

- STRAHLER, A. N.: Physical Geography. – New York und London 1951.
- SUCHEL, A.: Studien zur quartären Morphologie des Hilsgebietes. – Studien über Periglazial-Erscheinungen in Mitteleuropa, Teil IV. – Göttinger Geogr. Abhandlungen, H. 17, Göttingen 1954.
- TRICART, J.: Le Modelé des Régions sèches. – Traité de Géomorphologie IV, hg. v. J. TRICART u. A. CAILLEUX. Paris 1969.
- WAGNER, G.: Rampenberge. – Geogr. Zschr. 42, S. 453–455, 1936.
- ZEESE, R.: Die Reliefgenerationen im Keuperbergland. In: Geomorphologische Probleme im Württembergischen Keuperbergland, hg. v. H. BLUME. – Tübinger Geographische Studien H. 46, 1971.

DER EINFLUSS DES CO₂-GEHALTES DER BODENLUFT AUF DIE KALKLÖSUNG

Mit 2 Abbildungen

ARMIN GERSTENHAUER

Summary: The influence of the CO₂ content of soil atmosphere on limestone solution.

The aim of the investigation was to estimate the extent to which limestone solution could be explained by the CO₂ content of the soil atmosphere. For this purpose an experiment was carried out in the Bergisches Land in which the soil atmosphere was sampled at 30 cm depth every five days with a probe which remained in the ground for the whole period, and the CO₂ content was determined (using Dräger's multigas detector). Parallel to this, the relevant temperature was read from a mercury soil thermometer. In comparison to previous measurements it was thus possible to determine the typical annual pattern of CO₂ content in the soil atmosphere in its dependence on the weather pattern.

From the mass of the water seeping underground, that is, the water which would become effective in karst-morphological terms, and the CO₂ content of the soil atmosphere, it was possible to calculate, with simplified threshold constraints, the amount of limestone likely to be dissolved. The calculations showed that the effects of CO₂ variations in the soil on the rate of limestone solution were relatively minor and that the amount of effective karst-morphological water was decisive for the amount of limestone solution. These experiences indicate that, in the explanation of climate-specific karst forms, no excessive significance should be attached to CO₂ production in the soil atmosphere.

Die so auffallend vom üblichen fluvial geformten Relief abweichenden Formen einer Karstlandschaft sind letztlich darauf zurückzuführen, daß neben zweifellos auch hier wirksamen erosiven Prozessen Lösungsvorgänge, die u. a. nachhaltig die hydrographischen Verhältnisse beeinflussen, entscheidend die Oberflächenformen bedingen. Karbonatgesteine sind jedoch nur dann in größerer, d. h. die Formung beeinflussender Menge löslich, wenn Säuren, insbesondere Kohlendioxid, im Wasser enthalten sind. Als die klimamorphologische Betrachtungsweise Eingang in die Karstmorphologie fand, glaubte man, den andersartigen Formenschatz in den Tropen möglicherweise durch das Einwirken der Salpetersäure und „anderer

organischer Säuren“ erklären zu können. Neuere Untersuchungen von J. CORBEL und R. MUXART (5) haben jedoch gezeigt, daß die Bedeutung dieser anderen Säuren neben dem CO₂ erheblich überschätzt worden ist. So erscheint es nicht nur gerechtfertigt, sondern auch notwendig, das Angebot des für die Kalklösung so bedeutsamen CO₂ näher zu betrachten.

Die für unsere Fragestellung relevanten Quellen des Kohlendioxids sind der Stoffumsatz des Bodenadaphons, die Wurzelatmung und die Mineralisation der organischen Substanz. Damit weist sich die CO₂-Produktion als eine echte ökologische Größe aus. Wichtiger in diesem Zusammenhang ist aber der CO₂-Gehalt der Bodenluft, der nicht nur von der Höhe der Produktion, sondern auch von dem Ausmaß der Bodenatmung, d. h. der CO₂-Abgabe der Bodenluft durch Diffusion an die bodennahen Luftschichten, abhängig ist. Temperatur, Niederschlag, physikalische und chemische Beschaffenheit des Bodens, die Vegetation u. a. bedingen in ihren Wechselbeziehungen den CO₂-Gehalt der Bodenluft. Nach dem Gesetz von HENRY-DALTON wird sich, wenn nur hinreichend Zeit vorhanden ist, zwischen dem CO₂-Gehalt der Bodenluft und dem des versickernden Regenwassers ein Gleichgewicht einstellen. Das im allgemeinen nur wenig aggressive Regenwasser gewinnt durch CO₂-Aufnahme im Bodenkörper an Lösungspotenz. Die Folgen dieses Vorganges sind in jedem Karstgebiet unmittelbar zu beobachten. Unter Boden, Moospolstern u. ä. ist die Kalklösung sehr viel intensiver als auf nackt zutage tretendem Gestein. In das HENRY-DALTONSche Gesetz $CO_2 \text{ (gelöst)} = A \cdot p \cdot k$ geht aber neben dem Partialdruck (p) des Kohlendioxids in der Bodenluft und einer Konstanten (k) der temperaturabhängige BUNSENSche Absorptionskoeffizient („Austauschfaktor A“) ein. Die morphologische Bedeutung der Abnahme des Koeffizienten (A) mit steigender Temperatur ist jedoch lange Zeit überbewertet worden (7, 10, 11).

Nach dem hier kurz Skizzierten liegt es nahe, neben der zur Verfügung stehenden Wassermenge auch die

Auswirkung des CO₂-Gehaltes der Bodenluft auf die Kalklösung näher zu betrachten. Möglicherweise bringt uns das der bislang noch nicht befriedigenden Erklärung der klimatisch bedingten Differenzierung des Karstformenschatzes näher, denn als ökologische Größe wird der Kohlendioxidgehalt durch die Klimafaktoren direkt und indirekt beeinflusst. Nicht nur die Menge, sondern vor allem auch der jährliche Gang sind weitgehend klimaabhängig.

Mit dem Problem der CO₂-Produktion im Boden und der Bodenatmung haben sich schon zahlreiche Forscher beschäftigt. Aber die Zielsetzungen dieser Arbeiten, die vor allem von Bodenkundlern, Agrikulturchemikern und Biologen durchgeführt worden sind, weichen naturgemäß so von unserer Fragestellung ab, daß die Ergebnisse hier nur bedingt Verwertung finden können. Fragen der Bodenfruchtbarkeit, der Lebensvorgänge im Boden, der Einfluß der Düngung auf diese u. ä. standen im Mittelpunkt. Längere Meßreihen mit für uns hinreichend kurzen Meßabständen liegen deshalb auch nur vereinzelt vor. Die in dem „Lehrbuch der Bodenkunde“ von SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (18) wiedergegebenen CO₂-Kurven, die dem Werk „Soil Conditions and Plant Growth“ von RUSSEL entnommen sind, wurden deshalb auch mangels möglicher Vergleiche recht bedenkenlos zu Interpretationen herangezogen. So versucht M. STRÄSSER (20) den Jahresgang der Karbonathärte des Grundwassers im Bodenseeraum mit dem Gang des Kohlendioxidgehaltes der Bodenluft bei Ithaca/New York¹⁾, in Zusammenhang zu bringen, obgleich dies, wie unten gezeigt wird, auf Grund des unterschiedlichen Klimas nicht zulässig ist.

Seit einigen Jahren steht nun das „Gasspürgerät“ der Firma Dräger zur Verfügung, mit dem ohne großen Aufwand das CO₂ hinreichend genau bestimmt werden kann. Seither wurde von karstmorphologischer Seite eine größere Anzahl von Einzelmessungen publiziert. Die Ergebnisse brachten zunächst nichts wesentlich Neues. Es zeigte sich, daß der CO₂-Gehalt der Bodenluft nicht nur zeitlich, sondern auch örtlich erheblichen Schwankungen unterlag. Lockere, trockene, bewirtschaftete Böden wiesen in der Regel weniger Kohlendioxid auf als lehmige, feuchte und bewachsene. Die absoluten Werte lagen in Bodentiefen bis zu 50 cm, in gemäßigttem Klima gemessen, zum größten Teil zwischen 0,5 Vol.‰ und 3 Vol.‰. Vereinzelt Messungen vermögen aber nur ungenügend Aufschluß über die Zusammenhänge zu vermitteln. Aus diesem Grunde wurde 1968 der Jahresgang des CO₂-Gehaltes der Bodenluft an vier Stellen im Rhein-Main-Gebiet festgestellt (11). Da die Meßintervalle recht groß waren, die Bodentemperatur nicht mitbestimmt und die Entnahmestellen nicht exakt eingehalten werden konnten, wurde von Mai 1969 bis Januar 1971 im

Bergischen Land noch einmal eine Meßreihe gewonnen, um die seinerzeit gefundenen Ergebnisse zu stützen oder zu korrigieren.

Mit einer Sonde, die während der ganzen Zeit im Boden verblieb, wurde die Bodenluft aus 30 cm Tiefe entnommen. Der Boden – es handelt sich um einen kalkfreien tonigen Schluff (34% Sand, 55% Schluff, 11% Ton) – unterlag während der Untersuchungszeit, aber auch schon viele Jahre vorher, keiner Bearbeitung. Lockeres Buschwerk und eine verunkrautete Bodenschicht bedeckten die Meßstelle. Alle fünf Tage wurde mit Hilfe des Drägergerätes der CO₂-Gehalt der Bodenluft bestimmt. Die Prüfröhrchen erlaubten bis 1,2 Vol.‰ CO₂ eine Meßgenauigkeit von $\pm 0,05$ Vol.‰; bei höheren Werten betrug die Meßgenauigkeit $\pm 0,1$ Vol.‰. Parallel zu diesen Messungen wurde mittels eines am gleichen Ort ebenfalls verankerten Quecksilberbodenthermometers die Temperatur in 30 cm Tiefe ermittelt.

Die Ergebnisse sind in der Abb. 1 dargestellt. Betrachtet man die Kurven für 1970, so wird anschaulich klar, daß vom Spätherbst bis Frühjahr eine enge Beziehung zwischen Bodentemperatur und CO₂-Gehalt besteht, während im Sommer kaum mehr Korrelationen zu finden sind. Oder mit Hilfe des BRAVAIS-PEARSONSchen Korrelationskoeffizienten ausgedrückt: Vom 15. 5. bis 15. 11. 70 betrug $r = +0,40$; für den Rest des Jahres war $r = +0,86$. Während in der kühlen Jahreszeit also der CO₂-Gang weitgehend durch die Bodentemperatur gesteuert wird, sind die starken Schwankungen in der warmen Jahreszeit nicht mehr allein durch die Temperatur zu erklären, wenn auch der allgemein hohe CO₂-Gehalt im Sommer zweifellos eine Folge der relativ gleichmäßig hohen Temperatur ist. Für die Erklärung der sommerlichen Schwankungen kommen die Niederschläge in Betracht. Am Beobachtungsort konnten keine Regenmessungen durchgeführt werden. Aber es ist auch nicht zu erwarten, daß zwischen Regenmenge und CO₂-Produktion im Boden ein einfacher statistischer Zusammenhang besteht, denn nicht die Menge der Niederschläge, sondern die des Bodenwassers in der Meßtiefe beeinflusst den CO₂-Gehalt. Längere sommerliche Schönwetterperioden lassen sich jedoch ohne Schwierigkeiten aus den CO₂-Kurven ablesen. So ist das Minimum im August 1969 auf eine solche trockene Periode zurückzuführen. (Bei den benachbarten Niederschlagsmeßstellen Hilden und Mettmann wurden in der Zeit vom 18. 7. bis 12. 8. 69 nur 28,5 mm resp. 23,8 mm Regen gemessen.) Auch die Minima Mitte und Ende September 1970 fallen mit Schönwetterperioden zusammen. Bei beiden Jahreskurven des CO₂-Gehaltes folgt auf ein erstes Maximum im Mai ein Minimum Anfang Juli. Die gleiche Tendenz ließen schon die groben Meßreihen erkennen, die 1968 in Hessen aufgenommen wurden. Eine Beziehung zwischen Witterung und Kurvenverlauf läßt sich für diesen Zeitraum in den drei Jahren nicht belegen. Diese anscheinend regelhafte Abnahme des

¹⁾ Trotz der freundlichen Unterstützung von Herrn Kollege Schachtschabel konnte bisher die Herkunft dieser Kurven nicht sicher ermittelt werden.

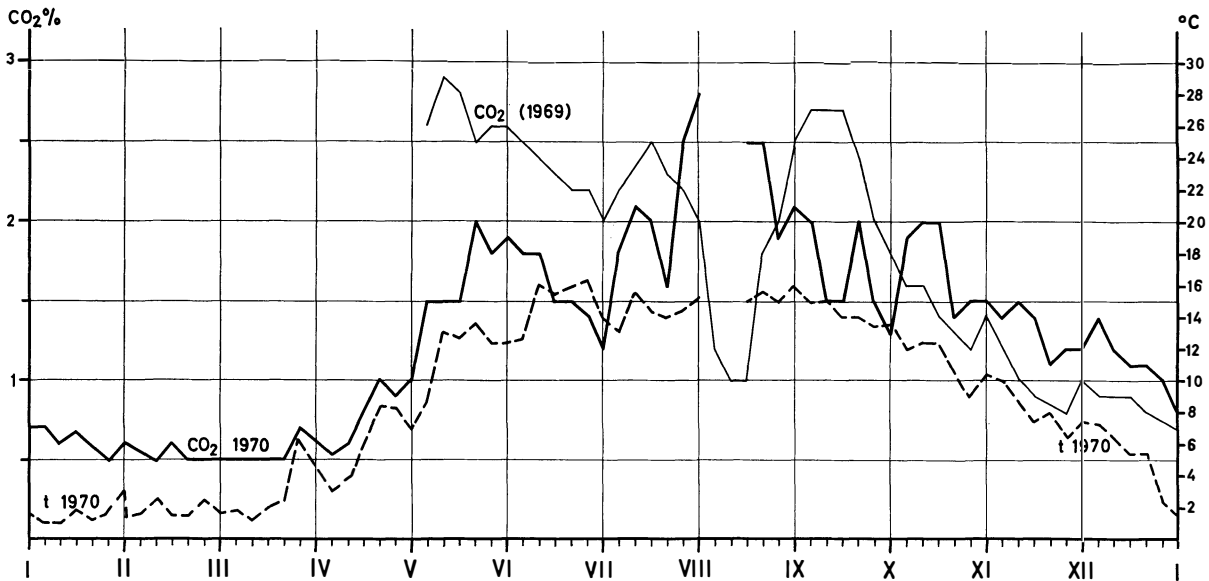


Abb. 1: Jahrgang der Temperatur (30 cm Tiefe) und des CO₂-Gehaltes in der Bodenluft
Annual temperatures (30 cm depth) content of soil temperature

CO₂-Gehaltes im Spätfrühling und Frühsommer ist wahrscheinlich durch den in dieser Jahreszeit stark zunehmenden Wasserverbrauch durch die Vegetation, die Gebietsverdunstung zu erklären.

Es wäre vielleicht wünschenswert, die Meßreihen zeitlich auszudehnen, um so zu langjährigen Mittelwerten zu kommen. Für die hier aufgeworfene Frage, nämlich die Bedeutung des CO₂-Gehaltes in der Bodenluft für die Kalklösung, ist das jedoch nicht von Belang, wie später noch zu erkennen ist. Außerdem lassen die Messungen von 1969 und 1970 im Vergleich mit den Werten von 1968 den mittleren Gang schon recht gut erkennen. Nach niedrigen Werten in den kühlen Monaten folgt im Zuge der Erwärmung und der Entwicklung der Vegetation ein erstes Maximum im Mai. Dem beschriebenen Abfall der Kurve im Spätfrühling folgt dann ein zweites Maximum, das die Spanne von Juli bis Oktober einnimmt. Die witterungsbedingten Schwankungen in dieser Zeit dürften sich im Mittel ausgleichen.

Aus der Diskussion des Kurvenverlaufes geht hervor, daß der eingangs als ökologische Größe charakterisierte CO₂-Gehalt der Bodenluft in seiner Größe und vor allem in seinem jährlichen Gang ganz wesentlich vom Klima bestimmt wird. In der Klimamorphologie der Karbonatgesteine wird man diesem Tatbestand Rechnung tragen müssen.

Nachdem in den letzten Jahren wiederholt der Versuch gemacht worden ist, von verschiedenen Voraussetzungen ausgehend, den absoluten Kalkabtrag in der Zeit zu bestimmen, ist es reizvoll, die hier gefundenen CO₂-Werte einer Abschätzung zu Grunde zu legen. Natürlich kann sich auch diese Kalkulation nur auf stark vereinfachte Grenzbedingungen stützen, die den

vielfältigen Vorgängen in der Natur nur bedingt gerecht werden. Wenn hier die Abschätzung mit den gefundenen Daten vorgenommen wird, so muß man sich darüber im klaren sein, daß in einem bestimmten Gebiet der Gang des CO₂-Gehaltes sehr ähnlich ist, die Menge jedoch recht unterschiedlich sein kann. Es wird vorausgesetzt, daß unsere Werte Mittelwerte für das Gebiet darstellen. In grober Annäherung dürften sie auch nicht allzuweit davon entfernt liegen.

Nach dem HENRY-DALTONSchen Gesetz nimmt das versickernde Regenwasser aus der Bodenluft CO₂ auf. Bei hinreichend langsamer Versickerung wird sich das Diffusionsgleichgewicht einstellen. Es wird hier bei der Abschätzung vorausgesetzt. Trifft nun das aggressive Sickerwasser auf den Kalk, setzt der bekannte chemische Prozeß der Kalklösung ein. Vorausgesetzt, daß die Kontaktzeit lang genug ist, wird sich das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht einstellen. Das ist in der Natur sicher nicht gegeben, da ein Teil des Wassers in Klüften schneller versickert, und so in ein anderes Milieu gerät. Für die Kalkulation sei aber wiederum der Grenzfall des erreichten Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes unter den Bedingungen in 30 cm Bodentiefe angenommen.

Um die morphologischen Auswirkungen des CO₂-Gehaltes der Bodenluft bzw. der aggressiven Kohlensäure des Lösungsmittels richtig werten zu können, sei daran erinnert, daß beim Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht keine lineare Beziehung zwischen freier zugehöriger Kohlensäure und Karbonathärte besteht. Die nach dem Diffusionsgesetz umgerechneten mittleren monatlichen CO₂-Gehalte/l schwankten im Laufe des Jahres 1970 zwischen 15,8 mg/l (Februar) und 52,0 mg/l (August). Dem steht im Kalk-Kohlensäure-

Gleichgewicht nur eine Differenz von 8,4 französischen Härtegraden gegenüber. Das heißt, bei den hier interessierenden Werten folgt einer Zunahme des CO₂-Gehaltes im Wasser von ca. 230‰ nur eine Zunahme der Kalkhärte um 43‰. Die doch recht erheblichen Schwankungen im Jahresgang des CO₂-Gehaltes in der Bodenluft wirken sich also nur sehr gedämpft auf die Lösungspotenz des Wassers aus. Die aus den Meßergebnissen unter den gesetzten Bedingungen errechneten Kalkhärten sind in der Tabelle aufgeführt. Sie zeigen eine ähnliche Größenordnung wie die Kalkhärten im Grundwasser von Kalkgebieten (20). Der Jahresgang der Härte im Karstwasser ist allerdings gegenüber den hier mitgeteilten Werten auf Grund der Verweildauer im Grundwasser etwas verschoben.

Für das Ausmaß der Kalklösung ist aber nicht nur das Angebot an CO₂, sondern auch die Menge des karstmorphologisch wirksam werdenden Wassers entscheidend. Ich habe 1968 (11) diesem Zusammenhang zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt, so daß die damals gezogene Folgerung nicht die wirklichen Verhältnisse zutreffend wiedergab. Da ein oberflächlicher Abfluß im Karst nur eine geringe Bedeutung hat, kann man die Menge des wirksam werdenden Wassers annähernd gleich der Differenz aus Niederschlag und Gebietsverdunstung setzen. Für den Düsseldorfpegel bei Erkrath liegen die Wasserhaushaltsdaten vor (12), die ohne großen Fehler auf die benachbarte Meßstelle übertragen werden können, da die Gesamtsituation sehr ähnlich ist. Zweifellos ist das nicht ganz korrekt, auch zeitlich stimmen die Meßreihen nicht überein (Pegelwerte: 1952/63), aber für eine grobe Abschätzung des Geschehens mag der Gebrauch der Daten erlaubt sein.

Monat	Ca _{0f} -Härte	N-V mm
I	21,5	88
II	19,8	71
III	20,4	33
IV	22,0	24
V	25,0	4
VI	24,5	12
VII	26,0	35
VIII	28,2	47
IX	24,7	42
X	25,0	73
XI	24,7	62
XII	24,3	91

Aus diesen Daten läßt sich nun unschwer die gelöste Kalkmenge und auch der jahreszeitliche Gang berechnen.

In Abb. 2 sind in einer Summenkurve die prozentualen Anteile der einzelnen Monate an der Jahresmenge des gelösten Kalkes dargestellt. Es geht daraus

hervor, daß von März bis Juli die Kalklösung recht gering ist und daß das Maximum im Dezember/Januar liegt.

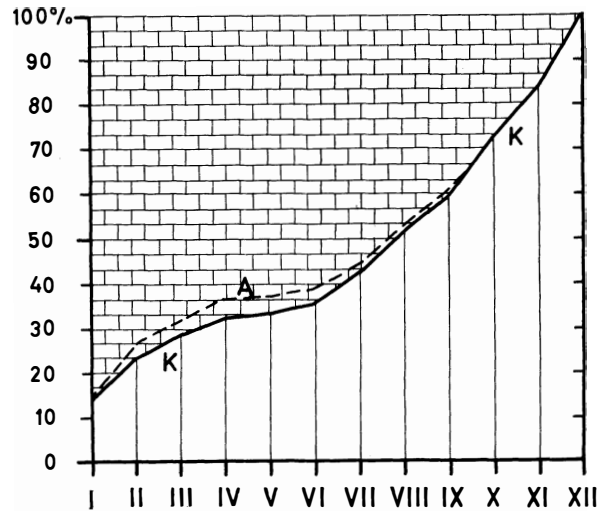


Abb. 2: Jahresgang der Kalklösung (K) (1970) und des unterirdischen Abflusses (A) (1952-63)
Annual limestone solution (K) (1970) and underground runoff (A) (1952-63)

Die hier durchgeführte Kalkulation, die auf gemessenen CO₂-Gehalten der Bodenluft, optimal gesetzten Grenzbedingungen der Kalklösung und in Ermangelung besserer Werte auf Wasserhaushaltsdaten aus der näheren Umgebung basiert, ergibt einen Jahresabtrag von Kalk von 0,045 bis 0,055 mm/Jahr. Das liegt in ähnlicher Größenordnung bisheriger Schätzungen. A. BÖGLI (1) kam bei der Untersuchung der Karrentische in den Westalpen auf eine Erniedrigung der Oberfläche um 0,013 bis 0,015 mm/Jahr. M. SWEETING (21) errechnete nach der gleichen Methode für Nordengland 0,041 mm/Jahr, während der Gesamtbetrag an der Oberfläche und im Untergrund mit Hilfe hydrologischer Daten mit 0,083 mm/Jahr angegeben wurde. Für die Mendip Hills wurde auf diesem Wege sogar ein Abtrag von 0,1 mm/Jahr gefunden. Auch J. CORBEL (4) schätzte den Kalkabtrag für die gemäßigten Klimate auf Beträge zwischen 0,04 mm/Jahr und 0,05 mm/Jahr.

Sinn dieses Artikels sollte es aber nicht sein, die Zahl der Kalkabtragsschätzungen um eine aus dem bedeckten Karst des Bergischen Landes zu erhöhen. Es sollte vielmehr gezeigt werden, welche Bedeutung dem CO₂-Gehalt der Bodenluft bei der Kalklösung zukommt. Dabei ergab sich, daß die relativ starken Schwankungen des CO₂-Gehaltes der Bodenluft im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht nur im abgeschwächten Maße zum Tragen kommen. Für die karstmorphologische Fragestellung scheint mir aber wichtiger das aus der Kalkulation des Gesamtabtrages gewonnene Ergebnis

zu sein, daß die Menge des gelösten Kalkes nicht so sehr von der zur Verfügung stehenden CO_2 -Menge, als vielmehr in erster Linie von der Menge des karstmorphologisch wirksam werdenden Wassers abhängig ist. Die Summenlinie der Kalklösung schmiegt sich eng an die des unterirdischen Abflusses an (Abb. 2). Karsthydrographische Untersuchungen im Mährischen Karst (19) lassen einen ähnlichen Schluß zu. Natürlich muß CO_2 vorhanden sein, um eine Lösung im größeren Umfang überhaupt zu ermöglichen; die in der Natur gegebenen zeitlichen Schwankungen der Kohlendioxidmenge treten jedoch im Endeffekt nur bescheiden in Erscheinung. Dies sollte zur Vorsicht mahnen, bei der Erklärung klimaspezifischer Karstformen die Bedeutung des CO_2 für die Genese überzubewerten.

Literatur

- BÖGLI, A., 1961: Karrentische, ein Beitrag zur Karstmorphologie. – Zeitschr. f. Geom. N.F. 5.
- BOYNTON, D., REUTHER, W., 1939: Seasonal Variation of Oxygen and Carbon Dioxide in Three Different Orchard Soils during 1938 and its possible Significance. – Proc. Amer. Soc. Hortic. Sc. 36.
- BOYNTON, D., COMPTON, O. C., 1944: Normal Seasonal Changes of Oxygen and Carbon Dioxide Percentages in Gas from the Larger Pores of Three Orchard Subsoils. – Soil Sc. 57.
- CORBEL, J., 1959: Erosion en terrain calcaire. – Annales de Géogr. 68.
- CORBEL, J., MUXART, R., 1970: Karsts des zones tropicales humides. – Ztschr. f. Geom. N.F. 14.
- CORBET, A. S., 1934: Studies on Tropical Soil Microbiology: I. The Evolution of Carbon Dioxide from the Soil and the Bacterial Growth Curve. – Soil Sc. 37.
- EK, C. M., 1969: L'effet de la loi de Henry sur la dissolution du CO_2 dans les eaux naturelles. – In: Problems of the Karst Denudation. Brno.
- FREERCKS, W., KOSEGARTEN, E., 1956: Die Bodenatmung von Moorböden, Heidesandböden und Sandmischkulturen in Abhängigkeit vom Kalkzustand. – Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 75.
- FREERCKS, W., PUFFE, D., 1957: Der Einfluß der Bodentemperaturen und -feuchten auf den Verlauf der Bodenatmung bei Moor- und Heidesandböden sowie Dampfplugh- und Fehnkulturen. – Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 78.
- GERSTENHAUER, A., PFEFFER, K. H., 1966: Beiträge zur Frage der Lösungsfreudigkeit von Kalkgesteinen. – Abh. Karst- und Höhlenkunde A, 2.
- GERSTENHAUER, A., 1969: Der Einfluß der CO_2 -Konzentration in der Bodenluft auf die Landformung. – In: Problems of the Karst Denudation. Brno.
- HERRMANN, R., 1967: Die Gewässer und ihre Nutzung in den mittelhessischen Gebirgen – Ein Überblick. – In: Die Mittelrheinlande. Wiesbaden.
- LÖTSCHERT, W., HORST, K., 1962: Zur Frage jahreszeitlicher pH-Schwankungen. – Flora 152.
- LÖTSCHERT, W., 1964: Neuere Untersuchungen zur Frage jahreszeitlicher pH-Schwankungen. – Angew. Botanik 38.
- LUNDEGÅRDH, H., 1927: Carbon Dioxide Evolution of Soil and Crop Growth. – Soil Sc. XXIII.
- MEDINA, E., 1968: Bodenatmung und Streuproduktion verschiedener tropischer Pflanzengemeinschaften. – Ber. Dtsch. Bot. Ges. 81.
- PITTY, A. F., 1966: An Approach to the Study of Karst Water. – Univ. of Hull, Occasional Papers in Geography No. 5.
- SCHAEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1966: Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart.
- ŠTELCL, O., VLČEK, V., PIŠE, J., 1969: Limestone Solution Intensity in the Moravian Karst. – In: Problems of the Karst Denudation. Brno.
- STRÄSSER, M., 1966: Studien zum Grundwasserchemismus des nordwestlichen Bodenseeraumes. – Freiburger Geogr. Hefte 2.
- SWEETING, M. M., 1966: The weathering of Limestones. – In: Essays in Geomorphology. London.
- VEIT, U., 1961: Über jahreszeitliche Reaktionsschwankungen im Bodenkomplex unter besonderer Berücksichtigung des CO_2 -Faktors. – Beitr. Biol. Pflanzen 36.

THE OSCILLATIONS OF THE MIXED PRAIRIE IN KANSAS

With 6 figures and 2 tables

A. W. KÜCHLER

Zusammenfassung: Die Schwankungen der „Mixed Prairie“ in Kansas.

Wir wissen sehr wenig über die geographische Lage und Verbreitung selbst der wichtigsten Formationen der Prärie in Kansas. Er gibt zwar eine Reihe von Vegetationskarten; sie weichen aber inhaltlich stark voneinander ab.

Die Prärie entwickelte sich in einem Klima mit stark schwankenden Niederschlägen, und ihre krautige Beschaf-

fenheit erlaubt eine schnelle Anpassung an die stets kurzfristigen klimatischen Veränderungen. Der Abnahme der Niederschläge von Osten nach Westen folgend, nimmt die Höhe der Grasfluren ab. Das Zwischenstück, die „Mixed Prairie“ ist als Studienobjekt besonders interessant.

Lange Dürreperioden ermöglichen es den kurzen Gräsern, sich ostwärts auszubreiten, wo die höheren Gräser der Trockenheit erliegen. In lang andauernden Regenperioden drängen die höheren Gräser nach Westen vor. Die „Mixed