

Elsterzeitliche (Anglian) Eisdynamik in East Anglia

JÜRGEN EHLERS, PHILIP GIBBARD & COLIN WHITEMAN *)

Anglian, till stratigraphy, diamicton, Lowestoft Till, Marly Drift,
North Sea Drift, clast fabric measurements

England, East Anglia, Norfolk

Kurzfassung: Gefügeuntersuchungen in Aufschlüssen in East Anglia haben gezeigt, daß während der Elster-Vereisung (Anglian) ein Eisvorstoß aus dem Nordseebecken von einem Vorstoß britischen Eises erst aus westlicher, später aus nördlicher Richtung gefolgt wurde. Durch das gleichzeitige Vorstoßen und Abschmelzen der beiden Eisschilde und durch die isostatische Absenkung im Nordsee-Bereich hat sich zeitweise eine nach NE gerichtete Eisbewegung ergeben.

[Anglian (Elsterian) glacier dynamics in East Anglia]

Abstract: Fabric analyses in exposures in East Anglia have shown that during the Anglian Stage (Elsterian) an ice advance from the North Sea basin was followed by advances of British ice, first from a westerly, later from a northerly direction. The unsynchronous advance and decay of the two ice sheets and the simultaneous isostatic depression in the North Sea area resulted in a temporary northeasterly ice movement direction.

1 Einleitung

East Anglia liegt im südöstlichen Randbereich des britischen Vereisungsgebietes (Abb. 1). Im Gegensatz zur Situation in den Niederlanden ist in Großbritannien das Eis der Anglian-Vereisung (Elster) am weitesten nach Süden vorgestoßen. Die Ausdehnung der Wolstonian-Vereisung (Saale) ist noch unsicher. Die Hoxnian-Vorkommen (Holstein) bei Hoxne und im Nar Valley (Abb. 1) werden nicht von Grundmoräne überlagert (VENTRIS 1986). Neue Untersuchungen durch WEST (1991) haben ergeben, daß im nordwest-

lichen Norfolk eine Eisrandlage der Saale-Vereisung angenommen werden kann. Das Eis der Devensian-Vereisung (Weichsel) hat lediglich die Nordküste von Norfolk erreicht (Ablagerung von Grundmoräne z. B. bei Hunstanton und Morston).

Alle eiszeitlichen Ablagerungen, die die Schichten des Cromer-Interglazials überlagern und die Schichten des Hoxnian unterlagern, werden der Anglian-Kaltzeit zugerechnet. Während die chronostratigraphische Gliederung der pleistozänen Ablagerungen in East Anglia relativ unkompliziert ist, ist die Gletscherdynamik wesentlich komplizierter.

Nach den Untersuchungen von PERRIN et al. (1979) lassen sich drei Faziestypen von Elstermoräne (Anglian Till) in East Anglia unterscheiden.

1. Die "North Sea Drift". Sie umfaßt die ältesten glazigenen Ablagerungen des Anglian und besteht aus einem sandigen Diamikton, das entlang der Nordküste Norfolks zwischen Weybourne und Lowestoft aufgeschlossen ist, aber auch im Binnenland vorkommt, z. B. bei Norwich und südlich bis nach Diss (MATHERS et al. 1987). Die mineralogische Zusammensetzung der North Sea Drift belegt, daß die sandige Matrix aus der Aufarbeitung von Sedimenten aus dem Nordseebecken resultiert (PERRIN et al. 1979). Die North Sea Drift läßt sich im Bereich der Küstenaufschlüsse dort, wo sie weitgehend ungestört lagert (zwischen Happisburgh und Cromer), in drei Moränenlagen untergliedern, die durch Sand und Beckenschluff voneinander getrennt sind (First, Second und Third Cromer Till). Da das Eis in große Eisstauseen vorstieß, wurden zum Teil mächtige subaquatische Moränen abgelagert. Hierzu gehört ein Teil (LUNKKA 1988) jedoch nicht die gesamte Folge (EYLES et al. 1989) der Cromer Tills.

2. Der "Lowestoft Till". Diese Fazies umfaßt das am weitesten verbreitete Diamikton in East Anglia. Die Grundmoräne hat ihre dunkelgraue, fast schwarze

*) Anschriften der Verfasser: Dr. J. EHLERS, Geologisches Landesamt, Oberstr. 88, 2000 Hamburg 13, Dr. P. L. GIBBARD, University of Cambridge, Subdepartment of Quaternary Research, Botany School, Downing Street, Cambridge CB2 3EA, England, Dr. C. A. WHITEMAN, Department of Humanities, Brighton Polytechnic, Falmer, Brighton, Sussex, BN1 9PH, England.

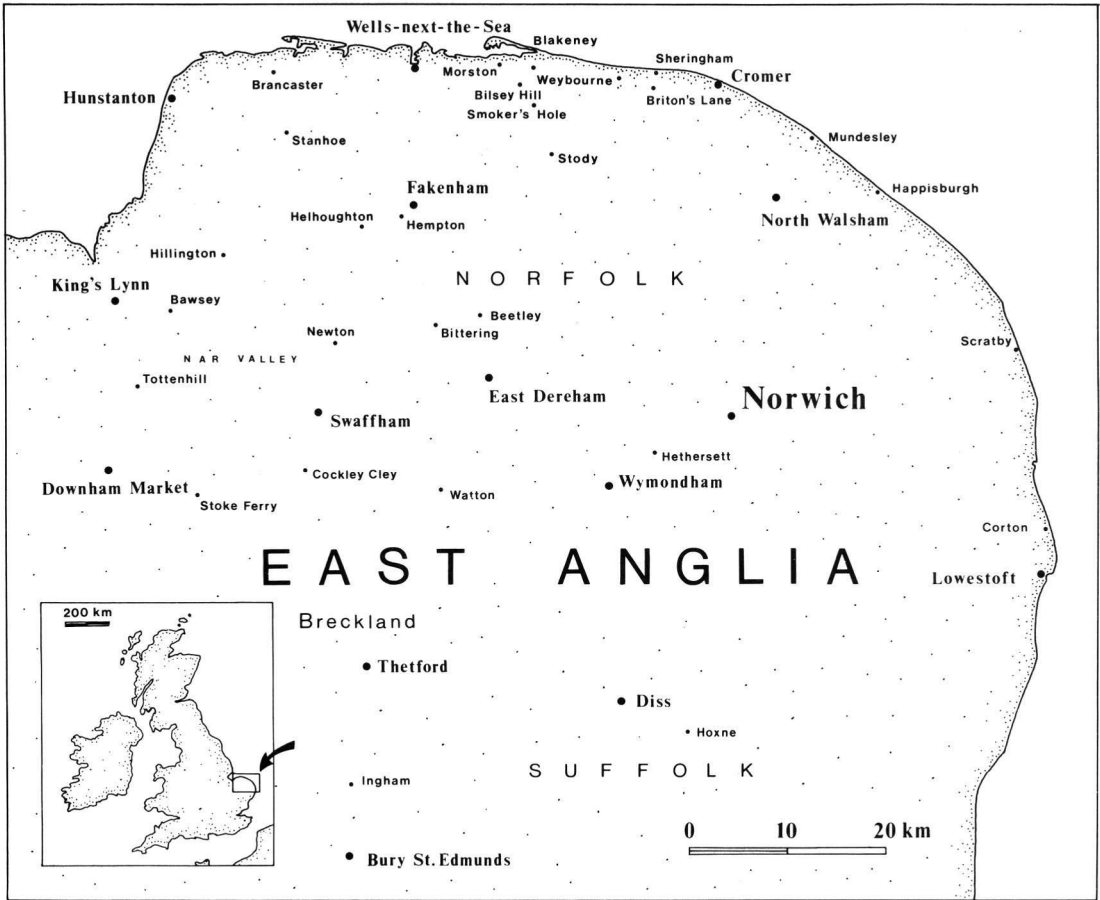


Abb. 1: Lagekarte.

Färbung durch die Aufarbeitung jurassischen Materials, vor allem von Tonen, aus nordwestlichen Herkunftsgebieten erhalten.

3. Die "Marly Drift". Vor allem im nordwestlichen Norfolk findet sich ein Diamikton, das extrem hohe Gehalte an aufgearbeiteter Schreibkreide aufweist. Die Oberkreide bildet den unmittelbaren Untergrund im größten Teil Norfolks und auf dem angrenzenden Nordseeboden (Abb. 2).

Somit liegen im Untersuchungsgebiet mindestens fünf verschiedene Diamikton-Lagen des Anglian vor. Da zwischen den einzelnen Ablagerungen nirgends überzeugende Anzeichen einer interglazialen oder interstadialen Verwitterung beobachtet worden sind, wird davon ausgegangen, daß alle Schichten zum Anglian gehören und daß das Gebiet allenfalls kurzfristig eisfrei gewesen sein dürfte.

Untersuchungen in der Umgebung von Lowestoft haben gezeigt, daß die Ablagerung des Lowestoft Till

nach der Ablagerung der North Sea Drift erfolgt ist (POINTON 1978). Die stratigraphische Position der Marly Drift ist dagegen schwerer einzugrenzen. EHLERS et al. (1987) sind im Rahmen ihrer Untersuchungen in East Anglia zu dem Ergebnis gekommen, daß es sich um eine kreidereiche Lokalfazies des Lowestoft Till handelt, die den Lowestoft Till teils überlagert, teils — im nordwestlichen Norfolk — vollständig vertritt.

Die lithologischen Unterschiede in der Zusammensetzung der glazialen Ablagerungen East Anglias sind auf unterschiedliche Eisvorstoßrichtungen zurückzuführen. Vor fünfunddreißig Jahren haben WEST & DONNER (1956) zum ersten Mal versucht, die Bewegungsrichtungen des Eises mit Hilfe von Geschiebe-Einregelungsmessungen zu rekonstruieren. Sie kamen zu folgendem Ergebnis:

1. Der Cromer-Vorstoß, der die North Sea Drift abgelagert hat, stieß aus nordöstlicher Richtung vor.

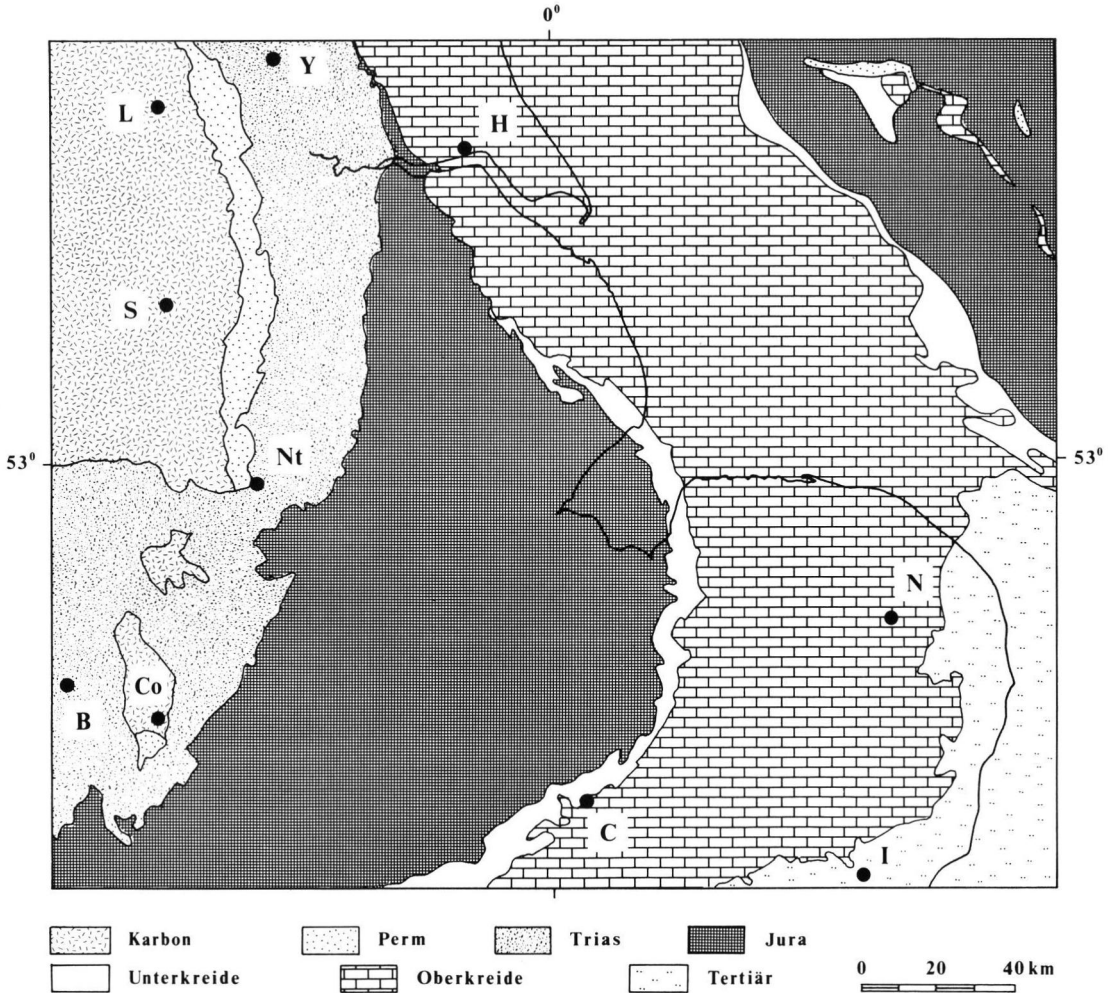


Abb. 2: Geologische Übersichtskarte.

L = Leeds, Y = York, H = Hull, S = Sheffield, Nt = Nottingham, N = Norwich, B = Birmingham, Co = Coventry, C = Cambridge, I = Ipswich.

2. Während des nachfolgenden Lowestoft-Vorstößes stieß das Eis von Westen her nach East Anglia vor und breitete sich dann fächerartig nach Süden, Südosten, Osten und Nordosten aus.

3. Während des Gipping-Vorstößes stieß das Eis aus Nordwesten vor und fächerte sich dann nach Süden, Südosten und Nordosten auf.

Die stratigraphische Deutung von WEST & DONNER (1956), die seinerzeit den Gipping-Vorstöß in die Saale-Eiszeit gestellt hatten, läßt sich heute nicht mehr aufrechterhalten (vgl. WEST 1961; 1965). Glazialtektonische Untersuchungen durch BANHAM (1975) führten außerdem zu einem besseren Verständnis der Gletscherdynamik des Anglian. Es stellte sich heraus, daß das Cromer-Eis des frühen Anglian von Nordosten her vorgestoßen war, im rechten Win-

kel zu den von WEST & DONNER (1956) gemessenen Richtungen, und daß die Messungen offenbar B-Maxima quer zur Eisbewegungsrichtung darstellten. Messungen von HOARE & CONNELL (1981) deuteten darauf hin, daß auch die anderen alten Messungen zum Teil B-Maxima darstellen könnten. Hinzu kam, daß nicht sicher geklärt war, ob die damals untersuchten Diamiktons sämtlich Till, also Grundmoräne, darstellten. Nachdem BOULTON (1968, 1970) im Zuge seiner Untersuchungen auf Spitzbergen auf das verbreitete Auftreten von Fließmoräne und subaquatischer Moräne hingewiesen hatte, mußte auch diese Möglichkeit ins Auge gefaßt werden.

Die vorliegende Untersuchung stellt eine Neubearbeitung der elsterzeitlichen Sedimente East Anglias dar. Der Schwerpunkt lag dabei auf Geländeuntersuchun-

gen und einer genauen Aufnahme der Aufschlüsse. Dabei hat sich gezeigt, daß — mit Ausnahme der Cromer Tills — Fließmoränen und subaquatische Moränen innerhalb der pleistozänen Schichtenfolge nur eine untergeordnete Rolle spielen, und daß der überwiegende Teil der Diamiktions Grundmoräne darstellt (EHLERS et al. 1987).

2 Geschiebe-Einregelungsmessungen

In insgesamt 17 Aufschlüssen wurden Geschiebe-Einregelungsmessungen nach der Methode von RICHTER (1936) durchgeführt. Die gemessenen Richtungen stimmten gut mit denen überein, die WEST & DONNER (1956) und andere Bearbeiter (FUNNELL in WEST 1961, BANHAM 1975, EVANS 1976, VENTRIS 1986) ermittelt hatten. Mit Ausnahme der nur an der Küste

aufgeschlossenen North Sea Drift wurden nur zwei relevante Einregelungs-Richtungen gefunden; eine ältere mit Werten zwischen W—E und SW—NE, und eine jüngere mit Werten zwischen N—S und NW—SE. In den meisten Aufschlüssen, in denen zwei Moränenlagen mit unterschiedlicher Einregelung übereinander gefunden wurden, standen ihre Einregelungsmaxima in rechtem Winkel zueinander. Dies war der Fall in Helhoughton, Beetley, Ingham und Hillington. Insofern war der Verdacht berechtigt, daß das untere, ältere Maximum ein B-Maximum quer zur wahren Eisbewegungsrichtung sein könnte. Eine solche Deutung steht jedoch im Widerspruch zu anderen Geländebefunden:

1. Die lithologische Zusammensetzung: In Beetley (Wensum-Tal) überlagert eine kreidereiche Moräne (Marly Drift) mit NW—SE-Einregelung einen an

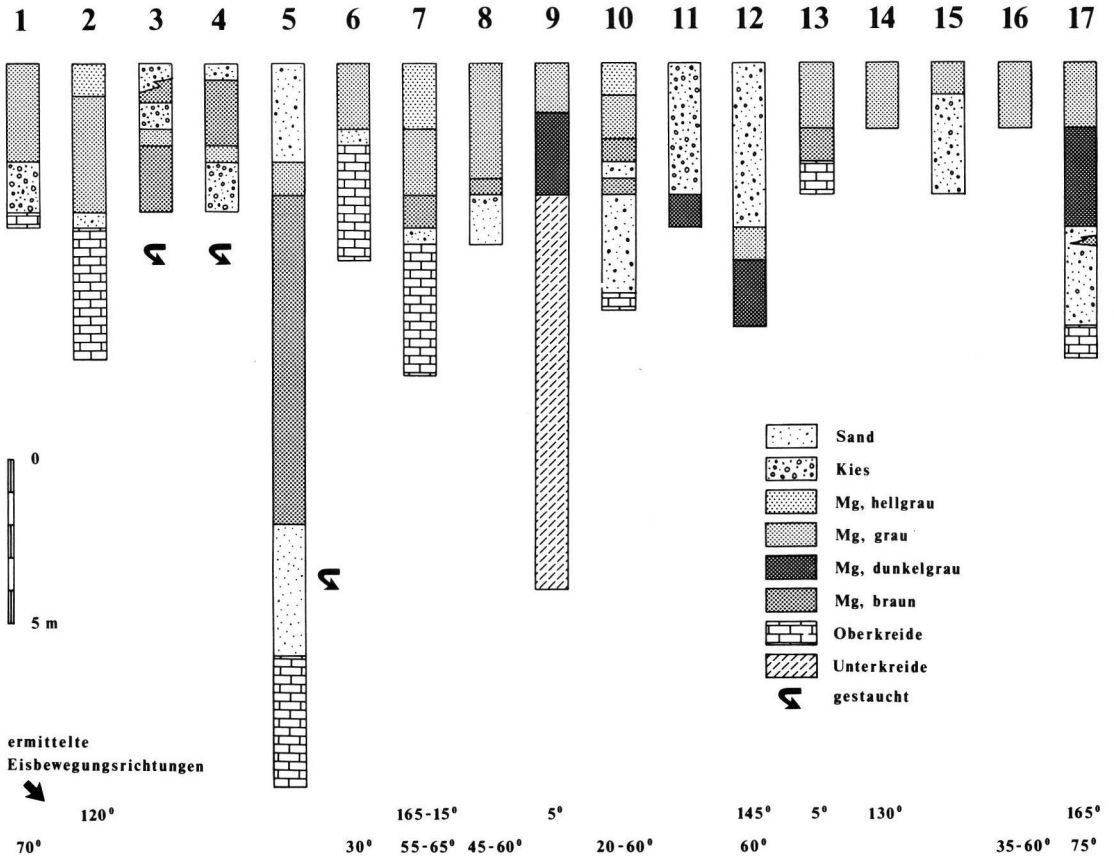


Abb. 3: Übersichtsdarstellung der Schichtenfolge in den untersuchten Aufschlüssen und abgeleitete Eisbewegungsrichtungen. 1 = Brancaster (F 790427), 2 = Wells-next-the-Sea (TF 929428), 3 = Smoker's Hole (TG 032405), 4 = Stody (TG 056346), 5 = Kliffs zwischen Sheringham und Weybourne, 6 = Hillington (TF 725246), 7 = Helhoughton (TF 840274), 8 = Hempton (TF 905284), 9 = Bawsey (TF 683194), 10 = Newton (TF 838160), 11 = Bittering (TF 928177), 12 = Beetley (TF 987184), 12 = Stoke Ferry (TF 694009), 14 = Cockley Cley (TF 803032), 15 = Watton (TF 950013), 16 = Hetherset (TG 153033), 17 = Ingham (TL 854715).

Jura-Material reichen Lowestoft Till mit SW—NE-Einregelung. Die unterschiedliche lithologische Zusammensetzung der Moränen läßt sich am besten durch unterschiedliche Herkunftsgebiete erklären. Ein einzelner Eisvorstoß, der Beetley aus Nordwesten erreicht hätte, hätte das Verbreitungsgebiet der Jura-Tone nicht gequert (vgl. Abb. 2) und wäre daher nicht in der Lage gewesen, die im wesentlichen aus Jura-Material bestehende dunkle Ton-Matrix des Lowestoft Till zu erzeugen.

2. Stauchungsrichtungen: In fünf Aufschlüssen (Hillington, Hempton, Newton, Helhoughton und Wells-next-the-Sea) wurden Stauchungsmessungen an der Grenzfläche Moräne/Liegendschichten durchgeführt; sie weisen sämtlich auf eine Eisbewegung von Südwest nach Nordost hin.

Die Ergebnisse der Aufschlußuntersuchungen sind in Form von Profilsäulen in der Abb. 3 zusammengefaßt; die Ergebnisse der Einregelungsmessungen in

den Abbildungen 4 und 5. Die Darstellung der Pfeile berücksichtigt die Ergebnisse früherer Bearbeiter.

3 Aufschlußbeschreibungen

Die Eisvorstöße des Anglian haben zur Ablagerung von Grundmoränendecken geführt, deren Zusammensetzung örtlich stark variiert. Die eingangs beschriebenen drei Moränenfazies stellen Idealtypen dar. In zahlreichen Aufschlüssen wurden Übergangstypen beobachtet, die sich nach dem äußeren Erscheinungsbild nur grob als Marly Drift, Lowestoft Till oder Lokalmoräne einstufen ließen. Bei den sandigen Moränen an der Basis der glazigenen Ablagerungen, die nirgendwo mächtig genug waren, um Geschiebe-Einregelungsmessungen zu ermöglichen, kann es sich möglicherweise zum Teil um Reste von North Sea Drift handeln (z. B. in Ingham; vgl. EHLERS et al., 1987). In den meisten Fällen dürfte es sich jedoch um

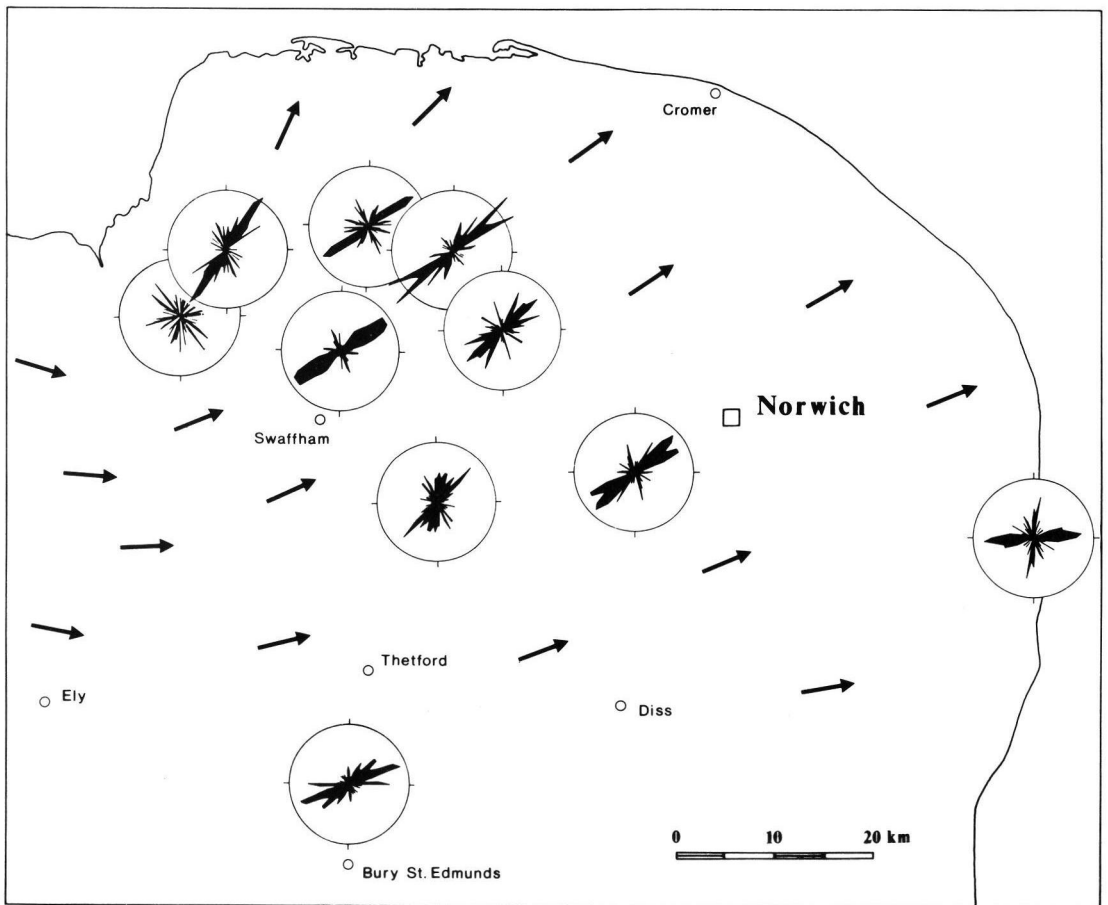


Abb. 4: Übersichtskarte mit den Ergebnissen der Geschiebe-Einregelungsmessungen, die die ältere Eisbewegungsrichtung der Anglian-Vereisung (Lowestoft Vorstoß) repräsentieren. Pfeile: abgeleitete Eisbewegungsrichtung.

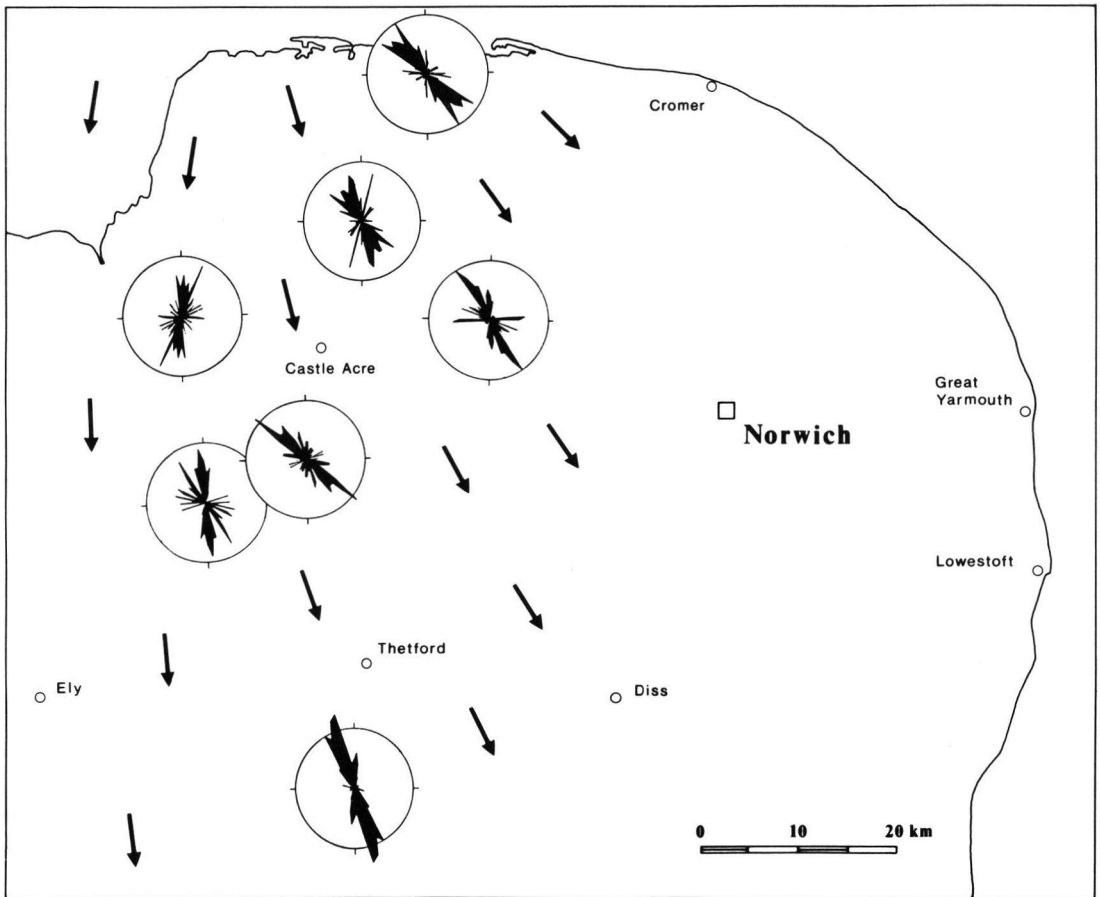


Abb. 5: Übersichtskarte mit den Ergebnissen der Geschiebe-Einregelungsmessungen, die die jüngere Eisbewegungsrichtung der Anglian-Vereisung (Marly Drift Vorstoß) repräsentieren. Pfeile: abgeleitete Eisbewegungsrichtung.

Lokalmoränen handeln, deren Zusammensetzung auf die Aufarbeitung tertiärer und frühquartärer Sande zurückzuführen ist.

Im folgenden sollen drei typische Aufschlüsse näher beschrieben werden. Ihre Lage ist in Koordinaten des englischen Grid System angegeben. Weitere Aufschlußbeschreibungen finden sich bei EHLERS et al. (1987) und EHLERS et al. (1991).

3.1 Hillington

In der Kreidegrube in Hillington (TF 725246) überlagert kreidereichere Marly Drift Schichten der Oberkreide (Abb. 6). Die obersten Meter der Kreide sind glazialtektonisch gestört; auch werden sie von einem System rostgefärbter Klüfte durchzogen (vorherrschende Streichrichtung: 300° – 320°). Im Kontaktbereich des Gletschers mit dem Untergrund ist umgelagerte Kreide zum Teil mit Feinsand zu einem Sand-

Kreide-Gemisch vermengt worden, zum Teil mit Diamicton zu einer Art Kreide-Moräne umgeformt worden. Die unterschiedlichen Sandgehalte des Kreide-Materials sind in Abb. 6 durch Variationen der Punktdichte dargestellt. Die Oberfläche der anstehenden Kreide ist durch eine Reihe von Stufen untergliedert (roches moutonnées), die sämtlich nach Nordosten gerichtet sind. Im Lee der Hindernisse sind zwischen Grundmoräne und Kreide mehrere Zentimeter bis Dezimeter mächtige Feinsandlagen eingeschaltet (Abb. 6). Lokal auftretende Schrägschichtung weist auf eine Fließrichtung nach Osten hin.

Die überlagernde Moräne vom Typ Marly Drift ist im Durchschnitt 2–3 m mächtig. Die Moräne ist teils gebändert, teils massiv. Sie ist überwiegend hellbräunlichgrau gefärbt und sehr kreidereich. Im Bereich des abgebildeten Profils waren keine Einregelungsmessungen möglich, da das Kleinrelief der Kreideoberfläche das Gefüge beherrschte (Messungen 3 und 4).

Hillington

NW

SE

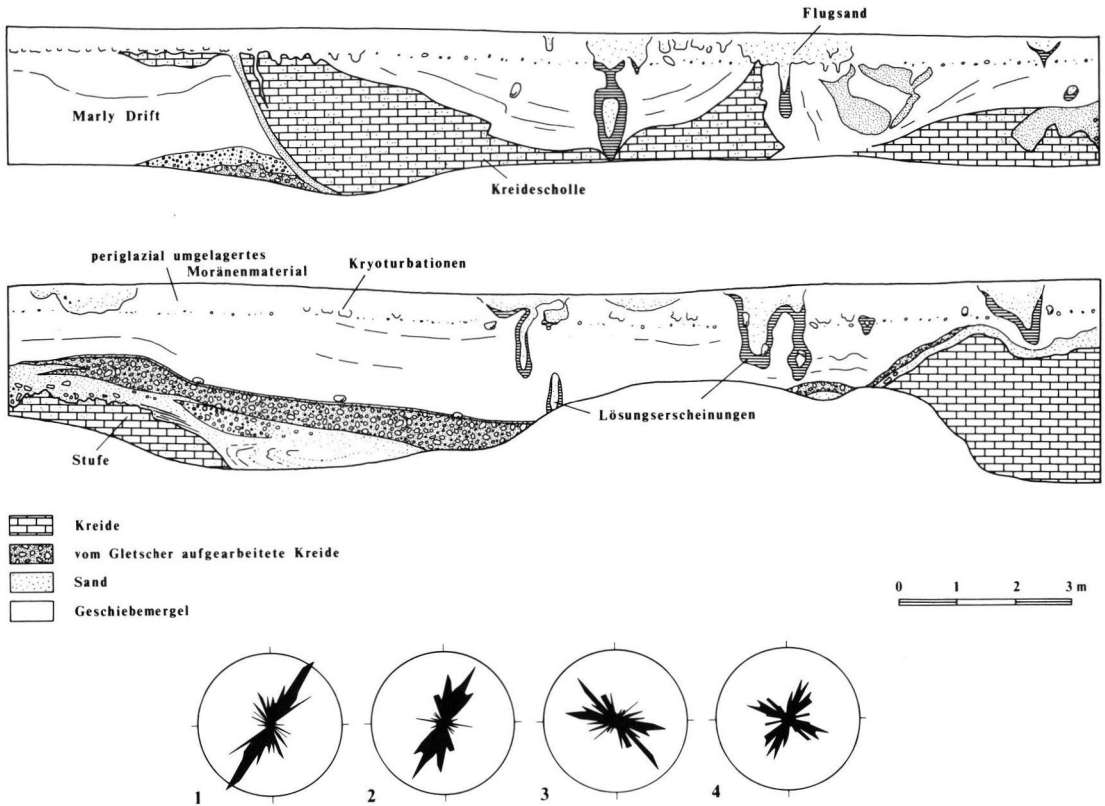


Abb. 6: Aufschluß Hillington, Marly Drift über Schreibkreide; Geschiebe-Einregelungsmessungen.

Im Nordwestteil der Grube lag die Moräne dagegen ohne sichtbare Störungen auf der Kreide. Einregelungsmessungen ergaben hier ein klares Maximum um 30° (Messungen 1 und 2). Dieses Ergebnis kommt den von WEST & DONNER (1956) in der Nähe (bei Stanhoe und Corpusty) gemessenen 50° nahe. Schlepplstrukturen innerhalb der Schmelzwassersande an der Moränenbasis weisen auf einen Eisvorstoß aus südwestlicher Richtung hin.

Bei der Kreidescholle im Südostteil des Aufschlusses (Abb. 6), die stratigraphisch höher liegt als die Schlepplstrukturen und die Einregelungsmessungen, könnte es sich um das Resultat einer nachfolgenden Eisbewegung handeln. Sie ist das einzige Element in dem Aufschluß, was auf eine nach Südwesten gerichtete Schubrichtung hindeutet.

3.2 Helhoughton

In der Kreidegrube südlich von Helhoughton (TF 850274) ist eine 4,5—5 m mächtige Lage von

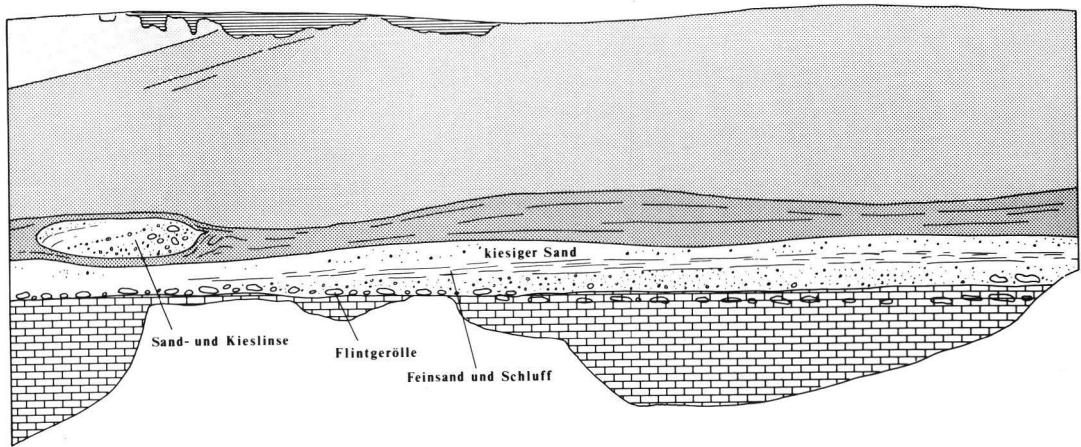
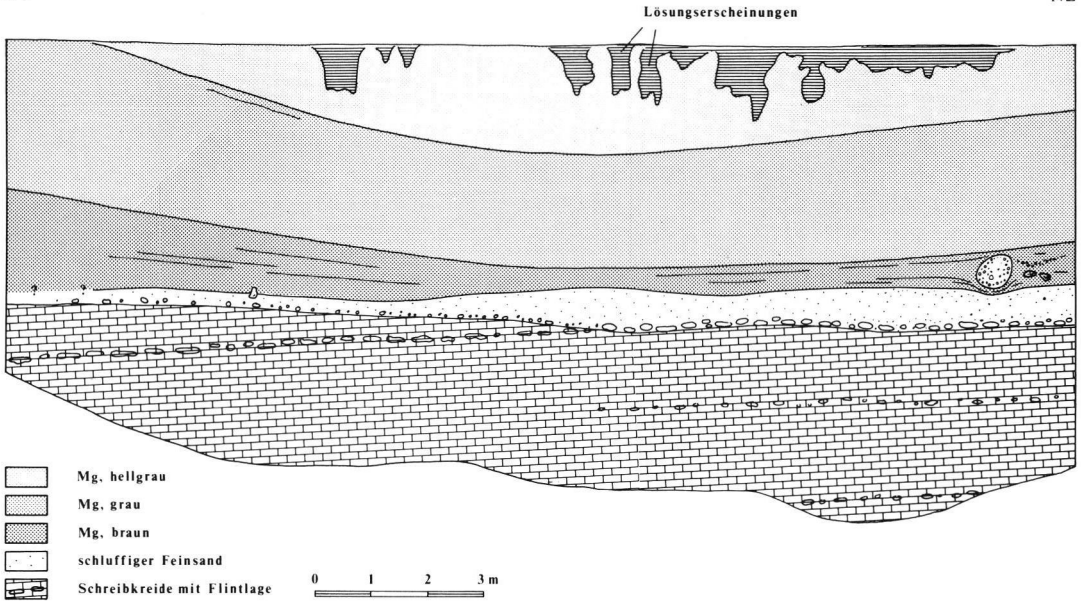
Diamikton aufgeschlossen, die durch 0,5—1 m mächtige Schmelzwassersande von der unterlagernden Schreibkreide getrennt ist. Im Nordwestteil der Grube, in dem die besten Aufschlußverhältnisse angetroffen wurden, ließ sich eine klare Dreiteilung der Moränenfolge erkennen (Abb. 7):

1. Der basale Teil besteht aus einem sehr sandigen, braunen Diamikton, das deutlich gebändert ist (Scherung). Diese Einheit erreicht eine Mächtigkeit von 0,5—2 m.
2. Das braune Diamikton wird überlagert von einer grauen Moräne, in die es zum Teil eingesichert ist. Die graue, kreibereiche Moräne ist typische Marly Drift. Sie erreicht eine maximale Mächtigkeit von etwa 3 m. Innerhalb dieser Moränenlage ist eine große nach NE überkippte Falte ausgebildet.
3. Die graue Moräne wird überlagert von einer hellgrauen Moräne, die eine Mulde in der Oberfläche der grauen Moräne ausfüllt. Die hellgraue Moräne stellt eine kreibereichere Fazies der Marly Drift dar. Diese

Helhoughton

SW

NE



Geschiebe-Einregelungsmessungen:



Abb. 7: Aufschluß Helhoughton, zwei Arten von Marly Drift über sandiger, brauner Moräne. Einregelungsmessungen: 1 und 2: oberste, hellgraue Moräne; 3 = graue Moräne; 4 = braune Moräne.

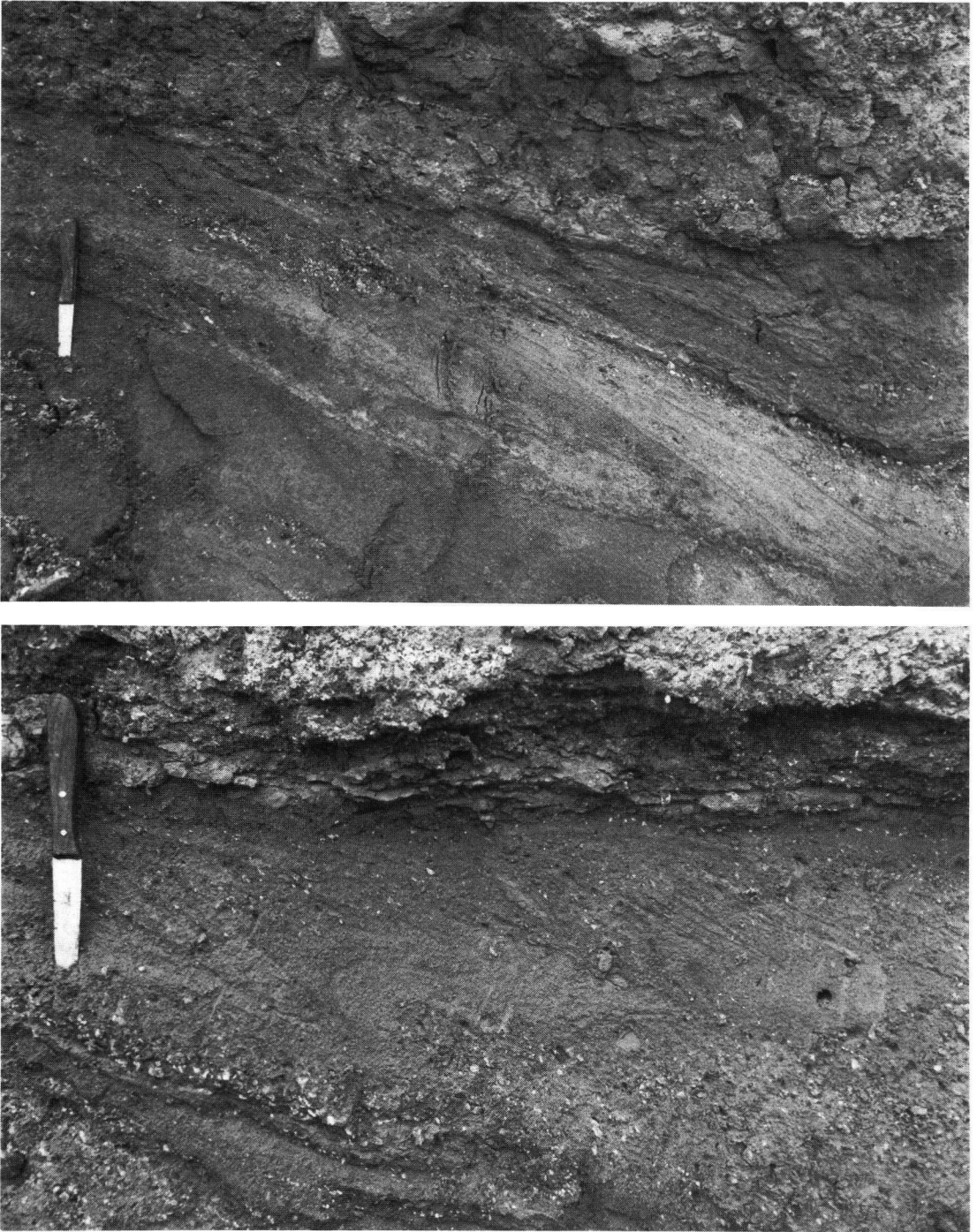


Abb. 8: Glazialtektonisch verstellte Schichten an der Sohle der Moränenfolge von Helhoughton, Südostwand.

obere Moränenlage erreicht eine maximale Mächtigkeit von fast 2,5 m.

Geschiebe-Einregelungsmessungen zeigen, daß in der grauen Moräne eine SW—NE gerichtete Einregelung vorherrscht, während die hellgraue Moräne ein etwa NW—SE gerichtetes Maximum aufweist (vgl. Abb. 7).

Untersuchungen der glazialtektonischen Störungen an der Basis der Moränensequenz bestätigen die ältere Bewegung von SW nach NE (Abb. 8). Die Sande, die die Moränenfolge unterlagern, werden von einer Reihe von Aufschiebungen durchzogen, die nach SW einfallen und gleichfalls auf eine nach NE gerichtete Eisbewegung hinweisen.

Einregelungsmessungen in der braunen Moräne haben zum Teil kein klares Maximum ergeben, zum Teil Werte, die denen der grauen Moräne entsprechen. Da beide Moränen lokal intensiv miteinander verschert sind, muß davon ausgegangen werden, daß das Gefüge der braunen Moräne nachträglich verändert worden ist. Die sandige braune Moräne besteht zu erheblichen Teilen aus Lokalmaterial, das dem präglazialen Pleistozän Norfolks entstammt.

3.3 Wells-next-the-Sea

Die ehemalige Kreidegrube der Leicester Lime Company (TF 928428) ist bereits früher von BANHAM et al. (1975) und PERRIN et al. (1979) untersucht worden. In der Grube ist Marly Drift aufgeschlossen, die in Senken der Kreideoberfläche erhalten geblieben ist (Abb. 9). Auch hier sind zwischen Kreide und Diamikton in der Regel einige Dezimeter mächtige Schmelzwasserschichten eingeschaltet, die örtlich größere Mächtigkeiten erreichen können. Die Sande und Kiese wurden anscheinend unter ähnlichen Bedingungen wie in Hillington abgelagert. Schrägschichtung konnte nicht eingemessen werden; die Lagebeziehungen und die Korngrößenverteilung deuten auf eine Schüttung in westliche Richtung hin.

Ähnlich wie in Helhoughton läßt sich die Moränenfolge in drei Schichten untergliedern. An der Geländeoberfläche, unter dem Periglazialhorizont, findet sich eine maximal etwa 2 m mächtige blaßgraue, sehr kreidereiche Moräne. Sie wird von der unterlagernden, dunkler grauen Moräne durch eine unzusammenhängende, dünne Lage von Feinsand getrennt.

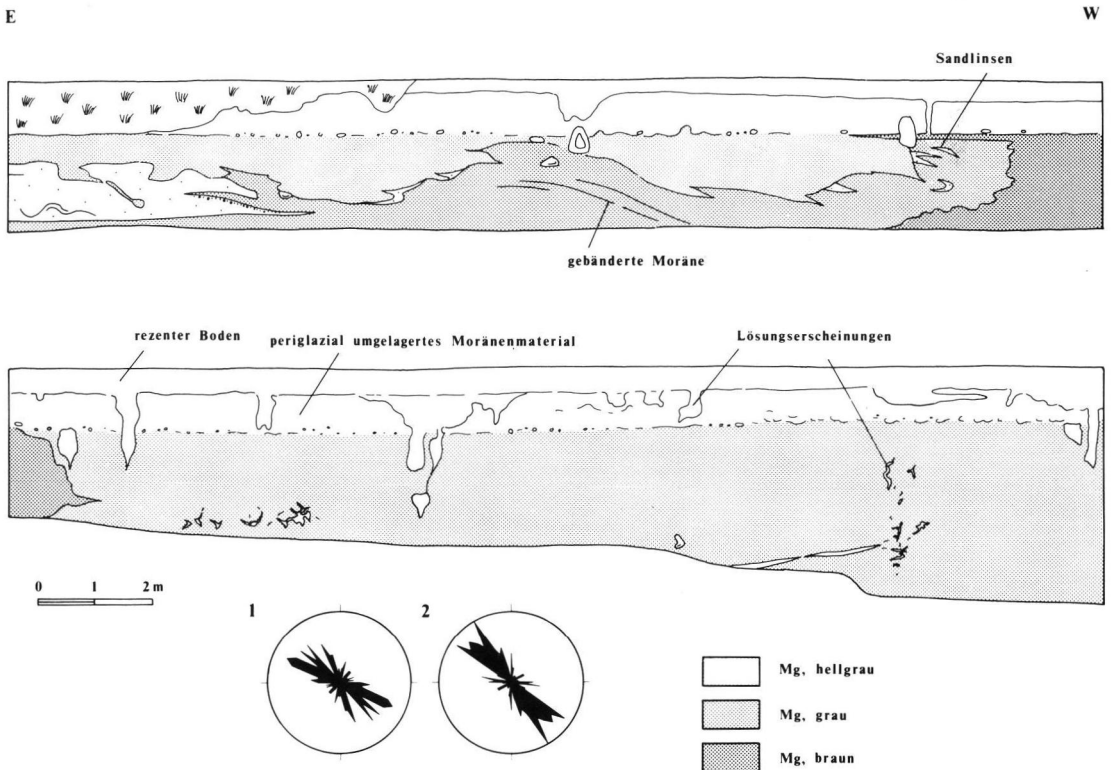


Abb. 9: Aufschluß Wells-next-the-Sea, unterschiedliche Moränenfazies über Schreibkreide; Geschiebe-Einregelungsmessungen.

Sande und Moräne sind aus südwestlicher Richtung gestaucht worden.

Die unterlagernde graue Moräne ist weitgehend massiv. Etwa 17 m westlich der Südostecke der Grube wird innerhalb der grauen Moräne eine diapirartige Aufregung von dunkelbrauner Moräne sichtbar. Leider war in diesem Teil des Profils die Moränenbasis nicht aufgeschlossen, so daß die Lagerungsverhältnisse und die Beziehung der Moränen zueinander nicht völlig geklärt werden konnten.

Weiter östlich deuten subhorizontale Sandlagen innerhalb der grauen Moräne darauf hin, daß sie hier ungestört lagert. Zwei Serien von Einregelungsmessungen wurden durchgeführt; sie ergaben ein deutliches NW—SE Maximum. Da die Moräne sehr kreidereich ist, ist sie einer selektiven Verkarstung entlang von Klüften ausgesetzt — eine Erscheinung, die auch anderenorts in den kreidereichen Moränen East Anglias festzustellen war (vgl. Abb. 9).

4 Schlußfolgerungen

Die Aufschlußuntersuchungen haben gezeigt, daß zwar in weiten Teilen East Anglias mehrere unterschiedliche Fazies von Elster-Moränen vorhanden sind, daß es aber nicht immer möglich ist, diese einem der klassischen Typen "Lowestoft Till" oder "Marly Drift" eindeutig zuzuordnen. Untersuchungen an den Kliffs in Nord-Norfolk haben gezeigt, daß dort wie im Binnenland die kreidereichsten Moränen stets in der stratigraphisch höchsten Position auftreten (EHLERS et al. 1991). Dies deutet auf eine von NW—SE auf N—S drehende Eisbewegungsrichtung hin. Die Zusammensetzung der Moränen ändert sich je nach Lage der untersuchten Aufschlüsse zu den Herkunftsgebieten der Hauptgemengteile Kreidekalk und Juraton. Die beiden Haupt-Eisbewegungsrichtungen lassen sich jedoch überall im Untersuchungsgebiet rekonstruieren, wo hinreichende Aufschlüsse zur Verfügung stehen.

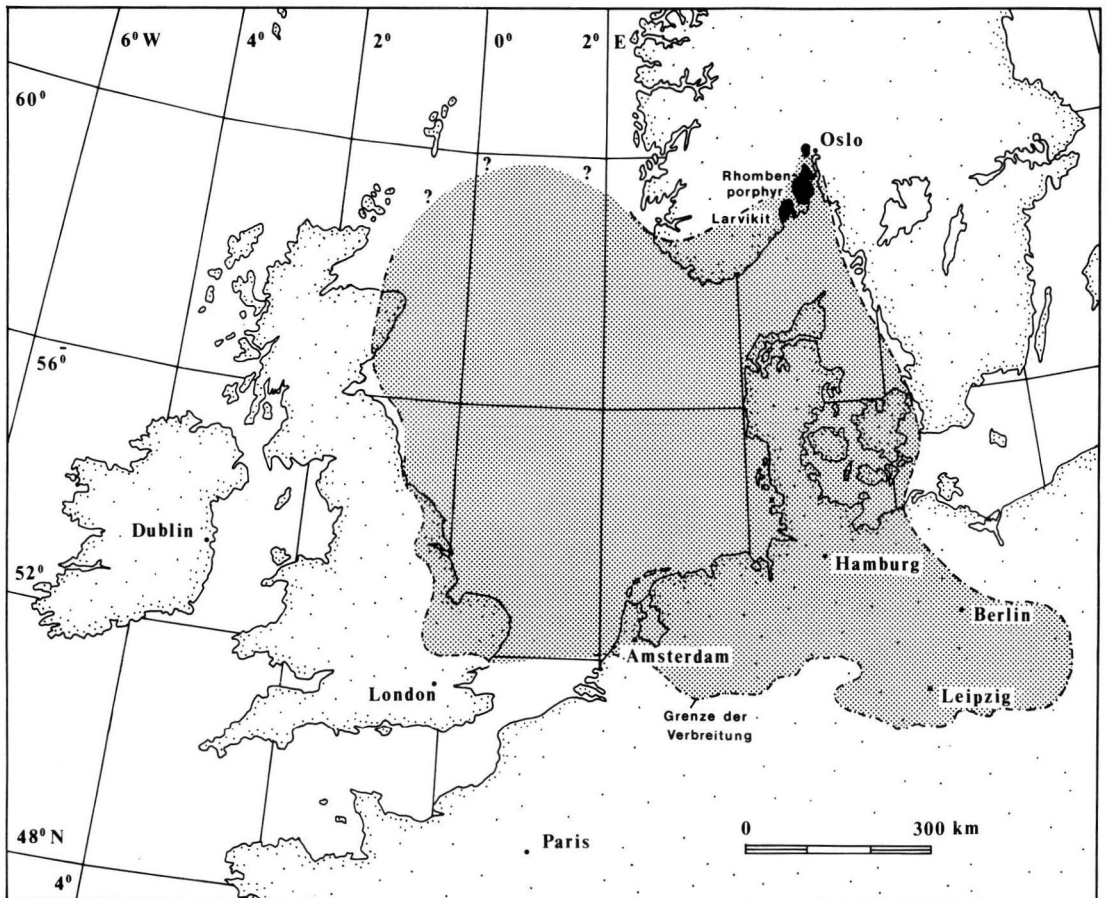


Abb. 10: Verbreitungsgebiet der Oslo-Geschiebe.

Aus den Geländeuntersuchungen ergibt sich für die Abfolge der glazialen Ereignisse in East Anglia folgendes Bild:

1. Die Vereisungsgeschichte East Anglias begann mit einem Vorstoß von Nordsee-Eis aus NNE bis NE (BANHAM 1975). Norwegische Leitgeschiebe, die bis nach Bedford, Hitchin und Ipswich verbreitet sind (RASTALL & ROMANES 1909; EHLERS 1988) werden mit diesem Eisvorstoß in Verbindung gebracht (Abb. 10). Die Vorkommen im Südwesten können jedoch auf spätere Umlagerung zurückgehen (Abb. 11,1).

2. In der zweiten Vereisungsphase ist das Eis durch das Vale of York und Lincolnshire ins zentrale und südliche East Anglia vorgestoßen. Das Eis überquerte dabei das Fenland Basin (südwestlich des Wash) und erodierte in größerem Umfang mesozoische Tone — eventuell auch ältere moränale Ablagerungen der North Sea Drift. Die im Ostteil East Anglias nach Nordosten gerichtete Eisbewegung läßt sich nur erklären, wenn man von einer gegenseitigen Beeinflussung von Nordsee-Eis und Lowestoft-Eis ausgeht. Das Lowestoft-Eis ist demnach in die vom abschmelzenden Nordsee-Eis freigegebenen, möglicherweise iso-

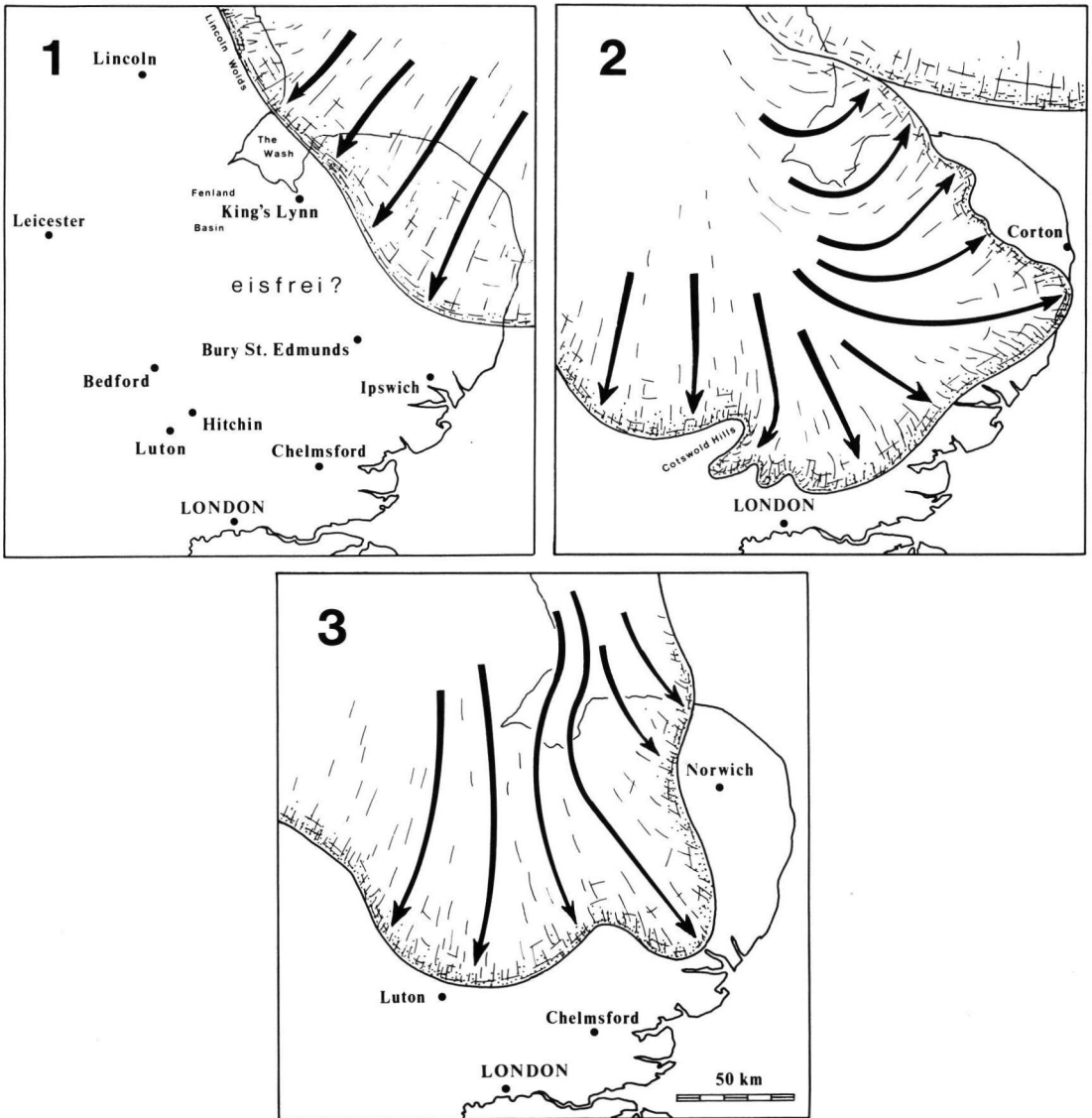


Abb. 11: Gletschervorstöße der Elster-(Anglian-)Vereisung in East Anglia: (1) Eisvorstoß aus nordöstlicher Richtung, (2) Eisvorstoß aus nordwestlicher Richtung, (3) Eisvorstoß aus nördlicher Richtung.

statisch abgesenkten Bereiche im Nordosten vorgestoßen (Abb. 11,2). Zumindest zeitweise hat ein eisfreier Korridor zwischen beiden Eismassen bestanden, in dem Schmelzwassersande abgelagert worden sind, die zwischen den Cromer Tills und dem Lowestoft Till eingeschalteten Corton Sands (BRIDGE & HOPSON 1985, HART & BOULTON 1991).

3. Als im Zuge des weiteren Zerfalls des Nordsee-Eises die Küste von Lincolnshire eisfrei wurde, konnte britisches Eis südwärts nach Norfolk vorstoßen. Das Eis strömte jetzt verstärkt in Längsrichtung durch den Wash und das Fenland Basin (Abb. 11,3). Die veränderte Vorstoßrichtung führte zur Ablagerung einer neuen, kreibereichereren Moränen-Fazies, der Marly Drift. Weitere Drehung der Eisbewegungsrichtung führte zu einer Zunahme des Kreidgehalts.

Die Rekonstruktion der Vereisungsgeschichte zeigt, daß am südlichen Eisrand ein kompliziertes Zusammenspiel zwischen den Eismassen der skandinavischen und der britischen Vereisung stattgefunden hat, deren Eis sich in der Elster-Vereisung mit Sicherheit, während der späteren Vereisungen vielleicht in der Nordsee getroffen hat. Da die beiden Eisschilde nicht gleichzeitig vorgestoßen sind, haben isostatisch bedingte Veränderungen der Gefällsverhältnisse und gegenseitige Beeinflussung der Eismassen zu ungewöhnlichen Eisbewegungsrichtungen geführt. Die von WEST & DONNER (1956) ermittelten Eisbewegungsrichtungen für die Phasen 2 und 3 wurden durch unsere Untersuchungen bestätigt.

5 Dank

Diese Arbeit wurde angeregt und unterstützt durch Prof. Dr. RICHARD WEST (Cambridge). Die Autoren danken außerdem Dr. JAN ZALASIEWICZ und Dr. STEVE MATHERS (British Geological Survey) sowie J. P. LUNKKA (Cambridge) für fruchtbare Diskussionen und nützliche Hinweise. Dr. FRANK COX (British Geological Survey) hat freundlicherweise seine eigenen Geländebefunde vorgeführt, so daß sie in die Betrachtung einfließen konnten.

6 Schriftenverzeichnis

- BANHAM, P. H. (1975): Glacitectonic structures: a general discussion with particular reference to the contorted drift of Norfolk. — In A. E. WRIGHT & F. MOSELEY (Hrsg.): *Ice Ages: Ancient and Modern*: 69—94, 14 figs., 1 tab.; Liverpool, Seel House Press.
- , DAVIES, H. & PERRIN, R. M. S. (1975): Short Field Meeting in north Norfolk, 19—21 October 1973. — *Proceedings of the Geologists' Association*, **86**: 215—258, 1 fig.; London.
- BOULTON, G. S. (1968): Flow tills and related deposits on some Vestspitsbergen glaciers. — *Journal of Glaciology*, **7**: 391—412, 14 figs.; Cambridge.
- (1970): The deposition of subglacial and melt-out tills at the margins of certain Svalbard glaciers. — *Journal of Glaciology*, **9**: 231—245, 8 figs.; Cambridge.
- BRIDGE, D. McC. & HOPSON, P. M. (1985): Fine gravel, heavy mineral and grain size analyses of mid-Pleistocene glacial deposits in the lower Waveney valley, East Anglia. — *Modern Geology*, **9**: 129—144, 9 figs., 2 tabs.; London.
- EHLERS, J. (1988): Skandinavische Geschiebe in Großbritannien. — *Der Geschiebesammler*, **22**: 49—64, 5 Abb.; Hamburg.
- , GIBBARD, P. L. & WHITEMAN, C. A. (1987): Recent investigations of the Marly Drift of northwest Norfolk, England. — In J. J. M. VAN DER MEER (Hrsg.): *Tills and Glaciotectonics*: 39—54, 20 figs.; Rotterdam/Boston, Balkema.
- , — & — (1991): The glacial deposits of northwest Norfolk. — In J. EHLERS, P. L. GIBBARD & J. ROSE (Hrsg.): *Glacial Deposits in Britain and Ireland*: 223—232, 5 figs.; Rotterdam, Balkema.
- EVANS, H. (1976): Aspects of the glaciation of west Norfolk. — Unveröffentlichte M. Phil. Thesis, University of East Anglia. 246 S.
- EYLES, N., EYLES, C. H. & McCABE, A. M. (1989): Sedimentation in an ice-contact subaqueous setting: The Mid-Pleistocene 'North Sea Drifts' of Norfolk, U. K. — *Quaternary Science Reviews*, **8**: 57—74, 13 figs.; Oxford.
- HART, J. K. & BOULTON, G. S. (1991): The glacial drifts of Northeast Norfolk. — In J. EHLERS, P. L. GIBBARD & J. ROSE (Hrsg.): *Glacial Deposits in Britain and Ireland*: 233—243, 12 figs., 2 tabs.; Rotterdam, Balkema.
- HOARE, P. G. & CONNELL, E. R. (1981): The chalky till at Barrington, near Cambridge, and its connection with other Quaternary deposits in southern Cambridgeshire and adjoining areas. — *Geological Magazine*, **118**: 463—476, 6 figs., 5 tabs., 1 plate; London.
- LUNKKA, J. P. (1988): Sedimentation and deformation of the North Sea Drift Formation in the Happisburgh area, North Norfolk. — In D. G. CROOT (Hrsg.), *Glaciotectonics. Forms and processes*: 109—122, 19 figs., 1 tab.; Rotterdam/Brookfield, Balkema.
- MATHERS, S. J., ZALASIEWICZ, J. A., BLOODWORTH, A. J. & MORTON, A. C. (1987): The Banham Beds: a petrologically distinct suite of Anglian glacial deposits from central East Anglia. — *Proceedings of the Geologists' Association*, **98**: 229—240; London.
- PERRIN, R. M. S., ROSE, J. & DAVIES, H. (1979): The distribution, variation and origins of pre-Devensian tills in Eastern England. — *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **B 287**: 535—570, 10 figs., 4 tabs.; London.
- POINTON, W. K. (1978): The Pleistocene succession at Corton, Suffolk. — *Bulletin of the Geological Society of Norfolk*, **30**: 55—76, 6 figs., 2 tabs.; Norwich.

- RASTALL, R. H. & ROMANES, J. (1909): On the Boulders of the Cambridge Drift: their Distribution and Origin. — Quarterly Journal of the Geological Society of London, **65**: 246—264, 1 fig.; London.
- RICHTER, K. (1936): Gefügestudien im Engebrae, Fondalsbrae und ihren Vorlandsedimenten. — Zeitschrift für Gletscherkunde, **XXIV**: 22—30, 12 Abb., 4 Phot., 1 Kre.; Berlin.
- VENTRIS, P. A. (1986): The Nar Valley. — In R. G. WEST & C. A. WHITEMAN (Hrsg.), The Nar Valley & North Norfolk: 6—55, 18 figs., 3 tabs.; Cambridge, Quaternary Research Association.
- WEST, R. G. (1961): The Glacial and Interglacial Deposits of Norfolk. — Transactions of the Norfolk and Norwich Naturalists' Society, **19**: 365—375, 1 fig.; Norwich.
- (1964): Problems of the British Quaternary. — Proceedings of the Geologists' Association, **74**: 147—186, 14 figs., 7 tabs.; London.
- & DONNER, J. J. (1956): The glaciations of East Anglia and the East Midlands: a differentiation based on stone orientation measurements of the tills. — Quarterly Journal of the Geological Society of London, **112**: 69—91, 7 figs., 1 tab.; London.

Manuskript eingegangen am 30. 4. 1991