Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Institut Rübel (Zürich)

Band: 11 (1935)

Artikel: Das Grosse Moos im westschweizerischen Seelande und die Geschichte seiner Entstehung

Autor: Lüdi, Werner

Kapitel: IV: Die Untersuchung der Untergrundsverhältnisse

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-307158

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 30.06.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

IV. KAPITEL.

Die Untersuchung der Untergrundsverhältnisse.

Im ersten Kapitel haben wir einen Ueberblick gegeben über die Beschaffenheit der obersten Bodenschichten im Grossen Moos. Wenn wir nun die Untersuchung weiter in die Tiefe des Bodens fortsetzen, so vermittelt uns die bisherige Literatur nur einige Hauptzüge der Zusammensetzung des Untergrundes.

Studien aus der Zeit der Juragewässerkorrektion (Koch 1816; v. Erlach 1863, 1864; v. Fellenberg-Ziegler 1864; Rapport fribourgois 1864; Kocher 1865; Rapport fédéral 1866; Schneider 1881) enthalten zahlreiche allgemeine Angaben, die sich immer wiederholen und in die Erkenntnis zusammenfassen lassen, die Unterlage des Grossen Mooses bestehe aus Lehm, Sand und Kies, und darüber breite sich im grössten Teile des Gebietes, von Aarberg abwärts gegen den Murtensee und den Neuenburgersee hin, eine Torfdecke aus. Kies und Sand seien in der Nähe von Aarberg am mächtigsten entwickelt und nehmen seewärts ab, der Lehm dagegen zu. Die Lehmlager an der Broye sind nach Schneider 5 m mächtig und ruhen auf Sandlagern mit und ohne grössere Kieselgerölle auf. Die Mächtigkeit der Torflager sei sehr schwankend. In der Seegegend trete der Torf zurück. Am bedeutendsten sei seine Mächtigkeit südwestlich und westlich von Ins, wo von Kocher Torfmächtigkeiten von ca. 3 m angegeben werden, wenn wir von den nicht mehr zum grossen Moos im engeren Sinne zu rechnenden Mösern von Hagneck absehen (vgl. S. 92). Auch die Einlagerung von Lehm in den Torf und die Ueberlagerung des Torfes durch mineralische Erde in einzelnen Randgebieten wird von Razoumowsky, Schneider sowie in mehreren Gutachten bereits erwähnt.

Die geologische Durchforschung des Landes, die zur Erstellung der geologischen Karte der Schweiz im Masstabe 1 : 100,000 vorgenommen wurde, sowie die neueren geologischen und geographischen Studien brachten für das Moosgebiet nicht viel Neues. Die Geologen und Geographen setzten mit ihrer Arbeit im allgemeinen am Rande des Mooses aus. Die eingehensten Angaben finden sich bei Gilliéron (1885), der z. B. die Sanddünen des Grossen Mooses erwähnt, sich aber eingehender mit den Verhältnissen im Broyetal oberhalb des Murtensees auseinandersetzt. Von Schardt stammt eine Studie über die Dünen bei Gampelen.

Seit 1923 liegt eine Untersuchung der Untergrundverhältnisse der Domäne Witzwil durch den Geologen Emil Ott vor, die sich auf zahlreiche Bohrungen gründet. Leider hat Ott nur eine kurze Zusammenfassung veröffentlicht (1924); aber die Protokolle

seiner Bohrungen sowie die daraus gezogenen Schlüsse liegen in dem der Anstalt Witzwil erstatteten Berichte vor und können dort eingesehen werden, wie auch die von Ott erstellte Bodenkarte und die Querprofile durch das Moos.

Wir haben die Ergebnisse der Tiefenbohrungen Otts schon mitgeteilt (S. 46). In bezug auf die oberen Bodenschichten, bis in rund 4 m Tiefe, ergeben die Bohrungen folgendes: Kies fehlt dem Gebiete mit winzigen Ausnahmen. Sande bilden neben den Dünen und dem Strandgebiete in mächtigen Schichten die Unterlage der übrigen Sedimente. Die dem See zunächst liegende Düne La Sauge-Witzwil-Tannenhof liegt über Torf, und landeinwärts überdeckt der von ihr herstammende Sand auf eine beträchtliche Strecke hin den Torf. Im übrigen werden die oberflächlichen Schichten im grössten Teil der Witzwilerdomäne von Torf gebildet, der in seiner Mächtigkeit sehr stark wechselt, aber nirgends 380 cm überschreitet. Zwischen dem Torfe und dem die Basis bildenden Sande sind in der Regel Schichten von Seekreide oder von Lehm eingelagert, Seekreide im Gebiete nordwestlich der Linie Witzwil-Birkenhof, Lehm mehr im südlichen Teile des Gebietes, vor allem gegen die Broye hin, wo er auf beschränktem Raume auch an die Oberfläche tritt. Dieser Lehm soll von der Broye hergebracht worden sein und aus dem Grundmoränengebiete des Mont Vully stammen. Die Untersuchung dieser verschiedenen Ablagerungen und ihrer Stratigraphie wurde durch Ott nicht bis ins Einzelne verfolgt und zum Beispiel nicht zwischen Lehm und Mergel unterschieden. Doch beobachtet er, dass in der Nähe der Dünen häufig eine Wechsellagerung zwischen Sand und Torf auftritt und an der Broye der Torf stark mit von den Ueberschwemmungen herrührenden kalkigen und lehmigen Schlammabsätzen durchsetzt ist.

Bodenprofile. Den Anstoss zu der ganzen hier vorliegenden Untersuchung gab eine zufällige Beobachtung von Störungen in der normalen Sedimentationsfolge. Eine erste Bohrung im Islerengebiete (Bohrpunkt 60), also mitten zwischen Ins-Gampelen-Witzwil und weit von der Broye entfernt gelegen, lieferte folgendes Profil (s. Abb. 17, S. 106):

Unter 20 cm stark zersetztem Radizellentorf erschien eine dünne, aber deutliche Lehmeinlagerung, die in den beackerten Böden nicht mehr sichtbar ist, wohl aber in den zum Torfabbau bestimmten, nie bebauten Stücken und im Walde. Darunter folgte wiederum stark zersetzter Radizellentorf, unten mit Schilfrhizomen, und in 60 cm Tiefe durch einen schmalen Gyttjahorizont in eine zweite Lehmschicht von rund 7 cm Dicke übergehend. Unter der Lehmschicht trat ein drittes Mal Radizellentorf auf, nach oben scharf abgesetzt und stark zersetzt, nach unten hin weniger zersetzt, etwas heller gefärbt und reich an Schilfrhizomen. Er reichte bis in etwa 140 cm Tiefe und ging langsam in dunkle Kalkgyttja über, die ihrerseits in 215 cm Tiefe von heller Seekreide abgelöst wurde.

Die Seekreide war gelblich bis bläulich, etwas sandig und enthielt reichlich organische Einschlüsse, namentlich auch Schalen von kleinen Schnecken. In 290 cm Tiefe wurde sie bläulich-lehmig (Mergel), und in 310 cm Tiefe stiess der Bohrer auf den reinen, einschlussarmen Sand, den «sable bleu», wie ihn die Anwohner des Neuenburgersees nennen.

Dieses Profil stellt in den unteren und mittleren Teilen die normale Verlandung eines flachen Beckens dar, das anfänglich noch dauernd und dann zur Zeit hohen Wasserstands mit dem See in Verbindung stand (Ablagerung von Mergel und Seekreide), später aber jedenfalls abgeschlossen war (Gyttja, Torf). Die starke Zersetzung der obersten Schichten des untern Torfes lässt darauf schliessen, dass die Verlandung vollständig durchgeführt und wahrscheinlich sogar Austrocknung und Torfzersetzung eingetreten war. Dieser trockene Torfboden wurde durch eine Ueberschwemmung mit lehmiger Ablagerung überführt. Die Ueberschwemmung muss lange angehalten haben; denn der Lehm steckt voller Mikrofossilien. Sie endigte, nachdem die Lehmzufuhr aufhörte, mit einem dauernd höheren Wasserstande, der eine neue Torfbildung bewirkte. Auch diese führte zu einer völligen Verlandung und Austrocknung der Oberfläche. Später erfolgte eine zweite Ueberschwemmung mit Lehmablagerung und eine dritte Verlandung, die den obersten Torf bildete. Wir haben schon früher erwähnt, dass die gegen die Oberfläche hin gelegenen Torfe einen wesentlich höheren Mineralgehalt besitzen als die älteren, was auf immer wieder neu einsetzende Ueberschwemmung mit Zutransport von Mineralstoffen ins Moosinnere im Zusammenhange stehen muss.

Die vorgefundenen Ueberschwemmungshorizonte müssen auf Seespiegelerhöhungen beruhen und in den völlig ebenen Gebieten über grössere Strecken erkennbar sein; ihre Veränderung über eine grosse Fläche musste ermöglichen, festzustellen, aus welcher Richtung und vielleicht auch aus welcher Quelle die eingeschwemmten Tone kamen. Nachfrage bei den Torfstechern von Ins ergab, dass ihnen der Lettenhorizont im Torfe gut bekannt ist. Er erstrecke sich über ein grosses Moosgebiet von Ins. Der obere Letten wird beim Torfstechen mit dem Abraum fortgeworfen; der untere bildet ein gewichtiges Hindernis beim Torfstechen, da die

Lettenschicht sorgfältig entfernt werden muss. Auch die verschiedene Beschaffenheit des untern und des oberen Torfes (vgl. S. 16) war bekannt. Die Untersuchungen von Ott haben ergeben, dass die Lehmbildungen, als Ganzes gefasst, in der Richtung gegen die Broye hin an Mächtigkeit zunahmen. Die von Ott versuchte Herleitung aus den Moränen am Nordhang des Mont Vully erweckt aber von vornherein Bedenken. Schon Gilliéron erwähnt, die Bäche des Vully hätten an seinem Nordfuss den Boden nur wenig erhöht, so dass man nicht von Aufschüttungskegeln reden könne, und der Augenschein lehrt, dass zwischen dem Nordfuss des Vully und der Broye sich reine Torfböden, allerdings von geringer Mächtigkeit ausdehnen. Es ist auch unwahrscheinlich, dass so gewaltige Lehm- und Mergelmassen aus dem räumlich beschränkten Gebiet herstammen würden. Die Erklärung ergab sich auf überraschende Weise in einer andern Richtung.

In der systematischen Verfolgung der Ueberschwemmungshorizonte wurden eine grosse Zahl von Bohrungen vorgenommen, die zur Mehrzahl in neun das Moos vom nördlichen und westlichen zum südlichen und östlichen Rande durchquerende Profile angeordnet sind. Dazwischen wurden nach Bedarf noch weitere Bohrpunkte eingeschoben. Die Bohrungen durchstiessen die Torf-, Lehm-, Seekreide- und Mergelschichten und erreichten beinahe ausnahmslos eine darunterliegende mächtige Schicht von reinem, blauem Sande. Ursprünglich glaubte ich, damit auf ein Grundniveau von gleichem Alter gestossen zu sein. Später zeigte sich zwar, dass dies nicht stimmt; aber gestützt auf die Tiefenbohrungen von Ott und auf eigene Erfahrungen, glaube ich doch sagen zu können, dass, von wenigen unsicheren Stellen abgesehen, unter diesem Sande keine organischen Ablagerungen vorhanden sind, sondern nur noch Mergeleinlagerungen mit den alluvialen Sanden abwechseln. In den oberen Teilen des Mooses, zwischen Müntschemier und Kerzers, wurde verschiedentlich auch Kiesunterlage angetroffen, welche das Weiterbohren verunmöglichte und offenbar gegen Aarberg hin immer mehr hervortritt. Eine Kiesbank wurde im Winter 1931/32 bei Baggerarbeiten im Isleren- und Seebodenkanal nahe ihrer Mündung in die alte Zihl angeschnitten (Bohrpunkt 2). Sie reicht beinahe bis an die Bodenoberfläche und setzt sich in breitem Zuge schief zur Richtung der Kanäle gegen den Jolimont hin fort. Sie

muss eine bedeutende Mächtigkeit besitzen und wurde bei der Baggerung nicht durchstossen. Sonst wurde Kies nur im Zusammenhange mit den Dünen oder Flussläufen gefunden (vgl. S. 76).

Die Ergebnisse der Bohrungen liegen in den dieser Arbeit beigelegten Profilen (Taf. 11—13) und in der schematischen Bodenkarte (Taf. 10) vor.

Als Grundlage für die Erstellung der Profile diente die Aufnahme des Grossen Moos-Gebietes im Masstabe 1 : 5000 aus dem Jahre 1920, die mir von Herrn Ing. A. Peter in Bern in liebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellt worden ist. Sie erst ermöglichte mit ihren Aequidistanzen von 10 cm in diesem ebenen Gebiete, wo die gewöhnlichen topographischen Karten völlig versagen, die Individualisierung der Profile. Infolge der starken Ueberhöhung, die zur Darstellung der Einzelheiten notwendig war, prägen sich allerdings die kleinen Geländewellen unverhältnismässig stark aus. Die angegebene Schichtfolge bezieht sich auf den Bohrpunkt, und für die zwischen den einzelnen Bohrpunkten liegenden Teile wurde nur die Bodenbeschaffenheit der obersten 30 cm angegeben. Dagegen wurde versucht, durch Linien die gleichalterigen Schichten der verschiedenen Bohrprofile miteinander zu verbinden, was später eingehender zu begründen sein wird (vgl. S. 113).

Bei der Betrachtung von Bodenkarte und Profilen fällt uns besonders die gesetzmässige Anordnung der Sedimente und der sedentären Bildungen um eine zentrale Längsachse des Mooses auf, die bei Müntschemier beginnt und sich gegen Sugiez und weiterhin dem Broyelaufe nach zum Neuenburgersee hinzieht. Längs dieser Linie reichen die Lehme an die Oberfläche; etwas weiter weg sind sie im Unterboden in beträchtlicher Mächtigkeit vorhanden, aber gegen die Oberfläche hin von Torf bedeckt, und gegen die Ränder des Mooses, sowie gegen Westen hin treten ausgedehnte Räume auf, in denen der Lehm im Boden überhaupt fehlt und auch die den blauen Sand überlagernden Mergel wenig mächtig sind. Die Lehmachse selber erreicht bei Müntschemier ihre grösste Breite und verschmälert sich rasch mit der Annäherung an die Broye.

Der Aarelauf. Mitten durch die Lehmachse zieht sich ein 50—120 m, im Mittel etwa 80 m breites Band, das in den seenahen Gebieten gestreckt, weiter entfernt dagegen zu grossen Schlingen gebogen und auch in schmälere Bänder aufgespalten ist. In ihm besteht der Boden aus Torf, unter dem mächtige Gyttja-Bildungen lagern. Am scharfen Kontakt dieses torfigen Streifens mit dem anstossenden Lehm ist der Torfstreif in der Regel um 0,5—1,5 m ein-

gesenkt. So ist er durch seine Gestalt und seine Sedimente als verlandeter Flusslauf gekennzeichnet.

Längs des Laufes tritt auch der Sand nahe an die Oberfläche oder wird frei sichtbar, und in der Umgebung finden sich gelegentlich Sande in die Mergelschichten eingeschaltet. Nicht selten stösst man bei den Tiefenbohrungen im Grunde des Flusslaufes auf eine Unterlage von feinem Kies.

Der alte Flusslauf ist im ganzen untern Teil des Mooses durch seine Lehmwälle scharf ausgeprägt. Er begleitet die Broye von Sugiez bis La Sauge, indem er bald auf der einen, bald auf der andern, bald auf beiden Seiten über den heutigen Broyelauf hinausgreift. Bei La Sauge verschwinden die Lehmdämme im früheren Strandgebiet des Sees. Verfolgen wir den Flusslauf von Sugiez an aufwärts, so sehen wir, dass er von der Broye weg gegen Norden abbiegt und in einer mächtigen Schleife (La Récorbe) Bellechasse zustrebt. In diesem Stücke und namentlich bei der Anstalt Bellechasse ist er am schönsten entwickelt mit hohen Steilbördern auf der Aussenseite der Krümmungen. Die Anstalt Bellechasse ist auf dem südlichen Steilbord gelegen. Bis zu der Kreuzungsstelle mit der Staatsstrasse Ins-Sugiez *) ist das Flussbett bei hohem Wasserstande noch überschwemmt und trägt Röhrichtbestände, etwas weiter aufwärts Bestände von Riedgräsern und namentlich niedrige Festuca-Rasen (*Festuca rubra* ssp. *commutata* und *Festuca ovina*). Die übrigen Teile sind bebaut, wobei mehrfach auffällt, dass in Flussbett andere Kulturen gezogen werden als auf dem lehmigen Boden der Umgebung (z. B. Gemüse statt Getreide). Nur bei Müntschemier, südlich der Bahnlinie, und gegen die Kanalmühle hin gibt es noch beschränkte Teile, die infolge tiefer Lage der Kultur bis jetzt getrotzt haben. In der Nähe von Müntschemier wird der Flusslauf komplizierter und teilweise undeutlicher. Er macht eine grosse, durch einen Durchbruch abgeschnittene Schlinge östlich von Bellechasse und zieht sich dann nördlich und später südlich des Grand Canal hin. In dem nördlich an die Murtenerlen anschliessenden Fichtenwaldstreifen, den er rechtwinklig schneidet, ist die Senke des Flusslaufes durch die Einsenkung der Linie der Baumspitzen deutlich zu sehen. Gegen die Bahnlinie hin hebt er sich in der Bodenoberfläche nicht mehr ab. Er muss aber nördlich derselben, an der Landstrasse, wo er über 7 m tief angebohrt worden ist (Bohrpunkt 194), eine rasche Umbiegung erfahren, an deren Aussenseite auch der Sand oberflächlich hervortritt, und der weitere Lauf, von der Eisenbahnlinie an gegen Müntschemier und weiter hinauf gegen die Kanalmühle ist sehr ausgeprägt. Aber in dem Gebiete zwischen Müntschemier-Treiten und der Kantonsgrenze und weiterhin gegen Fräschels, vereinzelt auch bereits südwestlich der Bahnlinie, treten eine ganze Anzahl von Nebenläufen, Abkürzungsläufen, Gabelungen und Schlingen auf, die das Bild der Landschaft äusserst verwickelt gestalten. Dies ist schon

*) Hier dürfte der Ort sein, auf den R. von Erlach (1863/64) anspielt, als er sagt, beim Bau der Strasse Ins-Sugiez sei eine einzige Stelle gewesen, an der die Fundamentierung grössere Schwierigkeiten zu überwinden hatte.

dem Geologen Gilliéron (1885) aufgefallen, der von einem «terrain ondulé» spricht und meint, es seien Spuren eines ehemaligen Sees. Manche dieser Läufe sind an den Enden zugeschüttet, waren also in den letzten Zeiten, da der Fluss hier durchströmte, vom Hauptlaufe ganz abgetrennt. Wir haben versucht, die deutlich sichtbaren, durch die Einsenkung und den Torfboden charakterisierten Flussläufe in der Bodenkarte darzustellen, ohne dass wir sie nach ihrer Bedeutung bewerten können. Dies würde viel zu weitgehende Untersuchungen verlangt haben und stellenweise auch bereits durch Bodenbewegungen, die der Mensch in den letzten Jahrzehnten vorgenommen hat, erschwert werden. Kleine Läufe verfallen der völligen Auffüllung durch Kanalaushub oder Schutt.

Im Hauptflusslaufe wurden die mächtigsten Häufungen organischer Stoffe im Gebiet des Grossen Mooses festgestellt, meist 3—4,5 m, an einer Stelle (Bohrpunkt 194) 7,2 m mächtig. Da die Masse durch die Entsumpfung um mindestens einen Meter zusammengefallen ist, so hat man zu diesen Werten noch 1—1,5 m hinzuzufügen, um den ursprünglichen Betrag zu erhalten. Ueber der Unterlage von Sand oder Kies kommt eine Auffüllung durch braune Gyttja, die unten erdig-kalkig ist, nach oben den Kalkgehalt langsam verliert, an Tongehalt abnimmt und schliesslich in eine Deckschicht von leichtem Torfe übergeht.

Die Untersuchung einiger Gyttjaproben ergab folgende Zusammensetzung:

Ort der Herkunft	*Bodentiefe cm*	*Organische Stoffe %*	*Mineralstoffgehalt %*	*$CaCO_3$ %*	*Mineralstoff abzügl. $CaCO_3$*
Profil IV, B. 109	400	8	92	42	50
Profil VI, B. 144	210	33	67	33	34
	300	27	73	23	50
	430	13	87	32	55
Profil IX, B. 194	550	30	70	17	53
	600	28	72	24	48
	650	29	71	26	45
	700	10	90	41	49

In den Bohrlöchern 176, 194, neben 158, wurde im Torfe eingeschaltet noch eine Lehmschicht gefunden, und Grabungen oberhalb Bellechasse ergaben ebenfalls unter 80 cm moorig-torfiger Schicht stellenweise noch eine sandige Lehmschicht von 2 cm Dicke. In der Récorbe bei Bellechasse führte ich im Flusslaufe nebeneinander zwei Bohrungen aus (B. 131, 132). Die eine, vom rechten, äussern Ufer 20 m entfernt, traf in 480 cm Tiefe auf Mergel und in 495 cm Tiefe auf Sand, die andere, 40 m weiter gegen das innere, linke Ufer hin, erreichte den Sand schon in 75 cm Tiefe. Das gleiche Aussehen zeigen die Flussläufe der Gegenwart: die tiefe Rinne auf der Stosseite des Wassers, die Sandbänke auf der Innenseite. Auch Inseln fehlen nicht, besonders im untern Teile des Laufes,

wo er nicht in Teilläufe aufgelöst ist. Da sie aus mergeligen oder sandigen Ablagerungen bestehen, so treten sie durch ihre helle Farbe aus den dunklen Torfen deutlich heraus, vor allem im Frühling nach der Ackerung. Verschiedentlich sind sogar mehrere schmale, langgestreckte Inseln nebeneinander vorhanden (vgl. Abb. 8, Taf. 5).

Nachstehend geben wir noch das Ergebnis der Analyse eines ganzen Bohrprofils (Bohrpunkt 176).

Bodentiefe cm	*Bodenart*	*Organische Stoffe %*	*Mineralstoffgehalt %*	*$CaCO_3$ %*	*Mineralstoff abzügl. $CaCO_3$*
40	Torf	90	10	—	10
60	Lehm	27	73	—	73
100	Torf	86	14	—	14
150	Torf	82	18	—	18
200	Gyttja	66	34	—	34
250	Gyttja	57	43	—	43
300	Gyttja	43	57	—	57
350	Kalk-Gyttja	11	89	65	24
400	Kalk-Gyttja	10	90	74	16
450	Mergel	6	94	76	18

So finden wir in diesem Flussbette in jeder Hinsicht das normale und typische Bild eines mächtigen Flusses, der von der Hauptwasserzufuhr abgeschnitten wird und als ungestörtes Altwasser durch die Ueberreste der angesiedelten Wasserpflanzen, eingeschwemmte Schlammteilchen und abgelagerten Kalk verlandet. Anfänglich machen die Mineralteilchen die Hauptmenge des Niederschlages aus; bald geht der Kalkniederschlag zurück, später auch die Tonablagerung, so dass schliesslich organische Gyttja und dann Torf entsteht. Dieser Vorgang scheint in der Spätzeit nur einmal unterbrochen worden zu sein, indem der Fluss zurückkehrte und eine Lehmschicht ablagerte, die wieder von Torf überdeckt wurde.

Aus dem ganzen Verlaufe des geschilderten Flussbettes und aus seiner Grösse geht mit Sicherheit hervor, dass es sich um einen alten Lauf der Aare handelt, die in dieser Zeit von Aarberg her durch das Grosse Moos in den Neuenburgersee floss. Den älteren Beobachtern konnte er leicht verborgen bleiben, da er durch die Verlandung an den meisten Orten bis annähernd auf das Niveau der umliegenden Ebene aufgefüllt war. Rheinwald (1838) betont sogar ausdrücklich, im Grossen Moos sei keine Spur eines verlassenen Flussbettes der Aare zu finden. Nach der Entsumpfung san-

ken die Torf- und Gyttjamassen im Flussbett zusammen, während der Mergel und Sand der Ufer widerstand, und so trat er im Laufe der Jahre hervor. Ein Teilstück bei Müntschemier, das vom Volke als «Giesse» bezeichnet wird, muss aber schon früher sichtbar gewesen sein, wie auch der Lauf von Bellechasse abwärts. Aber es fehlte der Zusammenhang, und so wurde der Lauf unterhalb Bellechasse als alter Broyelauf angesprochen, obschon er gegen den Murtensee hin keine Oeffnung aufweist. Dass dieser alte Flusslauf für die Broye ein viel zu weites Kleid bildet, ist nie beachtet worden.

Bruchstücke von alten Flussläufen wurden in den mittleren und östlichen Teilen des untersuchten Moosgebietes noch verschiedentlich aufgefunden. Im Schwarzgrabengebiete, nahe dem Bohrpunkte 112, zweigt ein durch Lehmwälle gekennzeichneter Flusslauf vom Hauptlauf der alten Aare ab und zieht sich in Windungen quer durch das Witzwilergebiet, um in der Nähe des alten Strandes zu verlaufen, nachdem die Lehmwälle schon vorher verschwunden sind. Gegen die Aare hin ist er heute durch einen hohen und breiten Lehmwall abgeschlossen. Seine etwa 30 m voneinander entfernten Lehmwälle erheben sich etwa einen halben Meter über das Flussbett und sind rund 20 m breit. Die Tiefe scheint gering zu sein. An der Stelle, wo er angebohrt wurde (Bohrpunkt 104), stiess der Bohrer schon in 180 cm Tiefe auf den Mergel. Etwas weiter östlich, in Le Cugnet, verläuft ein alter, wenig ausgeprägter Flusslauf ungefähr parallel dem heutigen Broyekanal von der Insel (Sur l'île) gegen den Einfluss des Hauptkanals in die Broye, während ein anderer, morphologisch noch weniger deutlich sichtbar, vermutlich aus der Gegend der Insel herkommend, gegen das Lindergut zieht (Bohrpunkt 112a). Er war bei den Arbeiten zur Vertiefung des Hauptkanals im Frühling 1933 angeschnitten und zeigte zwei Teilläufe mit zwischenliegender Insel. Seine Fortsetzung ist völlig unbekannt.

Bei Sugiez, etwas oberhalb der Stelle, wo der alte Aarelauf sich vom heutigen Broyelauf entfernt, zweigt ein alter, schmaler Flusslauf vom Aarelauf ab und zieht sich mit Windungen gegen den Bahnhof Sugiez, wo er unter neuzeitlichen Aufschüttungen verschwindet. Er ist jedenfalls ein alter Abfluss des Murtensees, also ein Broyelauf.

Ein weiterer Flusslauf zweigt vom alten Aarebett bei der geschlossenen Schlinge östlich Bellechasse ab und verläuft dem Aarebett parallel gegen Osten, wobei er rasch abnimmt und nahe dem nördlichen Ende der Murtenerlen verschwindet. An dieser Stelle besteht sein nördliches Ufer aus einem Sandwall mit dünner Kiesschicht am Grunde, unter der eine dicke Torfschicht liegt (Bohrpunkt 160). Dieser Sandwall findet seine Fortsetzung in dem alten Biberenbette (vgl. S. 87); der untere Teil dieses Flusslaufes macht aber durch seine Grösse den Eindruck eines alten Aarelaufes, der frühzeitig verlassen wurde, so dass seine Fortsetzung gegen Nordosten hin völlig verloren ging, während dieses Teilstück durch die Biberen offen gehalten wurde, gleich wie der unterste Teil des Aarelaufes durch die Broye.

Da, wo der alte Aarelauf den Grand Canal zum erstenmal schneidet, zweigt ein kleiner Flusslauf gegen Osten hin ab, der, ungefähr dem Grand Canal gleichlaufend, ein kleines Stück weit gut ausgeprägt ist, dann aber völlig verschwindet. Er wurde im Bohrpunkt 178 angeschnitten. Da auch im Bohrpunkt 188, nordöstlich des Erliwaldes, ein kleiner Flusslauf angebohrt wurde, so erscheint wahrscheinlich, dass die beiden zusammenhängen und dem ehemaligen Bett des Kerzerser Dorfbaches oder einem alten Biberenlaufe entsprechen.

Ausser den genannten wurden im untersuchten Moosgebiete weitere natürliche Flussläufe nicht angetroffen. In weit zurückliegenden Zeiten sind sicherlich solche noch vorhanden gewesen und können für das Gebiet südlich von Müntchemier auch mit einiger Wahrscheinlichkeit angegeben werden (vgl. S. 119). Aber sie sind frühzeitig mit grossen Mergel- und Sandmassen vollständig zugedeckt worden und heute ganz unter der Oberfläche verschwunden. Die vom Menschen angelegten Entwässerungskanäle, auch der einst schiffbare Aarbergerkanal, erscheinen neben diesen natürlichen Flussläufen, wenn sie überhaupt noch erkannt werden können, wie Sumpfgräben. Sogar die seit der Korrektion der Juragewässer erstellten Hauptkanäle treten wenig hervor.

Verteilung der Ablagerungen. Wie erwähnt, wird das Ufer der alten Aare von Lehmwällen gebildet, die gegen innen steil, gegen aussen langsam und in geringem Betrage abfallen. Sie bestehen oben aus einer mehr oder weniger mächtigen Schicht Lehm, der

durch hohen Gehalt an organischen Stoffen schwarz gefärbt ist. Nach unten wird die Färbung des Lehmes heller, und er geht durch steigenden Karbonatgehalt in Mergel über. Die Beschaffenheit dieses Mergels, der auch Seelehm genannt wird, ist oft sehr zähe, namentlich da, wo der Grundwasserspiegel tief liegt, wie in der Nähe der grossen Kanäle. Unter dem Mergel lagert Sand. Der Uebergang erfolgt in der Nähe des Aarelaufes, wo der Sand meist in geringer Tiefe auftritt, in der Regel rasch; etwas entfernter dagegen sind sandig-mergelige Uebergangsstufen ausserordentlich verbreitet. Am Ufer der alten Aare ist also die gesetzmässige Lagerung von unten nach oben: Sand, Mergel, Lehm. Mit der Entfernung vom Ufer ändert sich das Bild der Ablagerungen. Der Sand weicht in die Tiefe zurück; die Mergelschichten werden mächtiger, und Torfschichten schieben sich ein oder gehen von den schwarzen Lehmen aus. Zwischen den Torfen erscheinen die Lehmbänder, deren ursprünglich kalkige Schicht durch Auswaschung karbonatfrei geworden ist. Dann treten auch an der Oberfläche Torfe auf. Heute ist deren ursprüngliche Grenze nicht mehr festzustellen. Beträchtliche Teile des Mooses sind abgebrannt, teilweise absichtlich vom Menschen angezündet, da man in den ersten Zeiten der Moorkultur glaubte, dadurch guten Kulturboden erzielen zu können, teilweise durch zufällige Brände bis in die Gegenwart hinein. Durch den Brand wurde die Torfschicht bis auf das Grundwasser aufgezehrt, was zum Teil eine ganz beträchtliche Abtragung bedeutete (vgl. S. 132, Neuhofgebiet) und stellenweise die Zerstörung der ganzen Torfschicht mit sich brachte, so südlich von Müntschemier. Ferner wurde durch die Bodenbearbeitung mit Pflug und Hacke die oberste Bodenschicht bis auf 30 cm Tiefe durchgearbeitet, wobei eine Torfschicht von weniger als 30 cm Mächtigkeit sich mit dem unterliegenden Lehm vermischte. So bietet der Boden in der Nähe des alten Aarelaufes heute überall das Bild von schwarzem, mehr oder weniger torfigem Lehm; aber wir wissen vielfach nicht, ob er aus schwarzem Lehm hervorgegangen ist, oder ob nicht ursprünglich eine dünne Torfschicht obenauf lag, die entweder verbrannte oder bei der Kultur mit dem Lehm vermischt wurde. Verschiedene Anzeichen (Wälder, nicht bebaute Stücklein Land, einzelne Parzellen mit erhaltenem Torf) deuten

darauf hin, dass im allgemeinen die zweite Möglichkeit den Verhältnissen entsprechen dürfte. In der Bodenkarte wurde aller Boden, der heute keine deutliche Torfschicht mehr zeigt, als Lehmboden kartiert. Natürlich ist diese Grenze schematisch gezogen.

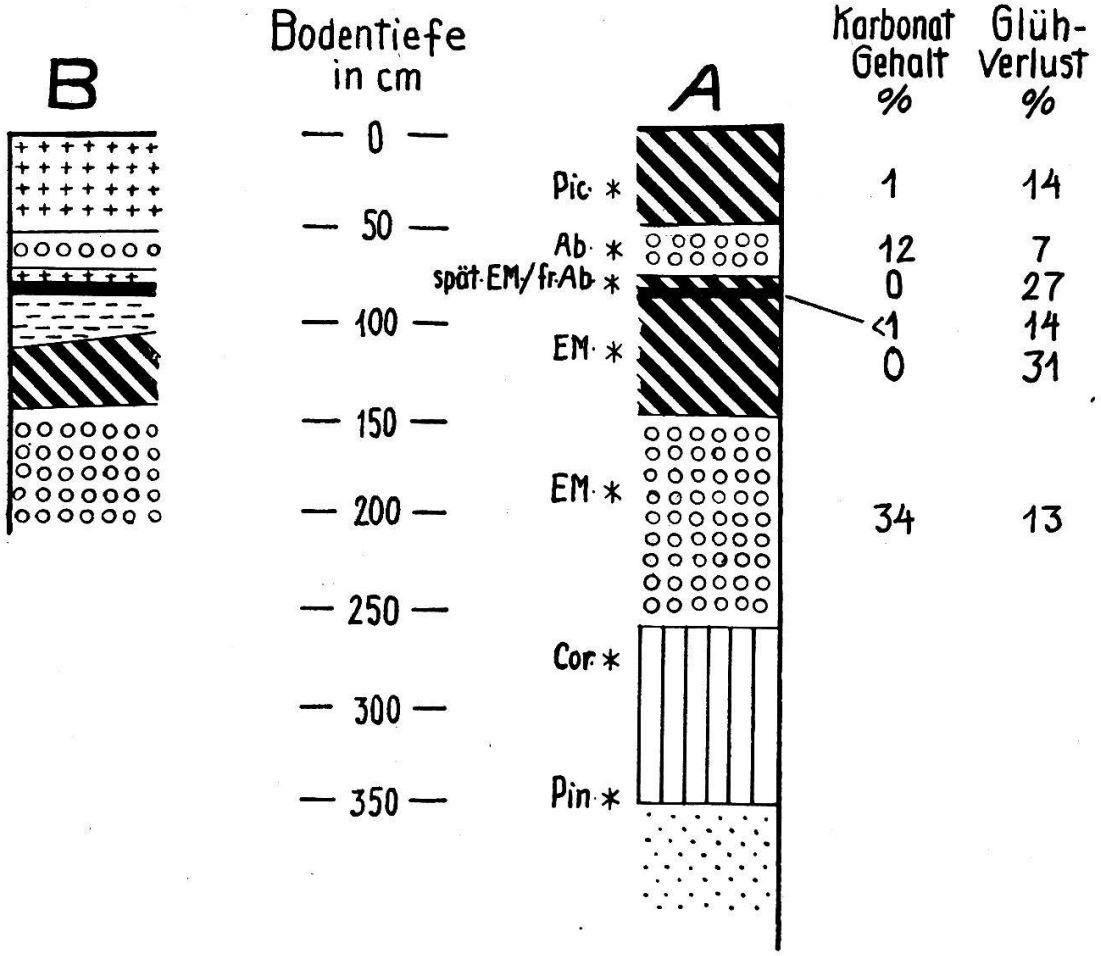


Abb. 9.
Bodenprofile am Graben längs des Westrandes des Schwarzgrabenwaldes nahe seiner Mündung in die Broye (Bohrpunkt 122). Veränderung des Bodens mit der Entfernung vom alten Aarelauf. A: unmittelbar am alten Aareufer, 30 m von der Broye entfernt. B: etwas vom Aareufer entfernt, ca. 70 m von der Broye. Erklärung der Zeichen s. S. 10.

Der Uebergang vom Flussufer zu den Torfgebieten lässt sich gegenwärtig sehr schön an der Stelle beobachten, wo der dem Westrande des Schwarzgrabenwaldes entlangziehende Kanal sich in den Broyekanal ergiesst (Bohrpunkt 112). Der Lehmgürtel ist dort so schmal, dass der Uebergang sich auf kleinem Raume vollzieht. Die Skizze Abbildung 9 gibt die Verhältnisse wieder und enthält zugleich einige Angaben über die Zusammensetzung der Böden.

Die Lehmbänder im Torf treten in der Regel in der Zweizahl auf, und zwar in entsprechender Weise im Nordosten und im Südwesten des Lehmgürtels. Mit stärkerer Entfernung von dem Aarelauf werden sie schliesslich undeutlich. Das obere Lehmband scheint ganz zu verschwinden; das untere ist zuerst noch als Gyttja-Zwischenschicht festzustellen, so westlich von Ins, und verliert sich bei Gampelen und gegen die Seen hin. Auch in den zentraleren Teilen ist das obere Lehmbändchen im allgemeinen nur da erhalten, wo keine Kultur eingegriffen hat, wie in den Wäldern und den zum Torfabstiche bestimmten Flächen, da es nahe der Oberfläche verläuft und bei der Ackerung zerstört wurde. Mehrfach sind im Torf mehr als zwei Zwischenschichten gefunden worden in Form von Lehmbändchen, lehmigem Torf, Mergeleinlagerungen, Gyttja-Zwischenlagen, die auf Ueberschwemmung der verlandeten Moosoberfläche schliessen lassen, so im Neuhof-Birkenhof-Gebiet (Bohrpunkte 98, 99, 100, 107) und bei Kerzers (Bohrpunkte 179, 197, 198). Ferner ist im östlichen Moosteil (Prof. V—IX, nördl. Hälfte von Prof. IV, vereinzelt vorgeschoben bis Bohrpunkt 74) sehr verbreitet ein schmales Schichtchen hellbraunen Torfes über dem Sand am Grunde des Profils, das von Sand oder von Mergel bedeckt ist. Wir können aus diesen Vorkommnissen den Schluss ziehen, dass die zwei Ueberschwemmungshorizonte des Islerengebietes im Moose weitverbreitet sind, dass sich aber ausserdem noch andere, vielleicht lokale Ueberschwemmungshorizonte vorfinden. Die Parallelisierung dieser Ueberschwemmungshorizonte wird erst durch die Pollenanalyse möglich.

Der Torf des Grossen Mooses (vgl. S. 16) ist ausnahmslos Flachmoortorf, meist Radizellentorf, am Grunde oft Phragmites-Torf. Auch über den Ueberschwemmungshorizonten ist meist eine starke Anreicherung an Schilfrhizomen nachzuweisen. An wenigen Stellen, so im Ziegelmoos bei Ins, wurde Hypnaceentorf gefunden, während Hypnaceenblätter in den Radizeilentorfen in wechselnder Menge häufig anzutreffen sind. Sphagnumreste (Blätter und Sporen) enthielten nur Proben aus dem Bohrpunkt 76 nahe dem Ufer des Neuenburgersees in 160 cm Tiefe und weiterhin die unter dem heutigen Seespiegel gelegenen Torfe (vgl. S. 78). Der Torf lässt bei grösserer Mächtigkeit gewöhnlich eine untere, braune und weniger zersetzte und eine obere, schwärzliche und stärker zersetzte Schicht unterscheiden, oft mit ausgeprägter Grenze. Sind mehrere Torfhorizonte durch Lehmschichten getrennt, so ist in jeder Torfschicht der oberste Horizont, oft auch die ganze Schicht, stark zersetzt. Eine Ausnahme macht das helle Torfbändchen am Grunde der Torfserie im östlichen Moosgebiete. Die Mergel enthalten in der Regel 30—40 %

Karbonate und gehen da, wo sie an Torfe angrenzen, langsam in Lehme über. Wenig mächtige Bänder sind, wie schon erwähnt wurde, ganz lehmig. Die unter der Basis des Torfes liegenden Mergellager sind reichlich von den Wurzelstöcken des Schilfes und verschiedener Cyperaceen durchzogen, oft bis in beträchtliche Tiefe. Für die in den Torf eingeschalteten Mergel und für die Lehme lässt sich diesbezüglich keine allgemeine Regel geben. Da, wo sie in grösseren Massen abgelagert sind, also vor allem in der Nähe der Flussufer, enthalten sie meist nur Pflanzenreste mit weitgehend zerstörter Struktur. An anderer Stelle und namentlich auch im weiten Gebiete der dünnen Lehmlagen, sind sie reichlich von Wurzelstöcken durchzogen. Ihr Gehalt an Mikrofossilien ist meist nicht gering (vgl. über Pollen, S. 103). Ausgeprägt arm an strukturell erhaltenen organischen Geweben sind die schwarzen Lehme, trotz des hohen Gehaltes an organischen Stoffen, der bis über 30 % gehen kann. Seekreide findet sich vor allem in den Grenzgebieten des Mooses, auf der Linie Galmiz-Kerzers, und westlich und südlich von Ins, sowie im Isleren- und Birkenhof-Gebiet. Sie wurde offensichtlich in den Moosteilen abgelagert, die von den Einschwemmungszentren weit abgelegen waren, oder in mehr oder weniger abgeschlossenen Becken. Die Seekreide ist von weisslicher oder gelblicher Farbe und reich an Schalen kleiner Schnecken und Muscheln. Nach einer freundlichen Mitteilung von Herrn Dr. Ed. Gerber in Bern bestimmte J. Piaget um 1910 aus Seekreide des Ziegelmooses folgende Mollusken: *Limnaea palustris*, *L. mucronata*, *Planorbis carinatus*, *Bythinia tentaculata*, *Valvata piscinalis*, *V. alpestris*. Sie liegt in der Regel über dem Mergel, in den sie durch alle Zwischenstufen übergeht und unter der zum Torfe überleitenden Gyttja. In andern Fällen ruht sie auch direkt dem Sande auf, und nahe dem Ufer des alten Aarelaufes wurde sie zwischen Mergelschichten gefunden. Der unter den Torfen und Mergeln liegende Sand ist karbonatreich, abgesehen von einzelnen Ausnahmen in der Nähe des östlichen Moosrandes und im allgemeinen von mittelfeiner bis feiner Beschaffenheit (vgl. S. 17, 74). Sehr häufig ist er etwas mergelig, dann aber auch wieder rein gewaschen. Ott gibt in seinem Bericht eine eingehende Würdigung der Sandqualität.

Die bisher geschilderten Bodenverhältnisse sind unschwer zu verstehen als das normale Ergebnis der Sedimentation eines viel feines Geschiebe, Trübung und gelösten Kalk mit sich führenden Flusses in ein offenes Seebecken, in Verbindung mit Hebungen und Senkungen des Seespiegels und Verlandungen und Torfbildungen durch die Vegetation. Die Ablagerungen erfolgten zur Hauptsache unter Wasser, wobei der Fluss wahrscheinlich auch subaquatische Wasserrinnen bildete, wie sie in der Gegenwart an der Mündung von Rhein, Rhone und anderen Flüssen in die vorgelagerten Alpenrandseen gefunden wurden (Collet 1916, S. 150).

Zunächst der Mündung, die offenbar häufig verlegt wurde, was sich auch im Wechsel der Ablagerungen äussert, setzte sich der Sand ab; weiter entfernt bildete die lehmige Trübung zusammen mit Kalkniederschlag den Mergel, und in abgeschlossenen Mulden oder abgelegenen Teilen des Deltagebietes, wo die Trübung des Flusses sich nicht mehr wesentlich geltend machte, entstand ein mehr oder weniger reiner Kalkniederschlag, der zur Seekreide wurde. Wenn durch die Auffüllung mit Mineralstoffen der Boden sich genügend erhöht hatte und sich grössere oder kleinere Tümpel bildeten, so nahm die Vegetation von ihm Besitz, zuerst in lockerem Bestande, der die Weiterbildung von Mergeln ermöglichte, die Entstehung von Seekreide eine zeitlang begünstigte und schliesslich bei zunehmender Vegetationsmasse und abnehmendem Gehalt an Kalk und eingeschwemmten mineralischen Sinkstoffen organischen Schlick, Gyttja, erzeugte. Im seichten Wasser schloss die Vegetation dicht zusammen, und wenn die dauernde Verbindung mit dem offenen See unterbrochen war, so setzte die Torfbildung ein, die zur völligen Verlandung führte. Dann hörte bei gleichbleibendem Wasserspiegel die Bildung des Torfes auf, und die Lage der Oberfläche blieb stationär, wobei sich Moliniawiesen bildeten und die Ansiedlung von hydrophilen Bäumen möglich war. Die obersten Torfschichten zersetzten sich. Durch das Ansteigen des Seespiegels erfolgte eine neue Ueberschwemmung, die wiederum die gleichen Vorgänge der Landbildung auslöste, im Grossen Moos offenbar mehrmals aufeinander. In den flussnahen Teilen des Mooses führte die Anschwemmung von Sand und Mergel zu so starker Aufhöhung, dass keine Torfbildung einsetzen konnte. Von diesem erhöhten Boden nahm die Vegetation ebenfalls Besitz, zuerst wohl mit *Cyperaceen*-Wiesen, dann auch mit Wald und Gebüsch. Hier ging die Verwesung der organischen Reste sehr weitgehend vor sich; die Rückstände, namentlich der unterirdischen Teile, lagerten sich im Boden ein, der in den oberen Schichten nach und nach entkalkt wurde. Gelegentliche Neuzufuhr bei Ueberschwemmungen wurde in den entstehenden Wald- oder Wiesenboden hineinverarbeitet. So bildeten sich im Laufe der Zeit die schwarzen Lehme aus, die wir also als Waldboden, teilweise auch als Boden von Sumpfwiesen auf lehmigem Grunde betrachten, je-

denfalls entstanden auf einer trockenen oder nur periodisch überschwemmten Unterlage.

Diese einfachen Verhältnisse werden nun aber durch verschiedene Erscheinungen, die wir im folgenden besprechen wollen, wesentlich verwickelter gestaltet.

Sandwälle zwischen dem Neuenburgersee und dem Moosrande bei Gampelen-Ins. Sie sind bereits Seite 15 erwähnt worden. Zwischen den vier Wällen, die heute ausgebildet sind, liegen flache Mulden. Der äusserste Wall beginnt östlich des Dorfes Gampelen und taucht südwestlich von Ins im Torfboden unter. Er war noch im Bohrpunkt 97 deutlich festzustellen. Die Einsenkung am Rimmerzbach teilt ihn in zwei Hauptteile, die bei einer mittleren Breite von nicht ganz hundert Metern unregelmässig unterteilt und ausgebogen sind, dies vor allem auf der äusseren, östlichen Seite. Bereits im Generalplan von Gampelen von Bernschuen aus dem 18. Jahrhundert, in dem dieser Dünenzug Insel genannt ist, wird er als sieben bewaldete Höcker dargestellt. Heute geht die Abtragung und Ausebnung der westlichen Teile rasch weiter; doch heben sich die höchsten Teile, das Islerenhölzli zwischen Bahnlinie und Rimmerzbach und der im Profil II gelegene Dählisandhubel noch unverletzt 5—7 m über das umgebende Moosland. Schardt, der diesen Sandzug untersucht hat (1901), findet eine Lösstruktur des Sandes, wie sie sich bei der Einblasung in ein von Vegetation bewachsenes Gebiet ergebe und im Querschnitt des Walles eine flache Nordostseite und eine steile Südwestseite. So kommt er zum Schlusse, dass wir hier eine äolische Düne vor uns hätten, die bereits vor der Bildung des Torfes entstanden sei durch Einblasung von Nordosten her. Der Sand stamme teils aus den Steilhängen zwischen Ins und Gampelen, teils aus dem sandigen Boden, der nach dem Rückgange des Sees das freigewordene Ufergelände bedeckte. Erst später, nachdem der See von neuem zu steigen angefangen habe, sei die Ebene wieder unter Wasser gesetzt worden, und die Ablagerung des Torfes habe eingesetzt. Wir können uns der Ansicht von Schardt nicht anschliessen.

Eine vergleichende Betrachtung des ganzen Dünenzuges zeigt deutlich, dass die Nordseite keineswegs ein geringeres Gefälle aufweist. Soweit der Hang der Düne heute noch den Eindruck des Unverletzt-

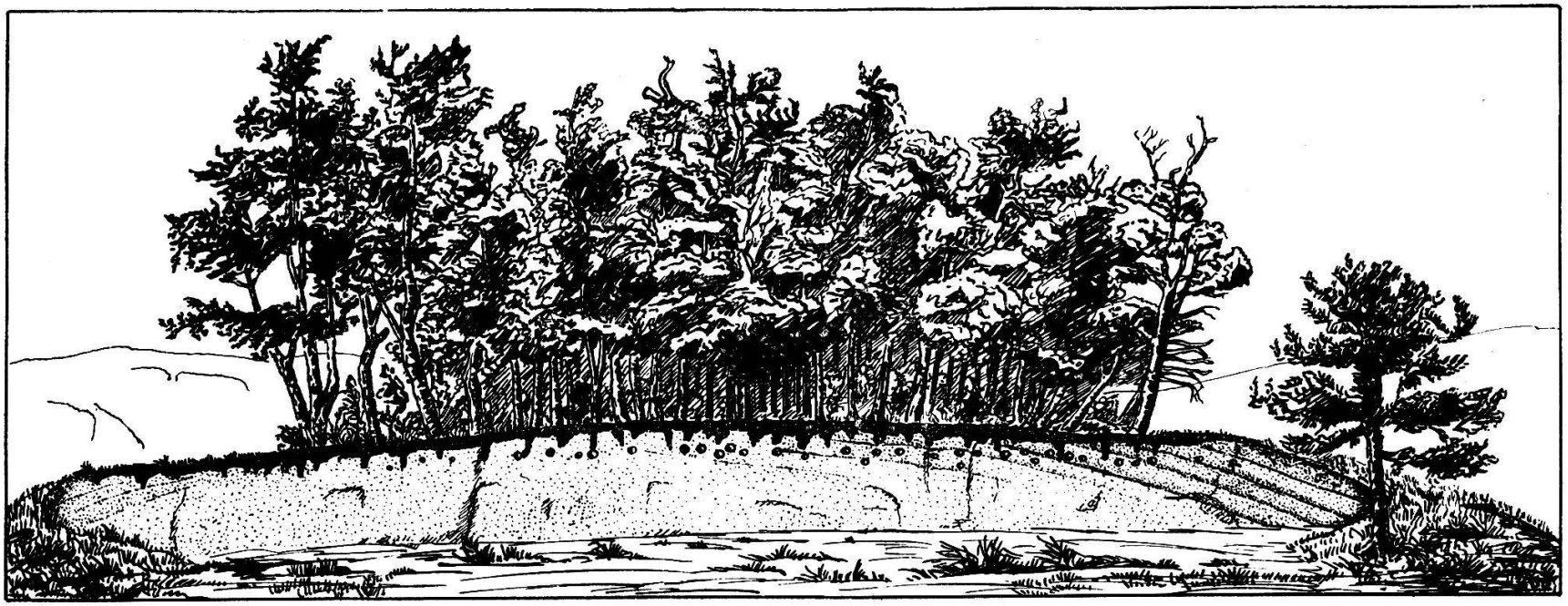


Abb. 10.

Schematische Zeichnung eines Querschnittes durch die Dählisandhubel-Düne bei Gampelen mit Löchern der Uferschwalbe.

seins macht, ist die Nordostseite meist steiler, was damit übereinstimmt, dass der heftige, den Sand aufwirbelnde Wind dieser Gegend von Südwesten kommt, worauf auch Früh und Schröter (1905) aufmerksam gemacht haben. Heute sind diese Dünen an mehreren Stellen durch Sandgruben angeschnitten oder ganz durchschnitten, und an einem dieser Querschnitte sieht man deutlich eine abfallende Schichtung auf der Nordostseite des Walles, entsprechend der Sandverlagerung durch den Südwestwind (vgl. Abb. 10). An wenigen Stellen ist auch auf der Südwestseite des Walles eine schwache Schichtung zu erkennen. Sonst weist der Sand nirgends eine Schichtung auf, überhaupt keine innere Struktur, mit Ausnahme der Oberflächenschichten, und hier rührt sie von der Tätigkeit der rezenten Vegetation und der Bodentierwelt her in Verbindung mit den Atmosphärilien (vgl. S. 17). Die Grösse der Körner übersteigt nach Schardt selten 0,15—0,20 mm, und die grössten erreichen 0,50—0,60 mm. Nach meinen eigenen Messungen erhalte ich als Mittelwert von je 100 Messungen den mittleren Durchmesser von 0,23 mm, 0,26 mm, 0,28 mm, 0,29 mm. Grössen von 0,4—0,5 mm Durchmesser sind aber recht häufig. Gemessen wurden die Teilchen bis auf eine Grösse von 0,07 hinab. Der Gehalt an kleineren Teilchen war in allen diesen Sanden verhältnismässig sehr gering. Sie setzen sich zur Hauptsache aus feinem und mittelfeinem Sande zusammen. Zum Vergleiche wurden noch andere Sande des Moosgebietes auf die gleiche Weise ausgezählt. Eine Probe aus der innersten Düne (Witzwilerdüne) ergab einen mittleren Korndurchmesser von 0,26 mm, eine aus den Biberensanden im Krommen 0,33 mm. Sandproben aus dem Untergrunde des Mooses ergaben ähnliche Werte, waren aber zum Teil viel reicher an staubigtonigen Bestandteilen. Ferner wurden einige Proben von Aaresanden aus der Umgebung von Aarberg, die ich Herrn H. Mühlemann verdanke, untersucht. Sie gaben folgende Mittelwerte: Schwemmsand aus dem Flussbett 0,26 mm, vom Rande einer Insel 0,27 mm, ganz jung 0,26 mm, aus dem Bette der alten Aare 50 cm tief 0,23 mm.

Wir kommen zum Schlusse, dass der Dünensand nach Grössenordnung und Kalkgehalt (s. S. 17) mit dem gewöhnlichen Aaresand, wie er heute noch bei Aarberg abgelagert wird, übereinstimmt und kein Grund vorliegt, ihn als Flugsand zu bezeichnen und dass die Düne überhaupt nach ihrem innern und äussern Aufbau nicht als äolische Bildung, als Lössablagerung bezeichnet werden darf.

Unter dieser Düne liegt kein Torf. Eine Grabung im Zentrum der Dählisand-Düne (Bohrpunkt 34) ergab im Niveau des Torfes nur eine dunklere Färbung des Sandes in unregelmässigen Streifen und Schichtchen, und weitere Bohrungen auf der Westseite zeigten das langsame Auskeilen des Torfes gegen die Düne hin. Die Ueberdeckung des Torfes mit einer Sandschicht auf der Westseite der Düne ist wahrscheinlich zum Teil in der Gegenwart er-

folgt als Kulturmassnahme, kann aber auch mit der Torfüberdekkung am Moosrande in Parallele gesetzt werden (vgl. S. 86).

Die beiden nächst innern Dünen, die Rondidüne und die Nusshofdüne, sind wenig hoch und treten eher wie flache, breite Rükken hervor. Allerdings ist ihre Form durch die intensive Kultur des Landes, durch das sie ziehen, wohl wesentlich verändert worden. Die Rondidüne schliesst bei Gampelen an den Moosrand an, wobei wir nicht entscheiden können, ob der Anschluss in der Tiefe vor sich geht, oder ob zwischen Dünenende und Moosrand ursprünglich eine Lücke war, die sich mit Torf ausfüllte und später mit Mineralschutt überdeckt wurde. Gegen Osten taucht sie im Islerengebiet unter, erscheint aber mehrmals wieder mit rundlichen Hökkern gegen den Birkenhof hin, wobei meist nur eine den Sand bedeckende Lehmschicht an die Oberfläche gelangt. So wurde sie im Frühling 1934 bei der Erstellung eines Entwässerungsgrabens vom Schutzwald Chablais gegen den Eschenhof hin in zwei Ausläufern angeschnitten. Der Sand kam beide Male nahe an die Oberfläche. Ueber die dritte Düne, auf der mehrere Höfe des Witzwilergutes stehen (Platanenhof, Nusshof, Eschenhof) und die beim Nusshof einen Nebenast abspaltet, zieht sich heute die Strasse von Gampelen nach La Sauge, und führte schon in der Römerzeit die Strasse über das Moos (s. S. 190). Sie war ursprünglich höher als die Rondidüne; im Grundplan zur Juragewässerkorrektion von 1864, der noch vor der Erstellung der Strasse aufgenommen wurde, erhebt sie sich 200—270 cm über die umliegende Torfebene. Den Moosrand erreicht sie nicht, sondern endigt bei der Station Gampelen. Gegen Südosten hin verlässt die heutige Strasse den Dünenzug östlich des Nusshofes, und dieser setzt sich, der Strasse annähernd parallellaufend, aber nur noch schwach auftauchend, bis zur Strasse fort, die von Witzwil gegen Ins führt.

Der innerste Sandwall, die Witzwilerdüne, hat ausgesprochen die Form einer Stranddüne (s. Abb. 11). Er bildete auch vor der Absenkung des Seespiegels den Strand, wenigstens bei hohem Wasserstande, und war bewaldet. Der Wall beginnt am Seerande bei Marin-Préfargier, zieht sich zuerst nordöstlich und überschreitet die Zihl bei Rothaus am früheren Ausflusse der Zihl, biegt dann rechtwinklig um und verläuft gegen Südosten, parallel dem heutigen Ufer. Südlich von Witzwil biegt er gegen Südwesten um und

zieht sich, mit einem breiten Unterbruch an der Broyemündung, gegen Cudrefin hin. Etwa halbwegs zwischen La Sauge und Cudrefin wird er undeutlich; doch taucht gegen das Dorf Cudrefin hin nochmals auf kurze Strecke ein niedriger Wall auf. Seine grösste Höhe erreicht er zwischen Witzwil und dem Tannenhof mit 436 m; die nördlichen und südlichen Teile sind weitgehend ausgeebnet.

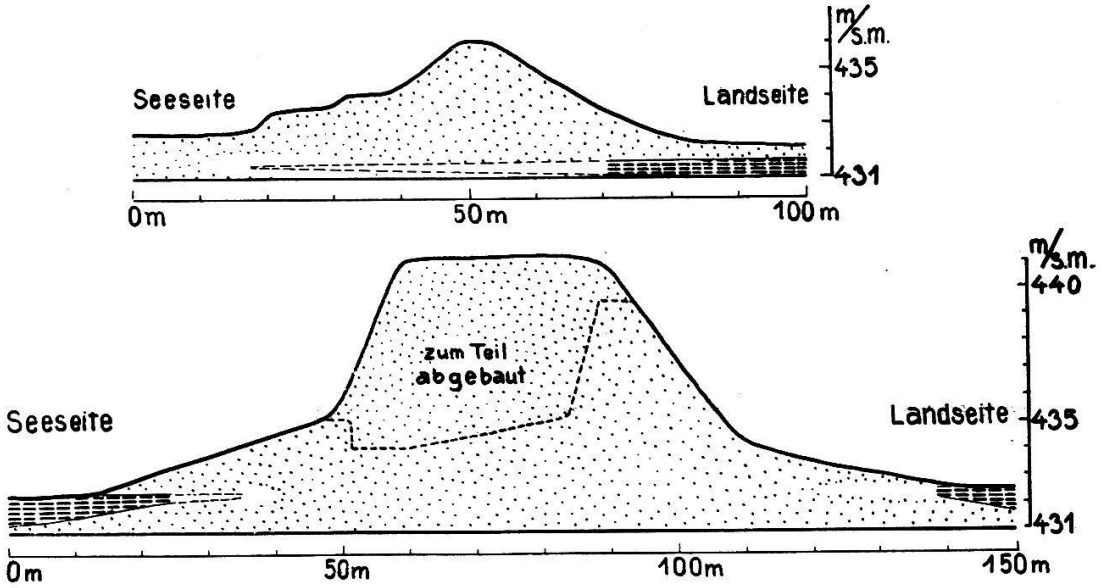


Abb. 11.
Witzwilerdüne beim Tannenhof (oben) und Dählisandhubeldüne (unten) im Querschnitt. Beide 4mal überhöht. Punkte = Sand; wagrechte Strichlein = Torf. Die Enden der Torflager sind nur angedeutet.

Auf diesem Strandwall verlief seit alten Zeiten ein direkter Weg von der Zihlmündung zur Broyemündung und darüber hinaus. Der nördlichste Teil, von Rothaus nach Préfargier, besteht aus grobem Kies und ist bei Rothaus dem Sandwalle vorgelagert, ist also jünger als dieser (s. Abb. 13). Der übrige Teil der Düne besteht aus gleichmässig feinem Sande, und nur zu beiden Seiten der Broyemündung tritt nochmals ein feiner Kies auf, der schon von Gilliéron erwähnt wird. Dieser Kies wird auf der linken Broyeseite zwischen La Sauge und Cudrefin noch gegenwärtig ausgebeutet, während er auf der Witzwilerseite beinahe verschwunden ist. Nach der Mitteilung von Herrn Direktor O. Kellerhals hat ihn die frühere Witzwiler-Genossenschaft nach Neuenburg verkauft. Doch habe ich im Bohrpunkt 76 westlich vom Schutzwald Fehlbaum

15 cm Kies unter 30 cm Sand und über 25 cm humosem Sande angetroffen.

Diese Düne lagert auf Torf, der allerdings von geringer Mächtigkeit ist und zum Randgebiete der Seebodenmulde (zwischen der dritten und vierten Düne) gehört. Er reicht im Strandboden südlich von Witzwil ein Stück weit westlich des Schutzwaldes Fehlbaum, der auf der Düne steht. Im erwähnten Bohrpunkt 76 war er unter dem Sande noch 1 m mächtig, setzte aber seewärts aus. In Witzwil (Lindenhof) wurde bei den Fundationen unter dem Sande stets Torf gefunden. Etwas nördlicher, im Profil III, scheint er innerhalb der Düne rasch auszukeilen; im Bohrpunkt 67, 20 m seewärts des Dünenwalles, war er nur noch 5 cm dick. Bedeutend weiter seewärts geht er im Gebiete des Bahnüberganges nördlich der Reckholdern (Profil I und Bohrpunkte 19—22). Dort sind in der Düne unter dem Sande zwei Torfschichten vorhanden, und weiter seewärts konnte eine dünne Torfschicht, die von Mergel unterlagert wurde, im Sandboden noch weit gegen den See hin verfolgt werden (vgl. S. 122). Dieser Sandwall ist also ein bedeutendes Stück über den Torfboden gewandert. Landeinwärts der eigentlichen Düne, bis zum Seebodenkanal hin, ist durch Ausblasung der Torf ebenfalls mit Sand zugedeckt worden.

Zwischen der Witzwilerdüne und dem heutigen Strand liegen noch mehrere kleine Strandwälle, heute im Uferwald verborgen, kaum über einen Meter hoch und meist nur wenige Meter breit. Sie sind in Zahl und Anordnung etwas unregelmässig und oft unterbrochen. Zwischen Witzwil-Tannenhof und dem See finden sich drei benachbarte, schmale, und ein etwas breiterer Sandstreifen. Vor der Absenkung des Seespiegels und der Bewaldung des Ufers wurden diese Sandwälle vom Hochwasser überflutet und waren jedenfalls von unbeständigem Charakter. Sie werden bereits von Gilliéron (1885) erwähnt.

Südöstlich der Dünenwälle stossen aus der Ebene vereinzelte kleine und flache Sandrücken und Sandhügelchen heraus, die sich in die Fortsetzung der äusseren drei Dünen einreihen lassen: Die Sandrücken des Erlenhofes als Fortsetzung eines westlichen Armes der Nusshofdüne, der kleine Rücken zwischen Ziegeleikanal und Schwarzgrabenwald vielleicht als Fortsetzung eines östlichen Armes der gleichen Düne, die verschiedenen Hügelchen und Rücken durch

das Islerengebiet, den Birkenhof zum Schwarzgrabenwald und bis zu dem Sandaufstoss am Hauptkanal beim Lindergut, als Fortsetzung der Rondidüne, und die Sandhügel vor dem Brudersgraben als Fortsetzung der Dählisandhubeldüne. Dadurch wird der ganze westliche Teil des Mooses in breite Mulden aufgeteilt, die sich gegen den alten Aarelauf hin öffnen. Der Zusammenhang im einzelnen könnte erst durch viel zahlreichere Bohrungen, als sie mir möglich waren, sichergestellt werden. Doch legt, wie wir sehen werden, die allgemeine Betrachtung der Dünenbildung eine solche Auffassung nahe.

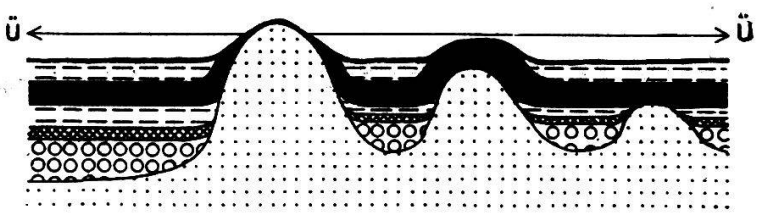


Abb. 12.
Schema der Sand- und Lehmhügellandschaft beim Birkenhof, mit einem Ueberschwemmungsniveau (Ü). Erklärung der Zeichen s. S. 10.

Im Birkenhofgebiet sind die Sandrücken mit Ausnahme der höchsten von Lehmschichten umhüllt. Der Lehm ist dunkel gefärbt; die in der Tiefe anschliessenden Schichten sind hell und mergelig. Man wird diese Erscheinung dadurch erklären können, dass schon vor Beginn der Torfbildung oder bei später einsetzenden Ueberschwemmungen sich auf den überschwemmten Teilen der Sandrücken Mergel ablagerte. Als der Wasserstand etwas zurückging, setzte sich in den Mulden Torf ab, während sich auf den trockenen Rücken schwarze Lehme bildeten, gleich wie dies früher für das Aareufer auseinandergesetzt wurde. Diese schwarzen Lehme über dem Sand können also einen Masstab für die Höhe der Ueberschwemungen abgeben (s. XI. Kapitel). Wir haben versucht, den Vorgang in einer Skizze darzustellen, wobei wir einen Ueberschwemmungshorizont annahmen, der sich zwischen zwei Perioden der Torfbildung einschaltete (Abb. 12).

Torfe unter dem heutigen Seespiegel. Des weitern müssen wir der merkwürdigen Torfe gedenken, die im Winter 1931/32, anlässlich von Sandgewinnung am Seeufer, durch die Anstalt Witzwil entdeckt wurden. Die genauen Nachforschungen durch viele Gra-

bungen, für deren Förderung ich Herrn Direktor Kellerhals besonders dankbar bin, zeigten, dass hier, zum Teil am Strand und zum grösseren Teil bereits im See gelegen, ein weitgedehntes Torflager vorliegt. Wir haben in der Abbildung 13 seine Umrisse angedeutet.

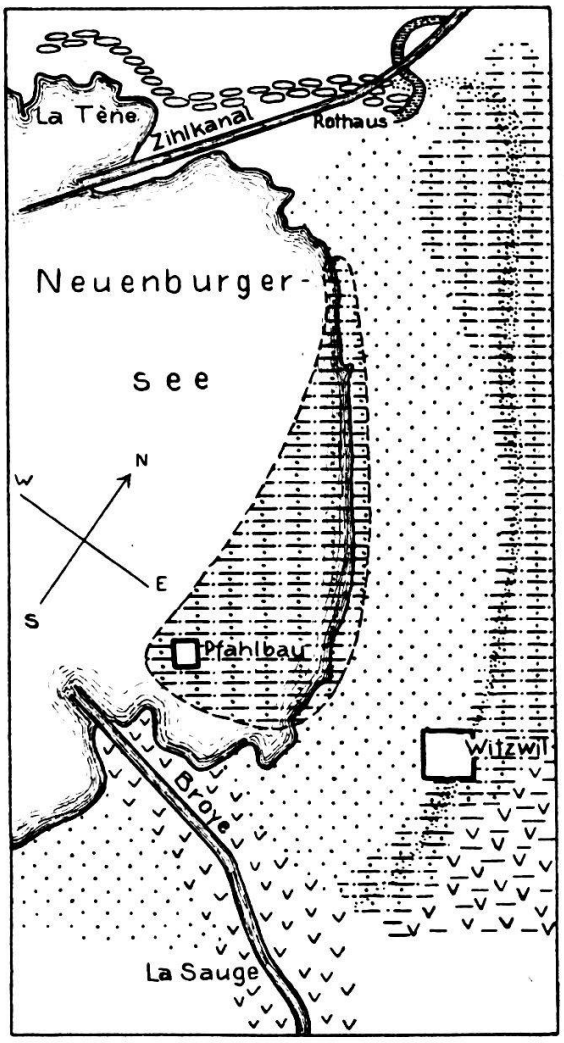


Abb. 13.
Unterseeische Torfbank am Neuenburgersee bei Witzwil. Erklärung der Zeichen s. S. 10.

Das Torflager beginnt nördlich der Broyemündung (in der Bohrpunktreihe 85—93 wurde kein Torf gefunden), umfasst seewärts noch das Gebiet der Pfahlbaustation, landwärts noch den heutigen Strand und zieht sich, immer schmäler werdend, nach Norden bis gegen den Zihlausfluss hin. In der Fortsetzung von Profil I, die bereits im Gebiete des alten Ausflusses der Zihl liegt, wurden die Torfe nicht mehr gefunden. Die Torfe im Strandgebiete jenseits der Zihl erwiesen sich als älter oder jünger. Gleichalterig sind nur Reste von Torfbänken an der alten Zihl bei Zihlbrück.

Das Bemerkenswerte an diesen Torfen ist die Tatsache, dass sie völlig unter dem heutigen Wasserspiegel liegen. Die Torfschicht ist bis 80 cm dick (meist rund 30 cm), und ihre Mächtigkeit nimmt uferwärts und gegen Norden hin ab. Sie ruht meist auf Mergel, unter dem der blaue Sand des Untergrundes erscheint und ist von Sand zugedeckt (vgl. Bohrpunkt 70 im Profil III). Die Sanddecke kann bis über 1 m mächtig sein (Bohrpunkt 70 = 115 cm), aber auch nur 10 cm betragen oder sozusagen fehlen, wie vielfach im südlichen Teile, in der Pfahlbaustation und von dort gegen das Ufer. Die höchsten beobachteten Torfschichten erreichen bei Niederwasserstand des Sees von 428,6 m gerade noch das Wasserniveau. So im Frühling 1933 in der Gegend des Vogelbeobachtungsturmes, während sie in der Pfahlbaustation schon 50 cm unter dem Wasserspiegel lagen. In dem erbohrten Profilpunkt 70 war die Oberfläche des Torfes 145 cm unter dem mittleren Seespiegel und die Basis des Torfes 180 cm. Dieser unter dem Wasserspiegel verborgene Torf erklärt auch die mir früher immer unverständliche Tatsache, dass die am Strande von Witzwil freilebenden und oft hunderte von Metern ins Wasser hinaus wandernden und dort herumwühlenden Schweine an Beinen, Kopf und Bauch geradezu schwarz gefärbt erscheinen.

Der Torf ist ein dunkler Radizellentorf, zum Teil mit vielen Schilfrhizomen, zum Teil mit einer Menge von Hypnaceen - Moosblättern. Im Torf unter dem Pfahlbau und in seiner Umgebung wurden reichlich Sphagnumblätter und -sporen gefunden. Zwischen Torf und unterliegendem Mergel befindet sich eine schwache Gyttjaschicht. In der Gegend des Pfahlbaues wurde im Torf eingelagert eine etwas schlickige Schicht gefunden.

Diese gewaltigen Torfbänke konnten nur entstehen, als der Seespiegel etwa 1,5 m tiefer war als gegenwärtig (wahrscheinlich bei langsam ansteigendem Wasserstand), und als ein vorgelegter Sandwall den Abschluss gegen den offenen See hin schuf. Hinter dem Sandwall (= Seedüne) lag eine breite Lagune, die verlandete. Heute ist die Seedüne völlig verschwunden. Der Sand wanderte über den Torf landeinwärts und bildete die heutige Sandbedeckung des Torfes, oder ist auch schon weiter, in das heutige Strandgebiet, gelangt. Insgesamt sind also zwischen dem Neuenburgersee und dem Moosrande bei Ins-Gampelen fünf hintereinanderliegende Dünen mit dazwischen liegenden Torfmulden zu unterscheiden.

Entsprechende Bildungen sind auch an andern Stellen der Juraseen zu erwarten.

Die Entstehung der Dünen und Strandwälle. Sie lässt sich nur in engem Zusammenhang mit der ganzen Dynamik der Bildung des Grossen Mooses erklären durch die Kräfte der vom Winde bewegten Wellen des Sees auf den flachen, durch andauernde Einschwemmung grosser Schuttmengen sich erhöhenden Seeboden und wahrscheinlich unter Mit-

wirkung von Seespiegelschwankungen. Aeolische Sandzufuhr in das Moosgebiet, wie Schardt sie annimmt, hat dabei keine Rolle gespielt; dagegen spricht die Beschaffenheit und die Lagerung des Sandes der Dünen und die Tatsache, dass zur Zeit, da der grosse See sich entleerte, die umliegenden Hänge sicher schon vegetationsbedeckt waren. Die Einschwemmung aus der unmittelbaren Umgebung des Mooses, wo grosse Sandhäufungen und sandreiche diluviale Ablagerungen vorhanden sind, kommt nur für die frühe Postglazialzeit in Betracht. In dieser Zeit mag auch die Kiesablagerung am unteren Isleren- und Seebodenkanal vom Jolimont herab erfolgt sein (s. S. 60). Frühzeitig aber hörte der Zustrom auf; denn gerade längs der Moosränder finden sich in ungestörter Lagerung die mächtigsten Torfhäufungen.

Sehen wir uns nach anderen Sandquellen um! Der See selber kann den Sand nicht geliefert haben, da die treibende Wirkung der Wellen kaum tiefer als 50 cm unter das Niederwasser reicht und der Auswurf aus diesem Gürtel bald zu Ende wäre. Er kann aber durch die Kraft der Wellen irgendwelchen Schutt, der ihm zugeführt wird, fortbewegen und unter Mitwirkung des Windes an geeigneter Stelle anhäufen. Als Sandquellen kommen in Betracht das Südufer des Neuenburgersees, die in Neuenburger- und Murtensee mündenden Flüsse und Bäche aus Molasseland und Jura und die Aare.

Die Südküste des Neuenburgersees besteht aus unterer Süsswassermolasse (Aquitanien), die im allgemeinen mergelig ausgebildet ist, aber in einzelnen Bänken, besonders in den südwestlichen Teilen der Küste, auch eine sandige Beschaffenheit annimmt oder in Sandstein übergeht. In dieses weiche Gestein haben sich die Wellen des Sees im Laufe der Zeiten weit eingeschnitten, und durch Nachstürzen der oberen Schichten sind Steilwände entstanden. Das Kliff erreicht an einzelnen Stellen 60—70 m Höhe und die davor liegende Abrasionsebene, die auf den Seestand vor der Korrektion der Juragewässer eingestellt ist, eine beträchtliche Breite (im allgemeinen etwa 200—300 m; kann aber bis auf 600 m steigen). Kliff und Abrasionsebene sind in der Postglazialzeit entstanden, und wenn auch die Hauptmenge des Schuttes die äusseren Teile der Strandebene und den davor liegenden Seeboden aufschüttete, so können noch grosse Schuttmassen von den Wellen des Sees verdriftet worden und auf diese Weise auch in das Gebiet des grossen Mooses gelangt sein. Die Richtung der dazu notwendigen Wanderung würde der Wirkung der heftigen Südwestwinde entsprechen, und die Landzungen des Strandes von Yvonnand bis Champmartin legen durch ihre nach Nordosten gerichteten Spitzen den Gedanken der Auflandung von Südwesten her nahe. Doch glaube ich nicht, dass diese Zufuhr im

Grossen Moos einen bedeutenden Betrag ausmachte. Der Hauptteil des Molassefelses zerfällt bei der Zerlegung in suspendierten Ton und gelösten Kalk, die sich als Mergel niederschlagen. Die sandigen Reste sind verhältnismässig gering. Auch die Sandsteinbänke sind reich an leichtlöslichem Kalk und Ton. Fünf zwischen Cudrefin und Port Alban entnommene Proben des mergeligen Felsens enthielten im Mittel 45 % Karbonat (Schwankung von 37—53 %), fünf zwischen Cudrefin und Font entnommene Proben von Sandstein oder mergeligem Sandstein enthielten im Mittel 25 % Karbonat (Schwankung von 22—30 %), und nur ein Bändchen feinen roten Tones bei Port Alban war karbonatfrei. Der verhältnismässig geringe Sandanteil zeigt sich auch darin, dass am Strand, zum mindesten von Cudrefin an, wo der Kliff beginnt, bis nach Port Alban der aufgehäufte Schutt von vorwiegend mergeliger Beschaffenheit ist und die reinen Sande, wie sie für den Fanelstrand charakteristisch sind, ganz zurücktreten. Treffen wir auf solche Sande, so erweisen sie sich als kalkarm. Zwei Sandproben vom Strande bei Estavayer zeigten übereinstimmend einen Karbonatgehalt von 5,5 %; mehrere andere Sandproben, an Ort und Stelle untersucht, brausten mit Salzsäure überhaupt nicht auf. Hier liegt der entscheidende Punkt. Der aus den Molasse-Sandsteinen frei werdende Sand ist kalkarmer oder kalkfreier Quarzsand, der niemals die kalkreichen Sande geliefert haben kann, wie sie für die Dünenwälle und den Untergrund des Grossen Mooses charakteristisch sind.

Etwas anders liegen die Verhältnisse für die an dieser Küstenlinie mündenden Bäche und Flüsse, da sie nicht nur Molasseschutt, sondern auch Diluvialschutt transportieren, der stellenweise viel kalkreichen Sand enthält. Doch sind diese Bäche klein und haben sicher aus dem bewaldeten Lande nur wenig Schutt herausgebracht, wie wir bereits für die direkt in das Grosse Moos einmündenden Bäche festgestellt haben. Die grösseren dieser Zuflüsse, die Menthue und die Orbe, sind zudem so weit entfernt am oberen Ende des Sees gelegen, dass es schon gewaltiger Sandzuschüsse bedürfte, um die Verfrachtung bis an das untere Ende des Sees zu ermöglichen.

Nicht anders steht es für den südlichen Teil des Mooses mit der Broye. Am Ostufer des Murtensees liegen die Karbonatwerte des Sandes deutlich tiefer als im übrigen Moosgebiet (s. S. 17), scheinen aber höher zu sein als am Westufer des Sees, wo drei Sandproben einen Karbonatgehalt von 10, 11, 12 % ergaben. Diese Verhältnisse legen die Annahme des Hertransportes von Broyesand längs des Ufers bis an den Ostrand des Murtensees und seiner Mischung mit Aaresand nahe. Da aber zeitweise auch die Biberen am Ostufer des Murtensees einmündete und der Galmizbach Sand führte, so kann die Karbonatarmut der Sande am Ostufer des Sees durch die Vermischung des Sandes dieser Bäche mit dem normalen Grossmoos-Sande entstanden sein. Somit ist die Mitwirkung der Broye nicht einmal für die Sande am Ostufer des Murtensees sichergestellt und für die dortige Düne mit 26 % Kalk bereits wenig wahrscheinlich. Dagegen können die mächtigen Seemergel-Ablagerungen dieses Ufergebietes sich aus den Trübungen niedergeschlagen haben, welche die Broye in den Murtensee brachte, und ihr Einfluss kann in einer frühen Zeit auch ins Grosse Moos hineingereicht haben. Für den Untergrund des Grossen Mooses fallen die Broye-Sande ausser Betracht.

So bleibt als Sandlieferant eigentlich nur die Aare. 10 Proben von Aaresand von Aarberg ergaben einen mittleren Karbonatgehalt von 28 % (26—37,5 %). Ueber die gewaltigen Schuttmengen, die sie jetzt noch, nachdem mit der Einleitung der Kander in den Thunersee und der Erstellung des Stausees in Freiburg der Zuschuss aus dem Hochgebirge beinahe abgeriegelt ist, im Bielersee aufhäuft, wurde bereits berichtet (S. 14). In den ersten Zeiten nach dem Rückzug der Gletscher, als die ausgedehnten Moränenböden noch überall frei lagen, müssen die Schuttransporte durch das Wasser ausserordentlich viel grösser gewesen sein. Das Ergebnis war die verhältnismässig rasche Aufschüttung der grossen Ebene.

Dynamik der Aufschüttung. Die von der Aare in ihrem Mündungsgebiet nahe dem Wasserspiegel in den See abgelagerten Sande und eventuell auch Kiese wurden von den Wellen ergriffen und vertragen. Der heftige Stürme erzeugende Südwestwind musste sie nach Norden verfrachten, wo sie sich längs des Strandes aufhäuften und einen Strandwall bildeten. Durch die Ablenkung am Ufer, das gegen Nordosten zieht, konnte der Sandwall ebenfalls gegen diese Richtung umbiegen. So lange die Flussmündung sich nicht veränderte, ging die Sandhäufung weiter, und die stärksten Häufungen mussten im Laufe der Zeiten nicht in Flussnähe, sondern in grösserer Entfernung, wo die Bewegung sich verlangsamte oder aufhörte, entstehen. Beim Verschieben der Flussmündung musste der Augenblick eintreten, da der Faden zwischen dem Flusse und dem Strandwall riss und der von den Wellen fortgeführte Sand anfing, einen neuen Strandwall zu bilden, der innerhalb des früheren gelegen war. Der ältere Strandwall, der inzwischen in seinen entfernteren Teilen hoch gewachsen war, erhielt keinen Sandzuschuss mehr und fixierte sich durch dichten Pflanzenbewuchs. Zwischen den beiden Wällen entstund eine flache Mulde, die in Form einer Lagune vom See mehr oder weniger vollständig abgetrennt war und nun durch Ablagerung von Mergel und Seekreide, sowie durch Torfbildung völlig verlandete Indem dieser Vorgang sich im Gebiete des Grossen Mooses fünfmal hintereinander wiederholte, entstanden die fünf hintereinander liegenden Strandwälle mit den dazwischen liegenden Mulden.

Die Schnelligkeit des Vorganges ist in erster Linie abhängig von der Grösse der Schuttzufuhr und von der Stärke der Wellenbewegung. Die

letztere hat im Seegebiet in der Nacheiszeit kaum grössere Schwankungen durchgemacht, wohl aber die Zufuhr des Schuttes, die in der Frühzeit, wie bereits ausgeführt worden ist, viel grösser war als später und die auch für kürzere oder längere Zeit teilweise oder gänzlich unterbrochen werden konnte, wenn die Aare ihr Wasser direkt gegen Solothurn hin abführte. Auf eine starke Vermehrung des Zustromes erfolgte ein rasches Vorschieben des Deltas, und damit war die Vorbedingung für die Bildung eines neuen Walles gegeben.

Aber auch Seespiegelschwankungen können von Einfluss auf die Neubildung von Dünenzügen gewesen sein. Erhöhung des Wasserspiegels bringt zwar eher Zerstörung oder Verlagerung der Strandwälle mit sich. Anders verhält es sich bei der Absenkung des Seespiegels. Die Uferlinie verschiebt sich seewärts, und dementsprechend verlängert auch der Fluss seinen Lauf. Wenn er nun am neuen Strande grössere Mengen von Sand ablagert, so werden die Wellen auch einen neuen Sandwall aufhäufen.

Die beiden Möglichkeiten der Dünenbildung können sich auch miteinander verbinden, indem bei niederem Wasserstande, der gewöhnlich auch mit geringer Schuttzufuhr verbunden sein wird, sich ein kleiner Strandwall ausbildet, der in darauf folgenden Zeiten der Ueberschwemmung durch die grösseren Sandmassen ausgebaut und namentlich erhöht wird.

Es ist schwierig, festzustellen, wie sich diese Vorgänge im Finzelnen im Grossen Moose gestaltet haben. Es scheint für die Witzwilerdüne und für die Seedüne (und nur für diese beiden kennen wir die Bildungsgeschichte genauer), dass ihre Aufschüttung zur Hauptsache in Ueberschwemmungszeiten erfolgt sei. Sie erfolgte aber jeweilen innerhalb einer langen Zeitspanne, und wir glauben, dass der Strandlinie des tiefen Seestandes bei Anlage und Verlauf des neuen Dünenzuges eine wesentliche, wegleitende Bedeutung zukam. Die Tatsache, dass die Lagunen, wenigstens in den zentraleren Teilen, zur Zeit ihrer Abtrennung noch ziemlich tiefes Wasser führten, wie aus den abgelagerten Mergel-, Seekreide- und Gyttjaschichten geschlossen werden kann, spricht nicht unbedingt für hohen Seestand in der Zeit der Abtrennung. Eine bei hohem Wasserstande unter Wasser abgelagerte Embryonaldüne konnte auch bei s i n k e n d e m Wasserstande als Absperrungswall in Tätigkeit treten und eine Mulde mit stehendem Wasser abgrenzen.

Es sei hier auch erwähnt, dass die Sandunterlage, wenn wir von den kleinen Unebenheiten absehen, im ganzen untersuchten Moosgebiete annähernd in der gleichen Höhenlinie beginnt (429—430 m), über die nur die Dünengebiete, der Rücken gegen den Murtensee (altes Strandgebiet des Murtensees) und der heutige Strand am Neuenburgersee hinausragen. Da der Sand im wesentlichen nur im Strandgebiet aufgeschüttet wurde und die Ueberlagerung des Sandes durch die übrigen Sedimente nach der mehr oder weniger vollständigen Abschliessung vom Strande erfolgte, so dürfen wir wohl daraus den Schluss ziehen, dass der Seespiegel in den Zeiten, da in den ältern und jüngeren Moosteilen die Ausbildung der Sandebenen ihren Abschluss fand, ein annähernd gleich hohes Niveau inne hatte. Auffallend hoch gelegen ist die breite Sandstrandebene am Neuenburgersee. Sie entstand in der heutigen Gestalt in einer Zeit andauernd hohen Wasserstandes durch Verfrachtung der Seedüne und neuzugeführten Sandes über die flache, verlandete Mulde, die hinter ihr lag.

Dabei wurde die Mulde vom Sande zugedeckt und der alte Strand an der Witzwilerdüne beträchtlich erhöht.

Es stellt sich auch die Frage, ob nicht gleichzeitig die Verfrachtung nach zwei Richtungen möglich sei, also in unserem Falle eine Sandhäufung unter der Wirkung des Nordostwindes auch südwestlich der Aaremündung. Die Möglichkeit ist für ein beschränktes Ausmass zu bejahen. Nordoststürme sind allerdings weniger häufig als Südweststürme; aber sie verschieben den Sand in entsprechender Weise. Nur wird er bei der entgegengesetzten Wellenbewegung wieder zurücktransportiert, und der Endeffekt, der sich aus diesem Spiel der Kräfte ergibt, wird dazu führen, dass ein grosser Ueberschuss für den Transport nach Norden hin übrig bleibt. Trotzdem bleibt ein Teil des Sandes auf der Südseite, nämlich derjenige Sand, der während des Transportes nach Süden ans Ufer geworfen wird und in vegetationsbewachsenes Gebiet gelangt, sich somit der Wirkung von Wellen und Wind entzieht. Nur kann sich der Transport in dieser der Hauptrichtung des Windes entgegengesetzten Richtung nicht über eine sehr weite Strecke hin vollziehen. Den Beweis für die Richtigkeit der hier vorgetragenen Ansicht bildet die Stranddüne, die sich in einiger Entfernung von der heutigen Broyemündung auch auf der linken Seite findet und die sogar noch feinen Kies enthält.

Wie bereits erwähnt, sind uns die Einzelheiten der Sedimentation für die älteren Zeiten des Postglazials heute verborgen. Es ist anzunehmen, dass die Aare ihren Schuttkegel in der Frühzeit rasch vorstiess, ihren wilden, ungebändigten Lauf bald in die eine, bald in die andere Richtung nahm und dadurch die weite, flache Ebene mit Ausnahme der obersten paar Meter auffüllte. Sie dämmte dabei auch den Murtensee ab (s. S. 90) und erzeugte die zahlreichen Unregelmässigkeiten im Untergrunde, die wir vor allem bei Müntschemier und Ins gefunden haben. Wahrscheinlich schüttete sie schon in dieser Zeit die zwei (oder drei) äussersten Dünen auf, die den Eindruck erwecken, als seien sie im südöstlichen Teil später wieder von Fluss und See anerodiert und teilweise abgetragen worden. Ueberreste solcher alter Flussläufe wurden nur in Andeutungen (s. S. 65, 125) gefunden. Sie sind wohl im allgemeinen mit dicken Sand- und Mergelschichten überdeckt. Doch schon früh fand die Aare den Weg, den der heute sichtbare

alte Flusslauf zeigt, und schüttete die mittlere Lehmachse auf, die das Moos in zwei getrennte, grosse Räume zerlegte, in deren randlichen Teilen von nun an die Torfbildung in ungestörter Weise vorsichgehen konnte, während insbesondere das Gebiet südlich und östlich von Müntschemier noch einer starken Modellierung unterworfen war.

Ueberlagerung des Torfes durch Mineralerde an den Rändern des Mooses (s. Bodenkarte, Taf. 10). Ich lernte sie zuerst zwischen Ins und Müntschemier kennen und kam zum Schlusse, diese Ueberlagerungen des Torfes, in denen sogar Ziegel- und Glasstücke eingeschlossen sind, seien durch den Menschen aus den benachbarten Kiesgruben auf das Moos geführt worden. Wir haben bereits ausgeführt (S. 42), dass seit der Entsumpfung bis in die Gegenwart grosse Mengen von Detritus auf das Moos hinausgeführt worden sind, die beinahe ausschliesslich aus den Steingruben stammen und ein Vorwiegen der groben Komponenten erkennen lassen, sich auch meist mit dem Torfe vermischt haben und nicht eine ihn überlagernde Schicht bilden. Die genauere Untersuchung der Verhältnisse zwischen Ins und Müntschemier zeigte nun aber, dass die Schuttüberlagerung eine beträchtliche Mächtigkeit erreicht, 50 cm bis 1 m am Moosrande. Sie nimmt gegen das Moosinnere hin rasch ab und ist meist schon in geringer Entfernung vom Rande nicht mehr nachzuweisen. Diese Deckschicht ist aus sandig-toniger Feinerde zusammengesetzt und dadurch auch von der rezenten Ueberdekkung durch den Menschen zu unterscheiden. Gerade in der Längsallmend bei Ins finden wir am ursprünglichen Moosrande nur diese feinkörnige Torfüberdeckung, die mit der Entfernung vom Moosrande an Mächtigkeit abnimmt, und erst südlich der Bahnlinie, gegen den offenen, heutigen Rand des Torfbodens hin, tritt eine Kies-Sand-Schicht auf, die den Resten der tonigen Schicht aufliegt und weiter mooswärts direkt auf dem Torfe ruht. Hier sind also deutlich zu trennen: die feinerdige Schicht, die mit ihrer grössten Mächtigkeit an den Moosrand ansetzt und als Ausschwemmung aus dem Mineralerde-Gebiet jenseits des Moosrandes zu deuten ist und die grobe, kiesig-sandige Schicht, die sich durch ihre Lagerung als künstliche Ueberführung durch den Menschen darstellt. Sie fiel hier, in der unmittelbaren Nähe von grossen Steingruben, so kräftig aus, dass sie über dem Torfboden eine geschlossene

Decke bilden konnte. Am Fuss des steilen Hanges, der heute als Steingrube angeschnitten ist, mag übrigens auch Kies auf natürliche Weise ausgeschwemmt worden sein.

Wenn diese Deutung richtig ist, so müssen wir am Moosrande solche Ausschwemmungen namentlich dort finden, wo ein Gewässer einmündet. Dies stimmt auch vollkommen. Unterhalb des Dorfes Ins, rings um die Eisenbahnstation, liegt ein beinahe halbkreisförmiger, ganz flacher Schuttkegel, der sich aus Feinerde zusammensetzt und auf Torf liegt (Bohrpunkt 94: unter 75 cm Lehm und Sand, 360 cm Torf). Er stammt von dem hier ins Moos einmündenden Inser-Dorfbach, der für gewöhnlich ein stilles, oft trockenliegendes Wässerchen bildet, aber bei heftigen Gewittern auch jetzt noch stark anschwellen kann und dann trübe Fluten dem Moos zuführt.

Viel grösser sind diese Ueberdeckungen aber am östlichen Moosrande, zwischen Kerzers und dem Murtensee. Hier mündet westlich vom Bahnhof Kerzers der Kerzerser Dorfbach (Mariabrunnenbach) ins Moos ein, heute korrigiert und durch ein neues Bett geleitet. Aber ein schmal vorgeschobenes, sandig-toniges Delta zeigt seinen ehemaligen Einfluss ins Moos. Südwestlich und zum Teil mit ihm vereinigt, schliesst sich das grosse Delta der Biberen an, das wahrscheinlich nach Osten bis über die Eisenbahnlinie Kerzers-Galmiz hinausreicht, von dem aber nur die äusseren Teile, für welche die Torfüberlagerung festgestellt worden ist, in die Karte eingezeichnet wurden. Ein kleineres Delta dieser Art liegt westlich der Station Galmiz, bei der Einmündung des Dorfbaches von Galmiz ins Moos.

Die Biberen ist der einzige grössere Bach, der ins Grosse Moos einmündet. Die Länge ihres Laufes beträgt etwa 15 km. Sie stammt aus einem flachen Hügelland der Molasse mit diluvialer Bedeckung und führt immer Wasser. Bei starken Regengüssen bringt sie Sand und etwas Kies mit sich. Der bei der Juragewässerkorrektion gebaute Biberenkanal, der das Wasser der Biberen durch das Moos führt, hat bis weit in das Moos hinaus einen kiesigen Grund erhalten.

Das Delta der Biberen besteht aus einem sandigen Lehm, der über Torf mehrere Meter mächtig werden kann (im Bohrpunkte 186 = 2,5 m) und gegen die Ränder hin langsam abnimmt und verschwindet. Der unterliegende Torf ist von homogener Art, ohne grössere Störung abgelagert, und sehr mächtig. An mehreren Stellen wurde er in 2,5 m dicker Schicht erbohrt. Mitten im Delta liegt der Moränenhügel «Gümi». Die äusseren Deltateile sind von fächerförmig ausstrahlenden, schmalen Sandwällen durchzogen, die sich weit über das Delta ins Torfland hinaus fortsetzen. Drei

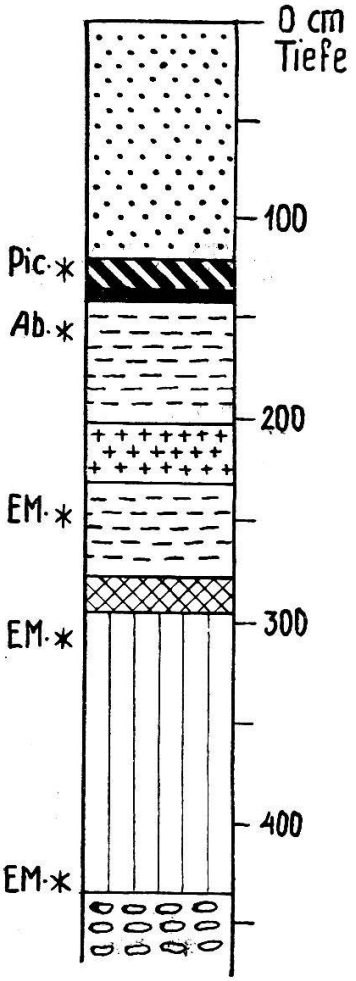
solcher Wälle von 10—20 m Breite und geringer Erhebung (ca. ½—1 m) bilden eine erste Schar, dem südöstlichen Moosrande am nächsten; ein etwas grösserer und breiterer Wall mit vielen seitlichen Auszackungen verläuft nördlich von ihnen ebenfalls in südwestlicher Richtung, und noch weiter nördlich entspringt ein letzter Wall, der sich gegen Westen wendet und im Innern des Mooses an den alten Aarelauf anschliesst (vgl. S. 66). Ueber die schmalen Zungen der Sandwälle führen heute die Fahrwege.

Im scharfen Gegensatze zu den Aaresanden sind die Sande dieser Wälle meistens kalkarm oder kalkfrei (s. S. 17) und qualifizieren sich dadurch als Quarzsande der Molasse, die durch die Biberen hergebracht worden sind. Wir wissen aus alten Karten, dass die Biberen vor der Korrektion sich beim Eintritt ins Moos gabelte und der eine Arm nach Südwesten in den Murtensee («alte Biberen») führte, der andere Arm längs des nördlichsten Sandwalles gegen den alten Aarelauf hinzog. Die Sandwälle, die seit der Korrektion infolge des Zusammensinkens des umliegenden Torflandes mehr aus dem Boden heraustreten als früher, sind alte Flussbetten der Biberen. Der äusserste, gegen den alten Aarelauf hinausführende Wall zeigt heute noch stellenweise eine deutliche Einsenkung in der Mitte, die dem alten Bachbette entspricht. In und an ihrem Bette lagerte die Biberen den Sand ab, in dem zwischenliegenden Gebiete zur Zeit der Ueberschwemmung Lehm oder sandigen Lehm. Die nördlichste Sandzunge liegt mit einer dünnen Kiesschicht am Grunde auf Torf. Dies wurde auch für zwei der südlichsten Wälle und einzelne Nebenwälle des mittleren Hauptzuges festgestellt. Ob dieser selber auch auf Torf ruht, ist unsicher.

Auch am Fusse des Mont Vully, dem Neuhof gegenüber, wo ein kleiner Bach vom Vully her der Broye zuströmt, ist ein Sand-Delta, das sich über Torf ausdehnt (Bohrpunkt 115, Abb. 14), und wahrscheinlich ist die Erscheinung in grösserem oder kleinerem Umfange dem ganzen Rande des Mooses nach zu beobachten.

Wenn zur Erklärung dieser Ueberlagerung von Torf durch Mineralboden auch die direkte Ueberführung mit Schutt durch den Menschen auszuschliessen ist, so stellt sich doch die Frage, ob nicht vielleicht der Mensch das in das Moos fliessende Wasser nach heftigen Regengüssen, wenn es mit Schlamm und Sand beladen war, durch zweckmässige Verteilung benutzte, um durch Ablagerung seiner Sinkstoffe den Moosboden zu erhöhen, eine Mineralerdeschicht über dem Torfe zu schaffen oder doch wenigstens den Torfboden durch Düngung fruchtbarer zu machen. Diese halb natürliche Schuttüberführung, Kolmatierung genannt, lag ganz im Sinne der Zeit, welche die Korrektion des Grossen Mooses durchführte. Nach Angaben von Herrn Joh. Kissling in Ins diente noch vor 50—60 Jahren der Inser-Dorfbach zur Bewässerung der nahegelegenen Moosteile. Herr Jak. Etter in Ried teilte mir mit, dass vor der Korrektion eine solche Kolmatierung im Biberen-Delta ausgeführt wurde. Man leitete die Bibern bei Hochwasser durch den mittleren Sandarm gegen Westen und verteilte das sandführende Wasser in viele kleine Seitenwässerchen. Diesen würden die kleinen, durchwegs auf Torf ruhenden Sandwälle entsprechen, die vom Hauptwalle abgehen. Um aber auf

solche Weise das Delta aufzuführen, wäre eine systematische, während langen Zeiträumen durchgeführte Kolmatierung Voraussetzung. Eine solche hat nicht stattgefunden. Herr R. Merz in Murten, ein guter Kenner der lokalen Geschichte dieser Gegend, weiss nichts von Kolmatierungen in früherer Zeit. Herr Staatsarchivar Raemi in Freiburg kennt nach gefl. Mitteilung keine diesbezüglichen Urkunden. In zwei Kommissionsberichten aus dem Jahre 1864 und einem von 1866 (s. im Lit. Verz. unter Rapports), die mit den Entwässerungsprojekten in Beziehung stehen, finden sich Hinweise darauf, dass zwischen Kerzers und Galmiz durch von den Gehängen und namentlich von der Bibern hergebrachte Gesteinstrümmer das Moos mit einer Erdschicht überführt worden sei, die gegen das Moosinnere an Dicke abnehme und schliesslich verschwinde. Aber diese Ueberführungen werden ganz allgemein den Ueberschwemmungen der Bibern zugeschrieben, ohne Bezugnahme auf ihre Organisation durch den Menschen. Auch eine Notiz bei Bolz (1763), die angibt, dass die Bauern einen Teil der Mooswiesen mit fetterer Erde von Zeit zu Zeit überführen, wodurch ihr Zustand zum Verwundern verbessert werde, ist nicht als Zeuge für grosszügige Kolmatierung zu betrachten. Für das Sand-Delta bei Neuhof kommt Kolmatierung gar nicht in Betracht.



Abb, 14.
Bodenprofil vom Delta des Bächleins, das vom Mont Vully her bei Neuhof in die Broye fliesst (Bohrpunkt 115).
Für die Zeichen s. S. 10.

Wir kommen zum Schlusse, dass der Mensch bei der Ueberdeckung des Torfes an den Rändern des Mooses nur in bescheidenem Umfange mitgewirkt habe. Um so eigentümlicher erscheint das wechselvolle Verhalten, namentlich der Biberen. In der nacheiszeitlichen Frühzeit werden die Bäche durch Abspülung wesentliche Mengen von Schutt in den Jurasee eingeführt haben. Doch ist sogar die Einwirkung der Biberen lokal geblieben und gegenüber der Aare beinahe bedeutungslos gewesen; denn der Sanduntergrund steigt gegen das Einmündungsgebiet der Biberen nicht an. Späterhin muss die Biberen während langer Zeit ein kaum bemerkbares Dasein geführt haben; wir finden ihre Spuren nirgends in dem mächtigen Torfkörper, der diesen Moosteil ausfüllt. Dann aber kam die Zeit, wo sie anfing, gewaltige Mengen von Lehm und Sand

mit sich zu führen und über das Moos abzulagern, sich ihr Delta aufzubauen. Zugleich suchte sie sich für einen Teil ihres Wassers einen neuen Weg zur Aare, der über Torfboden führte (Bohrungen 160, 169, 182) und mit Sand, stellenweise sogar mit Kies gepflastert wurde. Erklärungsversuche für diese Erscheinungen können wir erst später geben (s. S. 268).

Ueber den älteren Lauf der Biberen wissen wir nichts. Vielleicht zog sie zur Aare, vielleicht längs des Hauptsandzuges, an den Murtensee, in welcher Richtung auch die kleineren Sandzungen zeigen. Doch bin ich in dem vor dem Murtensee liegenden Gebiete nirgends auf ihre Spuren gestossen. Der Sanduntergrund liegt hier auf breiter Fläche sehr hoch, wurde, wie wir sehen werden, frühzeitig aufgeschüttet, und deutet nach seiner Beschaffenheit eher auf die Aare (s. 82). Am Murtensee sind keine Sandwälle vorhanden, mit Ausnahme eines kleinen Walles am Ostrande des Sees. Die Aare ist jedenfalls, nachdem der Jurasee abgesenkt war, nicht in den Murtensee geflossen. Dieser Teil des Sees scheint bereits während der Absenkung aufgefüllt worden zu sein. Im heutigen Strandgebiet ist die Sandhäufung nicht sehr bedeutend, und unter dem Sand der Oberfläche kommen mächtige Schichten Seemergel, die ich sowohl beim Bahnhof Sugiez (Bohrpunkt 129), als auch im innern Strandgebiet (Bohrpunkt 137) nicht zu durchbohren vermochte. Der Sand des Strandes, der auch hier landwärts am Rande des Strandgebietes älteren Torf deckt, kann sowohl von der Biberen herrühren, als auch von den Bächen, die auf der Südseite in den Murtensee und ins Moos münden, hergebracht worden sein.

Wir werden später versuchen, die Seeauffüllung zeitlich festzulegen und dadurch schärfer zu fassen (Kapitel VII).