

KARL-ULRICH BROSCHE*

Berlin

PLEISTOZÄNE PERIGLAZIALSTRUKTUREN IN DEN EBROTERRASSEN BEI ZARAGOZA

Abstract

In van ZUIDAM's paper "Periglacial-like features in the Zaragoza region, Spain" (1976a) there appeared a sceptical opinion on the authenticity of periglacial structures being investigated by BROSCHE (1971 b) in the Ebro basin. In order to elucidate this problem the present author had carried out new investigations which led him to the conclusion that all examined structures are periglacial ones. Such a conclusion is based on the results of experimental work made by Polish geographers and A. PISSART (1970) as well as the researches conducted by ROHDENBURG and MEYER (1969).

Als Entgegnung zu dem Aufsatz von van ZUIDAM (1976a) über „Periglacial-like features in the Zaragoza region, Spain“, in dem eine sehr skeptische Haltung gegenüber dem Vorkommen von echten Periglazialphänomenen im Ebrotal bei Zaragoza (BROSCHE 1971 b) eingenommen wird, werden nach neueren Studien Bodenstrukturen und Bodendeformationen abgebildet, beschrieben und als „periglazial“ gedeutet. Dies geschieht auf dem Hintergrund der Ergebnisse experimenteller Untersuchungen polnischer Geographen und PISSART (1970) sowie unter Berücksichtigung der Studie von ROHDENBURG und MEYER (1969).

EINLEITUNG

Im Jahre 1976 veröffentlichte van ZUIDAM (1976a, S. 27—234) in der Zeitschrift für Geomorphologie einen Aufsatz mit dem Titel „Periglacial-like features in the Zaragoza region, Spain“ und knüpfte damit an eine Problemstellung an, die in den Arbeiten von HAMELIN (1958), JOHNSSON (1960), BUTZER (1964) sowie BROSCHE (1971b, 1972) entweder kurz erwähnt (HAMELIN, 1958; BUTZER, 1964, 26 f.) oder ausführlicher behandelt wurde (JOHNSSON, 1960; BROSCHE, 1971b, 1972). In seinem Aufsatz von 1976 (1976a) zitiert van Zuidam allerdings von den oben erwähnten Studien nur JOHNSSON (1960) und BROSCHE (1971b). Die Hauptaussagen bzw. Hauptergebnisse dieser beiden Autoren, nämlich die Existenz eines echten Eiskeiles in der „Riss?-Terrasse“ (JOHNSSON, 1960) und die Existenz von Kryoturbationserscheinungen in 200 m bzw. 190 m ü. M. in Ebroterrasen in der Nähe von Zaragoza (JOHNSSON, 1960; BROSCHE, 1971b), zieht van ZUIDAM (1976a, S. 233 und 1976b, S. 156) allerdings weitgehend in Zweifel, indem er, von der Erklärung von load cast-Phänomenen ausgehend, schreibt: „Under saturated conditions, coarse material deposited upon finer sediments may sink into these finer sediments, whereas the finer sediments

* Institut für Physische Geographie der Freien Universität Berlin, Grunewaldstrasse 35, 1 Berlin 41.

penetrate also into the coarser sediments. In such a way an undulating contact with some diapiric or sack-like structures may be developed similar to the congeliturbate-like forms described by BROSCHE (1971b)." Auf S. 227 in der Einleitung schreibt van ZUIDAM (1976a): „Recently BROSCHE (1971b, p. 110, also in this journal) published his observations and concluded that similar features (damit sind die vorher im Rahmen eines Zitats von JOHNSON, 1960 erwähnten Eiskeile und „congeliturbate-like structures" gemeint — Zusatz v. Verf.) could also be found on lower lying terraces, i.e. 190 m above sea level. According to the present author more critical observations must be made, [...]"

An einer anderen Stelle dagegen leugnet van ZUIDAM (1976a, S. 229), ohne Lokalitäten und Aufschlussbefunde mitzuteilen, den periglazialen Ursprung von bestimmten Phänomenen nicht, wenn er schreibt: „Ice-wedge-and congeliturbate-like structures were also found by the present author (womit in diesem Zusammenhang nur van ZUIDAM selbst gemeint sein kann) in the terraces and glaci deposits at lower levels, but they are not exclusively of periglacial origin." (Ein gewisser Widerspruch ist allerdings auch in diesem Satz enthalten, denn danach könnten „congeliturbate-like structures" auch von periglazialen Ursprung sein). Sieht man von diesem eben wörtlich zitierten Satz ab, so besteht die Tendenz des gesamten Aufsatzes von van ZUIDAM (1976a) und besonders der Schlussfolgerungen auf S. 233 darin, die Untersuchungsergebnisse von JOHNSON (1960) und BROSCHE (1971b) in Zweifel zu ziehen und besonders die von BROSCHE (1971b) beigebrachten Befunde als „congeliturbate-like forms" abzustempeln und für ihre Entstehung verschiedene andere Prozesse verantwortlich zu machen. Der Titel des Aufsatzes von van ZUIDAM (1976a) heisst sicher auch nicht ohne Grund „Periglacial-like features in the Zaragoza region, Spain".

Unter pleistozänen Periglazialstrukturen werden in diesem Beitrag bestimmte Bodenstrukturen bzw. Bodendeformationen verstanden, deren Genese in der mittlerweile ins Uferlose angeschwollenen Periglazialliteratur (stellvertretend seien genannt: DYLIK, 1952, 1956, 1966; CAILLEUX u. TAYLOR, 1954; JAHN, 1956, 1964; PISSART, 1970; WASHBURN, 1979) mit der Wirkung von Frostbodenprozessen (vor allem Drucken beim Gefrieren) in Verbindung gebracht wird, wie z. B. steilstehende Steine (erected stones), Entschichtungshorizonte von ehemals geschichteten Steinen und Sanden sowie Schichten- und Bodendeformationen, durch die Sand- oder Schlufftaschen und spitzenförmig aufgerichtete Schutt- oder Schotterpartien entstehen.

Für letztere haben sich in Mitteleuropa, wo an ihrer Entstehung unter periglazialen (wahrscheinlich sogar meistens Permafrost-) Bedingungen nicht gezweifelt wird, die Bezeichnungen Taschen-, Würge-, Wickel-, Wannenböden u.a. eingebürgert (vgl. z.B. POSER, 1947; KAISER, 1958, 1960). Auf eine nähere Klassifizierung der eiszeitlichen Bodenstrukturen (Kryoturbationsformen, „involutions"), die DYLIK (1952), JAHN (1956, S. 170) und CAILLEUX u. TAYLOR (1954, S. 77) vorgenommen haben, wird hier nicht näher eingegangen (vgl. zusammenfassend dazu PISSART, 1970, S. 34).

Ziel der folgenden Ausführungen soll es sein, anhand einiger Beispiele und Literaturhinweise zu zeigen, dass es im Ebrobecken bei Zaragoza in Höhen von 190—210 m. ü. M. neben „periglacial-like features“ (die hier nicht zur Darstellung kommen), auch echte periglaziale Bodenstrukturen, speziell Kryoturbationerscheinungen, gibt, die sich nicht als load cast-Phänomene mit kleinen diapirischen Strukturen, nicht durch unterirdische Gipsbildung aus Anhydrit und nicht durch unterschiedlichen Kalkgehalt der Terrassenschotter (speziell unter Kalkkrustenbildungen) deuten lassen (van ZUIDAM, 1976a, S. 227, 232, 233). Auch sind die zu behandelnden Bodenstrukturen nicht als Ergebnis der Erosionsgullybildung infolge von Entwaldung und dadurch verstärkten Oberflächenabfluss, nicht als partielle Auflösung von Kalk und Bildung von „solution pipes“, „soil tongues“ oder „solution tongues“ und nicht durch Stagnation in der Sedimentation, Erosion und neue Akkumulation zu deuten — weiteren Erklärungsmodellen für die „congeliturbate-like structures“ im Sinne von van ZUIDAM (1976a, S. 232, 233). Auch soll es sich bei den im folgenden darzustellenden Bodenstrukturen nicht um solche handeln, die durch Tektonik, Lösung und folgenden Kollaps des Substratums, Anschwellung und Lösung des Terrassen- und Glacismaterials (van ZUIDAM, 1976a, S. 233 — Conclusions) entstanden sind. Eine Reihe von Boden- und Sedimentstrukturen im Ebrobecken, die sich nach den eben erwähnten Erklärungskonzepten von van ZUIDAM (1976a) deuten lassen, sind von SOLÉ SABARÍS (1953), JOHNSSON (1960), BOMER u. RIBA (1962), ALMELA (1962), LLAMAS MADURGA (1962), BROSCHE (1971b, 1972, 1980) sowie BOMER (1978) beschrieben und abgebildet worden. Auch mit den bei COLEMAN u. GAGLIANO (1965, S. 136—140) abgebildeten und diskutierten Sedimentunregelmässigkeiten und -störungen, die bei der primären Sedimentation auftreten können, haben die im folgenden zu behandelnden Bodendeformationen keine Gemeinsamkeiten.

PLEISTOZÄNE BODENSTRUKTUREN IN DER 6—8-m-TERRASSE DES EBRO

Während die Figur 1 bei JOHNSSON (1960, S. 76), die „Involutions in the Würm terrace east of Zaragoza“ zeigt, nicht sehr überzeugend ist (wie mir übrigens auch Herr Doz. Dr. G. JOHNSSON in einem Brief vom 24.6.1980 schrieb), ist das Photo 1 bei Brosche (1971b, S. 112) schon wesentlich überzeugender, indem es eine „injection“ i. S. CAILLEUX u. TAYLOR (1954, S. 77) darstellt. Aus der von van ZUIDAM (1976a) nicht zitierten Arbeit von BROSCHE (1972) sei hier als deutlichster Beleg für das Vorhandensein von echten pleistozänen Periglazialstrukturen (hier Kryoturbationerscheinungen) in der 6—8-m-Terrasse des Ebro südöstlich Zaragoza das Photo 1 nochmals wiedergegeben, das aus dem Jahre 1970 stammt.

Die Kiesgrube liegt nördlich der Nationalstrasse 232 (Zaragoza-Alcañiz) am Abfall der 6—8-m-Terrasse zum breiten, als Vega entwickelten Talboden des

Ebro (2—4-m-Terrasse). Die 6—8-m-Terrasse wird von van ZUIDAM (1976b, sheet 2 — Zaragoza) zur Terrasse T3.2 gerechnet. Die Terrassenfläche dieser Schotterterrasse steigt südlich der Nationalstrasse 232 und südlich der Eisenbahn allmählich auf 10—15 m Höhe über dem Ebrotalboden an. Im unteren Teil der Grube (Photo 1) befindet sich ein völlig ungestörter Ebro-Schotterkörper mit weitgehend horizontal, z.T. dachziegelartig abgelagerten Schottern. Darüber folgt ein durch diesen ganzen Aufschluss ziehender Horizont mit Schichtenstörungen von 0,4—0,6 m Dicke, den ich als frostdynamisch gestörten Horizont (Kryoturbationshorizont) deute (vgl. unten S. 51). In ihm sind Schotter, Sande und Kiese intensiv entschichtet worden, wobei es zur Aufrichtung vieler Steine („erected stones“) kam. Es lassen sich an verschiedenen Stellen kleine frostkeselartige Gebilde feststellen, an deren Rändern die Steine steil gestellt wurden. In diesem Horizont finden sich viele frostgesprengte Steine, auf die mich Herr Prof. Dr. SALVADOR MENSUA FERNANDEZ (Zaragoza) anlässlich einer von mir geführten Exkursion im Herbst des Jahres 1970 aufmerksam machte. Dieser Kryoturbationshorizont kann durch keinen der bei van ZUIDAM (1976a, 229 ff.) aufgezählten Prozesse erklärt werden. Problematisch bleibt die Deutung der intensiven Verformung des Schotterbandes im Kryoturbationshorizont. Über dem Kryoturbationshorizont folgt ein sandig-kiesiges Sediment mit einer feinen Matrix, das an dieser Stelle z. T. von einer Schmutztapete bedeckt ist. Darüber folgt, auf Photo 1 ausserhalb des Bildausschnittes, ein fast steinloses lössartiges Feinsediment (vgl. Photo 2: oberste Strate). Die Steine in dem steinreichen Decksediment über dem Kryoturbationshorizont (Photo 1) und in dem darüber befindlichen steinarmen Lösspaket (Photo 2) weisen an ihrer Unterseite fast durchgehend kammeis nadelartig auskristallisierten Gips auf.

Wie schon früher bei BROSCHE (1972, S. 303) dargestellt wurde (vgl. auch van ZUIDAM, 1976a, S. 233), handelt es sich bei den z. T. lössartigen Decksedimenten oberhalb des Kryoturbationshorizontes z. T. um Ablagerungen, die ihren Ursprung in dem südlich des Ebrotales gelegenen Tertiärhügelland haben. Dieses ist aus gipshaltigen tertiären Gesteinen aufgebaut und fällt zum Ebrotal hin sanft ab. Die lössartigen Feinsedimente müssen in jüngerer Zeit zusammen mit Ebrokiesen und Ebroschottern aus höher gelegenen Schotterterrassen und Terrassenteilen durch flächenhafte fluviale Abtragungsprozesse (vgl. Abb. 1 bei BROSCHE, 1972) in Richtung auf das Ebrotal transportiert und auf die kryoturbierten Schotter gelegt worden sein. Dabei dürfte es sich um eine in historischer Zeit abgelagerte Akkumulation handeln, in der van ZUIDAM (1976a, S. 229, 1976c) Töpferscherben fand.

Als weiterer Beleg für echte pleistozäne Periglazialstrukturen sei ein bereits im Jahre 1970 aufgenommenes (bisher noch nicht veröffentlichtes) Photo aus dem gleichen Aufschluss publiziert (Photo 2), das ebenfalls über einem ungestörten, horizontal lagernden Schotterkörper zunächst einen 30—40 cm mächtigen Kryoturbationshorizont mit Frosttaschen und vielen steil und schräg stehenden Schottern erkennen lässt. Dieser Kryoturbationshorizont wird an dieser

Stelle von lössartigen, gipshaltigen, gelblichen Schluffen und Feinsanden überlagert.

Nach dem Erscheinen des Aufsatzes von van ZUIDAM (1976a) besuchte ich im Sommer 1977 den gleichen Aufschluss, in dem ich im Jahre 1970 die Photos 1 und 2 dieses Beitrages aufgenommen hatte, nochmals. Es war festzustellen, dass sich die Aufschlussverhältnisse zwar deutlich verschlechtert hatten, dass aber an mehreren Stellen noch der Kryoturbationshorizont auffindbar war, den ich bereits früher (1969 und 1970) studiert hatte.

Als weiterer Beleg für das Vorhandensein von echten periglazialen Bodenstrukturen bei 190 m ü. M. möge das im Jahre 1977 aufgenommene Photo 3 dienen, das bezüglich der Schichtenfolge eine weitere Variante zu den beiden oben dargestellten Abbildungen (Photos 1 und 2) darstellt: Schichtkomplex 1 ist wieder der unterste — wie ich meine — würmzeitliche Schotterkörper des Rio Ebro, der keinerlei Störungen aufweist, weder Verbiegungen der Schotterbänder durch Volumenvermehrung noch durch Volumenverminderung des Materials. Schichtkomplex 2 ist der Kryoturbationshorizont mit vielen steil oder schräg stehenden Steinen und kleinen Frosttaschen. Darüber folgen schwach geschichtete Kiese (Komplex 3), die keine Beeinflussung durch Kryoturbation erkennen lassen. Wann diese schwach geschichteten Kiese über dem Kryoturbationshorizont abgelagert worden sind, ist ungewiss. Als Schichtkomplex 4 folgt ein wenige Steine enthaltendes lössartiges Feinsediment, das mit dem Decksediment des Photos 2 identisch ist. Während alle Sedimente, die auf Photo 3 sichtbar sind, kalkhaltig sind, findet man die bereits oben erwähnten kammeisnadelförmigen Gipsausscheidungen an fast allen grösseren Steinen oberhalb des dicht gepackten, ungestörten Basisschotterkörpers (1), der auf Photo 3 nur noch in den unteren 2—3 Dezimetern sichtbar ist. Daraus lässt sich folgern, daß der Gips nicht die Ursache für die Entschichtung des Sedimentpaketes 2 (des Kryoturbationshorizontes) sein kann. Die Entschichtung des Sedimentkomplexes 2, verbunden mit der Bildung von kleinen Kieskesseln, kann m. E. nur durch frostdynamische Prozesse unter kaltklimatischen Bedingungen des Hoch- oder Spätwürms erfolgt sein.

Die von mir vorgenommene Deutung des mittleren Horizontes in den Photos 1—3 als Kryoturbationshorizont wurde nicht nur von Herrn Prof. Dr. SALVADOR MENSUA FERNANDEZ im Jahre 1970 bestätigt, sondern auch von Herrn Prof. Dr. PIERRE BOMER, Tours, anlässlich des „Colloque sur le périglaciaire d'altitude du domaine méditerranéen et abords“ (12—14.5.1977 in Strassburg) in einem Vortrag und in einem persönlichen Gespräch danach als korrekt hervorgehoben (vgl. auch BOMER, 1978, 171/2). BOMER (1978, S. 172) hebt bei der Bestätigung meiner Interpretation der hier zur Diskussion stehenden Schichtenstörungen als echte Periglazialerscheinungen hervor, dass sie durch die Annahme von Gipsbewegungen im Untergrund nicht erklärt werden können, da der Schotterkörper unter den Schichtendeformationen horizontal verläuft. Dieses Argument wurde auch von BROSCHE (1971b, 1972) mehrfach angeführt. Wörtlich beendet BOMER (1978, S. 172) sein Kapitel „a) Extrême rareté des formes

permettant d'évoquer un pergélisol" mit dem Resumé: „On concluera donc que des involutions explicables par la pression cryostatique ne sont pas absentes du bassin de l'Ebre mais qu'elles sont d'une extrême rareté. Et on rappellera, après PISSART (1970) qu'elles n'impliquent absolument pas l'existence d'un pergélisol."

PERIGLAZIALE BODENSTRUKTUREN AUF DER NORDSEITE DES EBRO IN DER 15—18-m-TERRASSE

Auf der Nordseite des Ebro liessen sich bisher nur südöstlich von Zaragoza in mehreren Kiesgruben in der Nähe der Dörfer Puebla de Alfanden und Alfarjarin schwach, aber flächenhaft entwickelte Kryoturbationserscheinungen finden (vgl. BROSCHE, 1972, 299 ff., Abb. 2—4). Bei meinem neuerlichen Aufenthalt im Bereich der Ebroterrassen im Jahre 1977 besuchte ich u.a. eine Schottergrube am östlichen Ortsrand von Puebla de Alfanden (Nationalstrasse II Zaragoza—Lerida, am km-Stein 336), in der die 15—18-m-Terrasse (Glacis 4 bei van ZUIDAM, 1976b, sheet 2, Zaragoza) aufgeschlossen ist. Die 15—18-m-Terrasse weist folgenden Aufbau auf (vgl. auch BROSCHE, 1972, Abb. 9): In ihrem unteren Teil besteht sie aus dicht lagernden, groben, gut geschichteten Ebroschottern (auf den Photos 4 und 5 im untersten Teil noch sichtbar), im mittleren Teil aus schluffig-sandigen Sedimenten, die von Kiesen durchzogen werden (mittleres Drittel von Photo 4), sowie sandigen Schluffen (oberer Teil von Photo 4). Der obere Teil der Akkumulation auf den Photos 4 und 5 nicht mehr sichtbar) besteht aus locker gelagerten, sandig-schluffig-kiesigen Sedimenten mit Gipsknollen und Schottern. Diese Decksedimente besitzen den Charakter von schwach geschichteten, locker lagernden Glacisablagerungen. Deshalb ordnet van ZUIDAM (1976b, sheet 2, Zaragoza) die Akkumulation und die morphologische Form seinem Glacis 4 zu.

Im Bereich des mittleren Sedimentkomplexes ließ sich in den Jahren 1970 und 1977 ein flächenhaft entwickelten entschichteter Horizont feststellen (Photo 4 und 5), den ich als Horizont mit periglazialen Bodenstrukturen deute (vgl. dazu S. 51). Er erstreckt sich in Höhe der oberen 5 Dezimeter der Messlatte (Photo 4) und eventuell auch noch 2—3 Dezimeter oberhalb der Messlatte. Die Schichtenstörungen bestehen in ihrer eindrucksvollsten Ausprägung aus vielen kleinen, mit Schluff gefüllten, frosttaschenartigen Gebilden, die an den Seiten von steil stehenden Steinen eingerahmt sind. Vor der Entschichtung muss hier eine ehemals ungestörte Wechsellagerung von Schotter- und Kiesbändern und Schluffen in wechselnder Mächtigkeit vorgelegen haben. Eine geschichtete ungestörte Feinsedimentlage befindet sich 2—3 Dezimeter oberhalb des unteren Bildrandes (Photo 4), während schwach verformte Kies- und Schluffbänder rechts oberhalb der Messplatte zu sehen sind.

Der im oberen Teil des Photos 4 sichtbare sandige Schluff ist schwach grau und orange gefleckt und damit schwach pseudovergleyt. Stellenweise lassen sich in diesem fossilen Pseudogley Roströhren sowie graue und rostige Streifen und

Bänder erkennen, wie sie in den mitteleuropäischen Jungwürm-Nassböden im Löss typisch sind. Somit lassen sich aus dem Aufschlussbefund für die Zeit der Entstehung des schwachen Kryoturbationshorizontes feucht-kalte Klimabedingungen, für die Ablagerung des sandigen steinfreien Schluffes eher kalt-trockene Klimabedingungen und für die Bodenbildung in dem Schluff eher kühl-feuchte Bedingungen ableiten.

Photo 5 zeigt im Prinzip eine ähnliche Schichtenfolge und ähnliche Boden-deformationen wie Photo 4, nur mit dem Unterschied, dass in dem gestörten Horizont steinarme Frostaschen fehlen und eine stärkere Vermischung von Schotter, Kies und Feinmaterial vorliegt.

DEUTUNG DER BODENDEFORMATIONEN

Wie kann man die Entstehung der Boden- und Schichtendeformationen erklären? Sie lassen sich m. E. am ehesten durch ein Erklärungsmodell deuten, das ein zeitweilig stark wasserhaltiges Substrat über dem letzten Rest eines noch vorhandenen Frostbodens voraussetzt, in dem Frier- und Tauprozesse wirken, die u. a. das Hochpressen bzw. Auffrieren von Steinen aus einer liegenden Schotter-schicht verursachten. Dabei dürften „Druckunterschieden im wasserreichen Feinboden infolge eines ungleichmässigen Eindringens der Gefrierfront und somit auch einer unterschiedlichen Wassernachlieferung zur Gefrierfront“ (ROHDENBURG u. MEYER, 1969, S. 66) eine grosse Bedeutung zukommen. Bei diesem Erklärungsmodell, dem offenbar auch ROHDENBURG u. MEYER (1969, S. 65—67) für ähnliche Frostbodenformen (Abb. 1, 8b, 8c und Fig. 1) in Mitteleuropa (allerdings unter der ja erwiesenen Tatsache eines permafrost table in einer bestimmten Tiefe) den Vorzug geben, müsste also wohl eine zumindest zeitweilige Persistenz eines Frostbodenrestes unter dem Horizont mit den gestörten Bodenstrukturen angenommen werden. Dabei muss es sich nicht um einen mehrere Meter tief reichenden Dauerfrostboden gehandelt haben (dessen ehemalige Nichtexistenz mir aufgrund des Fehlens von echten und vor allem zahlreichen Eiskeilpseudomorphosen im Ebrobecken weiterhin als gesichert scheint — vgl. BROSCHE, 1972), sondern um einen dünnen, vielleicht zeitweilig 0,4—0,5 m tief eindringenden Frostboden; ob dieser allerdings jedes Jahr wieder ganz verschwunden ist oder nicht, lässt sich nicht entscheiden.

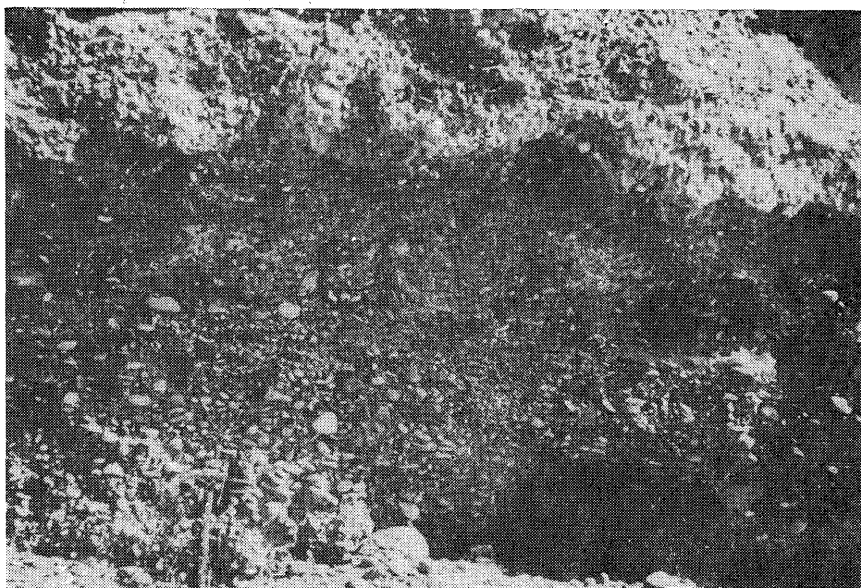
Nach PISSART (1970, S. 8, 34—43) sind Kryoturbationserscheinungen („periglacial involutions“) nicht notwendigerweise ein Beweis für die Gegenwart von Permafrost. Dieses Ergebnis von PISSART, das sich vor allem auf die experimentelle Messung der im Boden wirkenden Drucke beim Gefrieren gründet, ist nicht als Widerspruch zu den oben von mir gemachten Ausführungen anzusehen.

In ihrem Aufsatz „Zur Deutung pleistozäner Periglazialformen in Mitteleuropa“ diskutieren ROHDENBURG u. MEYER (1969, S. 65) auch unter Berücksichtigung der experimentellen Ergebnisse von DŻULYŃSKI (1963, 1965, 1966) sowie

von BUTRYM, CEGŁA, DŻULYŃSKI u. NAKONIECZNY (1964) eine mögliche andere Genese der vor allem im Göttinger Gebiet gefundenen periglazialen Bodenstrukturen, denen die von mir hier und früher (BROSCHÉ, 1971b, 1972) beschriebenen im Ebrobecken am meisten ähneln: nämlich die Vermischung von Schottern und Sand (bei ROHDENBURG u. MEYER, 1969, Abb. 8c; Rotsand aus dem Buntsandstein) an der Materialgrenze, die Aufbeulung von Schottern unter Rotsand und Löss in Verbindung mit der Vermischung von Schottern und Rotsand (bei ROHDENBURG u. MEYER, 1969, Abb. 8b), das Fehlen jeglicher Schichtung über grössere Erstreckung (womit wohl die Entschichtung von Sand und Schotter gemeint ist), die weit verbreitete Senkrechstellung von Schottern an den Schichtgrenzen Schotter unter Sand/Löss (ROHDENBURG u. MEYER, 1969, S. 49) sowie „spitzenförmige Aufpressungen“ von Schottern innerhalb eines grösseren Frostkessels von ca. 5 m Länge und ca. 1 m Tiefe (a.a.O. Fig. 1, Abb. 1). Wörtlich schreiben sie: „Die Aufbeulung der Schotter in Abb. 8b, die Vermischung von Schotter und Rotsand [...], das Fehlen jeglicher Schichtung über grössere Erstreckung sowie die eingangs erwähnte verbreitete Senkrechstellung der Schotter deuten zudem auf eine wenigstens kurzzeitig hohe Mobilität des Schotterkörpers, wie sie ausser völliger Wassersättigung auch einen gewissen hydrostatischen Druck erfordert. Letzterer könnte bei seitlichem Wasserzuzug durch Anstau unter den weniger durchlässigen Deckschichten bedingt sein; wirksamer wären aber wohl Bedingungen, unter denen die Decksedimente von der Oberfläche her unterschiedlich tief gefroren waren.“ (a.a.O., 65).

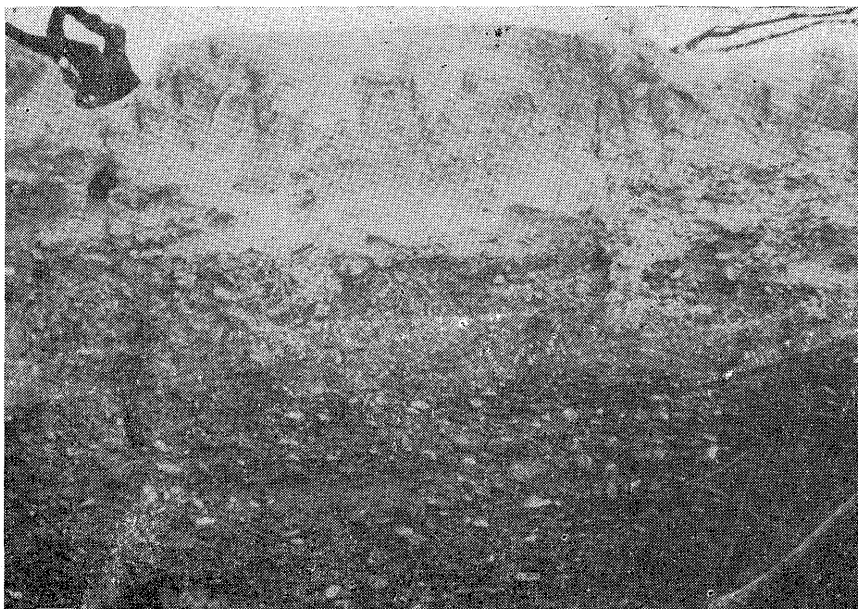
ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es wurden eine Reihe von Bodenstrukturen bzw. Bodendeformationen in Ebrotterrassen südöstlich von Zaragoza abgebildet, beschrieben und erklärt, für deren Genese die am Ende von Kapitel 1 (S. 47) aufgeführten Erklärungsmodelle m. E. nicht zutreffen, die van ZUIDAM (1976a, S. 227—234) für die Deutung von „congeliturbate-like forms“ heranzieht. Ich halte es für äusserst unwahrscheinlich, dass die in den Photos 1—5 abgebildeten Bodenstrukturen — ganz ähnlichen Bodendeformationen, wie sie von ROHDENBURG u. MEYER (1969) aus Mitteleuropa beschrieben und abgebildet worden sind — nach den temperatur- und klimaunabhängigen Erklärungsmodellen von DŻULYŃSKI (1963, 1965, 1966) oder BUTRYM, CEGŁA, DŻULYŃSKI u. NAKONIECZNY (1964) oder ihrer Vorgänger erklärt werden können. Es ist besonders zu betonen, dass die gerade zitierten Autoren m. W. bisher bei ihren Experimenten nur mit Sand, Ton und Gips gearbeitet haben, die mit einem unterschiedlichen Wassergehalt versehen wurden. Die Materialien, die hier in den Photos 1—5 die Hauptrolle spielen, also Schotter und Kiese, die einen Schichtkomplex bildeten, und Sande und Schluffe, die den benachbarten Schichtkomplex bildeten, wurden bei den Experimenten der polnischen Geographen nicht verwendet. Die experimentell durch



Aufn. K.-U. Brosche, Herbst 1970

Photo 1. Kryoturbationshorizont in der 6—8-m-Terrasse des Rio Ebro südöstlich Zaragoza (zwischen den km-Steinen 11 und 12 der Nationalstrasse Zaragoza-Alcañiz). Die periglazialen Bodenstrukturen (Frostkessel, entschichtetes Material, verformte Kiesbänder, aufgerichtete Steine) befinden sich über einem gut geschichteten, ungestörten Schotterkörper unten und einem Kies—Schotter—Sand—Gemisch oben, das z.T. von Schmutztapeten verdeckt ist. Massstab 28 cm lang. Höhe 190 m ü. M.



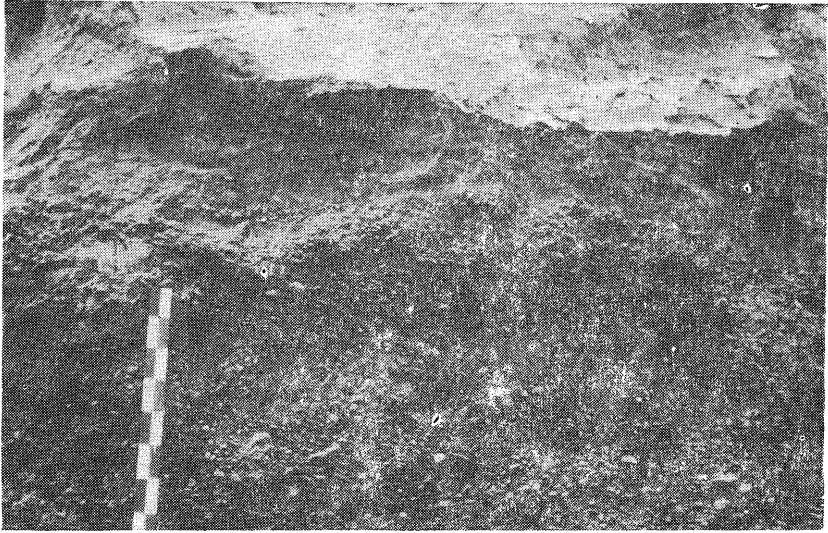
Aufn. K.-U. Brosche, Herbst 1970

Photo 2. Lokalität und Bildinhalt wie bei Photo 1. Über dem Kryoturbationshorizont, dessen Untergrenze im Bereich des Hammerstieles liegt, folgt ein nur sehr dünnes Schotter—Kies—Sand—Gemisch und darüber ein gelbliches lössartiges Feinsediment mit sehr wenigen Steinen. Massstab 28 cm lang



Aufn. K.-U. Brosche, Juli 1977

Photo 3. Lokalität und Bildinhalt wie bei Photos 1 und 2. Rechts unten (rechts der Messlatte) Reste des ungestörten, liegenden Schotterkörpers (1) sichtbar, der an seiner Obergrenze schwach gestört ist. Über dem feinmaterialarmen liegenden Schotterkörper ein 0,6—0,7 m mächtiger enschichteter Horizont (2), der viele feine Sedimente enthält. Steilstellung vieler Steine und schwache Taschenbildung an der Untergrenze dieses Komplexes fallen auf. Im oberen Bildteil mehrere ungestörte Schotterbänder (3), die nicht entschichtet sind. Ganz oben lössartiges Feinsediment (4). Dezimetereinteilung auf Messlatte



Aufn. K.-U. Brosche, Juli 1977

Photo 4. Kryoturbationshorizont im Bereich der oberen 0,4 m der Messlatte deutlich über einem wohl geschichteten, ungestörten Basisschotterkörper der 15—18-m-Terrasse sichtbar. Die Kryoturbationserscheinungen bestehen aus Frosttaschen bzw. Frostkesseln, die mit Sand und Schluff gefüllt sind. Der 0,3 mächtige Bereich oberhalb der Messlatte weist ebenfalls schwache Schichtenstörungen auf. Im oberen Teil des Photos ein schwach pseudovergleyter Schluff. Lokalität Kiesgrube am östlichen Ortsrand von Puebla de Alfinden (Nationalstrasse II Zaragoza-Lerida)



Aufn. K. U. Brosche, Juli 1977

Photo 5. Lokalität und Bildinhalt wie bei Photo 4. Im Unterschied zu den Schichtenstörungen in Photo 4 sind hier keine deutlichen Sandtaschen bzw. -kessel entwickelt. Das Sand—Schutt—Gemisch unter dem oberen Schotterband enthält viele schräg oder steil stehende Steine. Die Vermischung von Steinen und Feinmaterial wird als periglaziale Bodendeformation gedeutet

die polnischen Geographen hergestellten Bodendeformationen entsprechen ausserdem nicht den Aufschlussbildern der Photos 1—5 und den Strukturen meiner früher publizierten Abbildungen. Es sei auch erwähnt, dass PISSART (1970) als Befürworter der kryostatischen Entstehung von Bodenstrukturen m. W. bisher auch noch nicht die Substrate für seine Experimente verwendet hat, die an den Schichtgrenzen in den Terrassen des Ebrobeckens auftreten. Folglich ist auch ihm bisher noch nicht die experimentelle Herstellung von Bodendeformationen der Art gelungen, wie sie in diesem Beitrag eine Rolle spielen.

Selbst wenn man, dem Beispiel ROHDENBURG u. MEYERS (1969) folgend, versuchen würde, die beschriebenen Bodendeformationen im Ebrobecken (Photos 1—5) nach den Regeln von DŻULYŃSKI (1963, 1965, 1966) zu erklären, so bliebe folgendes wesentliches zu berücksichtigen: bei den periglazialen Bodenstrukturen auf dem Lutter-Schwemmfächer im Göttinger Stadtgebiet, deren mögliche Genese nach den Regeln von DŻULYŃSKI von ROHDENBURG u. MEYER (1969, S. 65) diskutiert wird, war immer mit Dauerfrostbodenverhältnissen zu rechnen, was ganz bestimmt hydrostatische Verhältnisse über dem permafrost table nach sich zog. Es sei denn, man verlegte die Bildung der periglazialen Bodenstrukturen in die würmkaltzeitlichen Interstadiale, in denen ja nach Ausweis der Ergebnisse der Eiskeilstudien von ROHDENBURG (1966) der Dauerfrostboden in den Lössgebieten Mitteleuropas kurzfristig — zumindest in den oberen Metern — verschwunden war. Im Ebrobecken dagegen kann man sich die Entstehung von Bodendeformationen nach den Regeln von DŻULYŃSKI noch weit schwieriger vorstellen. Unter welchen Bedingungen sollte es hier zu einem völlig wassergesättigten (und damit mobilen) Schotterkörper an der Basis und im unteren Teil der von mir abgebildeten und besprochenen gestörten Bodenhorizonte gekommen sein? Bei der (sicher richtigen) Annahme der Nichtexistenz eines Dauerfrostbodens von der Art des mitteleuropäischen Dauerfrostbodens (so auch BOMER, 1978, S. 169) kann es m. E. bei dem gut wasserdurchlässigen Basisschotterkörper unter den gestörten Bodenschichten (mit den steil stehenden Steinen, der Vermischung von Sand/Schluff und Schotter und den Sand/Schluffkesseln) gar nicht zu einer völligen Wassersättigung gekommen sein, geschweige denn zu einem zumindest zeitweilig vorhandenen hydrostatischen Druck bei seitlichem Wasserzuzug durch Anstau unter den weniger durchlässigen Deckschichten.

Aus dieser skeptischen Haltung zu der möglichen Anwendbarkeit der experimentellen Ergebnisse von DŻULYŃSKI (1963, 1965, 1966) sowie BUTRYM *et al.* (1964) auf die Deutung der Bodendeformationen im Ebrobecken (die übrigens von ROHDENBURG u. MEYER, 1969, für die Deutung ihrer Bodenstrukturen weitgehend geteilt wird), ergibt sich die Auffassung, dass der oben (S. 51 f.) beschriebenen herkömmlichen Konzeption für die Erklärung der Entstehung von Schichtenstörungen der verschiedensten Art (unterschiedlich weit vorgedrungene Frostfront, Entstehung von Drucken und dadurch Verlagerung von Steinen und Steinkomplexen, etc.) der Vorzug gegeben wird. Somit halte ich die in diesem Beitrag behandelten Schichtenstörungen für periglaziale kaltzeitliche Boden-

deformationen und stuft somit die 6—8-m-Terrasse auf der Südseite des Ebro südwestlich Zaragoza (T 3.2 bei van ZUIDAM, 1976b) weiterhin im Gegensatz zu van ZUIDAM (1976a) und mit JOHNSSON (1960) als würmkaltzeitlich ein. Den periglazialen Bodenstrukturen (Photos 1—3) muss ebenfalls ein würmzeitliches (hochwürmzeitliches, eventuell spätglaziales) Alter zukommen.

Die eben gemachten Aussagen lassen sich auch auf den Schotterkörper und die periglazialen Bodenstrukturen der 15—18-m-Terrasse auf der Nordseite des Ebro südöstlich Zaragoza (Glacis 4 bei van ZUIDAM, 1976b) übertragen. Der Horizont mit den Schichtenstörungen (Photo 4 und 5) liegt hier noch geringfügig höher als der Kryoturbationshorizont auf der Gegenseite des Tales in der 6—8-m-Terrasse. Allerdings wird der Schotterkörper auf der Nordseite des Ebro noch von mehreren Meter mächtigen Glacisablagerungen (BROSCHÉ, 1972, S. 299, Abb. 9; van ZUIDAM, 1976b) überlagert und überragt deshalb den vegaartig genutzten Talboden des Ebro (2—4-m-Terrasse = T4.2 bei van ZUIDAM, 1976b) sehr deutlich. Der Schotterkörper und die Bodendeformationen in dem Schotterkörper der 15—18-m-Terrasse dürften wegen ihrer Überlagerung durch die erwähnten Glacissedimente aber im Vergleich mit dem gegenüber liegenden Schotterkörper und Deformationshorizont der 6—8-m-Terrasse eher etwas älter sein: eher hoch- oder frühwürmzeitlich oder eventuell bereits risszeitlich. Ein risseiszeitliches Alter erscheint mir aber wegen der bei BROSCHÉ (1972, S. 299, 301) dargelegten Gründe eher unwahrscheinlich zu sein.

Abschliessend sei noch bemerkt, dass die von mir abgebildeten und beschriebenen Bodendeformationen sich nicht als primäre Schichtungsunregelmässigkeiten bzw. -störungen deuten lassen, wie sie von COLEMAN u. GAGLIANO (1965, S. 136—140) abgebildet und ausführlich behandelt werden.

Meiner Frau danke ich sehr herzlich für ihre Hilfe bei den Geländeuntersuchungen im Ebrobecken in den Jahren 1969, 1971 und 1977. Herrn Prof. Dr. S. KOZARSKI, Geographisches Institut der Universität Poznań, Polen, danke ich herzlich für ein längeres Fachgespräch und für einige wichtige Literaturhinweise.

Literaturverzeichnis

- ALMELA, A., 1962 — Tectonica yesifera de la cuenca del Ebro. *Proc. I. Coloquio internacional sobre las obras publicas en los terrenos yesiferos*, 5; S. 5—11.
- BOMER, B., 1978 — Les phénomènes périglaciaires dans le bassin de l'Ebre (Espagne Septentrionale). Colloque sur le périglaciaire d'altitude du domaine méditerranéen et abords. Strasbourg, Université Louis Pasteur, 12—14 mai 1977. *Assoc. Géogr. d'Alsace*, 1978; S. 169—176.
- BOMER, B. und RIBA, O., 1962 — Deformaciones tectonicas recientes por movimiento de yesos en Villafranca de Navarra. *Proc. I. Coloquio internacional sobre las obras publicas en terrenos yesiferos*, 5; S. 13—21.
- BROSCHÉ, K.-U., 1971 a — Beobachtungen an rezenten Periglazialerscheinungen in einigen Hochgebirgen der Iberischen Halbinsel (Sierra Segura, Sierra de Gredos, Sierra de Estréla, Sierra del Moncayo). *Die Erde*, 102; S. 34—52.

die polnischen Geographen hergestellten Bodendeformationen entsprechen ausserdem nicht den Aufschlussbildern der Photos 1—5 und den Strukturen meiner früher publizierten Abbildungen. Es sei auch erwähnt, dass PISSART (1970) als Befürworter der kryostatischen Entstehung von Bodenstrukturen m. W. bisher auch noch nicht die Substrate für seine Experimente verwendet hat, die an den Schichtgrenzen in den Terrassen des Ebrobeckens auftreten. Folglich ist auch ihm bisher noch nicht die experimentelle Herstellung von Bodendeformationen der Art gelungen, wie sie in diesem Beitrag eine Rolle spielen.

Selbst wenn man, dem Beispiel ROHDENBURGS u. MEYERS (1969) folgend, versuchen würde, die beschriebenen Bodendeformationen im Ebrobecken (Photos 1—5) nach den Regeln von DŻULYŃSKI (1963, 1965, 1966) zu erklären, so bliebe folgendes wesentliches zu berücksichtigen: bei den periglazialen Bodenstrukturen auf dem Lutter-Schwemmfächer im Göttinger Stadtgebiet, deren mögliche Genese nach den Regeln von DŻULYŃSKI von ROHDENBURG u. MEYER (1969, S. 65) diskutiert wird, war immer mit Dauerfrostbodenverhältnissen zu rechnen, was ganz bestimmt hydrostatische Verhältnisse über dem permafrost table nach sich zog. Es sei denn, man verlegte die Bildung der periglazialen Bodenstrukturen in die würmkaltzeitlichen Interstadiale, in denen ja nach Ausweis der Ergebnisse der Eiskeilstudien von ROHDENBURG (1966) der Dauerfrostboden in den Lössgebieten Mitteleuropas kurzfristig — zumindest in den oberen Metern — verschwunden war. Im Ebrobecken dagegen kann man sich die Entstehung von Bodendeformationen nach den Regeln von DŻULYŃSKI noch weit schwieriger vorstellen. Unter welchen Bedingungen sollte es hier zu einem völlig wassergesättigten (und damit mobilen) Schotterkörper an der Basis und im unteren Teil der von mir abgebildeten und besprochenen gestörten Bodenhorizonte gekommen sein? Bei der (sicher richtigen) Annahme der Nichtexistenz eines Dauerfrostbodens von der Art des mitteleuropäischen Dauerfrostbodens (so auch BOMER, 1978, S. 169) kann es m. E. bei dem gut wasserdurchlässigen Basisschotterkörper unter den gestörten Bodenschichten (mit den steil stehenden Steinen, der Vermischung von Sand/Schluff und Schotter und den Sand/Schluffkesseln) gar nicht zu einer völligen Wassersättigung gekommen sein, geschweige denn zu einem zumindest zeitweilig vorhandenen hydrostatischen Druck bei seitlichem Wasserzuzug durch Anstau unter den weniger durchlässigen Deckschichten.

Aus dieser skeptischen Haltung zu der möglichen Anwendbarkeit der experimentellen Ergebnisse von DŻULYŃSKI (1963, 1965, 1966) sowie BUTRYM *et al.* (1964) auf die Deutung der Bodendeformationen im Ebrobecken (die übrigens von ROHDENBURG u. MEYER, 1969, für die Deutung ihrer Bodenstrukturen weitgehend geteilt wird), ergibt sich die Auffassung, dass der oben (S. 51 f.) beschriebenen herkömmlichen Konzeption für die Erklärung der Entstehung von Schichtenstörungen der verschiedensten Art (unterschiedlich weit vorgedrungene Frostfront, Entstehung von Drucken und dadurch Verlagerung von Steinen und Steinkomplexen, etc.) der Vorzug gegeben wird. Somit halte ich die in diesem Beitrag behandelten Schichtenstörungen für periglaziale kaltzeitliche Boden-

deformationen und stuft somit die 6—8-m-Terrasse auf der Südseite des Ebro südwestlich Zaragoza (T 3.2 bei van ZUIDAM, 1976b) weiterhin im Gegensatz zu van ZUIDAM (1976a) und mit JOHNSSON (1960) als würmkaltzeitlich ein. Den periglazialen Bodenstrukturen (Photos 1—3) muss ebenfalls ein würmzeitliches (hochwürmzeitliches, eventuell spätglaziales) Alter zukommen.

Die eben gemachten Aussagen lassen sich auch auf den Schotterkörper und die periglazialen Bodenstrukturen der 15—18-m-Terrasse auf der Nordseite des Ebro südöstlich Zaragoza (Glacis 4 bei van ZUIDAM, 1976b) übertragen. Der Horizont mit den Schichtenstörungen (Photo 4 und 5) liegt hier noch geringfügig höher als der Kryoturbationshorizont auf der Gegenseite des Tales in der 6—8-m-Terrasse. Allerdings wird der Schotterkörper auf der Nordseite des Ebro noch von mehreren Meter mächtigen Glacisablagerungen (BROSCHÉ, 1972, S. 299, Abb. 9; van ZUIDAM, 1976b) überlagert und überragt deshalb den vegaartig genutzten Talboden des Ebro (2—4-m-Terrasse = T4.2 bei van ZUIDAM, 1976b) sehr deutlich. Der Schotterkörper und die Bodendeformationen in dem Schotterkörper der 15—18-m-Terrasse dürften wegen ihrer Überlagerung durch die erwähnten Glacissedimente aber im Vergleich mit dem gegenüber liegenden Schotterkörper und Deformationshorizont der 6—8-m-Terrasse eher etwas älter sein: eher hoch- oder fruhwürmzeitlich oder eventuell bereits risszeitlich. Ein risseiszeitliches Alter erscheint mir aber wegen der bei BROSCHÉ (1972, S. 299, 301) dargelegten Gründe eher unwahrscheinlich zu sein.

Abschliessend sei noch bemerkt, dass die von mir abgebildeten und beschriebenen Bodendeformationen sich nicht als primäre Schichtungsunregelmässigkeiten bzw. -störungen deuten lassen, wie sie von COLEMAN u. GAGLIANO (1965, S. 136—140) abgebildet und ausführlich behandelt werden.

Meiner Frau danke ich sehr herzlich für ihre Hilfe bei den Geländeuntersuchungen im Ebrobecken in den Jahren 1969, 1971 und 1977. Herrn Prof. Dr. S. KOZARSKI, Geographisches Institut der Universität Poznań, Polen, danke ich herzlich für ein längeres Fachgespräch und für einige wichtige Literaturhinweise.

Literaturverzeichnis

- ALMELA, A., 1962 — Tectonica yesifera de la cuenca del Ebro. *Proc. I. Coloquio internacional sobre las obras publicas en los terrenos yesiferos*, 5; S. 5—11.
- BOMER, B., 1978 — Les phénomènes périglaciaires dans le bassin de l'Ebre (Espagne Septentrionale). Colloque sur le périglaciaire d'altitude du domaine méditerranéen et abords. Strasbourg, Université Louis Pasteur, 12—14 mai 1977. *Assoc. Géogr. d'Alsace*, 1978; S. 169—176.
- BOMER, B. und RIBA, O., 1962 — Deformaciones tectonicas recientes por movimiento de yesos en Villafranca de Navarra. *Proc. I. Coloquio internacional sobre las obras publicas en terrenos yesiferos*, 5; S. 13—21.
- BROSCHÉ, K.-U., 1971 a — Beobachtungen an rezenten Periglazialerscheinungen in einigen Hochgebirgen der Iberischen Halbinsel (Sierra Segura, Sierra de Gredos, Sierra de Estréla, Sierra del Moncayo). *Die Erde*, 102; S. 34—52.

- BROSCHKE, K.-U., 1971b — Neue Beobachtungen zu vorzeitlichen Periglazialerscheinungen im Ebrobecken. *Ztschr. f. Geomorph.*, N. F., 15; S. 107—114.
- BROSCHKE, K.-U., 1972 — Vorzeitliche Periglazialerscheinungen im Ebrobecken in der Umgebung von Zaragoza sowie ein Beitrag zur Ausdehnung von Schutt- und Blockdecken im Zentral- und W-Teil der Iberischen Halbinsel. *Gött. Geogr. Abhandl.*, 60; S. 293—316.
- BROSCHKE, K.-U., 1980 — Zum Problem echter und unechter Periglazialerscheinungen im Ebrobecken und im Gebiet südlich von Madrid. *Berliner Geogr. Studien, Berlin 1980*.
- BUTRYM, J., CEGLA, J., DŻULYŃSKI, S. and NAKONIECZNY, S., 1964 — New interpretation of "periglacial structures". *Folia Quaternaria*, 17; S. 1—34.
- BUTZER, K. W., 1964 — Pleistocene cold-climate phenomena of the Island of Mallorca. *Ztschr. f. Geomorph.*, N. F., 8; S. 7—31.
- CAILLEUX, A. et TAYLOR, G., 1954 — Cryopédologie, étude des sols gelés. Paris.
- COLEMAN, J. M. and GAGLIANO, S. M., 1965 — Sedimentary structures: Mississippi River Deltaic Plain. *Soc. Econ. Paleont. Miner. Spec. Publ.*, 12; Tulsa, Oklahoma, USA.
- DYLIK, J., 1952 — Peryglacialne struktury w plejstocenie środkowej Polski (summary: Periglacial structures in the Pleistocene deposits of Middle Poland). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 66; S. 53—113.
- DYLIK, J., 1956 — Coup d'oeil sur la Pologne périglaciaire. *Biuletyn Peryglacialny*, 4; S. 195—238.
- DYLIK, J., 1965 — Right and wrong in sceptical views on the problem of periglacial phenomena revealed in Pleistocene deposits. *Bull. Soc. Sci. Lettr. de Lodź*, 18, 8; S. 1—28.
- DYLIK, J., 1966 — Problems of ice-wedge structures and frost fissure polygons. *Biuletyn Peryglacialny*, 15; S. 241—291.
- DŻULYŃSKI, S., 1963 — Polygonal structures in experiments and their bearing upon some periglacial phenomena. *Bull. Acad. Polon. Sci.*, sér. Géol. Géogr., 12, 4; S. 301—304.
- DŻULYŃSKI, S., 1966 — Sedimentary structures resulting from convection-like pattern of motion. *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, 36; S. 3—21.
- HAMELIN, L. E., 1958 — Matériaux de géomorphologie périglaciaire dans l'Espagne du nord. *Rev. Géogr. Pyren. S-O.*, 29.
- JAHN, A., 1956 — Some periglacial problems in Poland. *Biuletyn Peryglacialny*, 4; S. 169—183.
- JAHN, A., 1964 — Some new experimental attempts to explain soil structures in periglacial zones. Communication présentée au Congrès de Londres, tencilé.
- JOHNSSON, G., 1959 — True and false ice-wedges in Southern Sweden. *Geogr. Annaler*, 41.
- JOHNSSON, G., 1960 — Cryoturbation at Zaragoza, Northern Spain. *Ztschr. f. Geomorph.*, N. F., 4; S. 74—80.
- JOHNSSON, G., 1979 — Högsta Kustlinjen vid Helsingborg. *Svensk Geogr. Arb.*, 55.
- KAISER K., 1958 — Wirkungen des pleistozänen Bodenfrostes in den Sedimenten der Niederrheinischen Bucht. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 9.
- KAISER, K., 1960 — Klimazeugen des periglazialen Dauerfrostbodens in Mittel- und Westeuropa. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 11; S. 121—141.
- LLAMAS MADURGA, M. R., 1962 — Estudio geológico-técnico de los terrenos yesíferos de la cuenca del Ebro y de los problemas que plantea en los canales. *Serv. Geol. Min. Obras Publ., Boletín*, 12, *Informaciones y Estudios*. Madrid.
- PISSART, A., 1970 — Les phénomènes physiques essentielles liés au gel, les structures périglaciaires qui en résultent et leur signification climatique. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 93; S. 7—49.
- POSER, H., 1947 — Auftautiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. Ein Beitrag zur Bestimmung des Eiszeitklimas. *Naturwiss.*, 34; 232—238 und 262—267.

- ROHDENBURG, H., 1966 — Eiskeilhorizonte in südniedersächsischen und nordhessischen Lössprofilen. *Mitt. d. Dtsch. Bodenkundl. Ges.*, 5; S. 137—170.
- ROHDENBURG, H. und MEYER B., 1969 — Zur Deutung pleistozäner Periglazialformen in Mitteleuropa. *Gött. Bodenkundl. Berichte*, 7; S. 49—70.
- SOLÉ SABARÍS, L., 1953 — Terrazas cuaternarias deformadas en la cuenca del Ebro. *Mem. Real. Ac. Cienc. Art. Barcelona*, 31; S. 239—259.
- WASHBURN, A. L., 1979 — *Geocryology*. London.
- van ZUIDAM, R. A., 1976a — Periglacial-like features in the Zaragoza region, Spain. *Ztschr. f. Geomorph., N.F.*, 20; S. 227—234.
- van ZUIDAM, R. A., 1976b — Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain. Internat. Inst. Aerial Surv. Earth Sci. (ITC), Enschede 1976.
- van ZUIDAM, R. A., 1976c — Geomorphology and archaeology. Evidences of interrelation at historical sites in the Zaragoza region, Spain. *Ztschr. f. Geomorph. N.F.*, 19; S. 319—328.

Manuscript received: July, 1981