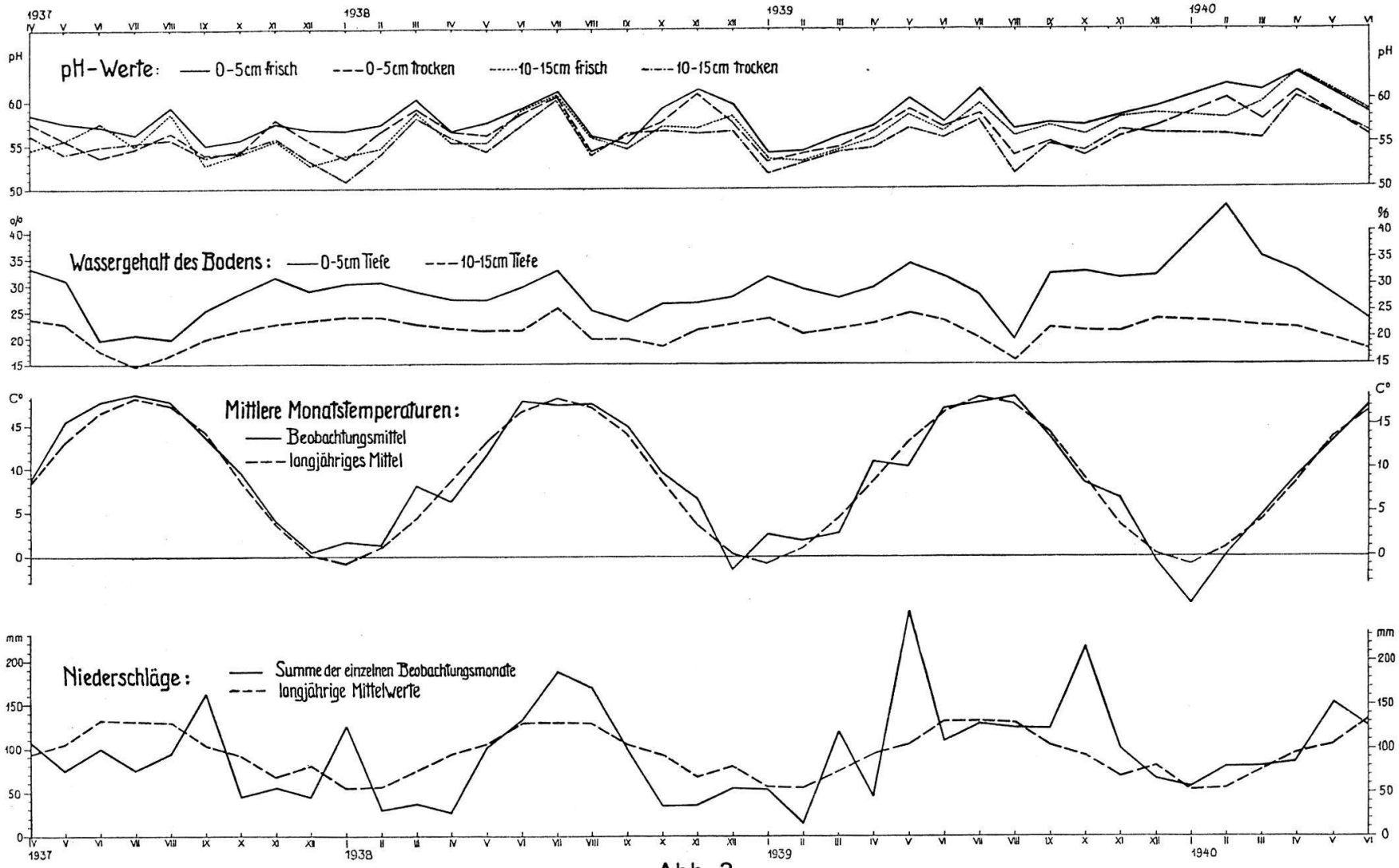

Abb. 3.

Bodenproben vom Zürichberg. Kurven der monatlichen Werte (Mittel aus 5 Beobachtungen) der Azidität im frischen und lufttrockenen Boden und des Wassergehaltes. Hinzugefügt sind die Temperaturmittel und Niederschlagssummen der eidg. meteorologischen Station Zürich im Beobachtungsmonat und im langjährigen Mittelwert des betreffenden Monats.

Es gibt aber auch hier wieder mehr oder weniger ausgesprochene Ausnahmen von dieser Regel:

VII. 1937: bei hoher Temperatur und geringen Niederschlägen Zunahme der Azidität. Der meteorologische Vergleich zeigt, daß in der Woche vor der Probenentnahme die Temperatur meist unter dem Mittel des Monats blieb und die Hauptmenge der monatlichen Niederschläge fiel. Diese Verhältnisse scheinen für das Ergebnis der Aziditätsmessung ausschlaggebend gewesen zu sein.

VIII. (und z. T. IX.) 1938: Hier findet sich keine meteorologische Erklärung für das abweichende Verhalten gegenüber dem vorangegangenen Juli.

X.–XII. 1938: Geringe Azidität, besonders in der oberen Bodenschicht, verbunden mit abnehmender bis sehr niedriger Temperatur. Hier wirkt offenbar die bedeutende Trockenheit ausgleichend (wie auch im XI. 1937). Für den Dezember ist zu bemerken, daß der starke Frost, der diesen Monat auszeichnet, erst nach Mitte des Monats[1] eintrat, so daß in der ersten Hälfte trübes, aber nicht besonders kaltes oder feuchtes Wetter herrschte. Dagegen wirkte sich die Kälteperiode der zweiten Monatshälfte augenscheinlich auf den Januar 1939 aus, der zwar nur leichten und unterbrochenen Frost aufwies, aber doch bis Monatsmitte eine Schneedecke trug.

III. 1939: Die abnehmende Azidität, trotz der unternormalen Mitteltemperatur und der sehr hohen Niederschläge, könnte in Beziehung stehen zu den günstigen Witterungsverhältnissen der zweiten Hälfte Februar und der ersten Woche des März.

V. 1939: Trotz hoher Niederschläge und unternormaler Temperatur wesentliche Abnahme der Azidität. Vielleicht Nachwirkung vom April her.

VI. 1939: Hier liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt wie im Mai. Vielleicht ebenfalls Nachwirkung.

VIII. 1939: Hier ergibt sich für die zunehmende Azidität keine ausreichende meteorologische Erklärung. Die Proben wurden erst am 24. entnommen.

IX. 1939: Auch hier ergibt sich für die Abnahme der Azidität beim Vergleich mit dem August keine meteorologische Erklärung.

---

[1] Zeit der Probenentnahme.

II. 1940: Hier erscheint die Abnahme der Azidität in den oberflächlichen Schichten auffallend. Die Proben wurden am Ende der großen Frostperiode, am 6., entnommen. Der Boden war noch schneebedeckt und die Oberflächenschicht fest gefroren. Diese Verhältnisse hielten aber seit der Probenentnahme im Dezember (19.) unverändert an. Die pH-Werte der Oberflächenproben lagen alle hoch, im frischen Zustande zwischen 6,00 und 6,49, im getrockneten zwischen 5,85 und 6,33. Die Aziditätszunahme in den oberflächlichen Schichten vom Februar zum März 1940 dürfte der Ausgleich gegenüber der übermäßigen Abnahme im Februar sein. Aber es ist auch zu erwähnen, daß in der ersten Hälfte März (Probenentnahme am 14.) die Temperaturen niedrig waren (meist Nachtfröste) und zeitweise sogar Schnee lag.

VI. 1940: Die Zunahme der Azidität läßt sich meteorologisch nicht erklären. Das Wetter war schön, trocken und warm, und der erste Regen des Monats fiel am 11., einige Stunden nach der Entnahme der Proben. Die Bodenproben zeigten geringe Schwankungen, und nur eine Probe aus 10–15 cm Bodentiefe war wesentlich weniger sauer (frisch pH 6,42, trocken pH 6,3).

Unsere beiden Versuchsreihen Sihlwald und Zürichberg überschneiden sich vom April 1937 bis März 1938. Der Vergleich ergibt aber keine neuen Gesichtspunkte. Sowohl die pH als auch die Wassergehaltskurven stimmen nur in beschränktem Maße überein und betonen die Individualität der verschiedenen Standorte und Bodentiefen.

Beim Überblicken unserer Ergebnisse zeigt sich also, daß gewisse Beziehungen zwischen den Schwankungen der Bodenazidität und den Faktoren der unbelebten Umwelt (Temperatur, Niederschläge, Wassergehalt des Bodens) vorhanden sind. Diese sind aber recht komplexer Natur und in ihrer Auswirkung je nach Standort, Bodentiefe und zeitlichem Eintreffen verschieden. Manchmal scheinen Nachwirkungen vorhanden zu sein, manchmal nicht.

Die abiotischen Faktoren treten weitgehend durch ihre Einwirkung auf die Bodenlebewesen in Erscheinung. Gelegentlich fehlt allem Anscheine nach jede Parallelität zwischen bestimmten Kombinationen der meteorologischen Umweltbedingungen und den Schwankungen der pH-Kurve. Wahrscheinlich sind hier Einflüsse der Bodenlebewesen vorhanden, die nicht in der gewöhnlichen Weise durch Temperatur

und Feuchtigkeit ausgelöst werden. Dabei sind viele Möglichkeiten denkbar. So kann der ganze Bodenzustand, einschließlich der Nahrungsversorgung, in einer Weise wirken, die den Einfluß des einzelnen Faktors übertönt. Oder es kann sich um Lebensvorgänge handeln, die aus dem Lebensrhythmus der im Boden dominanten Organismengruppen hervorgehen und von Außeneinflüssen mehr oder weniger unabhängig sind. Ferner um eine komplexe gegenseitige Einwirkung verschiedener Organismengruppen aufeinander. So kann zum Beispiel eine für den Bodenzustand wesentliche Gruppe von Organismen in ihrer Entwicklung an eine Basis gebunden sein, die von einer andern Gruppe vorbereitet werden muß.

Zusammenfassung der Ergebnisse. Untersuchungen über die Schwankungen der aktuellen Wasserstoffionenzahl (pH) in dem Boden der Wälder wurden in den Jahren 1935–1940 im Sihlwald und auf dem Zürichberg bei Zürich ausgeführt. Dazu kam eine Paralleluntersuchung in der Wiese des Geobotanischen Forschungsinstitutes Rübel in Zürich. Die Probenentnahme geschah in der Regel in monatlichen Abständen, wobei aus dem Sihlwald und dem Institutrasen jeweilen aus jeder Probefläche eine Doppelprobe, vom Zürichberg fünffache Proben entnommen wurden. Zugleich wurde der Wassergehalt des Bodens bestimmt.

Es ergaben sich starke Schwankungen in der Azidität (Tabellen 1–4). Die extremen Schwankungen der aus 5 Messungen gebildeten Mittelwerte betragen etwa 1 pH-Einheit; gelegentlich weichen aber einzelne Proben stark ab, so daß die gemessenen Extreme über 2 pH-Einheiten betragen. Die mittleren Werte der einzelnen Jahre dagegen sind untereinander nicht wesentlich verschieden. Die Schwankungen sind unregelmäßig über das ganze Jahr verteilt. Im großen und ganzen ist im Frühjahr ein Aziditätsminimum zu verzeichnen, ein zweites im Hochsommer und ein drittes im Vorwinter, während der Hochwinter verhältnismäßig hohe Azidität aufweist. Regelmäßig tritt zwischen Frühling und Sommer und im Hochsommer oder Herbst ein Maximalwert der Azidität ein. Doch sind die verschiedenen Maxima und Minima der Bodenazidität zeitlich nicht genau fixiert. Sie verschieben sich gegeneinander oder können auch ganz wegfallen. So entstehen als Ganzes sehr unregelmäßige und schwer zu deutende Kurven der Bodenazidität.

Als Ursache für die Schwankung der Bodenazidität kommt wohl in erster Linie die wechselnde Tätigkeit der Bodenorganismen in Betracht, entsprechend der von Fehér aufgestellten und durch das Experiment begründeten Annahme. Doch ist bei unseren Untersuchungsobjekten keine so einfache Beziehung vorhanden, wie Fehér sie gefunden hat, in dem Sinne, daß die Bodenazidität im Herbst bei einem Maximum der aëroben bodenbiologischen Vorgänge den Minimalwert erreiche, im Winter bei einem Minimum in der Tätigkeit der Bodenorganismen zum Maximum ansteige und von da an wieder abfalle, eventuell mit einem kleinen, sekundären Maximum im Frühling. Es herrscht ja in der Schweiz auch keine so einfache jahreszeitliche Periodizität des Bodenwassers, wie Fehér sie aus Westungarn schildert, und insbesondere finden sich die Niederschlagsmaxima in unregelmäßiger Verteilung in der warmen Jahreszeit. Auch bei Berücksichtigung dieser Verhältnisse scheint es nicht immer möglich zu sein, die Schwankungen unserer pH-Kurven durch die Variation der meteorologischen Faktoren zu erklären. Wir müssen vielmehr annehmen, daß hier zum Teil höchst komplexe Vorgänge in der Entwicklung der Bodenlebewelt und in ihrer Beziehung zur unbelebten Umwelt vorliegen, die uns noch sehr wenig bekannt sind. Ihre Untersuchung verlangt die sorgfältige Verfolgung der jahreszeitlichen Entwicklung der verschiedenen Gruppen von Bodenlebewesen pflanzlicher und tierischer Art.

Für das praktische Problem der Bestimmung der aktuellen Azidität des Bodens ergibt sich auch bei uns die Tatsache, daß das Ergebnis einer einmaligen Bestimmung in ziemlich weitgehendem Maße Zufallssache ist. Am besten sind Mittelwerte aus längerdauernden Bestimmungsreihen. Doch wird bei einmaliger Bestimmung der Fehler stark eingeschränkt, wenn man mehrere Parallelbestimmungen vornimmt.