

EINIGE NEUE ANGABEN ZUR UNTERSUCHUNG DER BÖDEN VON KARSTDOLINEN

ILONA BÁRÁNY

Die Bodeneigenschaften von Dolinen werden durch den Umstand stark beeinflusst, dass sie an Berghängen von unterschiedlichem Gefälle liegen und davon abhängig eine dickere oder dünnere Bodenschicht haben. Sowohl die arealen Oberflächenvorgänge als auch die Umschichtungsvorgänge spielen sich der Hangrichtung entsprechen ab. An den tiefsten Dolinenstellen addieren sich diese Einwirkungen und erhöhen oder vermindern die Intensität der grundlegenden denudativen Vorgänge. Eine genaues Kenntnis der Faktoren der physischen, chemischen und biologischen Vorgänge im Boden ist deshalb von grosser Bedeutung, weil sie die denudative Fähigkeit des durch den Boden sickernenden Wassers entscheidend beeinflussen.

In den Dolinen des Bükk-Gebirges fanden wir an den gesteinsreichen Stellen (meistens West- und Nordwest-Hänge) eine dünne Schicht von dunklen (schwärzlichen) Rendzina-Böden mit Gesteinsbruchstücken stark gemischt und mit A- und C-Horizont. An den übrigen Hängen gibt es Tonböden von der Dynamik der braunen Waldböden. An den Hängen kann sich kein typisches, gut in Horizonte einteilbares Bodenprofil ausbilden, da die Bodenbildung hier nicht nur auf vertikalen eluvialen und illuvialen Vorgängen beruht, sondern auch auf einer horizontalen (der Hangrichtung entsprechenden) Materialumschichtung. Das einsickernde Wasser akkumuliert sich auf dem Dolinenboden, wodurch sich die Umschichtung der Bodenbestandteile verhältnismässig intensiver wird und dies die Ausbildung eines charakteristischen Horizonts nicht immer ermöglicht. An den untersuchten (aber meistens an allen) Dolinenstellen gibt es an den Hängen eine ziemlich dünne Bodenschicht. Wir haben eine Untersuchung der physisch-chemischen Eigenschaften in der Tiefe von 5 cm und 30 cm vorgenommen. Unsere Wahl soll dadurch begründet werden, dass die expositionbedingten Differenzen in dieser oberflächennahen Schicht gut sichtbar sind. Unter 30 cm vermindert sich die Expositionswirkung der Umgebungsfaktoren und damit die expositionelle Differenzierung des Bodenlebens, das die Intensität der Karstkorrosion beeinflusst.

Die Intensität der biogenen Prozesse im Bodeninneren werden durch seine physischen und chemischen Eigenschaften bedingt, auf die wiederum die biogenen Umwandlungen stark zurückwirken. Eine Analyse der ökologischen Verhältnisse in den Dolinenböden erfordert eine vorhergehende gründliche Untersuchung der physischen und chemischen Bodeneigenschaften. Bei unserer Arbeit wurde keine Totalität, keine eingehende Bodenanalyse angestrebt; wir wollen lediglich einen Überblick geben über wichtige Faktoren, deren Kenntnis unerlässlich ist.

Tabelle 1

GRUNDUNTERSUCHUNGSERGEBNISSE AUS EINER DOLINE BEI NAGYMEZŐ
(BÜKK-GEBIRGE, UNGARN)

	Nr. der Probe	H ₂ O	pH	KCl	Hidr. azid. y ₁	Fenolft Lauge %	CaCO ₃ %	Humusgehalt %
N	3/1	6.25		6.20	5.20	0	0	8.40
N	3/2	6.30		6.05	4.25	0	0	8.40
N	6/1	6.50		6.30	3.00	0	0	8.40
N	6/2	6.90		6.45	2.70	0	0	8.40
N	9/1	6.75		6.30	3.60	0	0	8.40
N	9/2	6.80		6.60	2.50	0	0	8.40
N	12/1	6.20		5.80	6.50	0	0	8.40
N	12/2	6.55		6.20	3.00	0	0	8.40
E	3/1	5.20		4.65	10.90	0	0	8.40
E	3/2	5.00		4.45	9.90	0	0	8.40
E	6/1	4.85		4.00	13.70	0	0	8.40
E	6/2	4.70		4.20	13.40	0	0	8.40
E	9/1	6.00		5.60	7.50	0	0	8.40
E	9/2	6.30		5.80	5.40	0	0	8.40
E	12/1	5.05		4.40	14.00	0	0	8.40
E	12/2	4.85		4.30	13.30	0	0	8.40
E	15/1	6.20		5.65	7.50	0	0	8.40
E	15/2	6.50		6.20	3.30	0	0	8.40
S	3/1	4.85		4.25	16.00	0	0	8.40
S	3/2	4.75		4.10	12.40	0	0	8.40
S	6/1	5.40		4.80	9.70	0	0	8.40
S	6/2	5.50		4.90	9.00	0	0	8.40
S	9/1	6.20		5.70	7.50	0	0	8.40
S	9/2	6.30		5.80	6.50	0	0	8.40
S	12/1	5.95		5.50	7.00	0	0	8.40
S	12/2	6.30		5.80	6.50	0	0	8.40
S	15/1	6.60		6.30	3.90	0	0	8.40
S	15/2	6.70		6.30	3.10	0	0	8.40
S	18/1	6.60		6.20	3.40	0	0	8.40
S	18/2	6.65		6.30	3.20	0	0	8.40
W	3/1	5.40		4.90	7.80	0	0	8.40
W	3/2	5.40		4.80	7.20	0	0	8.40
W	6/1	6.55		6.05	6.00	0	0	8.40
W	6/2	6.20		5.80	5.00	0	0	8.40
W	9/1	5.60		5.20	7.00	0	0	8.40
W	9/2	5.50		4.90	7.60	0	0	8.40
W	12/1	5.45		4.90	9.10	0	0	8.40
W	12/2	5.50		5.05	7.40	0	0	8.40

N 3—12 = N Hang, Isohypse 3—12 m.

E 3—15 = E Hang, Isohypse 3—15 m.

S 3—18 = S Hang, Isohypse 3—18 m.

W 3—12 = W Hang, Isohypse 3—18 m.

3/1 = Bodentiefe 5 cm

3/2 = Bodentiefe 30 cm

Die Bodenproben haben wir Juli 1982 gesammelt, an vier Dolinenhängen der 4 Windrichtungen, bei Isohypse 3, 6, 9, 12, 15 und 18 m und aus einer Tiefe von 5 bzw. 30 cm. Bei der Auswahl der zu untersuchenden Stellen haben wir uns an frühere Mikroklimauntersuchungs-Messpunkte gehalten bzw. an Stellen, wo früher schon Bodenproben zur Messung von Bodenmasse genommen wurden. (1978 haben wir von verschiedenen Expositionen der Dolinen bei Nagymező bei Isohypse 6 Bodenproben in 5 bzw. 30 cm genommen. Die Laboruntersuchungen erstreckten sich auf die Bestimmung von pH, von der Hydrolysen-Azidität, von CaCO_3 und vom Humus sowie auf die für uns signifikanten Angaben des Wasserextraktes. Weiter festgestellt wurden der prozentuale Gehalt der schlemmbaren Bestandteile und des physischen Sandes sowie der Eisengehalt.

Nach Aufarbeitung dieser Proben konnten wir zwar keine weitgreifenden Folgerungen ziehen für die Beschaffenheit des ganzen Bodens; dieses Untersuchungsma-terial reicht aber zur Feststellung von allgemeinen Tendenzen.

Zunächst können wir erklären, dass die erwähnten Böden einen *überdurchschnittlichen Humusgehalt* haben (an allen Hängen über 8%). (Tabl. 1.) Die extremen Mikroklimaverhältnisse der Dolinenmikroumgebung ermöglichen einen nur langsamen und unvollkommenen Zerfall des organischen Abfalls der ohnehin acidephilen Pflanzen, was im Laufe von mehreren Jahren zu einer starken Humusanhäufung führt. (BÁRÁNY I. 1980).

Infolge der bakteriellen Wirkung ändert sich der Humusgehalt je nach Jahreszeit. Bei der erhöhten bakteriellen Tätigkeit im Sommer werden die postmortalen organischen Abfälle grösstenteils aufgearbeitet; gleichzeitig sind die sommerlichen pH-Werte hoch, infolge der biogenen Aktivität. Im Winter ist es umgekehrt.

Bei 5 cm Bodentiefe trägt der höhere Humusgehalt (BÁRÁNY I. 1980) zur stärkeren Wasserbindung bei, wodurch an den Süd-Hängen eine grössere Feuchtigkeit als gewünscht vorkommt. Dazu tragen noch andere Gegebenheiten wie niedrigere Temperatur und gemässigte Transpiration bei.

Der höhere Humusgehalt der oberflächennahen Schicht ist eine natürliche Folge der Bodenentwicklung. Gleichzeitig ist der Humusgehalt auch bei 30 cm höher als in anderen Böden. In einer günstigeren geographischen Situation könnte dies landwirtschaftlich verwertet werden; im Mittelgebirge (mit den entsprechenden Klimaverhältnissen) ist dieser Reichtum nicht eindeutig positiv. Die langsame Mineralisation der organischen Stoffe führt zu Mangelerscheinungen an gewisse Nährsalzen, die ungünstig auf die Vegetation auswirken (Tab. 2.)

Für die expositionelle Untersuchung des Bodenlebens ist eine Kenntnis der *Boden pH-Werte* notwendig. Wie wir schon darauf hingewiesen haben, ändert sich der pH-Wert in gerader Proportion zur Bakterienzahl und in ungerader zum Humusgehalt. Die saure Reaktion ist für die Bakteriumpopulation im allgemeinen nicht günstig — dagegen für die Pilze. Nach FEHÉR D. (1938) kann in Frühling und im Sommer je ein pH-Maximum beobachtet werden, was eine Folge der aktiven biologischen Tätigkeit ist.

Bei den Untersuchten Dolinen haben wir in der oberflächennahen Bodenschicht (5 cm) einen niedrigeren pH-Wert gefunden als in den tieferen Schichten (30 cm). Nur an den Tiefstellen (Isohypse 3 und 6 m) sind annähernd gleiche oder manchmal sogar höhere pH-Werte bei 30 cm zu finden als bei 5 cm. Dies folgt aus einer starken Akkumulation auf der Oberfläche. Beim Zerfall von einer grossen Menge organi-

schen Stoffes akkumulieren sich die entstandenen sauren Humusstoffe und dadurch verschiebt sich pH-Wert der oberflächennahen Schicht in Richtung saurer Reaktion.

Die Dolinenböden zeigen meistens (nach den Kategorien von Wiegner) eine Reaktion zwischen schwach sauer, sauer und stark sauer. In den Reihendolinen bei Kurtabérc kam auch eine neutrale Reaktion vor.

In den Dolinen bei Nagymező waren die pH-Werte an den tiefsten Stellen am niedrigsten. (*Abb. 1.*)

Der pH-Wert verändert sich nicht nur nach der bakteriellen Tätigkeit, sondern auch nach Zusammensetzung der hochwertigen Flora, was zu lokalen Unterschieden führen kann. So ist z.B. an den Südhängen bei hohem Humusgehalt kein konsequent niedriger pH-Wert zu finden.

Die Hydrolysen-Azidität des Bodens verändert sich synchron mit den pH-Werten; sie ist auffallend hoch in beiden erwähnten Bodentiefen bei Isohypse 3 und 6. Das weist auf einen Schwund der Basis und eine Verschlechterung der Bodenstruktur in den Dolinen.

Die Untersuchungen über die *Bodenbindung* beziehen sich zunächst auf die physische Qualität und auch auf die Kolloideigenschaften des Bodens. In dieser Hinsicht ist das Mass der Ionbindungskapazität signifikant, die die Bindung auch entgegen der physischen Qualität verändern kann. Von Bedeutung ist ebenfalls der Humusgehalt, der die Ionbindung beeinflusst.

Frühere Untersuchungen in den Dolinen bei Nagymező haben ergeben dass die Nord-Hänge von einem stärker gebundenen Boden bedeckt sind als die Süd-Hänge.

Am Ost-Hang sind die Böden verhältnismässig schwach, am West-Hang dagegen stärker gebunden dies gilt für 3 Dolinen bei Nagymező.

Der Humusgehalt steigt mit dem Grad der Bindung.

Was die Grunduntersuchungen betrifft, ist der Salzgehalt in den Dolinen homogen verteilt; nicht einmal die Angaben aus verschiedenen Jahreszeiten (Sommer bzw. Herbst) divergieren. Der niedrige Salzgehalt hängt damit zusammen, dass die Salzaufnahme in der Phenophase ziemlich intensiv ist, woran nicht einmal die mobilisierende Wirkung der bakteriellen Tätigkeit etwas ändern kann.

Der Eisengehalt ($Fe^{++} + Fe^{+++}$) ändert sich im vertikalen Profil mit der Materialumschichtung, deshalb ist diese Angabe signifikant. In den Reihendolinen von Kurtabérc haben wir schon früher beobachten können, dass es sich eine Akkumulationsschicht entwickelt hatte von Isohypse 6 m bis zum Dolinenboden; in dieser Schicht war der Eisengehalt sowohl bei 5 als auch bei 30 cm ziemlich hoch. Ab Isohypse 6 m vermindert sich dieser Wert hangaufwärts. Aus den Angaben über die Dolinen bei Nagymező ist ersichtlich, dass der mg/100 gr Bodenwert der Fe^{++} und Fe^{+++} — Ionen hangabwärts (vom Kamm ab) eine langsam steigende Neigung zeigt. (*Abb. 2.*) Bei Isohypse 18, 15, oder 12 m. die beim Kamm liegen, ist der Eisengehalt noch höher als erwartet. Er ist zunächst ziemlich niedrig — wegen der starken Auslaugung —, er steigt in Richtung Dolinenboden. Der Höchstwert kann meistens bei der relativen Isohypse bei 3 m gemessen werden. Dies hängt sicherlich damit zusammen, dass das Wasser an den Hangseiten in den tieferen vertikalen Profilen langsam in Richtung Dolinenboden sickert und daruch wird das Eisen auch hier umgeschichtet.

Am Spiegeldiagramm ist das Prozentuale Verhältnis der schalmbaren Bodenbestandteile ablesbar. An den Tiefstellen steigt der Anteil der lehmigen Bestandteile. Hier wird die Wasserleitung durch den höheren Eisen — und Lehmgehalt vermindert

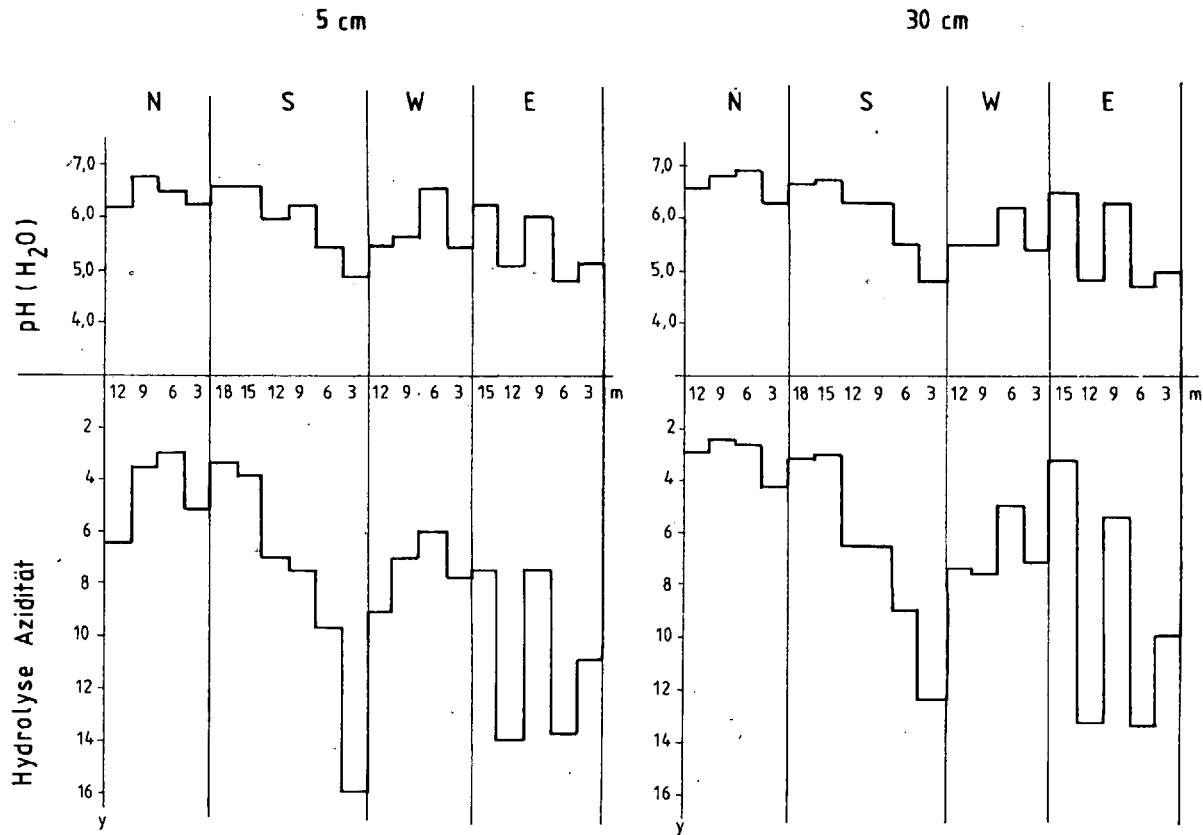


Abb. 1. Verteilung der pH-Werte und der Hydrolyse-Azidität auf verschiedenen Hängen bei 5 cm und bei 30 cm in einer Doline bei Nagýmezö.

Tabelle 2.

VERTEILUNG DER ANIONEN UND KATIONEN IN EINER DOLINE BEI
NAGYMEZŐ (BÜKK—GEBIRGE, UNGARN)

	Nr. der Probe	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ K ⁺ Na ⁺⁺				Summe der Kationen	CO ₃ ⁻⁻ HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ SO ₄ ⁻⁻				Summe der Anionen
		mgeé/100 g Boden					mgeé/100 g Boden				
N	3/1	2.42	0.18	0.08	0.15	2.83	0	2.50	0.20	0.13	2.83
	3/2	1.01	0.04	0.05	0.10	1.20	0	1.00	0.20	0.13	1.33
	6/1	1.49	0.12	0.05	0.20	1.86	0	1.50	0.30	0.26	2.06
	6/2	1.04	0.24	0.06	0.13	1.47	0	1.10	0.30	0.26	1.66
	9/1	1.63	0.50	0.10	0.20	2.43	0	2.10	0.30	0.13	2.53
	9/2	1.40	0.27	0.10	0.10	1.87	0	1.65	0.25	0.13	2.03
	12/1	1.58	0.17	0.11	0.30	2.16	0	1.70	0.25	0.26	2.21
	12/2	1.70	0.29	0.11	0.20	2.30	0	2.00	0.25	0.26	2.51
E	3/1	0.57	0.13	0.12	0.15	0.97	0	0.65	0.30	0.13	1.08
	3/2	0.57	0.18	0.06	0.13	0.94	0	0.70	0.20	0.13	1.03
	6/1	0.59	0.09	0.11	0.18	0.97	0	0.70	0.25	0.13	1.08
	6/2	0.45	0.05	0.06	0.10	0.65	0	0.35	0.20	0.13	0.68
	9/1	1.40	0.15	0.06	0.10	1.71	0	1.30	0.25	0.26	1.81
	9/2	1.69	0.08	0.06	0.20	2.03	0	1.65	0.25	0.26	2.16
	12/1	0.94	0.30	0.23	0.40	1.87	0	1.25	0.30	0.26	1.81
	12/2	0.72	0.17	0.10	0.20	1.19	0	0.85	0.30	0.26	1.41
	15/1	1.19	0.17	0.04	0.10	1.50	0	1.15	0.20	0.26	1.61
	15/2	1.43	0.08	0.05	0.10	1.66	0	1.45	0.20	0.13	1.78
S	3/1	0.73	0.10	0.23	0.15	1.21	0	0.95	0.20	0.13	1.28
	3/2	0.32	0.10	0.23	0.05	0.70	0	0.45	0.20	0.13	0.78
	6/1	0.62	0.12	0.05	0.50	1.29	0	0.95	0.25	0.13	1.33
	6/2	0.73	0.03	0.04	0.10	0.90	0	0.70	0.20	0.13	1.03
	9/1	0.80	0.03	0.04	0.05	0.92	0	0.50	0.25	0.13	0.88
	9/2	0.80	0.03	0.04	0.05	0.92	0	0.60	0.30	0.13	1.03
	12/1	1.74	0.52	0.17	0.80	3.23	0	2.50	0.60	0.26	3.36
	12/2	1.74	0.30	0.11	0.25	2.40	0	2.05	0.30	0.26	2.61
	15/1	1.77	0.40	0.15	0.15	2.47	0	1.50	0.75	0.26	2.51
	15/2	1.98	0.60	0.11	0.70	3.39	0	2.65	0.40	0.26	3.31
	18/1	1.52	0.35	0.04	0.32	2.23	0	1.70	0.40	0.13	2.23
	18/2	1.52	0.07	0.04	0.05	1.68	0	1.50	0.30	0.13	1.93
W	3/1	0.54	0.08	0.03	0.13	0.78	0	0.50	0.20	0.13	0.83
	3/2	0.50	0.07	0.03	0.13	0.73	0	0.40	0.20	0.13	0.73
	6/1	0.86	0.04	0.04	0.45	1.75	0	1.25	0.25	0.13	1.63
	6/2	1.07	0.17	0.04	0.15	1.43	0	1.00	0.25	0.13	1.38
	9/1	0.70	0.10	0.04	0.42	1.26	0	1.00	0.20	0.13	1.33
	9/2	0.46	0.07	0.03	0.30	0.86	0	0.55	0.25	0.13	0.93
	12/1	0.91	0.20	0.05	0.30	1.46	0	0.95	0.25	0.13	1.33
	12/2	0.65	0.06	0.04	0.20	0.95	0	0.70	0.20	0.13	1.03

N 3—12 = N Hang, Isohypse 3—12.

E 3—15 = E Hang, Isohypse 3—15 m.

S 3—18 = S Hang, Isohypse 3—18 m.

W 3—12 = W Hang, Isohypse 3—18 m.

3/1 = Bodentiefe 5 cm.

3/2 = Bodentiefe 30 cm.

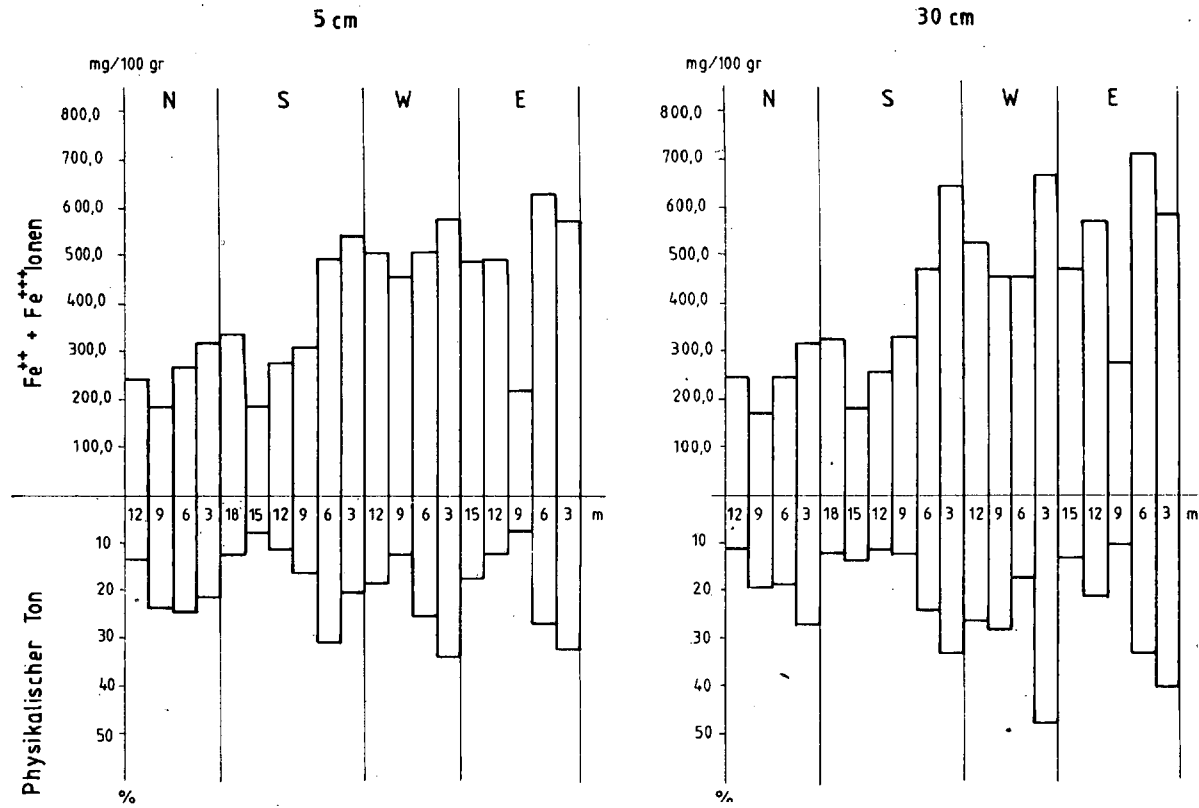


Abb. 2. Verteilung des Eisengehalts und des physischen Lehms auf verschiedenen Hängen bei 5 cm und bei 30 cm in einer Doline bei Nagymező

und die stärkere Korrosionswirkung verschiebt sich mit der Ausbildung der Doline in Richtung Dolinenkamm. Angaben aus mehreren Dolinen zeigen keine konsequente Tendenz des Eisengehalts. Das Mass der Umschichtung kann zunächst mit dem Gefälle in Zusammenhang gebracht werden. Unsere letzte Untersuchung hat bewiesen, dass der Süd-Hang einen niedrigeren Eisengehalt hat, als die anderen Hänge. (Die Lehmbestandteile zeigen überall einen annähernd gleichen Wert wie an den übrigen Hängen.) Der niedrige Eisengehalt lässt sich mit der höheren Bodentemperatur und dadurch mit der höheren Temperatur und grösseren Lösungskraft des Wassers erklären.

Wir wollen noch kurz auf die Angaben der wasserlöslichen Extrakte eingehen, da die Korrosionswirkung des einsickernden Wassers durch die Quantität der wasserlöslichen Anionen und Kationen des Bodens nicht wenig beeinflusst wird. Dies wird vom Grundgestein und vom organischen Abfall geregelt. Durch letzteren kann sie mit der Hangexposition in Zusammenhang gebracht werden; eine direkte Verbindung gibt es hier nicht.

Wir können feststellen, dass die Dolinenböden im allgemeinen eine hohe Ca^{++} Ion-Quantität besitzen — sie kann sogar die der Tschernoschem-Böden übersteigen. (Abb. 2.) Sie haben eine durchschnittliche Menge von Mg^{++} -Ionen und sind mit K^+ und Na^+ -Ionen gut versehen. Es kommt eine beträchtliche Menge von HCO_3^- Anionen und eine ziemlich grosse von Cl^- und SO_4^{--} Anionen vor, mehr als in den übrigen heimischen Böden. All dies kann mit der überdurchschnittlichen Menge von organischen Stoffen erklärt werden, genauso wie die gute Versorgung mit Ionen der oberflächen nahen Schichten. Anders als im Falle der Eisen- und Lehmbestandteile sind die Kation- und Anion-Werte an den oberen Hangteilen (Isohypse 12, 15, 18) grösser, an den unteren Teilen (Isohypse 3 und 6) niedriger. Eine expositionelle Differenz kann zwischen dem Nord- und dem Süd-Hang ausgewiesen werden. Die grössere Feuchtigkeit des Süd-Hanges, besonders an den Tiefstellen der Dolinen (BÁRÁNY I.—MEZŐSI G. 1978) führt in beiden Bodentiefen (5 bzw. 30 cm) zu einer gesteigerten Auslaugung der Ion-Bestandteile; infolge der Beweglichkeit besonders der Kationen werden sie in die tieferen Bodenschichten geschwemmt.

An den oberen Hangabschnitten übt der Niederschlag eine unmittelbare Lösungswirkung aus; nach unten wird das Wasser aggressiviert, da es dickere Bodenschichten durchsickern muss; demzufolge laugt es die leicht löslichen Ionbestandteile verstärkt aus. Dementsprechend gibt es hier weniger Ca^{++} und HCO_3^- Ionen, da sie schon in den tieferen Schichten sind.

Am Dolinengrund geht die Auslaugung zurück in dem Masse des Einschwemmens von den Dolinenseiten sowie der Steigerung der Bindung. Aller Wahrscheinlichkeit nach vermindert sich hier die Korrosionsintensität infolge der Sättigung der Lösung.

Die schnell beweglichen K^+ und Na^+ Ionen bleiben freilich in keiner bedeutenden Menge zurück; für die Pflanzen sind sie jedoch in genügendem Masse vorhanden.

Aus der Analyse geht hervor, dass in den Korrosionsprozessen im Boden unter den Ionbestandteilen besonders Ca^{++} und HCO_3^- lokale Unterschiede zeigen.

Auf unsere früheren Untersuchungen hinweisend können wir feststellen, dass die physischen und chemischen Bodeneigenschaften zwischen dem Süd — bzw. dem Nord-Hang die stärkste Divergenz zeigen. Das extreme Mikroklima am Süd-Hang bzw. seine Einwirkung auf die biogenen Prozesse rufen eine starke Veränderung

der physischen und chemischen Charakteristika hervor. Die unterschiedliche Einschwemmung der Ionbestandteile an den Hangseiten trägt zu einer asymmetrischen Dolinen-Entwicklung bei.

LITERATUR

- BÁRÁNY, I.: (1980): Some data about the physical and chemical properties of the soil of karst doline. (Angaben zu den physischen und chemischen Eigenschaften von Karstdolinen-Böden.) Acta Geographica Szegediensis. Tom. 20. 37—49.
- BÁRÁNYI I.—MEZŐSI G. (1978): Adatok a karsztos dolinák talajökológiai viszonyaihoz. (Angaben zur bodenökologischen Untersuchung von Karstdolinen.) Földrajzi Értesítő. XXVII. évf. 1. füzet. 65—73.
- FEHÉR D. (1938): A talajélet jelentősége a korszerű mezőgazdaságban. (Über die Bedeutung des Bodenlebens in den modernen Landwirtschaft.) Budapest.