

## Drucktexturen in eiszeitlichen Sedimenten

Von Gerhard Keller, Hannover. Mit 9 Abb. im Text

### Einführung

Zur Deutung der Lagerungsstörungen in eiszeitlichen Sedimenten wurde schon früh der aktive Eisdruck des in Bewegung begriffenen Inlandeises herangezogen. Wenn in dieser Hinsicht zuviel unternommen wurde und auch die von Strömungsvorgängen beherrschten kryoturbaten Erscheinungen als durch Eisdruck entstanden erklärt wurden, so sind doch die sonst vorhandenen Lagerungsstörungen meistens auf Bewegungsdruck zurückzuführen. Auch im folgenden kann zunächst eine Reihe dynamischer Druckstörungen erläutert werden, die im Zusammenhang mit Untersuchungen in nordwestdeutschen Stauchmoränengebieten in den letzten Jahren bekannt geworden sind.

Dazu gesellt sich eine zweite Gruppe von Druckstörungen, deren Bildung bisher ebenfalls auf dynamische Vorgänge zurückgehend gedacht wurde. Doch liegen hier die ursächlichen Zusammenhänge wesentlich anders, und als Auslösung der Störungsvorgänge dürfte lediglich der Belastungsdruck der einst das Hangende bildenden Eisschichten zu gelten haben. Diesen somit auf statische Einwirkungen zurückgehenden Lagerungsstörungen liegen Beobachtungen in westdeutschen fluvioglazialen Ablagerungen zu Grunde. Wie schon bei den dynamischen Störungerscheinungen, so soll noch eingehender bei den statischen versucht werden, die eingetretenen Vorgänge nach bodenphysikalischen Gesetzmäßigkeiten mit dem Ziele zu analysieren, Aufschluß über den abgelaufenen natürlichen Bewegungsmechanismus zu gewinnen.

### 1. Dynamische Drucktexturen

#### a) Bau und Bild der Stauchmoräne des Rehburger Stadiums

Die hier zu erörternde Gruppe der dynamischen Druckstörungen ist im westdeutschen Raum mit dem Zuge der Rehburger Stauchmoräne verknüpft, die von der holländischen Grenze in der Grafschaft Bentheim bis an die Wietze nördlich von Hannover zu verfolgen ist. Ihre erste lokale Deutung bei Rehburg geht auf SPETHMANN (1907) zurück, während ihre überragende Bedeutung in morphologischer und stratigraphischer Hinsicht von WOLDSTEDT (1928) dargelegt wurde. Als das Kernstück der Stauchmoräne des Rehburger Stadiums darf das Gebiet der Dammer Berge angesehen werden. Hier tritt zum ersten Mal, auf dem Wege von Osten kommend, ein langgestreckter Höhenzug auf, der selbst mit 146 m + NN für die dortige Gegend beachtlich hoch ist und relativ über das östlich anschließende Niederungsgebiet der Hunte mit dem Dümmer-See um 110 m aufragt.

Der Dammer Bogen endet östlich der Hase. Die Stauchmoräne setzt sich westlich von ihr zunächst in den ausgedehnten Ankum-Bippener Bergen und weiter nach der Ems fort. Aus der Gegend westlich von Ankum stammt die erste Wiedergabe der Lagerungsverhältnisse in der Stauchmoräne, die sich darauf beschränkt, das Bild nebeneinanderstehender steil einfallender Ton- und Grünsandschichten zwischen steilaufergerichteten Sand- und Kiesschichten zu zeigen. DEWERS (1941) machte auf diese Lagerungsverhältnisse aufmerksam, ohne daß weitere Untersuchungen in diesen abgelegenen Gebieten folgten. Insbesondere fehlten Boh-

rungen, die Aufschluß über die Lagerungsverhältnisse nach der Tiefe hätten geben können. Erst durch diese waren in Verbindung mit größeren Tongrubenaufschlüssen Anschauungen über das gesamte Texturbild zu gewinnen.

Eine Anzahl von Tongruben liegt bei Neuenkirchen am Süden der Dammer Berge. Die Gruben folgen mit ihrem Abbau ostweststreichenden Schuppen von Tertiärtonen, die selten breiter als 50 m werden und beiderseits von diluvialen Sanden begrenzt sind. Die Schuppen lassen sich im Grundriß oft dadurch weiterverfolgen, daß sie von morphologisch hervortretenden Grobsand- und Kiesstreifen begleitet werden, die das ursprüngliche Hangende des aus der Tiefe aufgestauchten Tertiärs bilden. Diese Kiese bestehen aus sehr grobem Wesermaterial, dem elstereiszeitliche Geschiebe beigemischt sind. Diese früher als Präglazial bezeichneten Schichten sind das Älteste des Diluviums aus etwa 80—100 m Tiefe und konnten mit der Basis der unteren Weser-Mittelterrasse parallelisiert werden (KELLER 1951).

Westlich von Ankum folgen weitere Tongruben, zum Teil mit Septarienton, aber auch mit Grünsanden und Glimmertonen anderer Tertiärformationen. Die groben Basisschichten des Diluviums werden zu schmalen, aber unverkennbaren Kiesstreifen, oder es bleibt, wie in dem neuen Bett des Dortmund-Emskanals südlich von Lingen, eine Steinsohle von faust- bis kopfgroßen nordischen Geschieben der Elstergrundmoräne übrig. Dabei tritt das grobe Wesermaterial zurück. Über die ursprüngliche Tiefenlage der Basis des Diluviums bzw. die der vordiluvialen Oberfläche des Tertiärs berichteten Bohrungen im Gebiet von Damme und im Thiener Feld (STILLE & BRINKMANN 1930) und die vom Amt für Bodenforschung Hannover herausgegebene Strukturkarte. Eine weitere Anzahl von Bohrungen durchsank Tertiärschuppen, so daß auch Anhaltspunkte für die Texturen in der Tiefe abgeleitet werden können.

Soweit die Tonschuppen die Erdoberfläche erreichen, herrscht das steile Einfallen vor. Als Beispiel mögen die Lagerungsverhältnisse der Tongrube Rettberg bei Neuenkirchen i. O. dienen (KELLER 1940, WAGER 1952). Hier fällt die Unterfläche der Schuppe, die gleichzeitig die Bewegungsbahn darstellt, mit  $56^\circ$  gegen die aus Norden kommende Schubrichtung ein (Abb. 1). Die Schuppe besteht aus

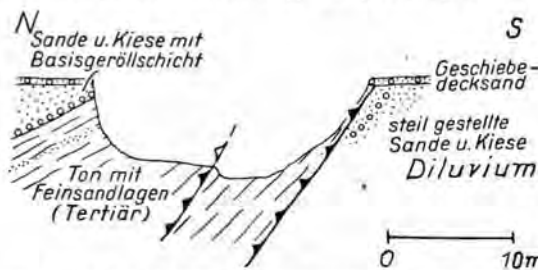


Abb. 1. Die Schuppe in der Rettbergischen Tongrube in den südlichen Dammer Bergen. geschichteten Tertiärtonen und ist in sich durch weitere Schubflächen unterteilt. Diese Schubflächen sind als spiegelnde Harnische ausgebildet. Sie setzen somit voraus, daß das Tonmaterial beim Vorgang der Aufschuppung zumindest eine steifplastische oder halb feste Konsistenz gehabt hat. Die Art der Beanspruchung macht jedoch deutlich, daß keine weichplastischen oder breiigen Schichten vorgelegen haben, bei denen die Reaktion anders hätte ablaufen müssen.

#### b) Die Texturen

In der Hauptschubbahn zwischen dem hochbewegten Tertiär und dem überschobenen Diluvium ist keine harnischartige Ausprägung der Tertiärbasis fest-

zustellen gewesen. Das liegende Sandmaterial war zu einer solchen Ausbildung auch nicht geeignet. Vielmehr dürften die Festigkeitsverhältnisse in der ursprünglichen Tertiärfolge für das Aufsteigen der Schubfläche bestimmend gewesen sein. Die Abschertiefe ist daher mit dem Tiefgang des Bodenfrostes in Verbindung gesetzt worden. Bis zu seiner Tiefe war der Wassergehalt bis einschließlich der Bergfeuchtigkeit gefroren. Derartige Bodenfrosttiefen von 100 m und mehr sind aus arktischen Gebieten vielfach beschrieben worden. Die Loslösung der Schuppen in diesen Tiefen wurde offenbar durch zugesagte Konsistenzbedingungen hervorgerufen, wobei die Mitwirkung des Wassers allgemeiner und auch schon die eines geringen Feuchtigkeitsgehaltes von Bedeutung gewesen sein dürfte.

Ausgehend von dem Einfallen der Schuppen übertage und unter Verwendung des aus Bohrungen zu erschließenden Einfallens lag es nahe, die Schubbahnen als oben steile und nach der Tiefe sich immer flacher legende Flächen anzusehen. Diese Auffassung ist in der Abb. 2 wiedergegeben. Eine in einer Bohrung durchsunkene Schuppe wurde mit der nächsten übertage ausgehenden und in der Schubrichtung liegenden parallelisiert. Die Fortsetzung der Einzelschuppen und die noch vorhandene Verbindung zu dem Anstehenden wurde auf praktisch-geologischem Wege dadurch erschlossen, daß die in den Sanden zwischen den Schuppen vorhandenen stockwerkartigen Grundwasservorkommen jedes für sich hydrologisch selbständig sind. Diese Folgerung trifft nicht nur für das Gebiet bei Neuenkirchen und Ankum im Dammer Lobus zu, sondern auch für den Raum bei Fürstenuau und im holländischen Grenzgebiet bei Itterbeck (Kr. Neuenhaus).

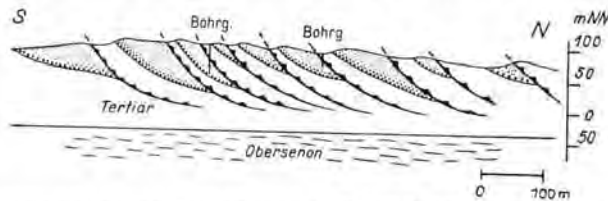


Abb. 2. Stauchungstyp in der Zentralzone der Rehburger Endmoräne im Südteil der Dammer Berge.

Aus diesen Unterlagen konnten Texturbilder abgeleitet werden, die auch später bei der Bearbeitung der linksemsischen Gebiete durch das Amt für Bodenforschung Hannover (RICHTER, SCHNEIDER & WAGER 1950) als Anknüpfung dienten (Abb. 3). In diesen durch ein bestimmtes Anteilverhältnis von mächtigeren Tertiärschuppen zu der diluvialen Grundmasse gekennzeichneten Bildern scheint der Texturtypus zentraler Teile der Stauchmoräne festgehalten zu sein. Neuere Bohrungen, die im Vorland des Ankumer Stauchmoränenbogens etwa 7 km entfernt niedergebracht wurden, haben auf einen weiteren Texturtyp aufmerksam gemacht, der offenbar durch seine Schuppenarmut gekennzeichnet ist. Dort tritt

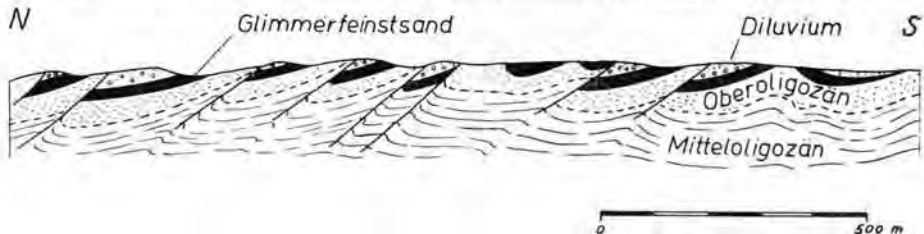


Abb. 3. Zentralteil der Rehburger Stauchzone am Weißen-Berg bei Itterbeck (Kreis Grafschaft Bentheim) nach Richter, W., Schneider, Harras & Wager, R.

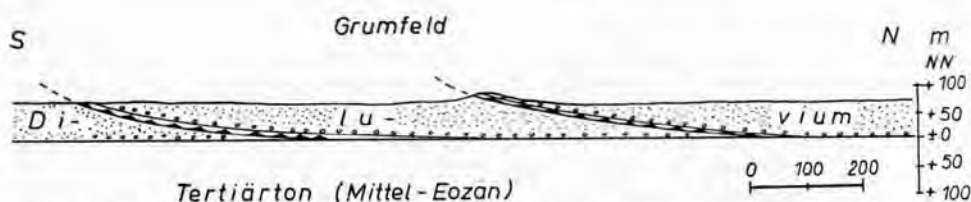


Abb. 4. Stauchungstyp im Vorfeld des Ankumer Lobus (Kreis Bersenbrück).

nicht nur eine Vereinzelnung der Schuppen ein, sondern die Gestalt der Schuppen scheint auch mehr brettartig und dünner ausgebildet zu sein (Abb. 4).

Bei der Frage nach dem mechanischen Vorgang der Auslösung und dem Ablauf der Aufschuppung muß es sich nach den Texturbildern um Schubbeanspruchung mit Abscherungen gehandelt haben. Sigmoidal gekrümmte Gleitflächen nach Art der vorgefundenen Schubbahnen pflegen auch bei Erddruckwirkungen als Ausgleichflächen aufzutreten. Doch ist hier das seitliche Ausweichen von einem benachbarten Nachsinken der belasteten Partien begleitet. Der Gleitvorgang endet mit der Herstellung eines neuen Gleichgewichtszustandes. Abgesehen davon, daß hierbei für die Auslösung des Vorganges allein die statische Druckbelastung genügt und damit der Stauchungsvorgang für die Textur ohne Bedeutung sein würde, sprechen aber die vorliegenden Texturbilder in bereicherter Weise gegen eine derartige Auffassung. Stets liegen hochbewegte Schichtkeile vor, und es fehlen solche Partien, die in Korrespondenz dazu an schaufelartigen Verwerfungen hätten abgesunken sein müssen.

### c) Die Abscherung und Typen dynamischer Drucktexturen

Bei der Zurückverfolgung der Schubbahnen nach der Tiefe (Abb. 5) ergibt sich, daß diese schließlich unter einem sehr spitzen Winkel in den unterlagernden Tertiärtonen enden, wobei der noch gegebenenfalls vorhandenen Schichtung ein gewisser Einfluß einzuräumen ist. Dieser Ausgangswinkel ist als der Winkel der inneren Reibung anzusehen, die zusammen mit der Kohäsion die Scherfestigkeit des beanspruchten Materials bestimmt. Da es sich vielfach um typische sog. fette Tone handelt, liegt echte Kohäsion vor. Der Reibungswinkel sinkt mit abnehmender Korngröße und beträgt für das angetroffene Material etwa zwischen 10 und 20°. Unter diesem Winkel würde infolge des von der Seite her wirkenden Eisdruckes auch die abgescherte Schuppe fortgeglitten sein, wenn sich nicht mit dem Übertritt der Scherfläche in die Sande und Kiese der Reibungswinkel verändert hätte.

Nach den Profilen besteht das Liegende der Schubbahnen meist aus Mittel- und Grobsanden und auch aus Kiesen, für die Reibungswinkel von 35–40° und mehr gültig sind. Da das Material gefroren war, dürfte aus Analogie zu festen

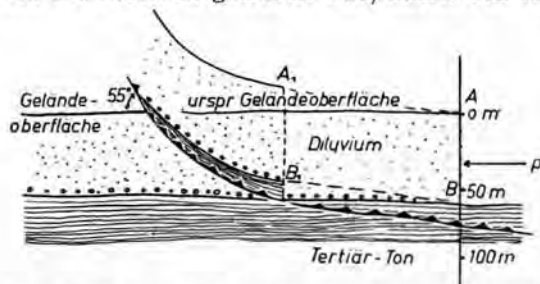


Abb. 5. Die Abscherung nach den Beobachtungen in den Dammer Bergen.

Gesteinen der Reibungswinkel noch steiler gewesen sein. Die Steilerstellung der Schubbahnen erscheint daher als eine von dem jeweiligen Material abhängige Gesetzmäßigkeit. Der einmal eingeleitete Schervorgang bog nicht nur nach dem Übertritt in die diluvialen Sande wegen des größeren Reibungswinkels ab, sondern folgte weiter dadurch dem relativ geringsten Widerstand, daß die Erdoberfläche unter dem nach Möglichkeit steilsten Winkel zu erreichen versucht wurde. Bei diesem Vorgang wurde die auf der abgesicherten Tertiärplatte normal auflagernde diluviale Schicht unter Wahrung der natürlichen Schichtung mit hochgetragen. Bemerkenswert ist, daß dieser Vorgang verlief, ohne daß es zu einer weiteren Abscherung bei auffälligen Schichtwechselln innerhalb des Diluviums oder besonders zwischen dem Tertiär und dem Diluvium bei dessen gleichzeitigem Zurückbleiben kam. Trotz der Diskontinuitätsfläche zwischen diesen beiden Formationsgliedern reagierte die gesamte Schichtfolge einheitlich als eine starre Platte, deren Stabilität und Verhalten nach Art eines homogenen Körpers nahelegend auf die Verfestigung durch den Bodenfrost zurückgeführt werden kann.

Der vorstehenden Abbildung 5 haben Beobachtungen aus den südlichen Dammer Bergen zu Grunde gelegen. Andere Schichtprofile müssen schon materialmäßig zu anderen Arten der Stauchung geführt haben. In sehr mächtigen Sand- und Kiesablagerungen, in denen die Frostbodengrenze noch innerhalb dieser Schichtfolge lag, muß die Scherbeanspruchung stark abweichende Texturbilder hervorgerufen haben. Die Abscherung hat hier von vornherein mit steileren Schubbahnen entsprechend den natürlichen Reibungswinkeln von über  $35^\circ$  begonnen. Doch fehlen hierzu Beobachtungen. Andererseits ist abzuleiten, daß Abscherungen auf höher aufragenden Plateaus von Tertiärtonen ohne oder mit geringer Diluvialauflagerung nur in Form flacher, unter wenigen Winkelgraden abgescherter und übereinander geglittener Schichtplatten erfolgt sein können. Es liegt nahe, mit diesen letzteren Vorgängen geringmächtige und nicht aushaltende Kieslinsen von nordischem Material zu erklären, die, angeblich ohne Störung, in horizontal geschichteten Tertiärtonen der nördlichen Dammer Berge planparallel eingeschaltet liegen.

Die Frage der Materialbedingtheit in der Abschertiefe für das Zustandekommen von Stauchmoränen ist schon länger gestellt worden. Teilweise hat man geglaubt, die Bedeutung der Tone für die Abscherung ablehnen zu können, weil auch Gebiete ohne Tonuntergrund Stauchmoränen aufweisen. Doch dürfte in einer Hinsicht den Tonen und auch noch den schwachschluffigen Tonen für die Entstehung eines besondern Stauchungstypus eine bestimmte Bedeutung zukommen. Stauchungszonen mit langen Schubbahnen und, bei wiederholter Stauchwirkung, mit dementsprechend stärkerer Materialanhäufung besonders des auflagernden Diluviums, dürften als Voraussetzung für sich von Tonen mit sehr niedrigen Reibungswinkeln unterlagert sein. Hinzu kommt hierbei noch, daß der hangende Teil des Tonuntergrundes mit in der Bodenfrostzone liegt. Inwiefern weitere Typen von Stauchungstexturen materialmäßig bedingt sind, ist aus Stauchungsbildern zu ersehen, die BRINKMANN (1953) bekannt machte.

Der Vergleich dieser von Rügen stammenden Beobachtungen mit denen im Hase- und Emsgebiet zeigt, daß eine rohe Klassifizierung der Texturen zunächst nach dem Anteilsverhältnis des aufgeschuppten Untergrundes an der Zusammensetzung der gesamten Stauchmoräne möglich ist. Abgesehen von den leichter zu übersehenden Querprofilen trifft dieser Unterschied auch räumlich bei einem Überblick über die Mannigfaltigkeit des morphologischen Bildes an der Tagesoberfläche in Erscheinung. Doch fehlen hier meist die Tiefenaufschlüsse, die für die genauere Beurteilung erforderlich sind. Die Querprofile geben daher doch noch einen besseren Einblick. So zeigt sich, daß sich der Anteil von Schuppen des

Untergrundes in der Schuppenzone durch Ausplanimetrieren bei dem Haupttyp aus der Zentralregion der Dammer Berge auf 50% und bei dem Vorstaffeltyp mit geringmächtigen Gleitbrettern auf 12% beläuft. Beiden Typen ist gemeinsam, daß die Schuppen des Untergrundes die heutige Tagesoberfläche durchstoßen. In gewissem, wenn auch nicht ausschlaggebendem Sinne können bei derartigen Vergleichen auch die örtlich unterschiedlichen Erosionsbeträge von Belang sein. Aus den fehlenden hochgeschuppten Teilen ist in den Dammer Bergen, über frühere Feststellungen hinausgehend, abzuleiten, daß sich die Abtragung auf rd. 75—100 m beläuft. Diese Abtragung verlief offenbar in engem Zusammenhang mit dem Aufgleiten der Schuppen, weil das sich darüberliegende jüngere Diluvium ein schon stark ausgeglichenes Relief überdeckt.

Die Texturverschiedenheit wird deutlicher, wenn die Wurzelzone der Schuppen im Untergrund auf Rügen mit den Texturbildern der beiden Typen von Damme verglichen wird. Es ergibt sich, daß bei Saßnitz die Masse des Untergrundes mit etwa 85% weit überwiegt. Seine bewegten Teile bilden bei Sagard auch auffällige gewölbeartige Blöcke mit stumpfen Scheiteln, die seitlich hart aneinanderstoßen. Die Schubbahnen unterteufen die Blöcke nach Art flachliegender Überschiebungen, wobei das ursprünglich Hangende invers als das Liegende auftritt. Da an sich die Oberkreide wegen ihrer oft massigen Ausbildung eine hohe innere Reibung besitzt, erscheint zunächst die steile Endigung der Schubbahnen (nach BRINKMANN 40—70°) nach der Tiefe primär das Natürlichere zu sein, auch wenn Bohrungen an anderen Stellen auf eine regelrechte Auswalzung hinweisen. Diese Erscheinung kann durch feine Inhomogenitäten in der Oberkreideschichtfolge ebenso erklärt werden wie durch eine weiterdauernde oder nochmalige Druckbeanspruchung.

## 2. Statische Drucktexturen

### a) Das Erscheinungsbild der Kernkames

Unter statischen Drucktexturen sollen solche verstanden werden, deren Zustandekommen durch einen ruhenden Belastungsdruck ausgelöst wurde. Bei der Ausbildung des Texturbildes selbst haben dynamische Vorgänge mitgewirkt, sie erscheinen aber erst als Folge des nach Ausgleich strebenden Belastungsdruckes. Der Belastungsdruck oder die gleichbedeutende Bodenpressung wurde von ruhenden Eismassen, insbesondere von bewegungslos gewordenem Toteis ausgeübt. Infolgedessen finden sich die Texturen in fluvioglazialen Ablagerungen unmittelbar in der Nachbarschaft von Toteisrändern oder zwischen Toteisrändern in Kames, die wegen der in ihnen oft enthaltenen Kerne des Untergrundes Kernkames heißen (KELLER 1952). Gleichartige Texturen werden auch bei Osern angetroffen, die zweckmäßig ebenfalls als Kernoser bezeichnet werden, weil der ältere Ausdruck Aufpressungsoser — soweit er noch gültig sein kann — genetisch auch im Zusammenhang mit dem dynamischen Eisdruck genannt wurde. Bei den im folgenden zu erörternden statischen Drucktexturen handelt es sich um Erscheinungen an Kernkames aus Niedersachsen und Westfalen.

Die Frage, ob bei der Bildung der Kernkames der aktive Strömungsdruck des Eises durch Wiederaktivierung des Toteises dominant beteiligt gewesen sein kann, hat wenig Aussicht auf Bejahung, weil die Entstehung der Kernkames in einen sehr späten Abschnitt der Toteisphase einer Eiszeit fällt. Eine Wiederbelebung des stark reduzierten und, wie sich nachweisen läßt, des auf seiner schon im Auftauen begriffenen Unterlage auflagernden Toteises ist kaum glaubhaft zu machen, wenn die Ansicht nicht mit einem tatsächlich erneuten geschlossenen Eisvorstoß begründet werden kann. Bei den hier erörterten zahlreichen Fällen

scheidet aber eine derartige Möglichkeit aus, da die Anordnung der Drucktexturen je nach dem Verlauf des Eisrandes und der Kames überhaupt wechselt und irgendeine den örtlichen Pressungsauswirkungen übergeordnete Druckrichtung als Folge eines erneuten Eisvorstoßes in jedem Falle nicht festzustellen ist.

Als Kames werden die heute in Hügelrücken vorliegenden Sedimentinhalte von Schmelzwasserflußbetten aufgefaßt, die supraglazial entstanden. Die relativ geringe Höhe im Verhältnis zur Breite bzw. der große Breiten-Höhenindex  $\frac{b}{2h}$  von über 20 schließt eine subglaziale oder inglaziale Bildung wegen der beschränkten möglichen Spannweite von Sohlentunneln oder wegen der geringen Ausmaße von inglazialen Kanalröhren aus (KELLER 1954). Die Kernkames sind dadurch gekennzeichnet, daß sie zusätzlich aufgepreßte Keile aus dem Liegenden des Toteises oder des Fluvioglazials in sich tragen. Die oft geradezu hochgespießten Kerne bestehen aus Geschiebelehm oder aus tonigen und schluffigen Staubeckensedimenten. Auch ältere Sande kommen hochgepreßt vor, doch bilden sie dann die Haube eines tiefer steckengebliebenen Kernes aus feinklastischem Material.

Bei einem Vergleich der räumlichen Anordnung zeigt sich in der Karte des Engelbosteler Kames nördlich von Hannover (Abb. 6), daß die hochgepreßten Kerne parallel zum Verlauf des Kame angeordnet sind. Die einzelnen Kerne reihen sich hintereinander, ohne daß eine auf längere Entfernung durchgehende Mauer vorzuliegen braucht. Eine zweite Besonderheit gibt sich in der doppelten Ausbildung der Kerne zu erkennen, die unter sich zwei parallele Züge bilden. Der Abstand beider Reihen ist mit 40—50 m anzugeben, doch sind auch größere Abstände vorhanden. Auch kann die eine Kernreihe überhaupt fehlen. Grundsätzlich zeigt sich aber ein Zusammenhang derart, daß die Kerne nie in den Innen-

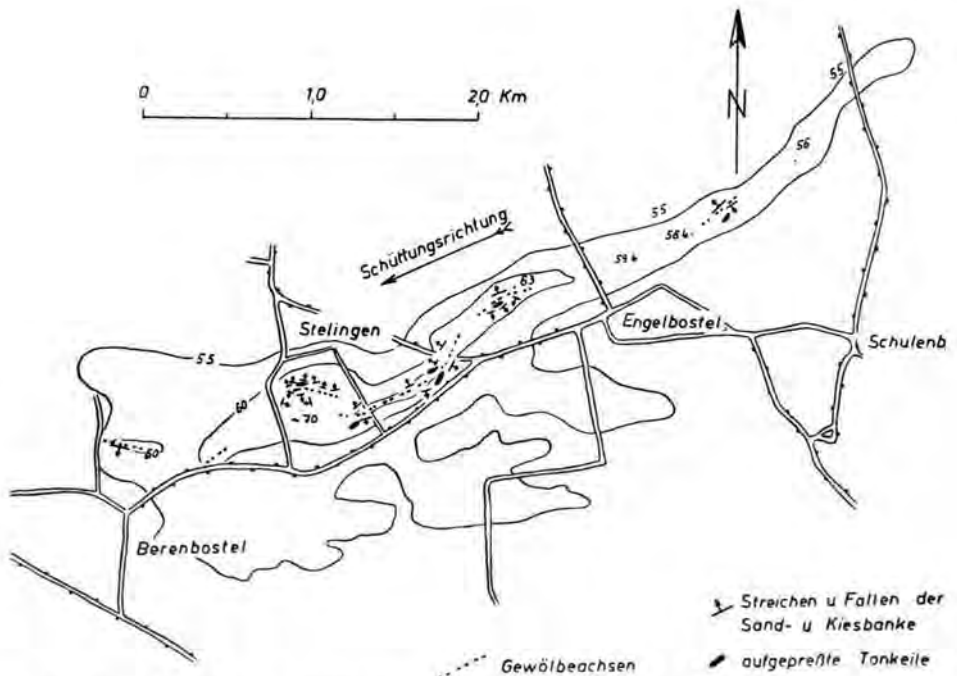


Abb. 6. Der Engelbosteler Kame nördlich von Hannover mit aufgepreßten Kernen.

zonen der Kames, die gleichzeitig die heutigen höchsten Erhebungen bilden, aufgedrungen sind, sondern stets seitlich auf den Hügelflanken stehen.

Dieses bei kilometerweit sich fortsetzenden Kames deutliche Bild findet in kurzen Kamesrücken von ovalem Grundriß eine Modifizierung. Zwar sind auch beiderseitige Kerne hochgepreßt, doch handelt es sich hier nicht mehr um parallele Kernketten, sondern um eine der Hügelform entsprechende Anordnung nach dem ovalen Grundriß. In der Abb. 7 ist ein Ausschnitt eines westfälischen Kames gezeigt, wo der Hügel auf seinen Flanken von den Kernen umstellt ist. Deren Richtung kann in der Horizontalen untereinander sogar bis zu  $90^\circ$  abweichen, wenn der Kern am umlaufenden Ende eines einzelnen Kamesgliedes aufdrang. Die alte Außenrichtung wird dann wieder aufgenommen, wie im südlichen Teil des Hügels an einem hochgepreßten Keil und weiterhin an einer hochgestoßenen schmalen isoklinalen Sattelbildung der unterlagernden Feinsande erkennbar ist (KELLER 1951).

Das aus den allgemeinen und den speziellen Phänomenen abzuleitende Bild führt zu der Frage, ob in der engen räumlichen Verknüpfung der Hügelflanken mit der Örtlichkeit des Aufdringens der Kerne auch ein genetischer Zusammenhang gesehen werden darf. Da die Kames die Sedimentinhalte von Flußbetten im Toteis sind, so sind ihre abfallenden Hügelflanken ehemals die flachen Uferstreifen auf dem Toteisuntergrund und schließlich die seitlichen Enden der Kames die Eisufer selbst. Infolge der Erosion des strömenden Wassers, die durch die mitgeführten meist groben Sande und Kiese stark gefördert wurde, dürften diese Ufer Steilufer gewesen sein. Das flächenhafte Abtauen und Verdunsten der Eisoberfläche blieb jedenfalls gegenüber der linear angreifenden Tiefenerosion zurück, so daß die Kamesflüsse zwischen Eiswänden dahin strömten. Bei der Einordnung der hochgepreßten Kerne in dieses genetische Bild finden sich diese

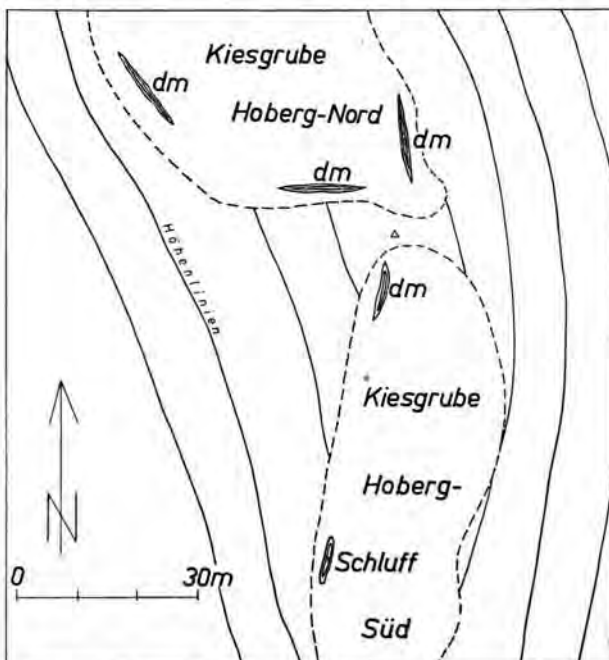


Abb. 7. Die Kiesgruben Hoberg-Nord und Hoberg-Süd bei Laggenbeck in Westfalen mit aufgepreßten Kernen.



außerhalb des eigentlichen Strombettes mit dem tieferen Wasser oder außerhalb des Talweges mit der heute größeren Sedimentmächtigkeit, sind ufernah und begleiten stets marginal die aufsteigenden Eisränder.

### b) Kerntypen und Belastungsfragen

Die einzelnen Sedimentkeile sind meist 5—10 m weit zu verfolgen. Ihre Dicke überschreitet selten 5 m, meist werden Dicken von 2—4 m angetroffen. Auch schmale, nur einige Dezimeter mächtige Kerne kommen vor, die den Eindruck senkrecht stehender Bretter erwecken. Das Einfallen ist auch sonst meist steil. Verschiedene Typen von Kernen sind in der Abb. 8 zusammengestellt. Neben der schneidenartigen Endung am oberen Ende treten auch Ausfransungen auf. Die Aufwärtsbewegung wird dadurch deutlich, daß die mehr oder weniger flach liegenden oder schräg nach außen geneigten Schichten an den Keilen aufgebogen, mitgeschleppt und bis zur Steilstellung aufgerichtet sind. Die Keile spießen durch die fluvioglazialen Sande und Kiese hindurch. Materialmäßig bestehen sie meist aus Geschiebelehm. Daneben kommen auch in sich noch feingeschichtete, wenn auch in der Schichtung verbogene Schluffe und Mehlsande als Staubeckenabsätze vor.

Neben den Bewegungsbildern ist auch aus der petrographischen Beschaffenheit der aufgedrungenen Keile auf Hochbewegung aus dem Liegenden des Toteises zu schließen. So finden sich hochgepreßte Keile der Grundmoräne einer vorangegangenen Eiszeit aus einer Tiefe von 5—15 m, während sich der zu dem Toteis gehörende jüngere Geschiebelehm als fazielle Vertretung des Fluvioglazials aus diesem etwa im Niveau der heutigen Geländeoberfläche nach der Seite hin entwickelt (KELLER 1954). Die Hochbewegung hinterließ besondere texturale Spuren.

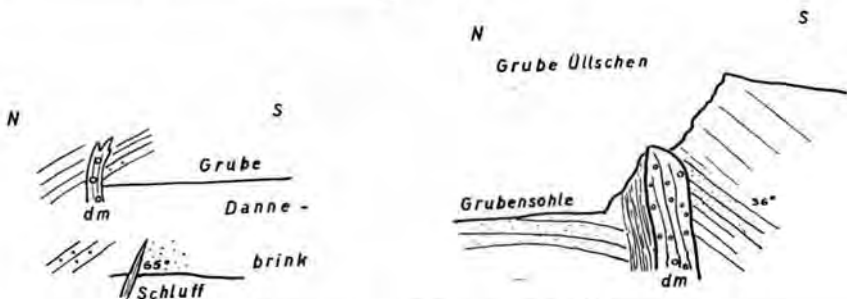
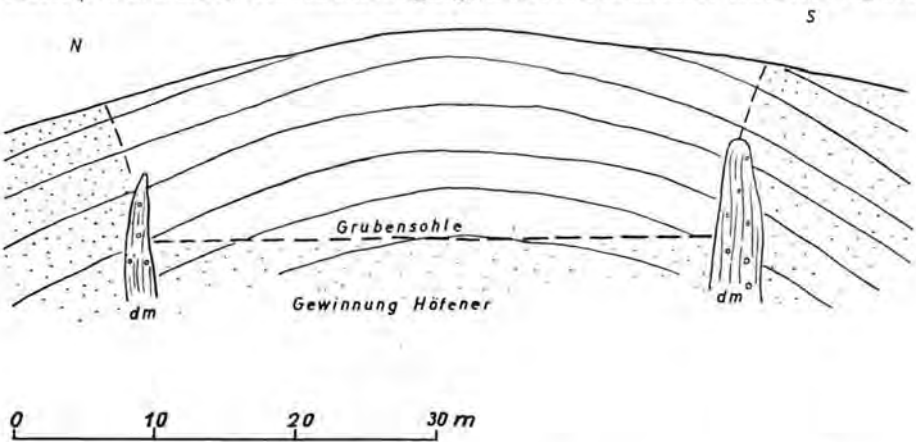


Abb. 8. Kerntypen in Kernkames bei Hannover.

Die Geschiebelehme sind in der Schubrichtung schieferartig durchbewegt, so daß es nicht fehl am Platze ist, von einem „gneisartigen“ Habitus der aufgepreßten Geschiebelehme zu sprechen. Die gneisartige Textur verläuft parallel zu den seitlichen Begrenzungen der plattenartig aufgerichteten Keile. Sie weist heute der Verwitterung den Weg, durch welche sich die Geschiebelehmkeile bei beginnendem Zerfall zunächst in dünne Platten auflösen.

Da die enge räumliche und genetische Verknüpfung der aufgepreßten Keile mit den seichteren Uferstellen der Kamesflüsse bzw. mit den Rändern des Toteises offenkundig ist, erhebt sich die Frage nach der Art und dem Ablauf des Aufpressungsvorganges. Die wesentliche Rolle hat dabei die Masse des Toteises gebildet, das seinen Untergrund belastete. Dem Auflagerungsgebiet des Toteises gegenüber finden sich die Kamesbetten als Streifen geringerer Pressung des zwischen den Toteiswänden hindurchlaufenden gemeinsamen Untergrundes. Die Druckdifferenz begann schon in einem sehr frühen Stadium der Toteisbildung, als sich die Rinnsale und Bäche auf der Toteisoberfläche einzuschneiden angingen. Aus der schon allgemein gültigen Leistungsdifferenz zwischen der Tiefenerosion gegenüber der Flächenerosion mußte unter den besonderen Verhältnissen des Eises als Substrat die Tiefenerosion mit ständig wachsendem Vorsprung voraneilen.

Es erscheint in diesem Zusammenhang naheliegend, wenn bei den Betten der Kamesflüsse teilweise auch an cañonartige Erosionsschluchten gedacht wurde. Diese Auffassung berührt sich eng mit der Frage nach den Toteismächtigkeiten. Bei Beginn der Auflösung des bewegten Inlandeises in einzelne Toteisareale entsprach sich zunächst die Eismächtigkeit aus der Zeit vor und nach dem Zerfall. Dann begann der Abschmelzprozeß. Wenn auch schon früher Vorstellungen über die Mächtigkeit des Inlandeises abgeleitet wurden, so sind doch erst in jüngerer Zeit durch bodenphysikalische Untersuchungen genauere Zahlen bekannt geworden. Für das Gebiet von Bremerhaven konnte aus der Vorbelastung des Lauenburger Tones der Eisdruck mit  $41 \text{ kg/cm}^2$  ermittelt werden. Hieraus ist nach KÖGLER-SCHIEDIG 1948 auf eine Eismächtigkeit (Saale-Eiszeit) von 450 m geschlossen worden.

Weitere Ergebnisse hat DÜCKER 1951 erzielen können und bestimmte im Hamburger Stadtgebiet Eismächtigkeiten von 350 m bei einem Druck von  $32 \text{ kg/cm}^2$ . Von geringeren weichseleiszeitlichen Eismächtigkeiten berichtete außer DÜCKER auch GRIPP 1947. Soweit die vorliegenden Zahlen aus der Vorbelastung abgeleitet sind, gehen alle diese Berechnungen von der Annahme aus, daß das Raumgewicht des Inlandeises bzw. des Toteises dem des gewöhnlichen Eises von 0,9 entsprochen haben soll. Diese Annahme dürfte nach Schilderungen über isländisches und grönländisches Inlandeis nur z. T. gültig sein. Bei dem Wert ist offensichtlich die im Inlandeis mit enthaltene Gesteinsmenge unberücksichtigt geblieben. Diese muß schon ursprünglich das Raumgewicht des Toteises erhöht haben, das während des Abtauens ständig größer wurde. Nach Beispielen von Island dürfte der Rest des Toteises nur noch aus einem verfestigten Gesteinsmaterial zusammengesetzt gewesen sein, dessen Zement aus Eis bestand. Von einem wassergesättigten Sand-Kiesgemisch ausgehend beträgt dann sein Raumgewicht in gefrorenem Zustand 2,15.

### c) Der Mechanismus der Kernaufpressung

Da sich das Raumgewicht eines wassergesättigten und dann gefrorenen Geschiebelehms auch auf rd. 2,1 beläuft, liegen die Grenzwerte für das Gewicht des Toteises fest. Das arithmetische Mittel beider Werte mit 1,5 kann daher mit gewisser Berechtigung als zutreffend angesehen werden. Die früher ermittelte

Mächtigkeit von 450 m würde sich unter Beibehaltung des gleichen Bodendruckes von  $41 \text{ kg/cm}^2$  auf 270 m erniedrigen. Da die prozentual anwachsende Gesteinsfracht des Toteises sich im letzten Abtaustadium zwischen dem Mittelwert und Höchstwert bewegt, kann dann auf Raumgewichte von 1,5—2,1 geschlossen werden. Ein in dieses Intervall fallender Wert von 1,8 konnte dadurch ermittelt werden, daß für den letzten Teil der Toteisphase von einer Mischung von Sand-Kies, Geschiebelehm und reinem Eis zu gleichen Teilen ausgegangen wurde. Diese Zahl wurde auch für die nachfolgende Berechnung der Bodenpressung unter einigen Zehnern von Metern mächtigen Toteisplatten verwendet. Der an sich unter bestimmten Voraussetzungen z. T. mögliche Auftrieb konnte bei diesen Raumgewichtsbestimmungen unberücksichtigt bleiben.

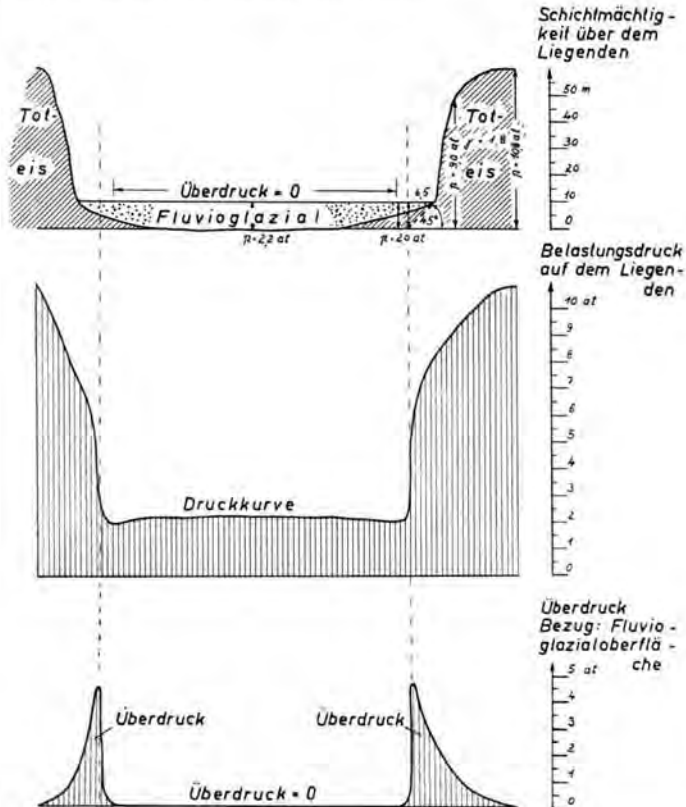


Abb. 9. Die Entstehungsbedingungen für Kernkames mit Darstellung der Druckverhältnisse.

Für die Berechnung der Druckverhältnisse ist ein Querschnitt durch einen Kame aus dem Gebiet nördlich von Hannover zu Grunde gelegt worden (Abb. 9). Ein Kamefluß von 140 m Breite ist zwischen 50—60 m hohen Toteiswänden eingetieft. Das Toteis greift unter das mit Sand und Kies ausgefüllte Flußbett. Die Mächtigkeit der fluvioglazialen Ausfüllung beträgt maximal 10 m. Toteis und Kameflußbett haben einen gemeinsamen Untergrund, der aus älterem Geschiebelehm besteht. Das Erosionsbild zeigt den Zustand, daß das Toteis unter dem Flußbett selbst schon erodiert ist. Der Schnitt stellt Verhältnisse innerhalb des Toteisgebietes dar. Die Grenze des Toteises gegen das eisfreie Vorland ist mindestens

10—20 km entfernt. Nach dort verringert sich die Mächtigkeit des Toteises. Zur Klärung der grundsätzlichen Beziehungen zwischen dem Toteis und dem Kamesbett ist eine bestimmte Toteismächtigkeit nicht erforderlich, so daß die obige Mächtigkeitsannahme als Beispiel beibehalten werden kann.

Aus den Mächtigkeiten und den Raumgewichten des Toteises und der Kamesedimente sind die auf den gemeinsamen Untergrund ausgeübten Bodendrucke berechnet worden. Die Druckverteilung ist entsprechend dem sog. Normalfall mit  $45^\circ$  angenommen. Die unter der Toteismasse relativ gleichmäßigen und höheren Drucke von 9—10 kg/cm<sup>2</sup> fallen mit Annäherung an die Kaminerne langsamer und dann plötzlich von etwa 6,5 kg/cm<sup>2</sup> auf einen Wert von 2,0 kg/cm<sup>2</sup> ab. Im Bereich der fluvioglazialen Ablagerungen wirken wieder etwas höhere Drucke, die der Mächtigkeit der Sand- und Kiesschicht entsprechen. Nach der Stelle des Stromstriches und je nach der wechselnden Tiefe des Talweges sind die von der Füllung auf den Untergrund ausgeübten Bodendrucke 2,2 kg/cm<sup>2</sup> groß. In der zugeordneten Druckkurve (Abb. 9, Mitte) sind die an den verschiedenen Punkten des Querschnittes auf die Unterlage wirkenden Bodenpressungen besonders dargestellt.

Die Auswertung des Belastungsprofils ergibt, daß die in der Erosionsrinne des Kame auftretenden Drucke nur teilweise kompensiert werden. Während in dem fluvioglazialen Flußbett die örtliche Belastung durch die Füllung nicht mehr unter dem Einfluß der Belastung durch das Toteis steht, kommt diese am Rande eines mit  $45^\circ$  nach dem Flußbett zu abfallenden Druckkegels noch voll zur Auswirkung. Infolgedessen resultiert hier der Neigung des Druckkegels entsprechend in einem Streifen von einigen Metern Abstand vom aufsteigenden Eisrand ein beachtlicher Überdruck. Da dieser auf der Sohle des Kamebettes wirkende Überdruck durch die Sedimentfolge teilweise ausgeglichen wird, wurde als Bezugsniveau die Oberfläche der Sedimentfüllung verwendet. In der Abb. 9 (unten) ist dementsprechend der tatsächlich zur Auswirkung kommende Überdruck als Kurve dargestellt. Das Ergebnis besagt eindeutig, daß das Maximum des Überdruckes (für diesen Fall von 4,5 atü) mit den Stellen zusammenfällt, wo die Kerne aus dem Liegenden durchschießen.

Dieses Ergebnis wurde auf Grund eines tatsächlich vorliegenden Texturbildes gewonnen. Bestimmte zur Durchführung des Gedankenganges erforderliche deduktive Schlüsse ließen sowohl die angenommene Toteismächtigkeit und sein Raumgewicht als den Tatsachen entsprechend erscheinen. Gesetzt den Fall, daß beide Werte höher oder niedriger gewesen sind, so ergibt sich, besonders auch für die Frage geringeren Druckes, daß stets im Gefolge des unterschiedlichen Abtau- und Erosionsvorganges ein Überdruck an der kausal vorbestimmten Schwachstelle aufgetreten ist. Das generelle Bild bleibt damit von der absoluten Höhe der wirksam gewordenen Bodenpressung unberührt und erlaubt sogar in der Frage der Konsistenz des hochgepreßten Keiles bzw. der benutzten Gleitbahn im Liegenden noch bestimmte grundsätzliche Angaben.

Da dem im Schichtverband herausgepreßten Keil von bekannter Mächtigkeit ein gleichstarker Massenschwund unter dem Toteisrand entspricht und die dadurch hervorgerufene Setzung als Zahl bekannt ist, läßt sich für die Konsistenz der Sedimente unter dem Toteisrand aus der gesetzmäßigen Beziehung von Bodenpressung, Steifewert und Setzung der unbekannte Steifewert bestimmen. Danach haben die Schichten unter dem Eisrand die Konsistenz von etwa weichplastischen Tonen gehabt. Dieser Zustand dürfte erst in einer späteren Abtau- phase des Toteises eingetreten sein, als der vom Kamefluß ausgehende Abtau- prozeß des Frostbodens randlich schon unter den Toteiskörper greifen konnte.

## Zusammenfassung

### a) Dynamische Drucktexturen

Im Stauchmoränenzug des Rehburger Stadiums liegen als Beispiele aus dem Gebiet der Dammer Berge vom lateralen Eisdruck erzeugte Abscherungen aus 50—100 m Tiefe vor, wo unterhalb der Frostbodengrenze noch die natürlichen Konsistenzbedingungen vorhanden waren. In diesen Tiefen werden tertiäre Tone, Schluffe und feine Grünsande angetroffen, die von hier auf sigmoidal nach oben gekrümmten Gleitbahnen als Schuppen aufgepreßt wurden.

In der heutigen Stauchungszone bilden die Schuppen z. T. infolge nachträglicher Erosion an der Tagesoberfläche Streifen. Das ursprüngliche Hangende der abgescherten Schuppen verblieb als erstarrter Frostkörper in seinem ursprünglichen Schichtverband, so daß es mit hochgetragen wurde. Da in ihm wiederstandsfähigere Schichtglieder in Gestalt von Grobsanden und Kiesen eingeschaltet sind, treten diese im Oberflächenrelief als langgestreckte Härtlinge hervor.

Wenn auch eine direkte Beziehung zwischen tonigen Ablagerungen und dem Zustandekommen von Abscherungen nicht vorzulegen braucht, so begünstigen die geringen Scherfestigkeiten infolge der geringen Kohäsion und des niedrigen Winkels der inneren Reibung bei Tonen die Ausbildung anfänglich sehr flacher Schubbahnen und damit den Materialtransport auf größtmögliche Entfernung. Wiederholte Aufschuppungen führen daher zu einer Konzentration von Schuppen, die das heutige innere-texturelle und das landschaftlich-morphologische Erscheinungsbild bestimmen.

### b) Statische Drucktexturen

In Westfalen und Niedersachsen wurden Kernkames bekannt, deren fluvioglaziale Sande und Kiese von hochgestoßenen Schichtkeilen des älteren diluvialen Untergrundes randlich durchbrochen werden. Die hochgetriebenen Keile folgen dem Verlauf der Kames und machen auch deren Schwenkungen in der Streichrichtung mit. Sie sind einseitig als Einzelkerne oder als Doppelkerne auf beiden Hügelflanken angeordnet. Im Grundriß erscheinen sie als aneinandergereihte langgezogene Schichtkeile bis zu einigen Zehnern von Metern Länge. Ihre Stärke erreicht meistens nur wenige Meter, und das Einfallen ist größtenteils steil.

Die von staten gegangene Hochbewegung wird zunächst stratigraphisch-petrographisch dadurch offenkundig, daß Geschiebelehm aus einer vorangegangenen Eiszeit oder ältere Staubeckenschluffe und -Feinsande hochgepreßt sind und als Kerne in den fluvioglazialen Sedimenten jüngeren Alters stecken. In textureller Beziehung zeigt sich die Aufpressung in der Mitschleppung der benachbarten, ehemals mehr oder weniger horizontal liegenden Kamesschichten. Schließlich sind auch in den Kernen Bewegungstexturen nach Art von Durchschieferungen deutlich, die bei Geschiebelehmen auftreten und parallel zu den beiden Seitenbegrenzungen der Kerne orientiert sind.

Da die Kames als Flußbetten zwischen höheren Toteisflächen aufgefaßt werden, erscheinen die in Einzel- und Doppelform aufgepreßten Kerne marginal zu den beiden Toteisrändern angeordnet. Diese räumliche Beziehung führt zu gemeinsamen Zusammenhängen. Die sowohl randlich zum Kame als auch randlich zum Toteis erfolgte Aufpressung der Kerne beschränkt sich auf einen ufernahen schmalen Streifen vor den aufsteigenden Eisrändern, wo infolge der differenzierten Bodenpressungen auf dem älteren Untergrund an der Sohle des Toteises Überdruck herrscht. An diesen Stellen fanden die aufgepreßten Keile ihren Weg nach oben. Auslösung und Ablauf des Hochgleitens wurden durch die geänderten Konsistenzbedingungen des bereits im Auftauen begriffenen Substrates unter den Toteisrändern mit hervorgerufen und begünstigt.

## Angeführtes Schrifttum

- BRINKMANN, R.: Über die diluvialen Störungen auf Rügen. - Geol. Rundschau **41**, S. 231-241. Stuttgart 1953.
- DEWERS, F.: Diluvium. - Geologie und Lagerstätten Niedersachsens. (Gebr. Stalling) Oldenburg 1941.
- DÜCKER, A.: Ein Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der Mächtigkeit des diluvialen Inlandeises. - Mitt. geol. Staatsanst. Hamburg **20**, S. 3-14. 1951.
- GRIPP, K.: Jasmund und Moen, eine glazialmorphologische Untersuchung. - Erdkunde **1**, S. 175-182. 1947. - - Glazialmorphologische und geologische Kartierung. Zugleich eine Deutung der Oberflächenformen Ost-Holsteins. - Z. deutsch. geol. Ges. **99**, S. 190-205. 1947.
- KELLER, G.: Untersuchungen über die strukturellen und geohydrologischen Verhältnisse in den südlichen Dammer Bergen. - Z. f. prakt. Geol. **48**, S. 147-153. Halle 1940. - - Der stratigraphische Aufbau des Diluviums im nördlichen Vorland der Osnabrücker Mittelgebirgsschwelle. - Neues Jahrb. f. Geol. u. Paläont., S. 161-169. Stuttgart 1951. - - Kames am Fuße des Schafberges bei Ibbenbüren. - Neues Jahrb. f. Geol. u. Paläont., S. 1-9. Stuttgart 1951. - - Die Beziehung des Rehburger Stadiums südlich Ankum (Kreis Bersenbrück) zur saaleeiszeitlichen Grundmoräne. - Eiszeitalter und Gegenwart **3**, S. 58-64. Öhringen 1953. - - Das Fluvioglazial bei Engelbostel und Frielingen nördlich von Hannover. - Geol. Jahrb., Hannover; erscheint 1954. - - Beitrag zur Frage Oser und Kames. - Eiszeitalter und Gegenwart **2**, S. 127-132, Öhringen 1952.
- KÖGLER, F. & SCHEIDIG, A.: Baugrund und Bauwerk, Berlin 1948.
- RICHTER, W., SCHNEIDER, HARRAS & WAGER, R.: Die saaleeiszeitliche Stauchzone von Itterbeck-Uelsen (Grafschaft Bentheim). Z. deutsch. geol. Ges. **102**, S. 60-74. Stuttgart 1950.
- SPETHMANN, H.: Glaziale Stillstandslagen im Gebiet der mittleren Weser. - Mitt. geogr. Ges. Lübeck, 2. Reihe, H. 22, S. 1-17. Lübeck 1908.
- STILLE, H. & BRINKMANN, R.: Der Untergrund des südlichen Oldenburg und der Nachbargebiete. - Abh. preuß. geol. L.A., NF. **116**, S. 75-112. Berlin 1930.
- WAGER, R.: Saaleeiszeitliche Stauchzone der Dammer Berge. - Geol. Exkursionsführer für Osnabrück, S. 59-59. Osnabrück (Meinders & Elstermann) 1953.
- WOLDSTEDT, P.: Über einen wichtigen Endmoränenzug in Nordwestdeutschland. - Jber. niedersächs. geol. Verein **21**, S. 10-17. Hanover 1928.

Manusk. eingeg. 7. 6. 1954.

Anschrift des Verf.: Prof. Dr. G. Keller, Ibbenbüren, Gartenstraße 36.