Probleme der Flugsandbildung in Nordwestdeutschland.

Von F. Dewers.

(Mit Tafel VI und VII und Figur 1—4.)

Bei der Bearbeitung der nordwestdeutschen Flottsandgebiete (Dewers 1932) war mir bereits der enge Zusammenhang zwischen den Flottsandablagerungen und den sie randlich begleitenden deckenförmigen Flugsanden aufgefallen. Ich war damals zu dem Ergebnis gekommen, daß die als Fazies des Löß zu betrachtenden Flottsande mit den sie begleitenden deckenförmigen Flugsanden gleichaltrig seien, also denselben klimatischen Faktoren ihre Ablagerung verdanken. Die Entstehung der Lößdecken an den Hängen der norddeutschen Mittelgebirge wird von vielen Eiszeitgeologen in die Zeit des Höhepunktes der letzten Vereisung gelegt. Sind die Flottsande des Flachlandes mit den Lößdecken der Mittelgebirge gleichaltrig, so müssen es auch die mit den Flottsanden vergesellschafteten Flugsanddecken sein. Leider ist es bisher nicht möglich gewesen, das hocheiszeitliche Alter der Flottsande und deckenförmigen Flugsande einwandfrei zu beweisen, da beide Ablagerungen frei von Leitfossilien sind. Es soll im folgenden aber der Versuch gemacht werden, durch genauere Untersuchung der Verbreitung und der Lagerungsbedingungen der Flugsande in Nordwestdeutschland zur Lösung dieses Problems beizutragen.

Eine auch nur in großen Zügen ausreichende Karte der Verbreitung der Flugsande in Nordwestdeutschland kann zur Zeit noch nicht vorgelegt werden. Schon eine Zusammenstellung der auf den Meßtischblättern eingezeichneten Dünenfelder würde aus dem Grunde sehr ungenau sein, weil nur die auffälligeren Dünen bei der Kartierung durch eine besondere Zeichengebung hervorgehoben wurden. Für eine Verbreitungskarte der deckenförmigen Flugsande fehlen

aber zur Zeit fast alle Grundlagen, da große Flächen in Nordwestdeutschland noch keinerlei geologische Bearbeitung erfahren haben und die Schwierigkeiten bei der kartenmäßigen Abgrenzung der einzelnen Flugsanddecken so groß sind, daß selbst in dem günstigen Falle einer zielbewußten Inangriffnahme dieser Aufgabe durch die in Betracht kommenden Stellen erst in längeren Zeiträumen mit dem Abschluß der Arbeiten zu rechnen wäre.

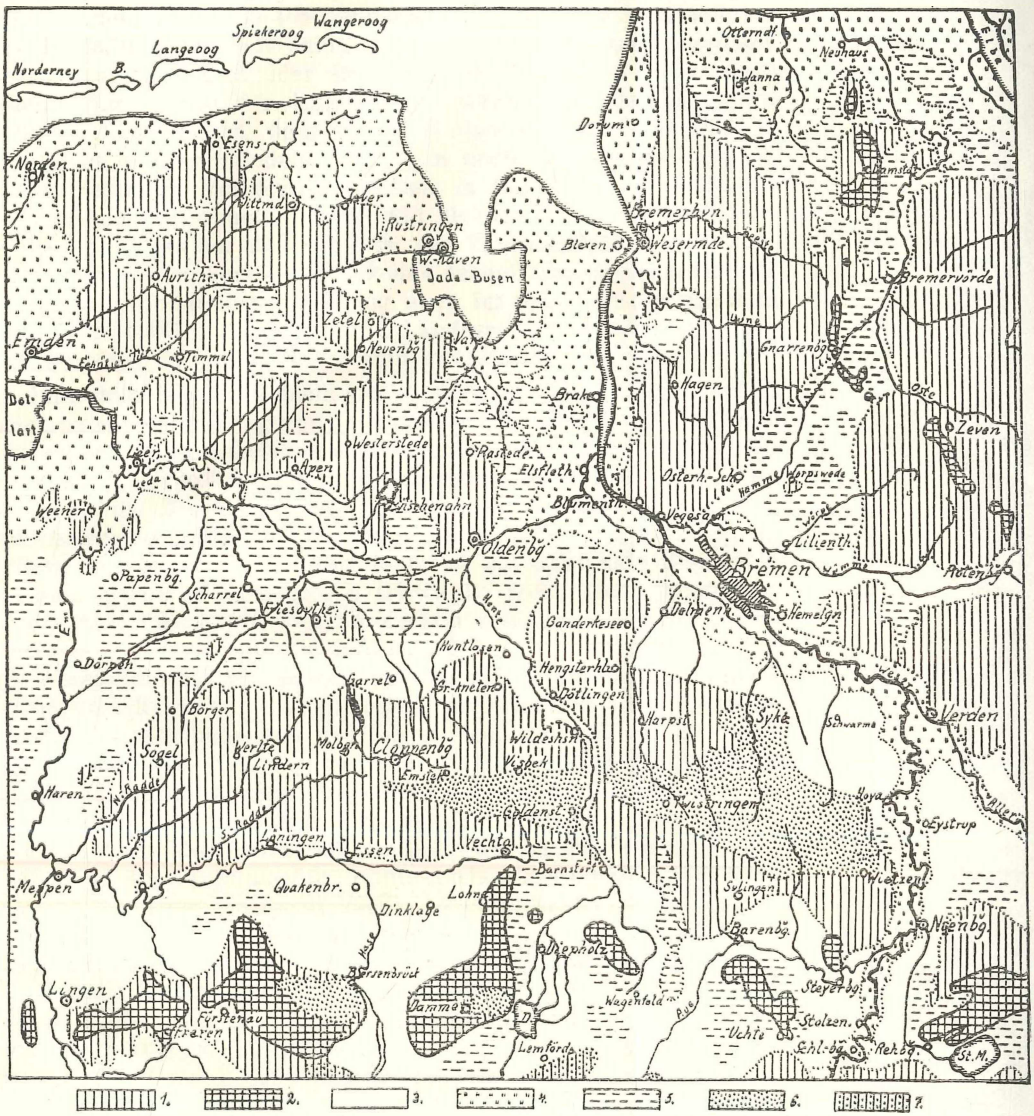
Heute kann man nichts anderes tun, als einzelne kleinere Gebiete mit typischen Flugsandvorkommen zu genauerer Bearbeitung herauszugreifen und diese Gebiete so zu wählen, daß auch über die Verbreitung allgemeine Schlußfolgerungen gezogen werden können. Diese Erwägungen haben mich veranlaßt, in den beiden Jahren 1934 und 1935 inbesondere drei Geländeabschnitte von ungleicher Größe genauer zu untersuchen und zu kartieren: Einen Teil des Blattes Sögel (Nr. 1588) im Kreise Aschendorf-Hümmling, Reg.-Bez. Osnabrück, ferner den größten Teil des Meßtischblattes Cloppenburg i. O. (Nr. 1591) und einen kleinen Ausschnitt aus dem Blatt Dötlingen i. O. (Nr. 1522). Die Lage dieser kartierten Flächen ist aus der Uebersichtskarte Taf. VI zu ersehen.

Die Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der einzelnen Flugsanddecken bestehen im folgenden (siehe auch Wildvang 1935): Solange die Mächtigkeit einer Decke über einen Meter hinausgeht, erkennt man auf jüngeren Ackerflächen sehr leicht das charakteristische Merkmal des Flugsandes, nämlich das Fehlen von Geschieben und Geröllen. Sinkt die Mächtigkeit unter diesen Betrag — was sehr häufig der Fall ist — so wächst die Möglichkeit, daß aus den liegenden steinführenden eiszeitlichen Ablagerungen Steine an die Oberfläche heraufgebracht werden. Das kann z. B. durch Drainagearbeiten, durch die Entwurzelung größerer Bäume infolge Sturmes, durch Rigolen, durch Herausreißen von Baumstubben vermittels des Stubbenroders bei den in den letzten Jahrzehnten sehr häufigen Umwandlungen von Kiefernforst in Weide- und Ackerland usw. geschehen. Bei einer Mächtigkeit unter 40 cm beginnt schon der Pflug seine störende Tätigkeit zu entfalten. Ich bin daher der Ansicht, daß eine kartenmäßige Erfassung von Flugsanddecken von geringerer Mächtigkeit als 40 cm praktisch nicht möglich ist. In großen unberührten Heidegebieten allerdings sieht man auf weiten Flächen bei künstlichen Aufschlüssen das von mir in früheren Arbeiten beschriebene „Normalprofil“ (Dewers 1930, 1934): Eine Steinsohle mit mehr oder weniger deutlich ausgebildeten Windkantern unter einer 10—30 cm mächtigen Flugsanddecke. Unter der Steinsohle folgen dann meist eiszeitliche Schmelzwassersande. Diese dünne, meist auffallend steinfreie Flugsanddecke, die von Wildvang (1935) mit Recht als Flugsandhaut bezeichnet wird, fällt natürlich bei beginnender Kultivierung sofort der Vermischung mit den Steinen

der liegenden Steinsohle anheim, wird also bei der überall bemerkbaren gesteigerten Siedlungstätigkeit in nicht allzu ferner Zeit Seltenheitswert erlangen.

Während Ackerflächen besonders im zeitigen Frühjahr und Herbst, wenn sie noch wenig bewachsen sind, eine leidlich gute Erkennung wenigstens der mächtigeren deckenförmigen Flugsande ermöglichen, werden die Schwierigkeiten schon größer bei einer Bedeckung durch Dauerwiesen und -weiden. Hier hilft nur eine sorgfältige Untersuchung aller künstlichen Aufschlüsse. Sogar die Maulwurfshügel können bei dem oft völligen Mangel an Aufschlüssen als Kriterien erwünscht sein. Der Bohrer bringt keine Steine herauf und ein Abtasten der Steine mit Hilfe des Bohrstockes ist bei dünnbesetzter Steinsohle so unsicher, daß es keinen ausreichenden Ersatz für Aufschlüsse bieten kann. Hier kann nur Aufgraben zum Ziele führen, wie auch von Wildvang (1935) hervorgehoben wurde. Ich habe mich leider nur dort dieser Methode bedienen können, wo mir Bauern freundlicherweise ihre Hilfe angedeihen ließen, da ich sonst bei meinen Arbeiten über keine Hilfskräfte verfügte. Aber auch dort, wo — wie bei den Arbeiten Wildvangs in Ostfriesland — Hilfskräfte zur Verfügung standen, muß die Zahl der Aufgrabungen sich in bescheidenen Grenzen halten, so daß besonders in Gebieten mit lückenhafter Flugsanddecke die Grenzziehung über einen mäßigen Genauigkeitsgrad nicht hinauskommen wird.

Die größten Schwierigkeiten stellen sich auf den alten Eschböden ein, die in der unmittelbaren Umgebung der Dörfer liegen. Die Ackerwirtschaft wurde hier früher so betrieben, daß man in der Heide in der weiteren Umgebung des Dorfes „Plaggen stach", d. h. flache Soden abhob, um sie als Streu in den Schafställen oder als Zwischenlagen in den bei den Häusern aufgeschichteten Düngerhaufen zu benutzen. Diese Plaggen enthielten neben beträchtlichen Mengen Sand auch häufig Steine, die dann beim Aufbringen des Düngers auf den Acker (= Esch oder Gaste) den ursprünglichen Charakter des Bodens mehr und mehr verwischten. Welche Mengen von Steinen im Laufe der Jahrhunderte auf diese Weise auf früher steinfreie Böden gebracht worden sein mögen, zeigen schon die zahlreichen Ziegelbrocken, die man in Stücken bis über Faustgröße auf den alten Aeckern vorfindet und die ebenfalls mit dem Dünger dorthin gelangt sind, indem man zum Strecken des Düngers neben den Plaggen auch auf dem Hof anfallendes Material mitbenutzte. So enthalten die Esche fast immer Steine, von denen man in der Praxis nicht weiß, ob sie ursprünglich im Boden enthalten waren oder nachträglich aufgetragen sind. Die durch die Plaggendüngung herbeigeführten künstlichen Aufträge können bis zu einem Meter mächtig werden. Sie sind in Aufschlüssen an ihrer gleichmäßig grauen, humosen Färbung leicht zu erkennen und werden gewöhn-



Geologische Uebersichtskarte des Weser-Emsgebietes. 1 : 1125000.

1. Geest. 2. Endmoränen. 3. Talsandgebiete. 4. Marsch. 5. Moor. 6. Flottsand. 7. Mesozoikum (Jura und Kreide).

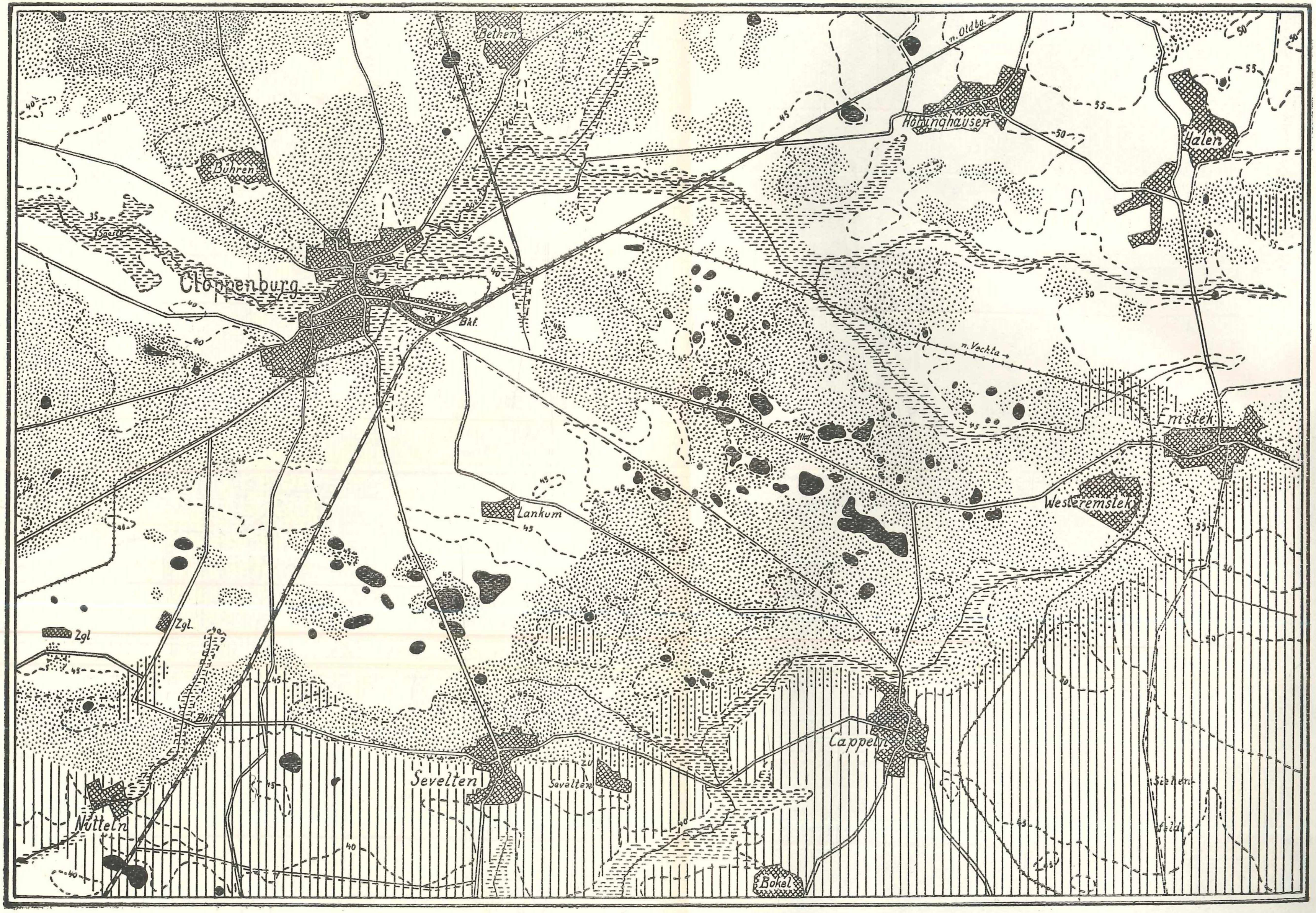
Abkürzungen: B = Baltrum, Stolzen. = Stolzenau, Schl.-bg. = Schlüsselburg, D. = Dümmer, St. M. = Steinhuder Meer, Osterh.-Sch. = Osterholz-Scharmbeck, W.-haven = Wilhelmshaven.

lich nach unten durch die ursprüngliche und meist erhaltene Ortstein- oder Orterdeschicht abgeschlossen. Ursprünglich steinigere Böden werden durch die Plaggendüngung vielfach im umgekehrten Sinne beeinflußt, nämlich dann, wenn die zur Düngung benutzten Plaggen aus steinarmen oder steinfreien Heidebezirken entnommen wurden. Dann kann der Kulturboden, wenn noch das Absuchen der Steine hinzukommt, dem künstlich veränderten Flugsandboden sehr ähnlich werden. Bedenkt man nun noch, daß diese Störungen der ursprünglichen Verhältnisse vielfach in Gegenden bestehen, wo die Flugsanddecke ohnehin dünn und lückenhaft ist, so kann man sich die besonders an den Rändern der Flugsanddecken auftretenden Schwierigkeiten vorstellen. Für eine schnell über größere Flächen herzustellende Uebersichtskartierung etwa im Sinne der geologischen Blätter 1 : 200 000 der Preuß. Geol. Landesanstalt stellen also diese deckenförmigen Flugsande ein wenig günstiges Objekt dar.

Immerhin ist das Problem der Abtrennung der Flugsanddecken von den eiszeitlichen Ablagerungen andersartiger Entstehung (Schmelzwassersanden, Geschiebelehm und Geschiebesanden) auf den Geestflächen nur gelegentlich praktisch schwierig, theoretisch aber ganz einfach, da die Flugsande sich vom Geschiebelehm und auch von Geschiebesanden leicht unterscheiden lassen und sich ja auch an der Basis der hangenden Flugsande meist die trennende Steinsohle einschiebt. Ganz außerordentlich schwierig, wenn nicht unmöglich, wird die Abtrennung der Flugsanddecken von liegenden Talsanden, da letztere meist ebenfalls steinfrei sind und sich in der Körnung nicht wesentlich von Flugsanden unterscheiden. Die einzige Unterscheidungsmöglichkeit beim Kartieren liegt hier in den morphologischen Eigentümlichkeiten des Flugsandes, insofern, als dieser ja immer wieder die Neigung zu einer ungleichmäßigen Anhäufung zeigt, also die Flächen nicht in gleichbleibender Mächtigkeit sondern mehr unter Bildung flach linsenförmiger oder langgestreckter Rücken überzieht. Wenn Moorbedeckung vorliegt, wie beispielsweise in den Niederungen des sogenannten Hunte-Leda-Urstromtales zwischen Oldenburg und Leer (Schucht 1912), so erheben sich diese Rücken vielfach sogar über das Moor und werden als „Tangen“ bezeichnet. Es bestehen allerdings nicht alle Tangen aus Flugsand. Gruben zur Sandentnahme finden sich in diesen Talsandgebieten gern an etwas erhöhten Stellen, da das hochstehende Grundwasser hier weniger störend ist. Will man die Talsande nach dem in solchen Aufschlüssen gefundenen Material charakterisieren, so ist Vorsicht geboten, da es sich vielfach gar nicht um Talsande, sondern um aufgelagerte, allerdings aus den ursprünglichen Talsanden ausgeblasene Flugsande handelt. Dort wo Rücken und Kuppen die bezeichnenden Formen wirklicher Dünen annehmen, ist natürlich die Erkennung des Flugsandes leicht.

Beschreibung der bearbeiteten Gebietsteile.

1. **Umgebung von Cloppenburg.** Das Blatt Cloppenburg ist zu Flugsandstudien besonders geeignet, weil in seinem südlichen Drittel die Flugsande fast ununterbrochen mit den Flottsanden des Goldenstedter Flottsandgebietes in unmittelbarer Berührung stehen. In einer früheren Arbeit (Dewers 1932) habe ich das Goldenstedter Flottsandgebiet ausführlich beschrieben und auch die allmählichen Uebergänge des Flottsandes in den Flugsand hervorgehoben und durch mechanische Analysen gestützt. Bei der gründlicheren Begehung im Sommer 1935 hat sich herausgestellt, daß das Goldenstedter Flottsandgebiet nicht wie ich früher auf Grund der wenig typischen Ausbildung des Flottsandes in der Umgebung von Sevelten angenommen hatte, westlich dieses Dorfes aufhört, sondern sich in einem schmalen Streifen über Nutteln bis in das Dorf Stapelfeld fortsetzt. Auf der Kartenskizze Fig. 1 ist diese Verbesserung dargestellt. Außerdem hat sich ergeben, daß außerhalb der Grenze des eigentlichen Flottsandgebietes südöstlich von Halen, nördlich von Nutteln, nördlich von Sevelten und nordwestlich von Emstek flottsandähnliche Bildungen von geringer Ausdehnung inselartig auftreten. Sie sind bei weitem nicht so gleichmäßig ausgebildet wie die Flottsande innerhalb der Grenzen des geschlossenen Vorkommens. In Wechsellagerung mit fast typischen Flottsanden kommen Sande von der Körnung der Flugsande vor, so daß man beim Abbohren in Abständen von wenigen Metern einmal ganz flottsandähnliches Material, das andere Mal Flugsand vor sich hat. Meist ist auch im ersteren Falle die Körnung deutlich gröber als die des typischen Flottsandes, der Mischcharakter der Ablagerungen tritt also deutlich hervor. Die Verhältnisse sind also bei diesen Flottsandinseln ähnlich wie bei den Mischbildungen an den Grenzen des Goldenstedter und auch der übrigen nordwestdeutschen Flottsandgebiete. Der Uebergangscharakter der Flottsandinseln ist durch eine entsprechende Signatur in der Karte zur Darstellung gebracht worden. Von Interesse ist es, daß sich zwischen die Flottsandinsel nördlich Sevelten und das eigentliche Flottsandgebiet weiter südlich in der Umgebung der vier dort eingezeichneten Windmulden ein durch die 45 m-Höhenlinie in der Karte deutlich hervortretender flacher Rücken einschiebt, der aus typischen Flugsanden besteht, die in mehreren Sandgruben bis zu 1.50 m Tiefe aufgeschlossen sind. Die teils durch schichtweises Wechsellagern, teils durch allmählicheres Gröberwerden des Kornes sich bemerkbar machenden Uebergänge an den Grenzen von Flottsand und Flugsand, die ich 1932 ausführlich beschrieben habe, sind auch bei dieser neuerlichen Untersuchung wieder einwandfrei festgestellt worden. Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, daß die Flottsande und die sie begleitenden Flugsande gleichzeitig zur Ablagerung gekommen sind.



Karte der Umgebung von Cloppenburg in Oldenburg. 1 : 50000.

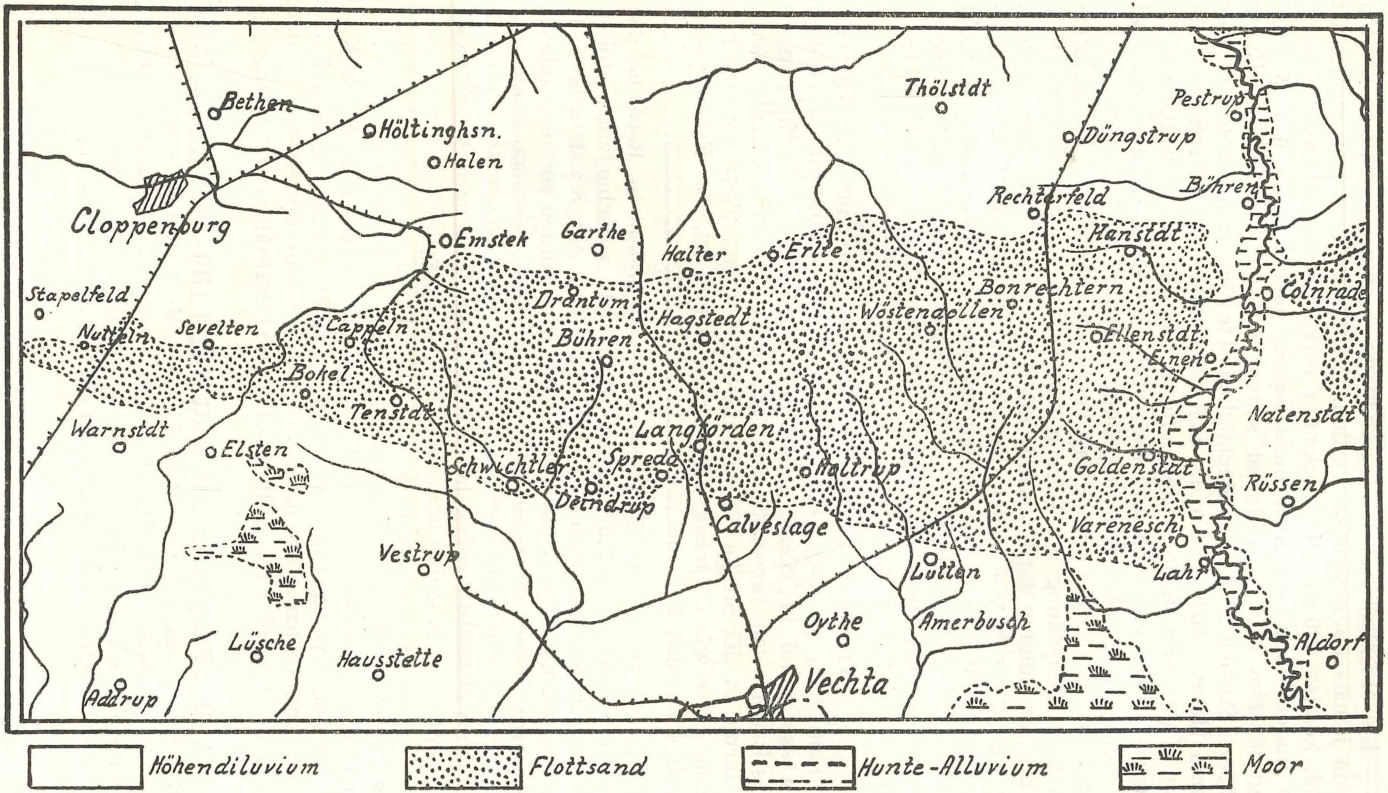


Fig. 1. Goldenstedter Flottsandgebiet. 1 : 200000.

Die Mächtigkeit der Flugsande ist gering: 1.50—2 m dürften kaum jemals überschritten werden. Nur dort, wo Dünen entwickelt sind, können größere Mächtigkeiten vorkommen, doch dürften auch die Dünen im allgemeinen nicht häufig über 5 m hoch sein. Sie sind in dem kartierten Gebiet selten, wie die Karte zeigt. Ueber größere Flächen bleibt die Mächtigkeit der Flugsanddecken oft unter einem Meter. Daher sind die Schwierigkeiten der Abgrenzung auf allen Teilen des Blattes Cloppenburg, wo die Karte unzusammenhängende Flugsandfetzen aufweist, groß. Zwischen Cloppenburg und Sevelten, in der näheren Umgebung der dort gehäuft auftretenden Windmulden, ist die Kartierung der Flugsande durch die ununterbrochene Bedeckung mit Wiesen und Weiden sehr erschwert. Hier ist die Ausdehnung der Flugsande möglicherweise zu klein angegeben. Die weiß gelassenen Flächen sind ursprünglich aller Wahrscheinlichkeit nach ebenfalls mit Flugsanden geringer Mächtigkeit bedeckt gewesen. Sie haben also die Wildvang'sche „Flugsandhaut" getragen, die nachträglich durch die Kultur mit Steinen aus dem Geschiebelehm des Untergrundes durchmischt ist.

Die große Zahl der Windmulden geht aus der Karte hervor. Sie sind z. T. so flach, daß sie ohne große Mühe durch Gräben entwässert und in Weide gelegt werden konnten. Nach Aussage eines Bauern soll der große rundliche Kolk südlich des Wirtshauses Heidkrug an der Straße Cloppenburg-Emstek eine Tiefe von ca. 5 m haben. Das würde, wenn die Angabe richtig ist, ein Extrem sein, welches die meisten anderen kaum zur Hälfte erreichen.

Die Unterlage des Flugsandes ist fast überall im Bereiche des kartierten Gebietes Geschiebelehm. Da ich an verschiedenen Stellen den Geschiebelehm auch auf dem Talboden des Soestetales z. T. unter geringmächtigen alluvialen Kiesen und Sanden vorfand, scheint das ganze Gebiet aus einer flach übersandeten, ziemlich mächtigen Geschiebelehmtafel zu bestehen, die nur an wenigen Stellen (z. B. bei dem Kalksandsteinwerk bei Höltinghausen und unmittelbar westlich Cloppenburg von durchragenden mehr oder weniger aufgestauchten Schmelzwassersanden und -kiesen unterbrochen wird. Die Folge dieser undurchlässigen Unterlage ist, daß ursprünglich keine der Windmulden trocken lag, sondern alle zum mindesten durch Niederungsmoor, vielfach mit Wasser ausgefüllt waren. In den Flugsanden unmittelbar oberhalb des Geschiebelehms finden sich in der Umgebung der Kolke z. T. kräftige Grundwasserabsätze (Gleibildungen).

2. **Die Flugsande auf Blatt Sögel (Hümmling).** Die kartierte Fläche umfaßt nur etwa $^2/_5$ des Meßtischblattes Sögel und zwar den südöstlichen Teil bis nahe heran an den Ort Werlte. Dieser Teil des Blattes Sögel ist durch eine besonders charakteristische Entwicklung der verschiedenen Formen des Flugsandes ausgezeichnet.

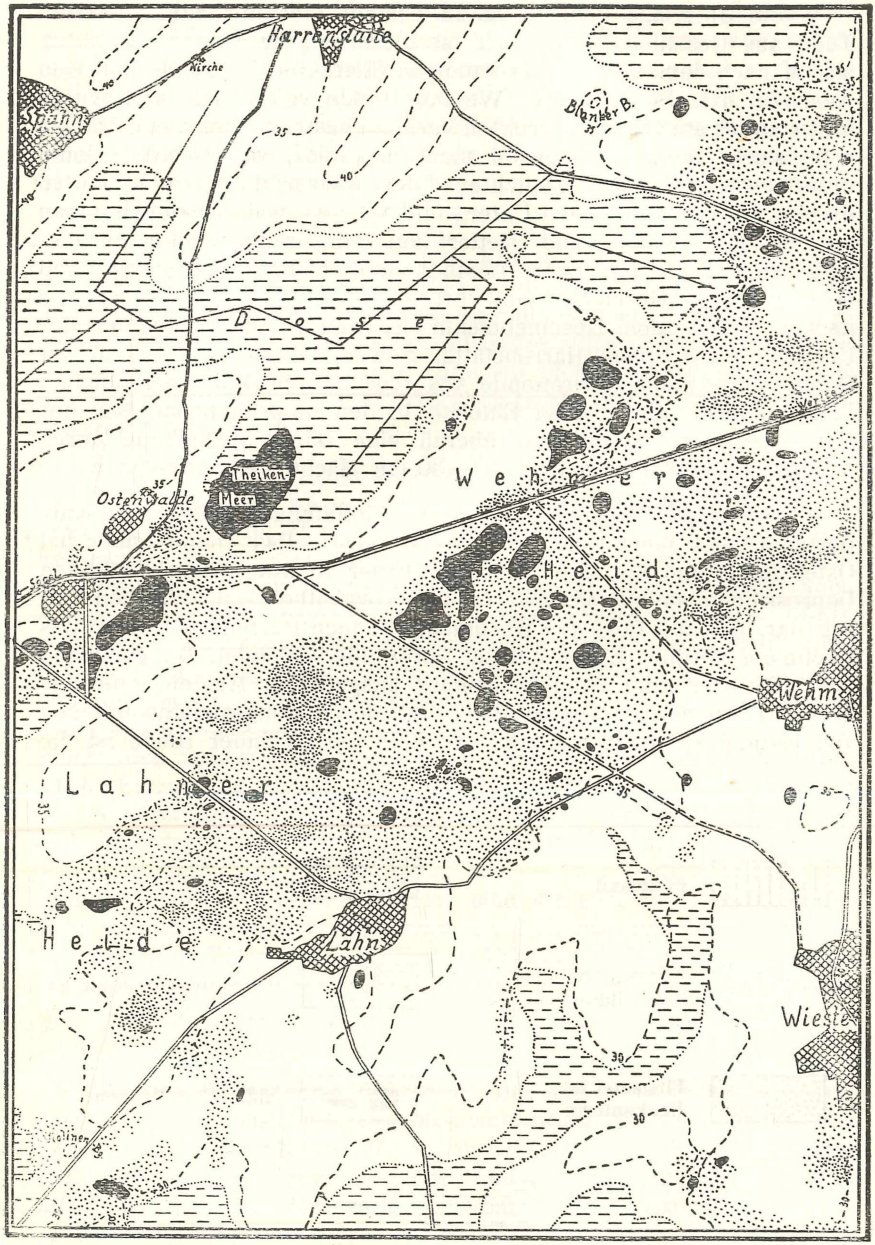


Fig. 2. Karte des Gebietes zwischen Ostenwalde und Werlte (Blatt Sögel). 1:50000.

Die Unterlage der Flugsande besteht hier nur zum kleineren Teile aus Geschiebelehm, doch ist dieser sicher weiter verbreitet, als es nach dem vorwiegend sandigen Charakter der Landschaft den Anschein hat. So dürfte die Wehmer Heide von Werlte und Wehm im Osten bis etwa zu dem direkten Verbindungsweg Ostenwalde-Wieste sehr stark, wenn auch wohl nicht lückenlos, von Geschiebelehm unterlagert sein. Die Abdichtung der wasserführenden Kolke in diesem Gebiete gegen den Untergrund ist hier wahrscheinlich genau wie bei Cloppenburg und Brettorf auf den Geschiebelehm zurückzuführen. Auch bei Lahn (südlich und östlich des Ortes) und Ostenwalde ist Geschiebelehm verbreitet. Außerhalb der Flugsanddecken findet sich Geschiebelehm in weiter Verbreitung in der Umgebung von Spahn-Harrenstätte. Soweit der sich auf Kosten der Heide immer mehr ausbreitende Ackerbau außerhalb der eigentlichen Flugsanddecke noch einen Einblick in den ursprünglichen Bau der Bodenoberfläche zuläßt, hat überall eine dünne Bedeckung durch eine „Flugsandhaut" von ca. 10—30 cm Mächtigkeit vorgelegen.

Die Anordnung der abflußlosen Eintiefungen scheint im kartierten Gebiet nicht völlig regellos zu sein. Das Theikenmeer bei Ostenwalde und die sich in südwestlicher Richtung anschließenden Depressionen stellen offenbar in ihrer Gesamtheit einen flachen Talzug dar, der die Dose (= Hochmoor) südlich Harrenstätte über das Hochmoor nördlich Eisten mit der Nordradde verbindet. Die einzelnen durch Wasser oder Niederungsmoor ausgefüllten Mulden innerhalb dieses Talzuges bei Ostenwalde sind durch Flugsandeinwehungen voneinander getrennt worden. Auch in der Wehmer Heide ist die

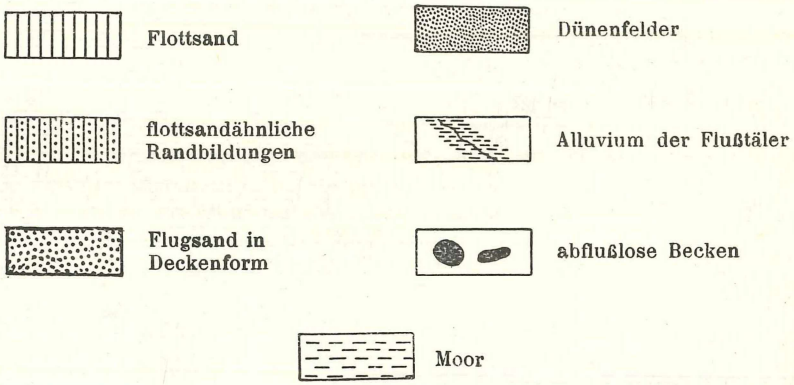


Fig. 3. Zeichenerklärung zu Taf. VII und Fig. 2.

Anordnung der größeren nördlichen Depressionen in einer nordostsüdwestlichen Richtung parallel dem beschriebenen Ostenwalder Talzuge geeignet, die Vermutung aufkommen zu lassen, daß auch hier entweder ursprünglich ein ähnlicher Talzug vorlag oder daß vorwiegend aus Südwest kommende Winde eine Art Rinne ausgeblasen haben. Die erstere Deutung ist im Hinblick auf das gesamte in SW-NO-Richtung verlaufende Talsystem des Hümmlings die wahrscheinlichere.

Dünen sind im Bereiche des Kartenblattes ungleich häufiger als bei Cloppenburg (wenigstens im Bereiche des kartierten Gebietes). Sie sind auf der Karte nur soweit durch besondere Signatur hervorgehoben worden, als sie völlig charakteristisch ausgebildet sind. Kleinere dünenartige Bildungen habe ich nicht eingezeichnet, da sie sich von wellenförmigen Flugsanddecken (siehe später) häufig schlecht abtrennen lassen.

Als besonders bemerkenswert für diese eigentlichen Dünen muß hervorgehoben werden, daß sie in ihrer Mehrzahl keine Decke von Bleichsand und Ortstein tragen, also einen sehr jugendlichen Eindruck machen. Sie sind m. E. zweifellos in ihrer jetzigen Form und Verbreitung durch menschliche Tätigkeit bedingt (siehe auch Stratmann 1928, Böckenhoff-Grewing 1929, Dewers 1935), indem die ursprünglichen Flugsanddecken durch Wagenspurung, Schafdrift und Plaggenhieb ihrer schützenden Pflanzendecke beraubt und dem Zugriff des Windes wieder preisgegeben wurden. Die älteren podsolierten Flugsande treten häufig in Aufschlüssen unter den jüngeren Flugsanden zutage (siehe auch Wildvang 1935). Bei älteren Bauern ist die Erinnerung an die früher oft drohende Gefahr der Verwehung von Ackerland durch Flugsande noch wach. Man begegnete dieser Gefahr, indem man Heideplaggen in ausreichend kleinen Abständen auf die nackten Sandflächen legte, um sie zu befestigen. Dort, wo kräftig podsolierte Dünen auftreten, sind sie sehr flach und niedrig. Man hat den Eindruck, als wenn die Neigung zur Bildung hoher, steil-kuppiger Dünen bei der ersten Ablagerung der Flugsande vielleicht infolge geringerer Tätigkeit der Sand bindenden Vegetation nicht so groß gewesen ist wie heute.

3. **Das Gebiet von Brettorf.** Der auf der Karte Fig. 4 dargestellte kleine Abschnitt des Meßtischblattes Dötlingen ist nur ein Teil eines Flugsandgebietes, welches sich von der Gemarkung Dötlingen im Süden über den Nordrand des Meßtischblattes hinaus nach Nuttel (Blatt Kirchhatten), Immer (auf Blatt Delmenhorst; „Havekoster und Bürsteler Sand“) und Hengsterholz und Havekost (auf Blatt Harpstedt) ausdehnt. Zwischen Hengsterholz-Havekost und Immer sind Dünen entwickelt, sonst liegen die Sande in Decken-

form vor. Leider konnte aus Zeitmangel nicht das ganze oben umgrenzte Gebiet kartiert werden, sondern ich mußte mich mit der Bearbeitung eines kleinen aber besonders typischen Ausschnittes begnügen. Das auf der Karte dargestellte Gebiet ist wiederum durch die in auffälliger Häufung auftretenden Windmulden charakterisiert, von denen eine Anzahl auch jetzt noch mit Wasser gefüllt ist. Der große rundlich-ovale Kolk hart westlich der Straße von Bahnhof Brettorf nach Klattenhof, der eine grasbewachene, sumpfige Insel enthält, hat in den letzten Jahren einer größeren Zahl von Lachmöven als Brutstätte gedient. Alle Kolke sind flach, höchstens ca. 3 m tief. Die Unterlage besteht auch hier aus einer ununterbrochenen Platte von Geschiebelehm, die auch das ganze von Flugsanden nicht bedeckte Gelände der Kartenskizze einnimmt. Die

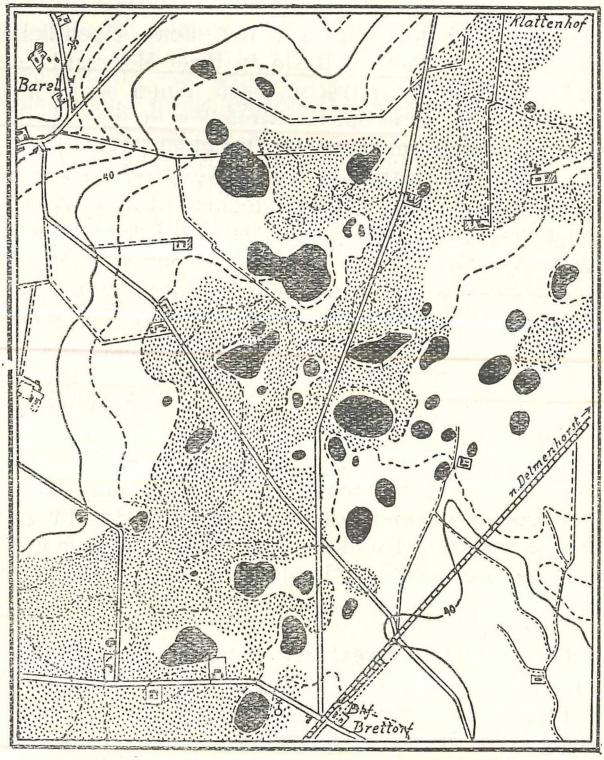


Fig. 4. Deckenförmige Flugsande bei Brettorf in Oldenburg.
1:25000.
Punktiert: Flugsand; schwarz: abflußlose Becken; weiß: meist Geschiebelehm.

Dicke dieser Platte geht, nach einigen Brunnenbohrungen zu urteilen, stellenweise sicher über 5 m hinaus. Zwischen Geschiebelehm und Flugsanden schiebt sich stellenweise noch eine dünne Schicht fluvioglazialen Sandes ein, die gegen die Flugsande durch eine Steinsohle abgetrennt ist. Die Mächtigkeit der Flugsande geht zweifellos nicht über 2 m hinaus und ist meist geringer. Das Gelände wird infolge der undurchlässigen Geschiebelehmunterlage meist als Weideland genutzt. Die gegenüber den umgebenden, nicht von Flugsanden bedeckten Geländeteilen unruhigere Oberfläche ist durch die ungleiche Mächtigkeit der Flugsande bedingt.

Zusammenfassende Bemerkungen über die Ablagerungsformen der Flugsande.

D. Wildvang (1935) unterscheidet: Die ebenen Flugsanddecken, die gewellten Flugsanddecken, die Flugsandhäute und die Dünen. Der Unterschied in der Oberflächengestaltung der beiden ersteren rührt nach seiner Ansicht von der Form des Untergrundes her, indem sich auf ebenen Flächen auch ebene Flugsanddecken und auf unebenen Flächen gewellte ausbilden. Natürlich stimmt das vielfach. Doch können Flugsande auch auf völlig ebener Unterlage — so z. B. in den Gebieten von Brettorf und Sögel — in sehr ungleichmäßiger Mächtigkeit zur Ablagerung kommen. Das braucht nicht durchaus in der Form eigentlicher Dünen zu geschehen. Man findet vielmehr in erheblicher Verbreitung Zwischenformen, bei denen zwar die Mächtigkeit der Flugsanddecken schwankt, aber doch bei weitem nicht so stark auf kleinem Raum, wie man das bei den Dünen gewohnt ist. Es handelt sich mehr um flache, schildförmige Kuppen, die sowohl auf den Meßtischblättern als auch in der Landschaft selbst bei genügender Aufmerksamkeit deutlich erkennbar sind und sich häufig an der Hand größerer Aufschlüsse als auf ebenem Untergrund aufgelagerte Sandlinsen erkennen lassen. Bei manchen Landschaften, bei denen Flugsande auf ebene Geschiebelehmdecken aufgeweht sind, macht sich sofort die durch die Flugsande bedingte unruhige Oberflächengestaltung bemerkbar (Brettorf z. B.), die sich schon im Kartenbilde deutlich von der nicht übersandeten benachbarten Grundmoränenebene unterscheidet. Die noch zu behandelnden Windkolke verstärken natürlich diesen Eindruck. Da eigentliche Dünen in solchen Geländeteilen oft vollkommen fehlen, ist die selbständige Bezeichnung als „gewellte Flugsanddecken“ ganz angebracht, wenn man dabei beachtet, daß von irgendwie regelmäßigen Wellen natürlich nicht die Rede sein kann.

Das erwähnte Fehlen von eigentlichen kuppigen Dünen in der gewellten Flugsandlandschaft ist sehr bemerkenswert. Treten sie aber doch auf, so zeigt sich häufig, daß sie nach Ausweis der fehlenden Podsolierung recht jugendlichen Alters sein müssen. Man hat durchaus den Eindruck, daß während der eigentlichen Ablagerungsperiode der Flugsanddecken die Entstehungsbedingungen für stark kuppige Dünen nicht günstig gewesen sind. Die letzteren entstehen in unserem heutigen Klima fast ausschließlich unter Mitwirkung von dünenbildenden Gräsern (hauptsächlich *Psamma arenaria*) und zwar nicht nur an der Küste sondern auch im Binnenlande, so bei Bremen, im Emslande usw. Vielleicht haben diese Gräser damals gefehlt.

Bei einigen Autoren, z. B. Chudeau (1920), Cornish (1900) und Walther (1924) finden sich Angaben darüber, daß das Anfangsstadium einer Düne immer eine flache, schildförmige oder längliche Sandanhäufung ohne deutliche Unterscheidung von Luv- und Leehang ist (Sandschilde E. Kaiser's, 1926). Vielleicht darf man in der Gestaltung der gewellten Flugsanddecken einen Hinweis darauf erblicken, daß weder die Sandmassen noch die klimatischen Bedingungen ausreichend waren, um die Flugsandanhäufungen über diesen Anfangszustand hinaus zu entwickeln. Außerdem mag schon während und kurz nach der Bildungszeit die Wirkung von Regen und Schneeschmelzwässern eine Erniedrigung herbeigeführt haben. Besonders charakteristisch für die Gebiete mit deckenförmigen Flugsanden sind die sie begleitenden, als Windmulden zu deutenden, meist kleinen abflußlosen Eintiefungen. Schon in einer früheren Arbeit (Dewers 1932) habe ich darauf hingewiesen, daß man an ihrem Auftreten aus den Meßtischblättern bereits ziemlich sichere Rückschlüsse auf das Vorkommen von Flugsanden ziehen kann. Sie treten stellenweise auf verhältnismäßig kleinem Raum sehr gehäuft auf. Bei der Auswahl der zu kartierenden Flächen habe ich mich z. T. von dem Vorkommen derartiger Windmulden leiten lassen und sie auf den dieser Arbeit beigegebenen Karten durch schwarze Färbung besonders deutlich hervorgehoben.

Die Ausdehnung ist im allgemeinen nicht groß; 300—400 m im Durchmesser ist schon reichlich. Die Tiefe ist ebenfalls gering; sie geht über 2—3 m gewöhnlich nicht hinaus. Die meisten von ihnen sind mit Wasser oder Niederungsmoor, z. T. auch mit beiden, ausgefüllt, so daß die Tiefen nur durch Lotungen oder Bohrungen zu bestimmen sind. Es ist eine offene Frage, bis zu welcher Tiefe man derartige Eintiefungen noch als Windmulden ansprechen darf. Ihre Beantwortung hängt teilweise davon ab, wie man sich überhaupt das Zustandekommen derartiger Bildungen vorstellen soll.

Noch in Bildung befindliche Windmulden sieht man in den Heidegebieten des Hümmlings und Oldenburgs häufiger. Es handelt

sich hier ausnahmslos um künstliche Verletzungen der Heidenarbe durch Wagenspurung, Schafdrift oder Plaggenhieb, durch die der Wind die Möglichkeit erhielt, die gut flugfähigen Heidesande (z. T. ältere deckenförmige Flugsande) wieder in Bewegung zu setzen. Die Deflation erfolgt zunächst nur auf kleinstem Raum, der jedoch durch Unterblasung und allmähliche Vernichtung der die Ränder befestigenden Heidenarbe und Ortsteinschicht erheblich ausgeweitet werden kann (siehe die Abb. bei Wildvang 1935). Die Ränder bleiben zunächst infolge der Befestigung durch Heide und Ortstein steil im Gegensatz zu den alten Windmulden, deren Ränder allmählich in die umgebenden Sandflächen übergehen. Dieser Unterschied scheint mir jedoch nicht so wichtig zu sein, da die Steilheit der Ränder bei eintretendem Stillstand des Deflationsvorganges doch wohl nur eine vorübergehende Erscheinung darstellen dürfte. Außerdem habe ich bei Wahn im Hümmling nahe dem Krupp'schen Schießplatze eine in der Festlegung durch Grasvegetation begriffene Windmulde mit flachen Rändern gesehen, welche den alten Windmulden in ihrer Form vollkommen entsprach. Daß der Grundriß der rezenten Windmulden von dem der alten oft sehr stark abweicht, hängt mit der Art der Entstehung zusammen. Die lineare Erstreckung der Wagenspuren und Schafdriften führt oft zu sehr langgestreckten, talartigen Gebilden, die z. B. zwischen Börger und Breddenberg im Hümmling typisch ausgebildet sind und mit den Trockentälern der Wüsten eine gewisse, allerdings nur bescheidene Aehnlichkeit haben. (Abb. bei Dewers 1935.) Der Boden aller dieser Bildungen ist eben und — soweit sie auf der Geest liegen — mit einer dichten Steinsohle übersät, welche die Tiefenwirkung der Deflation herabsetzt. Doch hat die Steinsohle nicht verhindern können, daß auch die unter ihr liegenden fluvioglazialen Sande z. T. mit fortgeblasen wurden, wie man daraus ersehen kann, daß in den Mulden die Steinsohle eine tiefere Lage hat als an den Rändern. In den Windmulden und Windrissen der Talsandgebiete fehlt natürlich die Steinsohle. Hier findet die Windwirkung ihre Grenze am Kapillarsaum des Grundwasserspiegels.

In einem Kolk von ca. 100 m Durchmesser zwischen Lahn und Wehm im Hümmling wurde Niederungsmoor in einer Mächtigkeit von über 2.50 m erbohrt, dessen liegendste Schichten ins frühe Atlantikum gehörten. Daraus läßt sich also auf ein erhebliches Alter der Kolke schließen. Da diese Altersbestimmung nur eine Mindestzahl darstellt, so ist mit der Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit zu rechnen, daß die Kolke wesentlich älter sind, d. h. so alt wie die deckenförmigen Flugsande selbst. Da wir diese, wie später noch weiter ausgeführt werden wird, in die Zeit des Höhepunktes der Weichselvereisung stellen wollen, so würden damit die Windmulden unter Bedingungen entstanden sein, die wesentlich von den heutigen

verschieden waren. Vor allen Dingen war der Pflanzenbewuchs geringer und infolge des Fehlens von Baumbeständen die Kraft des Windes weniger abgebremst, so daß die Verhältnisse sich in gewissen Beziehungen denen der heutigen Wüsten näherten.

Daß sich in ariden Gebieten durch Deflation abflußlose Hohlräume ausbilden, ist von vielen Forschern hervorgehoben worden. Doch findet man in den betreffenden Arbeiten (z. B. Gilbert 1895, Free 1914, Walther 1924, E. Kaiser 1926) fast nur solche Depressionen genauer beschrieben, die in den festen Felsuntergrund durch den Wind unter Mithilfe von chemischer und physikalischer Verwitterung eingetieft wurden. Nach Passarge (1911) haben in der Kalahari die Herden von Wild und Vieh Anteil an der Austiefung, indem sie kleine Wasserstellen als Tränke benutzen, dabei den Boden in der nächsten Umgebung lockern und so für die Deflation vorbereiten. Gilbert (1895) spricht von „Büffelsuhlen", von denen er nicht weiß, ob der Wind oder die Büffel bei ihrer Entwicklung die Hauptrolle spielen. Ohne völlig in Abrede stellen zu wollen, ob nicht Tierherden auch bei der Entstehung unserer nordwestdeutschen Windkolke eine Rolle mitspielten, muß man doch wohl stark mit der Möglichkeit rechnen, daß der Wind hier allein tätig war, indem er durch Wirbel irgendwelcher Art die Sanddecken an geeigneten Stellen bis auf den liegenden Geschiebelehm ausblies. Leider besitzen wir gerade für diese rings von Flugsand umgebenen Windmulden nur wenige und kurze Beschreibungen und Deutungsversuche, mit denen nicht viel anzufangen ist. Ein bei Cornish (1900) abgebildeter kleiner, runder Kolk von nur 12 m Durchmesser aus den Dünenfeldern am Nil, kommt in der Form und Lage zu den Flugsanden unseren Windmulden noch am nächsten und wird vom Verfasser auch in einer späteren Arbeit (1914) auf Wirbel zurückgeführt. Die von Blunt (zitiert nach Cornish 1897) beschriebenen bis 200 Fuß in eine entsprechend mächtige Flugsanddecke eingetieften „Fuljes" der nordarabischen Nefud, haben mit ihrem hufeisenförmigen Grundriß keine Aehnlichkeit mit unseren Windmulden, sind aber — falls es sich wirklich um Windbildungen handelt — interessant wegen ihrer ungewöhnlichen Tiefe auf kleinem Raum.

Nach dem Gesagten ist es klar, daß unsere Vorstellung von den Entstehungsbedingungen der Windmulden in den Sandgebieten Nordwestdeutschlands noch unvollkommen bleiben muß, bis wir über die Dichte der Vegetation während der Höhepunkte der Weichseleiszeit etwas genauere Kenntnisse haben werden, und die kleinen Windkolke in den Dünenfeldern arider und halbarider Gebiete besser untersucht sein werden. Auf alle Fälle sind unsere Kolke nicht zufällige Lücken zwischen dicht zusammenliegenden Flugsandschilden, denn ihre ziemlich gleichbleibende rundliche oder ovale Form macht

nicht den Eindruck der Zufälligkeit, sondern ist auf besondere Ursachen zurückzuführen.

Die Unklarheit über den Bildungsmechanismus der Windmulden bewirkt auch eine Unklarheit über ihre Abgrenzung gegen ähnliche Eintiefungen anderer Entstehung (Toteisbecken, Einsturzbecken). Sehr tiefe Kolke, wie das große Sager Meer in Oldenburg (mit 26 m größter Tiefe bei kaum 600 m größtem Durchmesser) und der Wollingster See bei Wesermünde (mit 17 m Tiefe bei ca. 320 m größtem Durchmesser) sind natürlich mit größter Wahrscheinlichkeit auf andere Ursachen als auf Windwirkung zurückzuführen (siehe auch Dewers 1934). Bei flacheren Depressionen kleineren Durchmessers wird man die sonstigen Begleiterscheinungen wie Vorhandensein von Flugsanden, Beschaffenheit des Untergrundes usw. bei einer Beurteilung mit in Betracht ziehen müssen. Man kann allerdings nicht erwarten, daß der aus einer Windmulde ausgeblasene Sand unter allen Umständen in unmittelbarer Nähe wieder in Decken- oder Dünenform zur Ablagerung gekommen ist, wie man das wohl gelegentlich sieht. Die Beziehungen zwischen den Deflations- und Akkumulationsbildungen des Windes müssen mehr im großen betrachtet werden. Es gibt z. B. auf der sogenannten Vorgeest, einer Talsandterrasse südlich Bremens und zwar in ihrem östlichen Teile rundliche Kolke in sandig-kiesiger Umgebung, die durchaus den üblichen Windkolken auf der Geest gleichen, in deren Nähe aber meist keine Flugsande zu erkennen sind. Da es sich auf einer Terrasse nicht um Toteisbecken handeln kann und auch keine Gründe für die Deutung als Einsturzbecken vorliegen, muß man annehmen, daß der ausgeblasene Sand durch die vorherrschenden westlichen Winde in die angrenzende Weserniederung hineingeweht und durch den Fluß fortgespült wurde, natürlich zu einer Zeit, als die Niederung noch nicht mit Marschlehm bedeckt war. Im westlichen Teile der Vorgeest treten dann auch Flugsandbildungen in näherer und weiterer Umgebung der Kolke häufiger auf.

Verbreitung und Herkunft der Flugsande.

Daß Flugsande von der Form der eigentlichen Dünen auch unabhängig von der Meeresküste als „Binnendünen“ inner- und außerhalb Deutschlands weit verbreitet sind, ist durch zahlreiche Arbeiten längst bekannt geworden. I. Högbom (1923) hat sich das Verdienst einer kritischen Zusammenfassung erworben, auf die hier auch hinsichtlich der Literatur verwiesen sei.

Zur wirklichen Durchdringung des gesamten Problems der Entstehung der binnenländischen Flugsande einschließlich der Fragen der Bildungszeit und der damals herrschenden klimatischen Zustände können uns aber nicht die Dünen allein verhelfen, sondern es müssen alle auf Windwirkung beruhenden Erscheinungen herangezogen werden. Dazu gehören in Nordwestdeutschland vor allem der Löß (Flottsand), die deckenförmigen Flugsande und die weitverbreiteten Steinsohlen.

Ueber die Verbreitung der deckenförmigen Flugsande ist bisher noch verhältnismäßig wenig bekannt geworden. Die größten Verdienste hat sich D. Wildvang durch seine im Auftrage der Preuß. Geol. Landesanst. erfolgten Kartierungen in Ostfriesland erworben. Er konnte (1935) feststellen, daß das niedrige Geestgebiet nördlich der Leda-Ems-Niederung bis heran an die großen Moore auf der Wasserscheide des nordoldenburgisch-ostfriesischen Geestrückens zum größten Teil von deckenförmigen Flugsanden überkleidet ist. Nordöstlich dieser Moore treten sie stark zurück.

Mein eigenes Arbeitsgebiet liegt in der Hauptsache südlich des Hunte-Leda-Urstromtales auf dem Geestrücken, der sich von der Ems bis an die Weser in west-östlicher Richtung erstreckt und der im Norden vom Hunte-Leda-Urstromtal, im Süden von einer Folge von Talsandniederungen begrenzt wird, die sich mehr oder weniger miteinander zusammenhängend von der Ems, über die untere Hase, die Umgebung des Dümmer und die Talflächen der Aue bis an die eigentliche Weserniederung bei Steyerberg und Stolzenau heranziehen. Das bearbeitete Geestgebiet ist also nach allen Seiten von größeren Talsand- und Flußniederungen begrenzt. Der geologische Bau dieser langgestreckten Geestfläche, die ich kurz als Meppen-Nienburger Geest bezeichnen will, ist im großen ganzen recht einförmig. Geschichtete Schmelzwassersande und -kiese, in die gelegentlich ältere, meist tertiäre Tone und Glaukonitsande hineinragen, oder als Schollen eingelagert sind, bilden die eigentliche Masse des nur durch Bachtäler etwas belebten, sonst flach-welligen und oft fast ebenen Geestkörpers. Ihr Alter ist vorwiegend saaleeiszeitlich, doch mögen auch Ablagerungen der Elstereiszeit im tieferen Untergrunde vorkommen, die für unsere Betrachtungen unwesentlich sind. Die fluvioglazialen Bildungen werden entweder von Geschiebelehm in Form meist geringmächtiger Decken überkleidet, oder man findet an seiner Stelle Umlagerungs- und Abtragungsformen in Gestalt von Steinsohlen oder geschiebeführenden Sanden, die man vielfach als Geschiebedecksand zusammenfaßt, über deren Entstehung ich an anderer Stelle (Dewers 1930; siehe auch Dücker 1933) berichtet habe. Auf diese Oberflächenschichten haben sich dann die Flugsande aufgelagert.

In welchem Ausmaße die Meppen-Nienburger Geest von Flugsanden bedeckt wird, läßt sich nach dem oben Gesagten nicht genau angeben. Die verschiedenen Teile des Gebietes verhalten sich außerdem recht ungleich, so daß Verallgemeinerungen nur mit Vorsicht zu machen sind. Nach meinen orientierenden Begehungen scheint der westliche Teil (kurz als Meppen-Wildeshauser Geest zu bezeichnen) etwas reicher daran zu sein als der östliche (die Wildeshausen-Nienburger Geest). Nimmt man die Verbreitung der abflußlosen Depressionen, besonders deren örtliche Häufungen, sowie die in den Meßtischblättern eingezeichneten Dünen als Kriterium hinzu, so kann es kaum zweifelhaft sein, daß sehr wesentliche Teile des Hümmlings und des mittleren Oldenburg mit Flugsanden reich gesegnet sind. Man darf wohl annehmen, daß in diesem Gebiete etwa $^1/_4$ der Geestfläche zwischen Ems und Hunte von Flugsanden aller Art bedeckt ist, wobei die unter Moor liegenden, die Flottsande und die „Flugsandhäute" nicht mitgerechnet sind.

Ueber die Verteilung der Flugsande innerhalb dieses Gebietes lassen sich vorläufig aus den Kartenblättern keine bestimmten Gesetzmäßigkeiten herauslesen. Wenn man von der Tatsache absieht, daß Dünengebiete häufig, aber nicht immer, am Rande des alten Esches der Dörfer liegen, was ja, ein ursächlicher Zusammenhang vorausgesetzt, nur eine Folge menschlicher Tätigkeit sein kann, so läßt sich jedenfalls bei der ungenügenden Kenntnis der Verbreitung der deckenförmigen Flugsande kein Anhaltspunkt dafür gewinnen, daß das südlich des fraglichen Geestgebietes liegende Talsandgebiet (Hase-Niederung und Artland) in besonders hohem Maße als Sandlieferant gedient hätte. Auch die Höhen am westlichen Rande des Hümmlings (etwa in der Gegend von Börger, Wahn und Gr.-Stavern) sind nicht wesentlich reicher an Flugsanden als beispielsweise die Umgebung von Sögel, Werlte und Molbergen. Es muß das deswegen betont werden, weil Wildvang (1935) in Ostfriesland eine ausgesprochene Bevorzugung des südwestlichen Hanges des ostfriesischen Geestrückens durch die (deckenförmigen) Flugsande festgestellt hat.

Die Beziehungen der Flugsande und besonders der aus den Meßtischblättern besser erkennbaren Dünen zu den Flußläufen treten nur stellenweise klar hervor und zwar besonders an den größeren Flüssen. Aber schon, wenn man sich die ausgedehnten Dünenfelder in der Emsniederung ansieht, muß man feststellen, daß diese Beziehungen nicht immer völlig eindeutig sind. Stellenweise sind die Dünenfelder auf der Westseite der Ems ebenso stark ausgebildet wie auf der Ostseite (z. B. bei Lingen und Lohne), wenn auch im großen ganzen die Bevorzugung des Ostufers als Folge der für die Verteilung verantwortlichen westlichen Winde auch im Emsgebiet deutlich hervortritt. Weiter im Osten, z. B. an der Hunte und

Weser, wird die Bevorzugung der Ostufer noch klarer, doch kommen z. B. zwischen Wardenburg und Huntlosen auch westlich der Hunte ganz ansehnliche Dünenflächen vor.

Die kleineren Flüsse im Geestgebiete zwischen Meppen und der Hunte haben offenbar für die Flugsandbildung eine wesentlich geringere Bedeutung gehabt als die größeren. So ist in der Umgebung der drei Radden (Nord-, Mittel- und Südradde) im Hümmling von einer Häufung der Dünen an ihrem Ostufer nichts zu erkennen. Bei der Marka ist es ganz ähnlich. Hier liegen die größeren Dünengebiete, soweit die Geest in Frage kommt, sogar auf dem westlichen Ufer (in der Arenberg'schen Forst südwestlich von Markhausen), allerdings in einer solchen Entfernung vom Flusse, daß wahrscheinlich gar keine Zusammenhänge zwischen ihnen und der Marka bestehen. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse an der Soeste. Hier befinden sich die größeren Dünenfelder — der Dwergter Sand, die Dünen südwestlich von Thülsfeld (Soeste-Talsperre) und bei Stedingsmühlen — westlich des Flusses, aber auch hier kommt wegen der z. T. ziemlich großen Entfernung der Dünen vom Flusse eine Herleitung derselben aus der Flußniederung im Sinne von O. Wilckens (1921, 1928) sicher nicht in Frage. Es läßt sich überhaupt für die Meppen-Wildeshauser Geest feststellen, daß die Verbreitung der Dünen zum allergrößten Teil von den die Geest durchschneidenden kleineren Flüssen und Bächen unabhängig ist. Ueber die deckenförmigen Flugsande läßt sich zur Zeit kein so bestimmtes Urteil aussprechen. Wenn man aber die Erfahrungen, die an den drei von mir kartierten Gebietsteilen gemacht wurden, verallgemeinern darf, so liegen hier die Verhältnisse durchaus ebenso (siehe aber weiter unten!).

Daß der Meppen-Wildeshauser Geest im Norden vorgelagerte Hunte-Leda-Urstromtal ist zum größten Teil mit Mooren bedeckt. Soweit die Talsande zu Tage liegen, sind flache, dünenartige Erhebungen häufig. Wir finden sie in weiter Verbreitung an den die Niederung in nördlicher bis nordwestlicher Richtung durchströmenden Quellflüssen der Leda (Aue, Soeste, Sagter Ems und Burlage-Langholter Tief). Ausgesprochene kuppige Dünen sind hier allerdings weniger häufig. Große zusammenhängende Dünenfelder kommen infolge der Schmalheit der nur an den genannten Flüssen moorfreien Talsande nicht vor. Die Verbreitung deckenförmiger Flugsande läßt sich — wie oben bereits dargelegt wurde — infolge mangelnder Unterscheidungsmerkmale vom Talsand nicht feststellen, doch kommen z. B. in der Umgebung von Edewecht (südlich des Zwischenahner Sees) in Höhenlagen, in denen bereits geschiebeführende Ablagerungen zu Tage ausgehen, noch steinfreie Decksande vor, die man wohl als deckenförmige Flugsande deuten kann (vergl. auch Schucht 1912).

Im östlichen Teil der Meppen-Nienburger Geest, also zwischen Hunte und Weser, werden die Dünen wesentlich seltener. Verhältnismäßig verbreitet sind sie noch auf dem östlichen Ufer der Hunte, z. B. nördlich von Dötlingen, bei Wildeshausen und weiter südlich bei Barnstorf. Außerdem finden sie sich in der Umgebung des oben beschriebenen Brettorfer Flugsandgebietes bis etwa in die Gegend der Delme. Kleinere flache Dünen sieht man auch in der Umgebung des von Süden auf die Geest übergreifenden Wietingsmoores östlich von Barnstorf. Vielleicht sind hier Flugsande aus dem jetzt vom Moore bedeckten Gelände ausgeblasen worden. Die übrigen Dünen halten sich ausschließlich an die von der Barenburger Aue durchflossenen Urstromtalniederungen, wo sie besonders in der unmittelbaren Umgebung des Flusses selbst häufiger sind und von dort aus gelegentlich auf die randliche Geest (z. B. bei Deblinghausen unweit Steyerberg) übertreten. Außerdem finden sich Dünen in beschränktem Umfange am Nordrande der Syker Geest gegen das Weser-Urstromtal südlich von Bremen. Sie sind hier wohl ausschließlich auf menschliche Einflüsse zurückzuführen.

Ob die Verbreitung der deckenförmigen Flugsande in der Wildeshausen-Nienburger Geest wesentlich geringer ist als westlich der Hunte, ist mangels ausreichender Untersuchungen nicht sicher zu entscheiden. Man muß in Betracht ziehen, daß schon ein sehr wesentlicher Teil dieses Gebietes durch das Syker Flottsandgebiet eingenommen wird, dessen Ränder von Flugsanddecken von größerer oder geringerer Breite umsäumt werden (Dewers 1932). Trennen wir noch den Raum zwischen Hunte und Delme ab, in dem das Brettorfer Flugsandgebiet liegt, so bleibt nur noch ein mäßig großes Areal übrig, welches, nach gelegentlichen orientierenden Begehungen zu urteilen, meist geschiebeführendes Diluvium an der Oberfläche erkennen läßt, also im wesentlichen arm an Flugsanden sein dürfte.

Aus dem Gebiet zwischen Unterweser und Unterelbe liegen Angaben über die Dünenverbreitung von O. Wilckens (1921) vor, aus denen hervorgeht, daß sich hier die Dünen eng an die größeren Flüsse, Weser, Wümme und Oste, halten und ganz vorwiegend auf deren Ostufer liegen. Auch die Aller wird auf ihrem Nordostufer von einer mehr oder weniger geschlossenen Dünenlandschaft begleitet. Dagegen scheint die Geest sowohl zwischen Weser und Unterelbe als auch in der Lüneburger Heide verhältnismäßig arm an Dünen zu sein. Immerhin finden sich abgeflachte und stark podsolierte Dünen z. B. auf der Garlstedter Heide bei Osterholz-Scharmbeck und anscheinend jüngere im Naturschutzpark am Wilseder Berg im Gebiet von Wehlen, Ehrhorn, Heimbuch und Einem (Stoller 1918, S. 162). Beide letztgenannten Oertlichkeiten liegen weitab von größeren Flüssen.

Ueber die Verbreitung von deckenförmigen Flugsanden östlich der Weser ist bisher nichts bekannt geworden.

Bezüglich der Herkunft des Materials liegen die Dinge nicht eindeutig. In Ostfriesland ist der nach Südwesten, also nach der Ems- und Ledaniederung, gerichtete Hang der Geest weitaus am stärksten von Flugsanden überkleidet. Man könnte also leicht auf den Gedanken kommen, daß die Talsande dieser Niederungen das Ursprungsmaterial darstellen. Im Hümmling aber, der ja zur Ems und Hase eine ganz ähnliche Lage hat wie der südwestliche Teil der ostfriesischen Geest zur Ems und Leda, lassen sich solche Zusammenhänge vorläufig nicht nachweisen und dürften auch, wenn überhaupt, so doch nur in sehr geringem Maße bestehen. Wildvang ist (1935) daher auch nicht auf diese Deutung verfallen, sondern meint, daß das Ausgangsmaterial in den Geschiebedecksanden zu suchen ist, die als obere Verwitterungskrume (nach seiner Ansicht als ursprüngliches Ausspülungsprodukt der Grundmoräne, was wegen des hohen Alters und der damit verbundenen Abtragungsvorgänge unwahrscheinlich ist) den liegenden Geschiebelehm bedecken. Sie sollen an den Hängen der flachen Talungen bei starken Niederschlägen und Schneeschmelze während eines eiszeitlichen Klimas ausgewaschen und dann aus den Tälern heraus durch den Wind verbreitet worden sein. Das Fehlen auf dem gegenüberliegenden nordöstlichen Hang des ostfriesisch-nordoldenburgischen Geestrückens erklärt er dadurch, daß hier fließendes Wasser und Wind in der gleichen Himmelsrichtung wirkten und so alle ausgespülten Sande mit vereinten Kräften in das Weser-Urstromtal abführten, während im anderen Falle die vom Wasser nach Südwesten verfrachteten Sande vom Winde in nahezu entgegengesetzter Richtung transportiert wurden und dadurch als Flugsande im Lande verblieben. Dieser Gedankengang ist recht ansprechend und mag im vorliegenden Falle auch bis zu einem gewissen Grade zutreffen, er reicht aber zu einer allgemeinen Erklärung nicht aus und zwar deswegen nicht, weil die Beziehungen der Flugsande zu den kleinen hier in Frage kommenden Flüssen und Bächen nicht klar genug hervortreten. Da Flugsande die Orte ihrer Entstehung nur langsam zu verlassen pflegen, also nur eine geringe Wanderungsgeschwindigkeit haben, so müßten sie sich m. E. deutlicher an die Talrinnen anschließen, oder, wenn man eine sehr lange Dauer der Bewegung annimmt, wenigstens in der Nähe ihrer Ausgangsorte mächtiger sein als weiter davon entfernt. Wildvang glaubt ja solche Zusammenhänge auch bemerkt zu haben und spricht von Sandwällen, die die Täler begleiten. Wenn zwei Täler zusammenliegen, sollen sich je zwei Sandwälle zu einem einzigen zusammenschließen. Dann müßten ja aber die beiden verschmelzenden Wälle durch entgegengesetzte Winde erzeugt sein, da der eine auf dem

westlichen, der andere auf dem östlichen Ufer des betreffenden Baches liegen würde, was sich mit den auch von Wildvang angenommenen vorherrschenden Westwinden nicht recht verträgt. Ich habe solche Zusammenhänge nirgends mit Sicherheit feststellen können. Man findet im Gegenteil häufig ein Auskeilen mit Annäherung an die Tälchen als Folge eines hier stattgehabten Abtragungsvorganges. Es wird wahrscheinlich so gewesen sein, daß neben den Flußtälern noch andere Sandlieferanten in Betracht kommen und das sind diejenigen erheblichen Flächen der Geest, die unmittelbar an der Oberfläche entweder stark verwitterten Geschiebedecksand oder noch besser Schmelzwassersande führen. Ob diese Flächen einmal eine Geschiebelehmdecke besessen haben oder nicht ist ohne Belang. Auf alle Fälle zeigen z. B. im Hümmling gerade diese Gebiete die schönsten Steinsohlen als Zeichen dafür, daß hier Abtragungen durch den Wind stattgefunden haben und wenn man die heute noch in Umbildung befindlichen Windrisse und Windmulden betrachtet, so stellt man leicht fest, daß sie an diesen entblößten Stellen tiefer liegt als an den noch durch die Vegetation geschützten Rändern, daß also die unterliegenden Sande trotz der Steinsohle der Deflation anheimgefallen sind. Sie müssen daher zu einer Zeit, als die Steinsohle noch nicht die jetzige Geschlossenheit erreicht hatte, noch mehr als Materiallieferanten für Flugsande gedient haben. Auf der Oberfläche von Geschiebelehm pflegen die Steinsohlen zwar nicht zu fehlen, sie sind jedoch auch unter der schützenden Decke von Flugsanden nicht so deutlich ausgebildet. Man kann wohl daraus schließen, daß Geschiebelehm und dessen Verwitterungsdecken für den Wind allein schwerer zugänglich waren als die lockeren, tonfreien Schmelzwassersande.

Aus einer genaueren Durchkartierung über größere Flächen darf man sich in Zukunft wohl einen besseren Einblick in die Herkunft der deckenförmigen Flugsande versprechen. Vor allem müßte auch dabei auf Verschiedenheiten in der Körnung geachtet werden, da bei der Fortwanderung des Sandes vom Ursprungsort eine Saigerung nach der Korngröße stattfinden muß, infolge der geringeren Wanderungsgeschwindigkeit der größeren Körner. Gröberes Material deutet also auf größere Nähe zur Ursprungsstelle hin. Leider nehmen solche Untersuchungen derartige Zeiträume in Anspruch, daß wir ihre Ausführung in absehbarer Zeit kaum erwarten dürfen.

Wie aus den Angaben über die Verteilung der Dünen hervorgeht, ist ein Zusammenhang zwischen ihnen und den kleinen Geestflüssen nicht testzustellen. Sie sind offenbar überall entstanden, wo flugfähige Sande vorhanden waren und zwar dürfte für ihr Entstehen der Mensch schon seit sehr langen Zeiten die Verantwortung tragen, indem er die schützende Pflanzendecke zerstörte. So werden

sowohl deckenförmige Flugsande als auch fluvioglaziale Sande zu den verschiedensten Zeiten in Bewegung gesetzt worden sein. Die veränderten klimatischen Verhältnisse, der damit ebenfalls veränderte Pflanzenwuchs und die örtlich begrenzten Räume dieser posthumen Verwehungen führten dann zu der Form der Dünen. Daß die Dünen in den Urstromtälern oder an deren unmittelbaren Rändern ihr Material aus den Talsanden bezogen, ist selbstverständlich. Auch hier dürfte für ihre Verteilung der Mensch in erheblichem Maße verantwortlich zu machen sein.

Ueber die Möglichkeiten einer Altersbestimmung der Flugsande.

1. **Deckenförmige Flugsande.** Wie ich bereits früher (1932) angegeben habe und auch durch die hier geschilderten Untersuchungen wieder bestätigt fand, bestehen besonders im Gebiet südlich und südöstlich von Cloppenburg die engsten räumlichen Beziehungen zwischen dem als Löß zu deutenden Flottsanden und dem deckenförmigen Flugsand. Intensive Verzahnungen von Flottsand und Flugsand sind in den randlichen Teilen des Flottsandgebietes bei Cloppenburg fast die Regel. Wie die Karte zeigt, ziehen sich die deckenförmigen Flugsande vom Flottsandgebiet beginnend über den westlichen Rand des Meßtischblattes Cloppenburg hinaus, wo ich sie bis Molbergen verfolgte. Sie sind aller Wahrscheinlichkeit nach auch in dem Gebiet zwischen Molbergen und Werlte noch weiter verbreitet. Auch am Rande der übrigen von mir 1932 beschriebenen Flottsandgebiete finden sich immer alle Uebergänge zu deckenförmigen Flugsanden, doch scheinen diese gewöhnlich keine so bedeutende Ausdehnung zu haben. Leider fehlen hier noch genauere Untersuchungen. Auf alle Fälle steht fest, daß während der Bildung der Flottsande auch Ablagerung von Flugsanden stattgefunden hat, daß also zum mindesten ein wesentlicher Teil der in Nordwestdeutschland nachgewiesenen deckenförmigen Flugsande mit den Flottsanden gleichaltrig ist.

Ueber das Alter des Lösses besteht eine umfangreiche Literatur, die hier nicht im einzelnen referiert werden kann (siehe bei Soergel 1919, Woldstedt 1929, Grahmann 1932). Ich schließe mich, wie auch Woldstedt und Grahmann, der Ansicht Soergels an, daß der norddeutsche Löß im wesentlichen während des Höhepunktes der Weichselvereisung (Brandenburger Stadium) zur Ablagerung gekommen ist, da diese Zeit aller Voraussicht nach eine

gewisse Trockenheit des Klimas mit häufigen, von der Antizyklone über dem Inlandeis herrührenden föhnartigen NO- bis O-Winden hatte, das sind Verhältnisse, die zu unseren Auffassungen über die für Staubverwehungen günstigsten physikalischen Bedingungen am besten passen.

Wenn wir von dieser Voraussetzung ausgehen, so gewinnt die schon früher von verschiedenen Verfassern geäußerte Ansicht eine große Wahrscheinlichkeit, daß auch der Flottsand, der seiner petrographischen Beschaffenheit und Lagerung nach dem Löß sehr nahe steht, mit dem Löß gleichaltrig ist. Nun wissen wir allerdings, daß stellenweise auch während der späten Abschmelzphasen der Weichseleiszeit noch lößartige Bildungen entstanden sind. Im nordischen Vereisungsgebiet finden sich solche Ablagerungen in Norwegen (Bjørlykke 1918) und in Schweden (Hörner 1927). Die von Hörner gegebene mechanische Analyse stimmt sehr mit den Flottsanden Nordwestdeutschlands überein. Aber es handelt sich nur um kleine Vorkommen und es ist zweifellos, daß z. B. der schwedische „Flygmo" von Brattforsheden (Värmland) in finiglazialer Zeit in großer Nähe des Eisrandes und unter den damit verbundenen besonderen Wind- und Klimaverhältnissen entstanden ist, ebenso wie das norwegische Vorkommen bei Romerike und die Vorkommen in der Schweiz. Es ist aber kein triftiger Grund dafür zu finden, daß die nordwestdeutschen Flottande etwa auch erst in der finiglazialen Abschmelzphase entstanden sein sollen, da sie mit dem restlichen Teile des damals bereits auf die nördlicheren Gegenden Skandinaviens beschränkten Inlandeises in gar keiner Beziehung gestanden haben können. Aus dem ganzen Gebiet südlich der Ostsee, welches vom Inlandeise der Weichselvereisung ehedem bedeckt war, sind uns keine Flottsand- oder Lößablagerungen bekannt geworden und es ist auch ziemlich ausgeschlossen, daß man sie bisher übersehen hat, ebensowenig, wie das bei den nordwestdeutschen Vorkommen geschehen ist. Die Flottsandablagerungen von Damme und Bersenbrück, die von den Lössen des Wiehengebirges nur 20 km, sowie die von Syke und Goldenstedt, die nur 50—60 km davon entfernt sind, stehen zweifelsohne diesen Lössen auch bezüglich ihres Alters weit näher als den geringfügigen ähnlichen Ablagerungen Schwedens und Norwegens, von denen sie räumlich durch eine so große lößfreie Zone getrennt sind. Löß und Flottsande und die mit den Flottsanden verzahnten deckenförmigen Flugsande sind also aller Wahrscheinlichkeit nach im großen ganzen gleichaltrig und während der Höhepunkte der Weichseleiszeit entstanden.

Es ist ja auch kaum denkbar, daß in einer Zeit, wo so ungeheure Mengen mineralischen Staubes vom Winde durch die Luft

bewegt und als Löß zur Ablagerung gebracht wurden, nicht auch die ausgedehnten Tal- und Schmelzwassersande in Bewegung gesetzt worden wären. Die Hauptbedingung für eine Verwehung oberflächlich anstehender Sande ist ja eine hinreichende Unterdrückung des Pflanzenwuchses. Ohne Befestigung durch die Vegetation selbst oder durch die von ihr herrührenden bodenbildenden Humusstoffe würde auch bei unserem heutigen Klima eine lebhafte Flugsandbildung vor sich gehen, wie die starken Dünenbildungen zeigen, die z. B. im Hümmling noch bis in die neueste Zeit hinein andauerten. Ein besonders trockenes Klima ist für Flugsandverwehungen allein also gar nicht notwendig, sagt doch z. B. Chudeau (1921) von den Dünen in der Gascogne, daß an ihnen die stärksten Bewegungen bei Weststürmen stattfinden und zwar auch dann, wenn sie von Regen begleitet werden. Für den Löß wird man allerdings annehmen müssen, daß seine Verwehung nur während trockener Perioden stattfand. Diese Trockenheit muß aber auch der Bewegung der Sandkörner förderlich gewesen sein. Die Verzahnung der Flottsande (und auch z. B. des Wiehengebirgslösses, wenn auch nur örtlich) mit Flugsanden beweist das direkt. Außerdem ist ja bekannt, daß fast jeder Löß auch Sandkörner über 0,1 mm Durchmesser enthält. Das deutet mit Sicherheit darauf hin, daß wir zur Lößbildungszeit Winde von genügender Stärke hatten, um Sand zu bewegen. Zusammenfassend können wir also sagen, daß sowohl theoretische Ueberlegungen als auch die tatsächlichen Befunde beweisen, daß während der Lößbildungszeit eine ausgedehnte Flugsandbildung stattgefunden hat.

Eine für die Beurteilung der angeschnittenen Fragen wichtige Erscheinung ist die in Nordwestdeutschland (und auch darüber hinaus) weitverbreitete Steinsohle, die überall dort anzutreffen ist, wo lockere steinführende Ablagerungen an der Oberfläche auftreten. Am deutlichsten finden wir sie über den eiszeitlichen Schmelzwassersanden der Geest entwickelt, wo sie oft und auf ausgedehnten Flächen eine wahre, nur aus einer Steinschicht bestehende Pflasterung des sandigen Untergrundes darstellt. Auch über Geschiebelehm ist sie, wenn auch häufig weniger deutlich, zu beobachten, besonders wenn die Oberfläche desselben durch nachträgliche Flott- oder Flugsandauflagerung vor der Umlagerung durch den Menschen bewahrt blieb. Man übertreibt nicht, wenn man sagt, daß über sandigen, noch nicht durch Beackerung beeinflußten glazigenen oder fluvioglazialen Ablagerungen der Geest die Steinsohle die regional verbreitete Bedeckung darstellt. Ueber ihr liegt dann meist nur noch die 10—30 cm mächtige „Flugsandhaut“. Windkanter kommen in dieser Steinsohle nur in exponierter Lage, z. B. auf Kuppen, ausgesprochen häufig vor, sonst sind sie seltener. Es liegt das offenbar daran, daß, wie auch E. Kaiser (1926) bemerkt, in Abblasungsgebieten,

durch die der Sand nur hindurchgeführt wird, die Korrasion stärker ist als in Akkumulationsgebieten, wo die Steine längere Zeiträume hindurch durch Sanddecken oder Dünen geschützt werden. Die Steinsohle, die ja den Flottsand und den Löß in größeren Gebieten des übrigen Deutschland unterlagert, stellt eine Lesedecke dar, die infolge der Ausblasung der feineren Bestandteile durch den Wind entstanden ist; sie entspricht den ähnlichen Erscheinungen in der Hamada- und Sserir-Wüste. Da der Löß vielfach auf einer Steinsohle aufliegt und außerdem wohl kaum als Schleifmaterial in Frage kommt, da er nach verbreiteter Auffassung durch eine Grasvegetation aufgefangen und abgelagert sein soll, so muß also schon vor der endgültigen Lößanhäufung Flugsand die Windkanter unter dem Löß erzeugt haben, und diese Flugsande werden dann doch wohl auch an geeigneten Stellen zur Ablagerung gekommen sein. Die Tatsache der regionalen Verbreitung der Steinsohle und ihre ganz gleichartigen Lagerungsbeziehungen sowohl zum deckenförmigen Flugsande als auch zum Löß (Flottsand) ist ein weiterer Beweis für die tiefgreifenden Wirkungen des Windes während der Zeit der Lößablagerung, also während der Höhepunkte der Weichseleiszeit. Da nicht anzunehmen ist, daß während der Zeit des Eisrückzuges die Bedingungen für regional verbreitete Windwirkungen besser werden konnten, so ist die Steinsohle in Verbindung mit den geschilderten Beziehungen von Löß-Flottsand und deckenförmigem Flugsand zueinander auch gleichzeitig ein Beweis für das hocheiszeitliche Alter der Flugsande.

Bezüglich der Frage, aus welcher Richtung die Winde kamen, denen die Flugsanddecken ihre Ablagerung verdanken, ist daran zu erinnern, daß (Dewers 1932) die Beziehungen der Flugsande zu den Flottsanden in Nordwestdeutschland keinen deutlichen Hinweis darauf erkennen lassen, daß östliche oder nordöstliche Winde während der Zeit der Lößablagerung in besonderem Maße vorgeherrscht haben. Es findet sich auch da, wo die Flottsande an größere, mit Sanden ausgefüllte Talungen grenzen, keine gesetzmäßige Verstärkung des Sandgehaltes, die über das in der sonstigen Umgebung der Flottsandgebiete übliche Maß hinausgehen würde. Auch zwischen die großen Talsandgebiete und die westlich davon liegenden Flottsande (z. B. beim Syker und Harburger Flottsandgebiet) eingeschaltete Flugsandzonen, wie man sie vielleicht doch erwarten könnte, wenn die östlichen Winde die gesamte Sandbewegung der damaligen Zeit entscheidend beherrscht hätten, sind — in Nordwestdeutschland wenigstens — nicht zu erkennen. Ferner spricht die ausgesprochene Bevorzugung der nach Osten gerichteten Hänge als Ablagerungsplätze für den Löß (Ibbenbürener Bergplatte, Fürstenauer und Dammer Berge, Stemmer Berg bei Lemförde, Harburger Berge) durchaus gegen ein Vorherrschen östlicher Winde. In dieser Hin-

sicht liegen die Dinge in Nordwestdeutschland ganz ähnlich wie im Rheinlande (Breddin 1925, 1927) und in Thüringen (Zimmermann 1896, Lösche 1930). Zwar betrachte auch ich die vom Inlandeis herunterkommenden antizyklonalen, föhnartigen Winde als die eigentlichen Lößbringer, aber sie waren durchaus nicht vorherrschend, sondern die von ihnen angebrachten Staubmassen konnten sich nur auf den vor den Westwinden geschützten Osthängen der Erhebungen halten. Wer sich einmal die Mühe gemacht hat, an einem stürmischen Tage den Unterschied der Wind- und Leeseite einer kahlen Heidekuppe bezüglich der Annehmlichkeit des Aufenthaltes miteinander zu vergleichen, der wird sich nicht recht vorstellen können, weshalb sich gerade an der Windseite die lößfangenden Pflanzen mit Vorliebe angesiedelt haben sollten und der leicht bewegliche Löß sich niedergelassen haben sollte. Auch die Bewegung des Sandes bei der Barchanbildung, die immer von der Luvseite fort zur windgeschützten Leeseite gerichtet ist, sowie die Ablagerungsbedingungen bei Schneedriften (Enquist 1916) weisen durchaus in dieselbe Richtung. Außerdem zeigen die Flottsandgebiete mit ihrem typischen Sandsaum, daß es sich nicht um Reste handelt, die einer nachträglichen Abtragung entgangen sind, sondern daß sie von ihrer Ablagerungszeit her keine größere Ausdehnung gehabt haben.

Wenn wir die auf nordöstliche und östliche Winde hinweisende Verbreitung des Lösses in Einklang bringen wollen mit der auf vorherrschende Westwinde hinweisenden Verteilung, so kann das m. E. nicht in der Weise geschehen, wie es anscheinend Woldstedt (Kaehne 1935) in einem Vortrag vor der Gesellschaft für Erdkunde in Berlin getan hat. Nach dem kurzen Referat zu urteilen, soll der Löß während einer Zeit vorherrschender östlicher Winde abgelagert worden sein, um dann nachträglich während einer viel späteren Westwindphase der Nacheiszeit auf die jetzigen Verbreitungsgebiete beschränkt bezw. transportiert zu werden. Nach meiner Ansicht hat sich die Sache so zugetragen, daß während der Zeit der Ablagerung des Lösses durch mehr oder weniger häufig vom Inlandeis vorstoßende antizyklonale Winde bereits eine Beschränkung auf die heutigen Lagen durch die vorherrschenden Westwinde eintrat. Dabei kommt es nicht auf ein Vorherrschen der Westwinde bezügl. der Dauer an, sondern vielmehr auf ein solches in Hinsicht auf die Stärke derselben. Wenigere heftige westliche Winde, wie sie die wandernden Zyklone mit sich bringen, können die Wirkung schwächerer und häufigerer östlicher Winde durchaus verwischen.

Ich halte es auch nicht für angängig anzunehmen, daß in der „Nacheiszeit, als Norddeutschland schon eisfrei, aber noch wenig

mit Vegetation bedeckt war" (Kaehne 1935), eine Bewegung des lange Zeit vorher abgelagerten Lösses durch den Wind noch möglich gewesen sein könnte. Der Löß bezw. Flottsand hat bekanntlich infolge der günstigen Ausmaße der Kapillaren eine vorzügliche Haftfähigkeit für das Bodenwasser und trocknet selbst in dürren Sommern an der Oberfläche nur sehr wenig aus. Außerdem darf man sich die Pflanzenwelt während dieser spätglazialen Phase unter der nunmehr unbestrittenen Vorherrschaft der Westwinde auch nicht gar zu wüstenartig vorstellen. Sie wird an günstigen Stellen schon recht dicht gewesen sein, und wenn dieses der Fall war, dann muß gerade der bodenkundlich begünstigte Löß von der Vegetation am meisten vor Deflation geschützt worden sein. Auch die nachträgliche Abtragung etwa durch Erosion der Niederschlagswässer mußte dadurch verhindert werden. Außerdem lassen neuere pollenanalytische Untersuchungen (Zusammenfassung bei Firbas 1935) darauf schließen, daß der Waldwuchs in der Späteiszeit bedeutend früher eintrat, als bisher angenommen wurde.

Bei den deckenförmigen Flugsanden liegen, da sie leichter austrocknen, die Verhältnisse natürlich wesentlich anders. Aber trotzdem bleibt zu beachten, daß die deckenförmigen Flugsande der Gegend südlich Cloppenburg und in der Umgebung der sonstigen Flottsandgebiete meist merkwürdig wenig umlagert wurden. Ein Ueberwehen von Flottsanden durch später wieder mobilisierte randliche Flugsande fehlt z. B. nach meinen Erfahrungen vollständig.

2. **Dünen.** Aus der regionalen Verbreitung der Steinsohle, aus der fast ebenso großen der deckenförmigen Flugsande einschließlich der Flugsandhäute und aus ihrer seitlichen Verknüpfung mit den Flottsanden dürfen wir den gut gesicherten Schluß ziehen, daß zur Zeit der Lößbildung die Bodenbedeckung durch Pflanzen genügend gering war, um weiträumige Flugsandbewegungen zuzulassen. Es ist nun sehr auffällig, daß — wie bereits hervorgehoben wurde — ziemlich ausgedehnte Gebiete vorhanden sind, in denen sich wohl Flugsanddecken aber keine Dünen entwickelt haben[1]). Man kommt daher unwillkürlich (siehe auch Wildvang 1935) auf den Gedanken, daß zur Zeit der Ablagerung dieser Flugsanddecken die Bedingungen zur Bildung hoher Dünen nicht günstig gewesen sind. Als Gründe könnte man anführen: Verwaschung durch Niederschläge, Fehlen der typischen dünenbildenden Gräser (Strandhafer!), sonstige zu gering-

[1]) Flache und dünne Flugsanddecken kommen offenbar auch in den Wüsten vor, doch werden sie in den Arbeiten günstigenfalls nur kurz erwähnt (z. B. bei Uhden, 1932). Die Aufmerksamkeit der Forscher kommt fast ausschließlich den Dünen zugute, so daß über die Daseinsbedingungen der Flugsanddecken besonders auch im Hinblick auf diejenigen der Dünen bisher m. W. nichts Entscheidendes bekannt geworden ist.

fügige Vegetation, zu geringe Sandmenge infolge schnell sich bildender Steinsohle und damit verbundene schnelle Erschöpfung des Sandmaterials eventueller ursprünglicher Dünen beim Fortwandern nach Osten. Diese Einflüsse können sich natürlich auch in Verbindung miteinander bemerkbar gemacht haben. Es ist nun die Frage, ob diese ungünstigen Bedingungen nur örtlich wirksam waren, also etwa nur in den oben beschriebenen Gebieten oder ob sie zur Lößbildungszeit eine Dünenbildung in ganz Norddeutschland verhindert haben. Diese Frage ist um so schwerer zu beantworten, als z. B. beim Fehlen dünenbildender Gräser und dem Vorhandensein zu kleiner Sandmengen keine Dünen entstehen, während bei großen Sandmengen auch ohne Vegetation — wie wir aus den Wüsten wissen — sich große Dünenfelder bilden können (z. B. in der Tschertschenwüste; Sven Hedin 1904—1905). Es macht sich hier eben die mißliche Tatsache bemerkbar, daß wir trotz vieler Bemühungen und Teilerfolge über die Grundlagen der Dünenbildung unter den verschiedenen dabei wirksamen äußeren Umständen noch immer nicht völlig im klaren sind. Auch die während der letzten Eiszeit wirksamen Klimafaktoren kennen wir nur unvollkommen, ja wir wollen sie ja gerade aus den geologischen Tatsachen (Flugsand, Dünen, Löß usw.) erschließen!

Der größte Teil der ostdeutschen Dünen, z. B. diejenigen in der Warthe-Netze-Niederung (Lehmann 1907, Solger 1910, I. Högbom 1923), sind erst entstanden, als das Inlandeis der Weichselvereisung seinen Höchststand überschritten und die betreffenden Gebiete freigegeben hatte. Da innerhalb des vom letzten Inlandeise während seiner größten Ausdehnung (Brandenburger Stadium) bedeckten Gebietes kein Löß oder Flottsand abgelagert wurde, so müssen beide älter sein als die erwähnten Dünen. Dasselbe könnte daher auch für Nordwestdeutschland gelten. Es ist aber durchaus nicht nötig anzunehmen, wie es z. B. I. Högbom (1923) tut, daß die Dünenbildung in den ostdeutschen Urstromtälern erst im Finiglazial vor sich gegangen sein soll, also gleichzeitig mit den mittelschwedischen Dünenfeldern, denn zu dieser Zeit hatte das Klima bereits die entscheidende Wendung zur Wärmezeit genommen und selbst dem weichenden schwedischen Inlandeis folgte keine Tundra mehr sondern Wald. Die Zeit, die dem Winde hier zur Dünenbildung zur Verfügung stand, währte also nur solange, wie die Vegetation sich noch nicht des soeben erst vom Eise und vom Meere freigegebenen Schmelzwasserdeltas bemächtigt hatte. Es ist also durchaus möglich, daß nicht der Zeitpunkt der Bildung der schwedischen und ostdeutschen Binnendünen derselbe war, sondern nur die Situation, d. h. daß sich die ostdeutschen Binnendünen bilden konnten, sobald das Eis oder seine Schmelzwässer die betreffenden Gebiete (meist Urstromtäler) freigegeben hatten. Daraus würde sich

z. B. ergeben, daß die Dünen des Baruther Urstromtales wesentlich älter sein können als die des Thorn-Eberswalder Urstromtales, ja sie könnten in die Bildungszeit des Lösses hineinreichen.

Bisher sind sie aus dem Grunde für verhältnismäßig jung gehalten worden, weil man die Antizyklone über dem Eise und die damit verbundenen östlichen bis nordöstlichen Winde geradezu für alleinherrschend wenigstens für die schneefreie Zeit des Sommers gehalten hat und daher die auf Westwinde zurückzuführenden Dünen (ich teile die Ansichten von Enquist 1932 nicht; siehe auch I. Högbom 1932) in den früheren Phasen der Weichseleiszeit kein Unterkommen finden konnten. Das Vorkommen einer Antizyklone über dem Inlandeise ist zwar physikalisch sehr einleuchtend und dürfte auch wohl in mehr oder weniger hohem Grade bestanden haben. Wir haben aber keine Anhaltspunkte über die Stärke, die Häufigkeit und die Reichweite der von ihr ausgehenden föhnartigen Winde. Die einzige die Annahme bestätigende tatsächliche Feststellung liegt ja in der Verbreitung des Lösses, und auch diese ist, wie oben gezeigt wurde, besser durch teilweise Zuhilfenahme kräftiger Westwinde zu deuten. Es würde daher bei dem heutigen Stande unseres Wissens durchaus verfehlt sein, die Möglichkeit, daß Dünen sich in Norddeutschland schon sehr früh, vielleicht zum kleinen Teil bereits während der Lößbildungszeit gebildet haben können, dogmatisch aus der Diskussion auszuschließen (siehe auch bei Hörner 1927). Außerdem ist bemerkenswert, daß Firbas neuerdings (1935) in einer ausführlichen kritischen Betrachtung über das späteiszeitliche Klima zu dem Ergebnis kommt, daß sich für eine besonders hervortretende Kontinentalität während der früheren Phasen der Spätglazialzeit keine Anzeichen aus der Vegetationsgeschichte herauslesen lassen. Für die Auffassung, daß im Finiglazial noch einmal durch Trockenheit des Klimas besonders günstige Bedingungen für die Dünenbildung geherrscht haben sollen, ist also kaum Raum vorhanden.

Wenn wir nach diesem Exkurs zu den nordwestdeutschen Dünen zurückkehren, so liegen hier die Grundlagen für eine richtige Alterseinstufung noch ungünstiger als in Ostdeutschland. Da unser Gebiet vom Inlandeise der letzten Vereisung nicht bedeckt war, so fehlt eine rückwärtige Grenze für die Dünenbildung überhaupt. Außerdem sind die Formen der Dünen im allgemeinen wenig charakteristisch, meist unregelmäßig kuppig, wenn auch hier und da Parabeldünen auftreten, die auf westliche Winde als Erzeuger hinweisen. Die mehr oder weniger starke Podsolierung der Oberfläche kann auch nur ganz ungefähre Anhaltspunkte bieten, solange wir über die Zeitdauer dieses Vorganges nicht besser unterrichtet sind. Wir können lediglich sagen, daß schwach oder gar nicht podsolierte Dünen jüngeren Datums sein müssen. Dieses letztgenannte

Kriterium anzuwenden findet man sehr oft Gelegenheit und hat daher Grund zu der Annahme, daß eine wohl in den meisten Fällen durch die menschliche Wirtschaft veranlaßte Dünenbildung noch bis in die neueste Zeit hinein stattgefunden hat und zwar überall da, wo flugfähige Sande an der Oberfläche anstehen. Monographische Bearbeitungen nordwestdeutscher Dünenfelder stehen noch gänzlich aus und müssen abgewartet werden, ehe man hoffen kann, die Frage der Altersbestimmung mit Erfolg in Angriff nehmen zu können. Die gesteigerte Tätigkeit auf vorgeschichtlichem Gebiete kann die hier angeschnittenen Probleme sehr günstig beeinflussen. Eine Zusammenarbeit des Vorgeschichtlers mit dem Geologen ist also im höchsten Maße wünschenswert.

3. **Die Bedeutung der Pollenanalyse für die Altersbestimmung der Flugsande.** Die Schwierigkeiten, die sich der Altersbestimmung eiszeitlicher und z. T. auch nacheiszeitlicher Ablagerungen entgegenstellen, beruhen zum großen Teil auf dem Mangel an Leitfossilien. Es ist daher auch von Seiten des Geologen zu begrüßen, wenn in den letzten Jahren versucht wurde, die Pollenanalyse auf mineralische Ablagerungen zu übertragen, nachdem Assarsson und Granlund (1924) auf die Möglichkeit der Beseitigung kieselsäurehaltiger Gesteinstrümmer durch Flußsäure ohne erhebliche Beschädigung der Pollen hingewiesen hatten. So sind durch Schubert (1933) und Ernst (1934) Pollenuntersuchungen im Marschklei ausgeführt worden und durch Beijerinck (1933 a—e, 1934), Schröder (1934) und Jonas (1934 a, b, 1935 a, b) solche in Sanden, die durchweg als Flugsande anzusprechen sind. Die Schlußfolgerungen, die Beijerinck und Jonas aus ihren Ergebnissen ziehen, weichen aber von den bisher für richtig gehaltenen bodenkundlichen Anschauungen so weit ab, daß eine Diskussion über die möglichen Fehlerquellen des pollenanalytischen Verfahrens unbedingt notwendig ist. Einige kritische Bemerkungen pollenanalytischer Art stammen von Florschütz (1934), während v. Bülow (1934) Einwendungen vom geologisch-bodenkundlichen Standpunkte aus geltend machte[1]).

Das grundsätzlich wichtigste Resultat Beijerinck's besteht in einer vollständigen Umdeutung des besonders unter Heidevegetation weitverbreiteten Podsolprofils. Der Humusortstein (= B-Horizont) ist nicht mehr der Illuvial-Horizont der modernen Bodenlehre, in dem sich die Humusstoffe aus der Oberfläche samt den aus dem Bleichsand (A-Horizont) ausgewaschenen Mineralstoffen (Eisenoxyd-

[1]) Während des Druckes dieser Arbeit wurde mir bekannt, daß auch J. W. van Dieren (Organogene Dünenbildung, Haag 1934) die Beijerinck'schen Ansichten wenigstens für die holländischen Küstendünen ablehnt.

hydrat, Tonerde, Kieselsäure, Phosphorsäure) angereichert haben, sondern er stellt die alte Oberfläche der eiszeitlichen Tundra dar. Der darüber liegende Bleichsand soll erst in der Nacheiszeit, und zwar im Atlantikum, darüber geweht sein. Die von v. Bülow gebrachten Einwendungen, denen ich mich durchaus anschließe, haben nicht vermocht, diese Anschauungen zu beseitigen. Jonas vertritt noch in allerneuster Zeit (1935 b) ganz die gleichen Anschauungen und vervollständigt sie noch dadurch, daß er den A_1-Horizont (= oberer humoser Teil des Bleichsandes) als subatlantisch ansieht und braungefärbte Sande unter Bleichsand, die bisher als besondere Ausbildung des B-Horizontes betrachtet wurden, als boreal.

Diese Ergebnisse stützen sich ganz ausschließlich auf pollenanalytische Untersuchungen. Eine Auseinandersetzung mit den auf zahlreichen chemischen Analysen aufgebauten Lehren der modernen Bodenkunde fehlt fast völlig. Es wird z. B. gar nicht versucht zu erklären, weshalb die im Atlantikum und im Subatlantikum aufgewehten Bleichsande so arm an Eisen, Tonerde und Phosphorsäure sind und sich gerade diese Stoffe, besonders die beiden letzteren vorwiegend im Ortstein wiederfinden. Die aus der Literatur bekannten Fälle von der Ausbildung eines Podsolprofils in den künstlichen Aufschüttungen auf Megalithgräbern oder bronzezeitlichen Hügelgräbern werden entweder nicht beachtet oder bestritten (Jonas 1935 b). Es wird auch gar nicht in Betracht gezogen, daß es in Nord- und Mittelschweden und auch in Finnland (Tamm 1920, Frosterus 1914) typische Podsolprofile in weiter Verbreitung gibt, d. h. auf Böden, die erst im Finiglazial eisfrei wurden und kein Tundraklima mehr erlebt haben, sondern auf denen sich sofort nach dem Rückzuge des Eises Birken- und Kiefernwälder ansiedelten und die Arten des Eichenmischwaldes bald hinterher kamen (Caldenius und Sandegren 1925, v. Post 1933, Sauramo 1929, Gams 1929). Außerdem hat O. Tamm (1920) auf eine Reihe von Fällen aufmerksam gemacht, in denen die ersten deutlichen Anzeichen von Bleichsand- und Orterdebildung auf nachweislich ganz jungen Böden (künstliche Aufschüttungen, frühere, trockengelegte Seeböden usw.) sich schon nach ca. 100 Jahren zeigten. Die nachweislich erst nach der Litorina-Senkung entstandenen „Braundünen“ an der Swine-Mündung sind kräftig podsoliert (Keilhack 1911) nnd haben doch keinerlei Tundraklima erlebt.

Es lassen sich aber aus den nordwestdeutschen Geestgebieten noch weitere geologische Gründe gegen die Beijerinck-Jonas'schen Ansichten anführen: In dem Profil Flugsandhaut-Steinsohle-Schmelzwassersand liegt die Steinsohle je nach der Dicke der Flugsandhaut entweder unter dem Ortstein (B_1-Horizont), in demselben

(was besonders häufig ist) oder über demselben in den unteren Lagen des Bleichsandes. Häufig kann man diese drei Fälle in ein und demselben Aufschluß beobachten. Dabei ist die Steinsohle ganz gradlinig und ungestört. Es ist klar, daß hier eine Bleichung in situ stattgefunden hat und daß nicht etwa der Bleichsand mitsamt der Steinsohle sich im Atlantikum oder einem Interstadial der Würm-Weichsel-Eiszeit aus der Luft auf den ehemaligen Tundraboden gesenkt hat. Weiterhin sieht man eine kräftige Podsolierung mit einwandfrei ausgebildetem Bleichsand und Humusortstein auch auf der Höhe von Kieskuppen, auf denen der fluvioglaziale Kies der Saalevereisung bis an die Oberfläche durchragt und gar kein Flugsand vorhanden ist. Auch dieser Bleichsand, besser „Bleichkies", ist also sicher nicht während des Atlantikums auf den Gipfel der Kuppe geweht worden. Jeder, der sich übrigens etwas eingehender mit Bodenkunde befaßt hat, weiß auch, daß ein ausgebleichter A-Horizont nicht nur in Flugsanden, sondern unter günstigen Bedingungen auch z. B. in Flottsand und Geschiebelehm vorkommen kann. Hier hat der Bleichsand, abgesehen von der Fortführung der Tonkolloide, genau dieselbe Körnung wie der liegende Ausgangsboden und auch der zugehörige B-Horizont läßt sich nachweisen, wenn auch in anderer Beschaffenheit. Es muß schließlich dem Geologen auch merkwürdig erscheinen, daß in einer Zeit dichter Vegetationsbedeckung, wie es doch das verhältnismäßig feuchtwarme Atlantikum darstellt, sich über weite Strecken ein auffallend gleichmäßig mächtiger Flugsand verbreitet haben soll, der bekanntlich nicht als Staub aus der Luft herabsinkt, sondern sich springend und rollend vorwärts bewegt und sich nur bei ganz starken Winden etwas höher in die Luft erhebt. Derartige Ablagerungen, wie wir sie ja in der Flugsandhaut tatsächlich vor uns haben, können nur aus einer Zeit mit lückenhafter Pflanzendecke stammen, wie sie zuletzt während des Höchststandes der Weichselvereisung bestanden hat. Die heutigen, durch künstliche Verletzung der Heidenarbe erzeugten kleineren oder größeren Verwehungen, haben immer nur beschränkte Ausdehnung und führen fast ausschließlich zu recht ungleichmäßigen Sandanhäufungen, mit Vorliebe zu kleineren und größeren Dünen, während an den verletzten Stellen die Steinsohle oft nackt zu Tage liegen bleibt.

Es steht also ganz außer Frage, daß die von Beijerinck und Jonas (übrigens auch schon von Forchhammer 1835, zit. n. Tamm 1920) vertretene Ansicht, daß Bleichsand und Ortstein zwei ganz voneinander unabhängige, verschiedenaltrige geologische Ablagerungen darstellen, falsch ist. Es handelt sich im Gegenteil um zwei voneinander abhängige Horizonte der klimatischen Bodenbildung im Sinne der modernen Bodenkunde derart, daß ein Teil der aus dem Bleichsand durch die Niederschlagswässer mit Unter-

stützung des sauren Humus ausgelaugten und ausgeschlämmten Mineralstoffe sich im Ortstein zusammen mit dem Humus aus hier nicht weiter zu erörternden Gründen festgesetzt hat. Der Ortstein kann dabei je nach der Beschaffenheit des Bodens, des Humus und der den letzteren erzeugenden Vegetation verschieden ausfallen, teils mehr eisenhaltig (Eisenortstein), teils mehr humushaltig (Humusortstein), teils locker (Orterde) und teils fest (Ortstein). Auf die Vielgestaltigkeit des Illuvial- oder B-Horizontes kann natürlich an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

Es soll dabei nicht geleugnet werden, wie ja auch schon v. Bülow (1934) bemerkt, daß rein örtlich infolge Verletzung der Pflanzennarbe eine Abblasung des lockeren Bleichsandes und eine spätere Ueberwehung mit jüngerem Flugsand stattfinden kann, der dann bei genügender Zeitdauer ebenfalls in Bleichsand verwandelt wird. Auch Jonas beschreibt ja Bleichsande, die von horizontalen Humusstreifen durchzogen sind. Diese Humusstreifen stellen eine frühere (meist künstliche) Oberfläche dar, die wieder schwach überweht und dann nach endgültiger Befestigung durch den neu sich bildenden Heide-Auflagehumus ausgebleicht wurde. Frisch aufgewehter Flugsand hat nicht die charakteristische Farbe des Bleichsandes, wie man an allen jüngeren Verwehungen erkennen kann.

Trotz der irrtümlichen Auslegung der Pollenanalysen durch Beijerinck und Jonas kommt den beiden Forschern doch das Verdienst zu, die Frage der Altersbestimmung von Flugsanden mit Hilfe der Pollenanalyse erstmalig energisch in Angriff genommen zu haben. Für die nahe Zukunft muß es nun als Hauptaufgabe betrachtet werden, die Fehlerquellen des Verfahrens kritisch zu überprüfen, um genau festzustellen, was die Pollenanalyse leisten kann und was sie nicht leisten kann. Das ist natürlich in der Hauptsache eine Angelegenheit der Pollenanalytiker selbst. Es sei aber im folgenden versucht, von der Seite des Geologen auf einige Tatsachen hinzuweisen, die der Sache dienlich sein könnten.

Die Lösung der zwischen den Lehren der Bodenkunde und den Pollenanalysen bestehenden vermeintlichen Gegensätze kann natürlich nur darin liegen, daß die Pollen sich nicht an primärer Lagerstätte befinden. Diese Möglichkeit zieht Jonas (1935 b) nur in solchen Fällen in Betracht, in denen Pollen von Erle und Linde im Ortstein vorkommen, wo sie nach seiner Anschauung nicht hingehören. Er glaubt, daß sie aus älteren Ablagerungen, also wohl aus einem früheren Interglazial oder Interstadial, umgelagert sind. Ob man den Pollen eine derartige Dauerhaftigkeit zutrauen kann, mögen die Pollenanalytiker entscheiden. Ich bin der Ansicht, daß man an eine andere Möglichkeit denken muß und zwar an ein Einwandern der Pollen von der Bodenoberfläche aus.

Dabei denke ich weniger an ein einfaches Hindurchschlämmen durch das Niederschlagswasser. Die Kapillaren zwischen den Sandkörnern sind zu diesem Zwecke wohl doch zu verschlungen und unregelmäßig im Querschnitt, um nicht sehr bald dichtgeschlämmt zu werden. Dagegen ist m. E. das Wurzelwerk der Pflanzen sehr wohl imstande, den Transport der Pollen in die Tiefe zu übernehmen. (Wie weit Tiere, etwa Insekten, in dem gleichen Sinne tätig sein können [Keilhack 1899], sei Entomologen zur Untersuchung empfohlen.)

Bei der Verwesung gröberer Wurzeln, z. B. von Birken, kann man beobachten (worauf mich Herr Dr. Tüxen, Hannover, aufmerksam machte), daß häufig die Rinde länger aushält als das Holz. Die lockeren Sandkörner des Bleichsandes rieseln geradezu durch derartige Röhren hindurch. In anderen Fällen kann man feststellen, daß das Holz z. B. von Kiefernwurzeln sehr ungleichmäßig zerfällt, so daß neben Resten der Rinde auch faserige Holzbestandteile übrigbleiben, zwischen denen sich von oben oder von den Seiten eingespülte oder hineingestürzte Sandkörner eingeklemmt vorfinden. Bekannt sind die von Ramann (1885), von Post (1913, zit. n. Tamm 1920), Keilhack (1911), Dewers (1930) beschriebenen Ortsteintüten, die sich wie eine Hülle um die Wurzeln herum ausgeschieden haben und oft einen Kern von Bleichsand umschließen, der aller Wahrscheinlichkeit nach von oben nachgefallen ist in dem Maße, wie die Wurzel verweste. Diese groben Wurzeln zeigen die Art, wie ich mir das Eindringen des Pollens in den Boden vorstelle, besonders drastisch. Für die Verteilung der Pollen aber spielen sie vielleicht noch nicht einmal eine so ausschlaggebende Rolle. Ich kann mir im Gegenteil wohl vorstellen, daß es gerade die unendlich vielen dünnen Heidewurzeln sind, die einen viel gleichmäßigeren Transport der Pollen in tiefere Horizonte bewirken. Sie sind zwar nur ein bis zwei Millimeter dick, doch genügt das durchaus, um bei der Verwesung Sandkörner herunterrieseln zu lassen, die nur einen Durchmesser von 0,1 bis höchstens 0,5 mm haben. Nun darf man sich natürlich auch hier nicht vorstellen, daß die Wurzeln nach dem Absterben der Pflanze mit einem Schlage fort sind und dann die Sandkörner mitsamt den daran haftenden Pollenkörnern wie durch ein glattes Rohr von oben direkt nach unten fallen können. Auch hier geht der Transport nach unten sehr langsam in vielen kleinen Stufen vor sich entsprechend dem allmählichen Zerfall der Wurzeln. Da die jungen Wurzeln sich beim Eindringen in den Boden Platz verschaffen müssen, ist es durchaus möglich, daß Sandkörner auch in der Richtung des geringsten Widerstandes, d. h. nach oben um ein geringes verschoben werden können. Daß aber die zahllosen Heidewurzeln im Laufe von Jahrtausenden genügend senkrecht orientierte Hohlräume hinterlassen haben müssen, um einen Abwärts-

transport von Pollenkörnern aus dem Auflagehumus sicherzustellen, scheint mir über jeden Zweifel erhaben zu sein; es ist eigentlich eine physikalische Notwendigkeit.

Das Eindringen der Heidewurzeln in den Boden geht sehr verschieden weit je nach dem Grundwasserstande und der mechanischen Durchlässigkeit desselben. Ich sah in genügend lockeren Böden Heidewurzeln von fast 1 m Länge. Außerdem ist ja die Calluna nicht die einzige Pflanzenart unserer Heiden, wir wissen auch nicht, wie die Vegetation während der letzten Eiszeit bezüglich der Wurzellänge, der Dichte des Bestandes und der Verteilung der Zwergsträucher wie Empetrum, Calluna, Erica, Vaccinium-Arten, Zwergbirke, Weiden usw. ausgesehen hat. Die Tiefe der überhaupt stattgehabten Durchwurzelung läßt sich in ursprünglich geschichteten Ablagerungen, wie Flugsanden, Schmelzwassersanden an der Mächtigkeit der Entschichtungszone erkennen. Nur bis zu dieser Tiefe können also Pollenkörner nachträglich in den Boden gelangt sein, alles was in den geschichteten Teilen sich befindet, ist schon bei der Bildung der betreffenden Ablagerungen in diese hineingeraten. In dieser Hinsicht sind also gewisse Nachprüfungen möglich.

Ich möchte glauben, daß sich aus dem dargelegten Prinzip heraus alle pollenanalytischen Daten erklären lassen. Wir können mit guten Gründen annehmen, daß die Ortsteinbildungen z. T. schon in sehr frühen Zeiten begonnen haben. Ob wir während des Höchststandes der Weichselvereisung überhaupt eine wirkliche Tundra mit ständig gefrorenem Untergrund und dünner sommerlicher Auftauschicht gehabt haben, ist ungewiß und bisher in keiner Weise bewiesen (Dewers 1934 a). Nur das wissen wir, daß das Gelände keinen Wald trug und daß der Pflanzenwuchs genügend dünn war, um die ausgedehnten in dieser Arbeit beschriebenen Flugsandbildungen zu ermöglichen. Wenn wir nun nicht gerade der Ansicht sind, daß die augenblicklich an der Oberfläche sichtbaren Bodenprofile schon aus dem Saale-Weichsel-Interglazial stammen, sondern, wie doch wohl zu vermuten ist, Neubildungen darstellen nach den letzteiszeitlichen Abtragungsvorgängen, dann müssen wir auch annehmen, daß es Zeiten gegeben hat, in denen die oberen Bodenschichten noch ungehindert durchlässig für die Pflanzenwurzeln waren. In dieser Zeit konnten die Pollen und Sporen der damaligen Pflanzenwelt aus dem Rohhumus ohne Schwierigkeiten in die von den Wurzeln überhaupt erreichbare Tiefe gelangen. Diese Möglichkeit hörte erst allmählich auf in dem Maße, wie der B-Horizont sich mehr und mehr verfestigte. Fand die Verfestigung vor der Zeit des Einzuges der wärmeliebenden Waldbäume statt, so konnten deren Pollen nicht mehr in den Ortstein hineingelangen. Es ist aber auch durchaus möglich, daß der Vorgang des Abwärtswanderns der Pollen

ein so langsamer ist, daß die Verfestigung des B-Horizontes lange nach dem Einzug der wärmeliebenden Waldbäume stattfinden konnte, ohne daß es, von Ausnahmen abgesehen, diesen Pollen gelang, rechtzeitig in den Bereich des B-Horizontes vorzudringen.

Man versteht unter diesen Umständen auch, daß innerhalb des Bleichsandes eine Art der Verteilung der Pollen vorkommen kann, die mit den Spektren in Torfen Aehnlichkeit hat. Der zuletzt in den Auflagehumus gelangte Pollen wird auch am wenigsten weit in die Tiefe gedrungen sein. Wie weit allerdings diese Regelmäßigkeit wirklich geht, ist eine Frage, die erst noch durch Parallelunterschungen aus ein und derselben Ablagerung (etwa einer Bleichsanddecke) zu klären ist. Ohne derartige Kontrollen sollten in der nächsten Zukunft Flugsandanalysen überhaupt keine Verwendung finden.

Die oben gemachten Annahmen sind auch imstande, einige von Beijerinck und Jonas nicht diskutierte Tatsachen befriedigend zu erklären. So sind z. B. die Dünensande unterhalb der eigentlichen Entschichtungszone fast oder ganz pollenleer, während sie nahe der Oberfläche, vor allem im Bleichsand, recht reich daran sein können. Durch die Annahme einer fortgesetzten Wanderung der Pollen von der Oberfläche nach unten mit den Pflanzenwurzeln läßt sich diese Erscheinung ohne weiteres erklären. Ferner muß man sich doch wundern, daß in den sehr zahlreichen Fällen, wo der Ortstein etwa mit der Steinsohle zusammenfällt, über der Steinsohle direkt das Atlantikum beginnen soll, wo wir doch nach dem in dieser Arbeit Gesagten alle Ursache haben, die Steinsohle als eiszeitlich anzusprechen. Warum soll denn nur während des feuchten Atlantikums sich eine Flugsandschicht ganz allgemein auf der Steinsohle niedergelassen haben, während im Präboreal und im trockneren Boreal nichts dergleichen geschehen ist? In Wirklichkeit dürfte es so sein, daß die Zeit seit dem Beginn des Atlantikums, also seit etwa 5500 v. Chr., vollkommen ausgereicht hat, um die betreffenden Pollen durch die eiszeitliche Flugsandhaut hindurch bis auf den Ortstein gelangen zu lassen.

Es ist klar, daß wir unter diesen Umständen unsere Anforderungen an die Pollenanalyse hinsichtlich der Altersfeststellung von Flugsanden erheblich einschränken müssen. Vollständig wertlos braucht sie aber nicht zu sein. Zunächst müßte man vielleicht versuchen, aus ungestörten, also noch geschichteten Flugsanden durch Anreicherung vermittels der Zentrifuge soviel Pollen zu gewinnen, wie man zur Altersfeststellung nötig hat. Ferner wäre z. B. der Fall möglich, daß sich in einem von jüngeren Flugsanden überwehten Bleichsand noch keine Buchen- und Hainbuchenpollen vorfinden. Dann könnte man daraus den Schluß ziehen, daß die Ueberwehung

vor dem Einzug der Buche und Hainbuche stattgefunden hat, also etwa in der ersten Hälfte des Atlantikums.

Die Deutung des Ortsteins als Tundraboden und seine Parallelisierung mit den drei Minima der Strahlungskurve von Milankovitch ist natürlich unter den dargelegten Verhältnissen hinfällig. Immerhin wird man aber vielleicht doch gewisse Schlüsse auf das Alter der frühesten Ortsteinbildungen und auch auf die damals bestehende Vegetation ziehen können, da der Ortstein infolge seiner Undurchdringlichkeit ältere Spektren konservieren kann. Keinesfalls darf man aber, wie Jonas (1935 b) das getan hat, Ortsteinbildungen als glazial ansprechen, die erstens sehr pollenarm sind, zweitens keinerlei Pollen oder Sporen typisch arktischer Pflanzen enthalten und drittens unter den wenigen Pollen auch noch solche von Bäumen, noch dazu wärmeliebenden wie Linde und Erle, führen.

Es braucht schließlich nicht besonders hervorgehoben zu werden, daß auch die Frage des Alters der Heide als Vegetationsform unter den geschilderten Umständen nicht so einfach durch bloße Pollenanalyse des Bleichsandes erledigt werden kann. Wenn ein Gelände auch ursprünglich Wald getragen hat, so wird die Bleichsandschicht bei genügend langer Dauer eines nachfolgenden Heidebestandes vollkommen von Callunapollen durchsetzt sein, ohne daß man von vornherein dafür einstehen kann, daß es möglich sein wird, die wirkliche Entwicklungsfolge herauszufinden.

Es ist hier nicht beabsichtigt, im einzelnen auf die von Jonas in seinen letzten Veröffentlichungen gegebenen Pollendiagramme einzugehen. Das muß den Pollenanalytikern vom Fach überlassen werden. Soviel darf aber wohl gesagt werden, daß es für die nächste Zukunft weniger darauf ankommt, weitgehende Schlüsse aus wenigen vereinzelten Bleichsand- und Ortsteinuntersuchungen zu ziehen, als vielmehr zunächst einmal das ganze Verfahren einer gründlichen Nachprüfung zu unterwerfen. Hierzu hoffe ich, im Vorstehenden einige Anregungen gegeben zu haben.

Zusammenfassung.

Im Anschluß an frühere Untersuchungen über die Flottsande Nordwestdeutschlands werden in der vorliegenden Arbeit die Flugsande desselben Gebietes eingehender besprochen. Sie liegen entweder in Form von Dünen vor oder in der Ausbildung geringmächtiger Decken. Diese deckenförmigen Flugsande sind mit den Flottsanden seitlich verzahnt, also gleichaltrig. Da die Flottsande als

Lößfazies zu betrachten sind, so gehören auch die deckenförmigen Flugsande in die Zeit des Höchststandes der Weichselvereisung. Ueber das Alter der Dünen lassen sich keine so sicheren Angaben machen. Es gibt Dünen verschiedenen Alters, da besonders infolge menschlicher Tätigkeit noch bis in die neueste Zeit Sandverwehungen vorkamen.

Die Winde, unter deren Einfluß die Flugsande abgelagert wurden, kamen aus westlicher Richtung. Auch während der Lößbildungszeit müssen also westliche Winde eine kräftige Wirkung ausgeübt haben.

Ein Teil der Ausführungen ist der Frage nach der Herkunft des Flugsandes und der mit diesem vergesellschafteten flachen, abflußlosen Becken gewidmet.

Die Versuche einiger Autoren, das Alter der Flugsande mit Hilfe der Pollenanalyse zu bestimmen, werden kritisch besprochen. Das Vorkommen von Pollen im Bleichsand und Ortstein der Podsolböden wird auf nachträgliches Eindringen auf dem Wege über die von verwesenden Wurzeln hinterlassenen senkrechten Hohlräume zurückgeführt.

Druckfertig eingegangen am 27. Dezember 1935.

Schriftenverzeichnis.

Assarsson, G. u. Granlund, E. (1924): En metod för pollenanalys av minerogena jordarter. Geol. Fören. Förh. Stockholm. Bd. 46, S. 76–81.

Beijerinck, W. (1933 a): Die mikropoläontologische Untersuchung äolischer Sedimente und ihre Bedeutung für die Florengeschichte und die Quartärstratigraphie. Proc. Kon. Akad. Wetensch. te Amsterdam. Bd. 36, S. 107—115.

— (1933 b): Erratica des Würm-Glazials in den Niederlanden. Proc. Kon. Akad. Wetensch. te Amsterdam. Bd. 36, Nr. 1, S. 115–119.

— u. Popping, H. J. (1933 c): Eene palaeolithische nederzetting aan het Kuindertal nabij Oosterwolde. Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen. Bd. 50, S. 178—219.

— (1933 d): De oorsprong onzer heidevelden. Nederl. Kruidkundig Arch. 43. S. 272—292.

— (1933 e): Over toendrabanken en hunne beteekenis voor de kennis van het Würmglaciaal in Nederland. Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen. S. 1—15.

— (1934): Humusortstein und Bleichsand als Bildungen entgegengesetzter Klimate. Proc. Kon. Akad. Wetensch. te Amsterdam. Bd. 37, Nr. 2, S. 93–98.

Bjørlykke, K. O. (1918): Løssjord i Norge? Forh. ved de skand. naturf. 16. møte i Kristiania. S. 511—517.

Böckenhoff-Grewing (1929): Vorzeitliche Wirtschaftsweisen in Altwestfalen oder Landwirtschaft und Bauerntum auf dem Hümmling. Selbstverlag.

Breddin, H. (1925): Löß, Flugsand und Niederterrasse am Niederrhein. Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1925. Bd. 46, S. 635–662.

— (1927): Löß, Flugsand und Niederterrasse im Niederrheingebiet, ein Beitrag zur Frage der Entstehung des Löß. Geol. Rundschau. Bd. 18, S. 72—78.

v. Bülow, K. (1934): Zur Geologie des Ortsteins. Geol. Rundschau. Bd. 25, S. 247–255.

Caldenius, C. u. Sandegren, R. (1925): Vårt land under och efter istiden. Natur och Kultur 43. Stockholm. S. 1—158.

Chudeau, R. (1920): Études sur les dunes sahariennes. Annales de Géographie. Bd. 29, S. 334—351.

— (1921): Les dunes de Gascogne. La Géographie. Bd. 35, S. 263–268.

Cornish, V. (1897): On the Formation of Sand-Dunes. Geogr. Journ. Bd. 9, S. 278–309.

— (1900): On Desert Sand-Dunes Bordering the Nile Delta. Geogr. Journ. Bd. 15, S. 1—32.

— (1914): Waves of Sand and Snow. London.

Dewers, F. (1930): Studien über die Entstehung des Geschiebedecksandes. Abh. Nat. Ver. Bremen. Bd. 27, S. 299–330.

— (1932): Flottsandgebiete in Nordwestdeutschland, ein Beitrag zum Lößproblem. Abh. Nat. Ver. Bremen, Bd. 28, Sonderheft. S. 132—204.

— (1933): Die geologische Bedeutung der Pflanzenwurzeln. Natur u. Museum. S. 253–259.

— (1934): Einige wesentliche Charakterzüge der nordwestdeutschen Diluvialmorphologie. Abh. Nat. Ver. Bremen. Bd. 29, S. 33—47.

— (1934 a): Kritische Betrachtungen zur Frage der Beschaffenheit und Entstehung der Taschenböden. Abh. u. Vorträge Bremer Wiss. Ges. Jahrg. 8/9. S. 306—330.

— (1935): Geologische Auswirkungen der früheren bäuerlichen Heidewirtschaft in Nordwestdeutschland. Natur u. Volk. S. 483—490.

Dücker, A. (1933): Die Windkanter des norddeutschen Diluviums in ihren Beziehungen zu periglazialen Erscheinungen und zum Decksand. Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1933. Bd. 54, S. 487–530.

Enquist, F. (1916): Der Einfluß des Windes auf die Verteilung der Gletscher. Bull. Geol. Inst. of Upsala. Bd. 14, S. 2–108.

— (1932): The Relation between Dune-form and Wind-direction. Geol. Fören. Förh. Stockholm. Bd. 54, S. 19—59.

Ernst, O. (1934): Zur Geschichte der Moore, Marschen und Wälder Nordwestdeutschlands. IV. Untersuchungen in Nordfriesland. Schr. Nat. Ver. f. Schlesw.-Holst. Bd. 20, H. 2, S. 209—329.

Firbas, F. (1935): Die Vegetationsentwicklung des mitteleuropäischen Spätglazials. Bibliotheka Botanica. H. 112, S. 1—68.

Florschütz, F. (1934): Over het mikrobotanisch onderzoek van aeolische afzettingen. Tijdschrift v. h. Kon. Nederl. Aardr. Gen., 2. Ser., deel 51, S. 335—341.

Free, E. E. (1914): The topographic features of the desert basins of the United States with reference to the possible occurrence of potash. Bull. of the U. S. Departm. of Agriculture Nr. 54 (Prof. Paper), S. 1—65.

Frosterus, B. (1914): Zur Frage nach der Einteilung der Böden in Nordwesteuropas Moränengebieten. Comm. Géol. de Finlande. 14.

Gams, H. (1929): Die Geschichte der Ostsee. Intern. Revue d. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr. Bd. 22, H. 3/4, S. 235—261.

Gilbert, G. K. (1895): Lake basins created by wind-erosion. Journ. of Geol. Bd. 3, S. 47—49.

Grahmann, R. (1932): Der Löß in Europa. Mitt. Ges. f. Erdkde zu Leipzig f. 1930—1931, S. 5—24.

Hedin, S. (1905): Scientific Results of a Journey in Central Asia 1899—1902. Stockholm.

Högbom, I. (1923): Ancient Inland Dunes of Northern and Middle Europe. Geogr. Annaler. Jahrg. 5, S. 113—243.

— (1932): On the Interpretation of Dune Forms. Geol. Fören. Förh. Stockholm. Bd. 54, S. 255—259.

Hörner, N. G. (1927): Brattforsheden ett värmländskt randdeltekomplex och dess dyner. Sver. Geol. Unders. Ser. C. Nr. 342. Årsbok 20. Nr 3, S. 1—206.

Jonas, F. (1934 a): Die Entwicklung der Hochmoore am Nordhümmling. Feddes Repertorium. Beih. Bd. 78, S. 1—88.

— (1934 b): Die paläobotanische Untersuchung brauner Flugsande und deren Stellung im Alluvium. Feddes Repertorium. Beih. Bd. 76, S. 153—163.

— (1935 a): Postglaziale Waldentwicklung im atlantischen Nordwestdeutschland. Feddes Repertorium. Beih. Bd. 81, S. 91—107.

— (1935 b): Klimaschwankungen des Würmglazials und Bodenbildungen des nordwestdeutschen Diluviums. Nieders. Heimatschutz. H. 4, S. 1—51.

Kaehne, K. (1935): Referat über einen Vortrag von P. Woldstedt: Vorlegung einer neuen geologisch-morphologischen Karte des norddeutschen Vereisungsgebietes. Die Naturwissenschaften.

Kaiser, E. (1926): Die Diamantenwüste Südwest-Afrikas. Bd. II. Berlin.

Keilhack, K. (1899): Die bodenbildende Tätigkeit der Insekten. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. Bd. 51, S. 138.

— (1911): Die Verlandung der Swinepforte. Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. Bd. 32, Teil II, S. 209—244.

— (1917): Die großen Dünengebiete Norddeutschlands. Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. 69, S. 2—19.

Lehmann, F. W. P. (1907): Wanderungen und Studien in Deutschlands größtem binnenländischen Dünengebiet. 10. Jahresber. Geogr. Ges. Greifswald.

Lösche, H. (1930): Lassen sich die diluvialen Breitenkreise aus klimabedingten Vorzeitformen rekonstruieren? Arch. Deutsch. Seewarte. 49. Bd. Nr. 7. Hamburg. S. 1—39.

Passarge, S. (1911): Die pfannenförmigen Hohlformen der südafrikanischen Steppen. Peterm. Mitt. 57. Jahrg. II. S. 57—61 u. 130—135.

v. Post, L. (1913): Alnarpstraktens geologi. Alnarps Lantbruksinstitut 1862—1912. Göteborg.

— (1933): Den svenska skogen efter istiden. Stud. Fören. Verdandis Småskrifter Nr. 357. Stockholm.

Ramann, E. (1885): Der Ortstein und ähnliche Secundärbildungen in den Diluvial- und Alluvial-Sanden. Jahrb. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1885. S. 1—57.

Sauramo, M. (1929): The Quaternary Geology of Finland. Bull. Comm. Géol. de Finlande. Nr. 86, S. 1—110.

Schröder, D. (1934): Eine Calluna-Heide unter der Zuidersee. Abh. Nat. Ver. Bremen. Bd. 29. H. 1/2, S. 83—88.

Schubert, E. (1933): Zur Geschichte der Moore, Marschen und Wälder Nordwestdeutschlands. II. Das Gebiet an der Oste und Niederelbe. Mitt. d. Provinzialstelle f. Naturdenkmalpflege. Hannover. H. 4, S. 1—148.

Schucht, F. (1912): Zur Frage der Urstromtalverbindung zwischen Unterweser und Unterems. Jahrb. f. 1912. Bd. 33. T. II.

Soergel, W. (1919): Lösse, Eiszeiten und paläolithische Kulturen. Jena.

Solger, F. (1910): Studien über norddeutsche Inlandsdünen. Forsch. z. deutsch. Landes- u. Volkskde. Bd. 19, S. 1—89.

Stoller, J. (1918): Geologischer Führer durch die Lüneburger Heide. Braunschweig.

Stratmann, G. (1930): Der Hümmling. 21. Jahresber. Nat. Ver. Osnabrück. S. 171—276.

Tamm, O. (1920): Markstudier i det nordsvenska barrskogsområdet. Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst. H. 17, S. 49—276.

Uhden, R. (1932): Beckenformen und Dünengebiete der Libyschen Wüste. Festschrift für C. Uhlig. Oehringen.

Walther, J. (1924): Das Gesetz der Wüstenbildung. Leipzig. 4. Aufl.

Wilckens, O. (1921): Die Dünen zwischen Unterelbe und Unterweser. Centralblatt f. Min. usw. Jahrg. 1921. Nr. 19, S. 590—594.

— (1928): Die deutschen Binnendünen. Festschr. z. 400-Jahrfeier des Alten Gymnasiums zu Bremen. S. 462—476.

Wildvang, D. (1935): Ueber Flugsande der ostfriesischen Geest. Abh. Nat Ver. Bremen. Bd, 29. H. 3/4, S. 292—307.

Woldstedt, P. (1929): Das Eiszeitalter. Stuttgart.

Zimmermann, E. (1896): Einiges über die Lößfrage. I. Ber. d. Nordoberfränkischen Ver. f. Natur-, Gesch.- u. Landeskde. Hof. S. 72—88.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen

Jahr/Year: 1933

Band/Volume: 29

Autor(en)/Author(s): Dewers Ferdinand

Artikel/Article: Probleme der Flugsandbildung in Nordwestdeutschland 324-366