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: XII: Von den Ursachen der Seespiegelschwankungen

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: 03.07.2025

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

XII. KAPITEL

Von den Ursachen der Seespiegelschwankungen.

Wir haben uns weitgehend gewöhnt, die Ursachen der Seespiegelschwankungen in Klimaschwankungen zu erblicken: feuchtes oder kühlfeuchtes Klima bringt hohen Seestand und Grundwasserstand überhaupt, trockenes oder besonders trocken-warmes Klima bedingt ein Absinken der Gewässer. Auf die Voraussetzung einer solchen Wechselwirkung gründet sich zum grossen Teil die von Blytt und Sernander für Skandinavien ausgearbeitete Lehre von den Klimawechseln in der Postglazialzeit. Diese Forscher unterschieden fünf postglaziale Klimaperioden. Die älteste (Präboreal = Spätglazialzeit) war kühl und trocken, die zweite (Boreal) warm und trocken, die dritte (Atlantikum) warm und feucht, die vierte (Subboreal) warm und trocken und die fünfte (Subatlantikum) kühl und feucht. Die bis ins Subboreal zunehmende Aufwärmung konnte die Zunahme der Feuchtigkeit im Atlantikum grösstenteils kompensieren und führte bei der Rückkehr der trockenen Witterung im Subboreal zu einem ausgesprochenen Tiefstande der Gewässer. Die darauffolgende feuchte Zeit dagegen wirkte sich um so katastrophaler aus, als sie sich mit der Abnahme der Wärme verband (Klimasturz), und führte in der Hallstatt- oder La Tène-zeit zum Hochstande der Seen, der mit einigen Schwankungen und leichter Abnahme bis in die Gegenwart anhielt.

Gams und Nordhagen (1923) haben versucht, diese Theorie auch auf Mitteleuropa anzuwenden und haben dadurch die Forschung in ausserordentlich wirksamer Weise belebt. Ihre Auffassungen setzten sich im letzten Jahrzehnt bei den Geographen und Prähistorikern allgemein durch. Wir finden sie für unser Gebiet auch bei Spinner (1932) und bei Antenen (1931). Im engeren Forscherkreise haben sich aber wesentliche Wandlungen der Anschauungen vollzogen. Die für das Subboreal geforderten Austrock-

nungshorizonte waren vielfach nicht zu finden, und die vergleichende Stratigraphie vermittelst der Pollenanalyse zeigte, dass Moorwachstum und Moorstillstand keineswegs so einheitlich erfolgten, wie man nach der Blytt-Sernander'schen Klimaperiodentheorie glaubte. Die Pollenanalyse lehrte des weitern, dass in der Bronzezeit, die als Subboreal den trockensten Abschnitt der Postglazialzeit repräsentieren sollte, die Buche ihre Hauptverbreitung nimmt und die Eiche zurückgedrängt wird, während Gams und Nordhagen, denen zur Zeit der Abfassung ihrer Studie noch keine pollenanalytischen Untersuchungen aus Mitteleuropa zur Verfügung standen, gerade für die Subborealzeit die maximale Ausbreitung der Eiche angenommen hatten. So wurde die subboreale Trokkenperiode in Frage gestellt und auch von Gams in späteren Publikationen (schon 1927), ganz wie es durch von Post geschah (1931), das Blytt-Sernander'sche Schema immer mehr abgeschwächt. Das postglaziale Wärmemaximum wurde zurückverlegt ins Atlantikum oder ins Boreal und damit eine Angleichung an die von Milankovitch aufgestellte Strahlungskurve erzielt, die das letzte Strahlungsmaximum der Sonne auf etwa 10,000 Jahre v. Chr. einsetzte. Die Blytt-Sernander'schen Perioden sollen nur noch im chronologischen Sinne und nicht mehr zur klimatischen Charakterisierung verwendet werden. In dieser Bedeutung haben wir sie unserer vergleichenden Zeittafel (S. 198) angefügt, unter Benutzung einer freundlichen schriftlichen Mitteilung von Gams, vom Herbst 1934.

Heute herrscht über das Klima der Postglazialzeit in dem Alpenvorlande und in den Alpen nur in den Hauptzügen Klarheit, soweit es die Tatsache anbetrifft, dass auf eine trocken-kühle Urzeit eine wärmere Frühzeit und eine feuchtere und kühlere Spätzeit folgte. Aber über Zeit, Umfang und Schnelligkeit dieses Klimawechsels und namentlich über zwischenliegende Schwankungen, für die so manche Anzeichen vorliegen, sind wir heute unsicherer als vor 10 Jahren, und die Materialien, die von Gams und Nordhagen beigebracht worden sind, bedürfen einer Neuwertung und zum Teile auch der Neuuntersuchung. Wir wollen versuchen, einen kleinen Beitrag in dieser Richtung zu bringen, indem wir die Seespiegelschwankungen der Jurarandseen auf ihre Beweiskraft für Klimaänderungen untersuchen und daraufhin in einem Gange durch

das schweizerische Alpenvorland ein weiteres Material kritisch betrachten.

Es ist nicht angängig, eine Veränderung im Stande der Seespiegel oder des Grundwassers ohne weiteres auf Klimaänderungen zurückzuführen.

Gams und Nordhagen weisen darauf hin, dass Erdkrustenbewegungen, die sie für gewisse Gebiete von Mitteleuropa wahrscheinlich machen, die gleiche Wirkung hervorrufen. Lokale Hebungen und Senkungen, Aufpressungen von plastischem Material sind geeignet, ein falsches Bild des wirklichen Seestandes vorzutäuschen. Ferner muss zur Beurteilung des Seestandes die ganze Hydrologie des Gebietes beigezogen werden, müssen die Möglichkeiten der Aenderung oder der Störung von Zufluss und Abfluss durch lokal wirkende Faktoren zur Untersuchung gelangen, und erst, wenn auch diese Betrachtung keine befriedigenden Ergebnisse bringt, dürfen wir an die Frage von Klimaveränderungen herantreten. Wir wollen im folgenden die Dynamik des Wasserhaushaltes im Gebiete der Jurarandseen unter diesen Voraussetzungen prüfen.

Erdkrustenbewegungen sind für das Jurarandseengebiet im Postglazial keine bekannt geworden.

Bärtschi (1913, S. 197) hebt hervor, dass die in höherem Niveau um den See liegenden Bodenterrassen genau horizontal gelagert seien und fasst sie als Reste einer alten Abrasionsterrasse des Sees bei hohem Wasserstande auf. Verschiebungen im Kleinen sind natürlich dadurch nicht ausgeschlossen. Gams und Nordhagen (S. 194) glauben, eine solche gefunden zu haben, indem sie nach einer Veröffentlichung von Hilfiker (1902) angeben, der topographische Fixpunkt Sugiez, auf Molasse gelegen, habe sich gegenüber dem von Neuenburg von 1866—1901 um 132 mm gesenkt. Diese Angabe beruht auf einem Missverständnis. Die Fixpunkte bei Sugiez liegen nicht auf Molasse, sondern auf dem Alluvialboden des Grossen Mooses und haben die allgemeine Senkung desselben nach der Entsumpfung mitgemacht, was von Hilfiker im Text ausdrücklich bemerkt wird. Der in gleicher Richtung weiter weg liegende Fixpunkt von Murten ist völlig unverändert geblieben. Dieser Sachverhalt ist mir von Herrn H. Zölly, Abteilungschef der eidgenössischen Landestopographie, in freundlicher Weise bestätigt worden. Auf den ersten Blick scheint es, dass die tiefere Lagerung gegenüber dem Grossen Moos des in Biel über dem eichenmischwaldzeitlichen Ueberschwemmungshorizonte liegenden Torfes die Folge einer Erdkrustenbewegung sei, entweder der Hebung des Neuenburgersee-Gebietes oder der Senkung des Bielersees, oder eventuell nur der Umgebung von Biel. Die nähere Ueberlegung führt aber doch zu einfacherer Erklärung (s. S. 238). Es sind mir auch keine Erscheinungen

aufgefallen, die auf Niveauverschiebungen durch lokale Rutschungen hindeuten würden. Der Aufbau des Grossen Mooses mit seinen die Mulden abschliessenden Sandwällen erschwert solche an Seeufern, namentlich bei Absenkungen des Seespiegels sonst häufigen Vorgänge. Der Ansicht von Ott (1923, S. XL), am Nordostufer des Neuenburgersees fliesse der Sand langsam in den See hinaus und dadurch trete am Strand eine allgemeine Versandung ein, kann ich nicht beipflichten.

Verlegung von Flussläufen, Tiefenerosion der Gewässer, Aufstauungen durch die Schuttablagerungen sind für die Aenderungen im Wasserhaushalt des Seelandes seit dem Rückzuge der Gletscher von grosser Bedeutung gewesen.

Bei unveränderter Erosionsbasis und gleichbleibendem mittleren Wasserzuflusse wird sich im Laufe der Zeit eine Gleichgewichtslage zwischen Zufluss und Abfluss herausbilden, die sich in einem stabilen Seespiegel äussert. Das Gefälle der zu- und ableitenden Gewässer gleicht sich aus, wobei eine wichtige Gesetzmässigkeit nicht übersehen werden darf. Nach den Untersuchungen von Herrn A. v. Steiger, eidg. Oberbauinspektor in Bern (mündl. Mitt.; ferner Lit. 1930), wird das Gefälle eines Flusses von der Menge, Grösse und Art des zu transportierenden Geschiebes bedingt. Ein Fluss häuft so lange Geschiebe in seinem Bette auf und erhöht dadurch sein Gefälle, bis er das Geschiebe infolge der Erhöhung der Stosskraft zu transportieren vermag. Je grösser also die Geschiebestücke sind, die das Wasser mit sich bringt, um so grösser ist im Zustande des Gleichgewichtes das Gefälle des Gewässers. Ist überhaupt kein Geschiebe vorhanden, so tieft sich der Fluss im Laufe der Zeit bis annähernd zur Horizontalen ein.

Unter den Gewässern, die in das Gebiet der Jurarandseen münden, ist die Aare durch ihre Wasser- und Geschiebeführung und durch die Besonderheit der Einmündung allen andern so unbedingt überlegen, dass sie die Dynamik des Wasserhaushaltes beherrscht. Broye und Thièle münden in die freien Seen, in welche sie den Sand und Schlamm ruhig ablagern können. Wird die Schuttführung etwas grösser, so werden diese Flüsse dementsprechend etwas Schutt in ihrem Bette anhäufen, bis sie das Gefälle soweit vergrössert haben, dass sie den Schutt wieder zu transportieren vermögen. Ganz anders die Aare. Indem diese mit ihrem Schuttkegel bereits in der frühen Postglazialzeit den Jurasee bei Aarberg in einen östlichen und einen westlichen Teil trennte und den östlichen, wenig tiefen Arm gleich völlig auffüllte, schuf sie ein gewaltiges Delta, das dem Steiger'schen Gesetze unterworfen war. Die Aare bringt neben Sand und Schlamm auch grobes Geschiebe in das Delta. Dieses häuft sich in der Nähe des Ausflusses in die Ebene auf, namentlich bei den wilden Ausbrüchen der Hochwasser. Dadurch ent-

steht ein bedeutendes Gefälle, das der Aare erlaubt, das Gerölle weiter vorzutragen. So muss das Geschiebe im Laufe der Zeit immer weiter vorrücken, ein Vorgang, der seine Begrenzung nur in der fortwährend weitergehenden Zerkleinerung des Gerölles im Flussbette findet.

Anderseits werden die Verbindungsgewässer der drei Seen, da sie kein Geschiebe führen, ihren Lauf bis annähernd zur Horizontalen eintiefen, resp., da sie aus der Verlandung eines ursprünglich zusammenhängenden Sees hervorgegangen sind, von Anfang an einen wagrechten Lauf behalten haben. Dies wird für die Zihl-Aare zwischen Neuenburger- und Bielersee nicht so ganz gelten, da ein Teil der Aaresandeinschwemmung und Geschiebe der Jurabäche bei St-Blaise durch Wellentrift zum Seeausflusse gelangte und von dort wegtransportiert werden musste, was ein gewisses Gefälle verlangte. Aber noch ein anderer Vorgang kann hier ein Gefälle erzeugen. Die aus dem Bielersee ausfliessende Zihl-Aare besass keine oder doch eine geringfügige Geröllführung (Schüss, s. unten). Auch sie suchte sich also auf die Horizontale einzutiefen, was von einiger Bedeutung sein konnte, da infolge des Pfeidwald-Hindernisses und vielleicht auch des Schüssdeitas ein gewisses Gefälle gegen den Solothurner-Talboden vorhanden war. Die Senkung des Seeauslaufes musste den Bielersee absenken und die Rückwärtserosion gegen den Neuenburgersee hin beleben, bis zum Ausgleich des Gefälles zwischen den beiden Seen.

Vor der Korrektion befand sich zwischen den beiden Seen ein Gefälle von 120 cm, das bei der Zihlbrücke am stärksten war, wie uns Gilliéron berichtet und mir auch von dem alten Schiffer Otter in Zihlbrück nach seinen Jugenderinnerungen bestätigt wurde. Dieses Gefälle kann durch Rückwärtserosion vom Bielersee her entstanden sein, die sich vielleicht an der härteren Schwelle, unterstützt durch den Brückenbau, staute; wahrscheinlicher erscheint mir aber die Annahme, es sei durch die Notwendigkeit, Sand und Kies, die immer noch vor dem Ausfluss aus dem Neuenburgersee gehäuft wurden, wegzuschaffen, unterhalten worden.

Dieser Mechanismus der Gefällregulierung wird nun aber im Seeland noch weiterhin kompliziert. Wir haben früher erwähnt, dass die Aare ihren Schuttkegel bis an die Zihl vorgestossen hat, die sich nun vor die Aufgabe gestellt sah, Geschiebemengen fortzuschaffen, für die ihre Stosskraft nicht ausreichte. Da musste sie vorerst ihr Gefälle aufhöhen, und das Wasser in ihrem oberhalb des Hindernisses liegenden Bette und damit die Spiegel

der Seen wurden aufgestaut. Viel stärker noch mussten die Störungen werden, wenn die Aare ihren Lauf völlig wechselte, einmal in den Neuenburgersee und dann wieder nach Osten, direkt gegen Solothurn wendete. War das Gleichgewicht auf den ersteren Fall eingestellt und floss die Aare nun direkt gegen Osten, so trat infolge der weiten Abflussrinnen in den Seen Tiefwasserstand ein, der später durch Aufstauung von unten her oder durch Aufsandung der Abflüsse wieder verschwinden konnte. Die Stauwirkung auf die Zihl konnte auch gleichzeitig mit der Verlegung des Laufes einsetzen, wodurch der Rückgang der Seespiegel in einem unbekannten Umfange gehemmt werden musste. Hatte anderseits das Regime sich auf den geringen und relativ gleichmässigen Abfluss des direkten Einzugsgebietes der Seen eingepasst und floss die Aare nun plötzlich mit ihren gewaltigen Wassermassen in den Neuenburgersee — und ein solcher Durchbruch würde sich wahrscheinlich gerade bei Hochwasser vollzogen haben —, so musste im Seegebiete eine fürchterliche Ueberschwemmung stattfinden, die viele Jahre anhalten konnte, bis sich die Stabilisation auf einem gegenüber früher wahrscheinlich höheren Niveau vollzog.

Ein weiterer Störefried ist die Schüss, die bei Biel in die Ebene mündet und, wie wir eingehend besprochen haben, hier ein grosses Delta aufgeschüttet hat. Wenn sie ihr Delta gegen den Zihlausfluss vortrug, so konnte sie mit ihrem Gerölle die Zihl und damit die Seen aufstauen. Nun haben allerdings die Bohrungen bei Nidau und am Aarekanal keinen Schotter oder doch nur solchen aus der frühen Föhrenzeit ergeben, was in Verbindung mit unseren Studien im Boden von Biel zeigt, dass die Schüss den Hauptteil des Schotterdeltas bereits in der postglazialen Frühzeit aufgebaut hat. Aber später, wie in der Gegenwart, brachte sie immer noch Sand und zeitweise feinen Kies. Und wenn sie auch den Hauptteil in den See ablagerte, so mündete doch ein Arm direkt in die Zihl. Ohne Zweifel wirkte sie hier bisweilen aufstauend und arbeitete jedenfalls der Absenkung des Bielersees entgegen. Mehrfach wurden in der Zihl bei Nidau in älterer Zeit Baggerungen vorgenommen.

Ferner sind Aufstauungen durch Rutschungen in die Zihl unterhalb ihres Ausflusses in den Bie-

see in Betracht zu ziehen. Wir haben das sogenannte Bergschlipf-Gebiet der Pfeidmatt bei Bürglen bereits erwähnt (S. 56, 213). Vor der Erstellung des Nidau-Büren-Kanales war dort eine ausgesprochene Schwelle im Flusslauf. Die älteren Autoren haben wohl übereinstimmend hier eine Rutschung vom Jensberg her angenommen, die den Ausfluss aus dem Seegebiete stauen musste, aber im Laufe der Zeiten teilweise abgetragen wurde. Sie verlegen den Rutsch in die nachrömische Zeit. Auch Peter (1922, S. 4) meint, offenbar hätten Terrainrutschungen oberhalb Brügg, gegenüber dem Pfeidwald, eine bedeutende Verengerung des damaligen Zihlbettes bewirkt, wodurch der Abfluss aus dem Bielersee gehindert wurde. Es ist aber auch die Ansicht geäussert worden, dieser Riegel sei ein Moränenzug.

Der Osthang des Jensberges weist oberhalb der Pfeidmatt eine grosse Nische auf. Kleine, unregelmässig gestellte Bodenwellen (Rutschpakete) liegen von den untern Teilen dieser Nische an zerstreut am Hang bis hinunter zum Aarekanal, so dass ein Bild entsteht, das völlig den Eindruck eines Bergrutsches macht. Der innere Aufbau der Massen zeigt in einem über dem Fusse des Hanges gelegenen Hügelchen die typische Schichtung der am Jensberg anstehenden Molasse mit aufliegender Moräne. Die drei äussersten, bereits in der Ebene liegenden Hügelchen sind untereinander gleich hoch (444,7 m) und durch gerundete Einsenkungen getrennt. Eines ist seitlich etwa 4 m hoch angeschnitten und zeigt sich als aus Molassesanden aufgebaut, in welche unregelmässig und besonders im obern Teile gehäuft (hier an einer Stelle, 1,5 m unter der Oberfläche, beinahe Schicht bildend) gerundete und eckige, meist kleine aber bis mehrere dm^3 grosse Steine eingelagert sind, vorwiegend Quarze, aber auch Granite, Serpentine und Kalke, sowie in reichlichem Masse zerfallende Sandsteinbrokken. Diese Bildung ist wohl durch Verknetung der obenauf liegenden Moräne mit der abrutschenden, sandigen Molasse entstanden.

Die ganze Geländebildung ist alt, und mir scheint die Annahme am nächsten zu liegen, der Rutsch sei eingetreten, als nach dem Rückzuge des Gletschers überhöhte Teile des Hanges nicht mehr die notwendige Stütze fanden, wobei wahrscheinlich die Ablagerung der untern Teile in den grossen Jurasee erfolgte und beim Absinken des Sees durch die Wirkung der Wellen eine gewisse Terrassierung und Ausebnung eintrat, die Aehnlichkeit mit einer durchtalten Moränenlandschaft hervorruft.

Die Rücken der drei vorgeschobenen Hügelchen befinden sich einige Meter unter dem angenommenen Höchststande des Jurasees (s. S. 445); doch zeigt der bereits erwähnte aufgeschlossene Hügel heute auf seinem Rücken keine Spuren von See-Sedimentation.

Wie bereits früher ausgeführt wurde, darf der Pfeidmatt-Berg-

rutsch als die einstige Abgrenzung des Bielersees gegen Osten hin aufgefasst werden. Seewärts von ihm setzen die Mergel des Bielersees ein und sind oberflächlich keine Torfe vorhanden; gegen Osten schliesst ein kleines Torfmoor an, das bis nach Bürglen reicht, im stillen Winkel zwischen dem Pfeidmatt-Walle und den äussersten Aarealluvionen.

Die Pollenanalyse einer Torfschicht des Bürglenmooses aus 170 cm Tiefe ergab bei spärlichem Pollengehalt ausgeprägte Föhrenzeit, und eine lehmig-torfige Einlagerung ca. 100 cm unter der Oberfläche dürfte der eichenmischwaldzeitlichen Ueberschwemmung entsprechen.

Die Torfbildung mitten in der ebenen Talfläche setzt einen beidseitigen Abschlusswall voraus, der erst durch die Ablagerung des Bergschlipfschuttes und der Aareschotter geschaffen wurde. Das Niedergehen des Pfeidmatt-Bergrutsches und der erste Vorstoss des Aareschotters an die Zihl muss also bereits in der frühen Postglazialzeit stattgefunden haben, nicht später als in der Föhrenzeit.

Schliesslich kommt noch die Emme als weiterer Faktor am Dynamismus der Juraseen in Betracht. Sie fliesst unterhalb Solothurn in die Aare und hat sich eine weite Schotterebene aufgehäuft, war bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts durch ihre wilden Ausbrüche, die im oberen Emmental Erde, Bäume und Brücken wegrissen und das Land im Unteremmental stundenweit überschwemmen konnten, berüchtigt und wird auch heute noch, nachdem ihr ganzer Lauf verbaut ist, gelegentlich gefährlich.

Nach den Geologen und Geographen soll die Aufstauung der Juraseen seit der Römerzeit in erster Linie auf die Erhöhung des Emmeschuttkegels zurückzuführen sein (vgl. S. 55). Auch Peter (1923) schreibt die Auffüllung der Ebene von Solothurn bis Büren und die Erhöhung des Schuttkegels der Aare von Büren bis Aarberg der aufstauenden Wirkung der Emme zu, indirekt auch die Aufstauung der Seen. Die bei der Juragewässerkorrekion massgebenden Techniker La Nicca und Culmann dagegen schätzten die Einwirkung der Emme nicht gross ein. Culmann (1858) meint, diese Stauung habe nur in weit zurückliegenden Zeiten eingewirkt, jetzt aber schaffe die grosse Wassermenge der Aare den Kies der vielmal kleineren Emme leicht weg, da gerade an der Einmündung der Emme in die Aare das Gefälle der lezteren sich stark vergrössere. Die Kiesbänke der Emme im Emmenschachen seien seit langem unverändert geblieben, mit dicker Schicht von Dammerde versehen, und sie würden sogar von der Aare anerodiert.

Wahrscheinlich hat die Emme ihren Schuttkegel bereits im frühen Postglazial vorgetragen, ein hier eventuell vorhandenes äusseres Becken des grossen Jurasees ausgefüllt und den Lauf der Aare

bis an den Jurarand zurückgedrängt, respektive eingeengt. Der weiteren Aufhöhung ihres Deltas aber waren Grenzen gezogen; sie ging nach dem Steiger'schen Gesetze solange vor sich, bis die Aare genügend Gefälle erreicht hatte, um das Geröll der Emme fortzuschaffen, und dieses Gleichgewicht wurde bereits sehr früzeitig erreicht, meines Erachtens bereits in der Föhrenzeit. Damit wirkte die Emme fürs erste nur noch erhaltend auf den bisherigen Zustand ein, indem sie das Niveau der über ihr liegenden Ebene bestimmte, und ein weiteres Einschneiden der Aare nur insoweit gestattete, als gleichzeitig die unterhalb ihrer Einmündung liegende Erosionsbasis erniedrigt wurde, so dass das Gefälle erhalten blieb. Hochwasser konnten vorübergehende Stauungen bringen, denen die Aare ohne Zweifel in kurzer Zeit Meister wurde. Eine Aenderung musste aber eintreten, wenn die Schuttführung der Emme sich über längere Zeiträume veränderte, eine Aufstauung, wenn das Gerölle gröber wurde, eine aareaufwärts vorwärtsschreitende Tiefererosion, wenn die Geröllführung abnahm. Solche Veränderungen in der Schuttführung eines Gebirgsflusses werden in erster Linie aus klimatischen Aenderungen zu erwarten sein; auch die Eingriffe des Menschen (Abholzungen im Einzugsgebiet, Korrektion des Flusslaufes, s. S. 268) können die Geröllführung vergrössern. Es müsste sich auch hier im Laufe der Zeit wieder ein Gleichgewichtszustand einstellen.

Gegenwärtig ist der Zusammenfluss von Aare und Emme durch eine ausgedehnte Geröllbank mit grossen Geröllen im spitzen Winkel zwischen den beiden Flüssen und durch eine grössere Zahl von langgestreckten und teilweise bewaldeten Inselchen im Aarelauf unterhalb der Vereinigungsstelle ausgezeichnet. Oberhalb fliesst die Aare sehr ruhig, unterhalb ziemlich rasch. Bei niederem Wasserstand tauchen die Kiesbänke breit auf, und die Aare fliesst zur Hauptsache in tiefen Rinnen, die sie sich in ihrem Bette gegraben hat; bei Hochwasser fliesst sie in mächtigem Strome über die Kiesbänke weg. Die alten Emmealluvionen liegen etwa 150—200 cm über dem heutigen Mittelwasser, tragen Auenwald und werden, wie schon zur Zeit Culmanns, von der Aare anerodiert. Die Aare schafft das Geröll der Emme ohne Mühe fort.

Seit der Zeit, da der Aarelauf in den Bielersee geleitet und die Stauwirkung des Aareschuttkegels ausser Tätigkeit gesetzt worden ist, hat man auch von der Stauwirkung der Emme nichts mehr gehört.

Ermöglicht die Dynamik der Gewässer im Gebiete der Jurarandseen ohne Aenderung der Klimaverhältnisse die Erklärung

der Seespiegelschwankungen? Der Aufstau der Seen kann durch mehrere Möglichkeiten hervorgerufen werden. a) Verlegung des Aarelaufes. Die Aare floss vor dem Aufstau direkt nach Osten gegen Solothurn ab, versperrte sich dort durch Erhöhung des Deltas den Weg und wendete nun ihren Lauf ganz oder teilweise dem Neuenburgersee zu. b) Die Aare stösst mit ihrem Geschiebe im Osten gegen die Zihl vor und staut den Ausfluss aus dem Bielersee auf. c) Die Schüss schiebt ihr Delta an die Zihl vor. d) Der Bergrutsch der Pfeidmatt versperrt der Zihl den Weg. e) Der Antransport grosser Geschiebemengen an den Ausfluss aus dem Neuenburgersee kann das oberhalb des Bielersees liegende Seegebiet aufstauen. Wahrscheinlich kommt aber diesen letztgenannten Vorgängen im Ausmass und wohl auch in der Dauer nur sekundäre Wichtigkeit zu.

Für den Aufstau in der Föhrenzeit kommen alle Möglichkeiten in Betracht. Für d) liegt kein Beweismaterial vor. Der Vorstoss der Schüsschotter bis in die Nähe der Zihl in der Föhrenzeit ist durch den Schüsskies im Bohrpunkt 6 am Nidau-Bürenkanal (s. S. 222) belegt. Er liegt aber zu tief und ist zu wenig mächtig, um eine kräftige Stauwirkung auszuüben. Die Vorschiebung des Aaredeltas bis an die Zihl ist ebenfalls für diese Zeit gesichert durch das föhrenzeitliche Alter des kleinen Moores zwischen Bürglen und Pfeidmatt, das sich erst nach der Ablagerung der Aarekiese bilden konnte. Weitaus die grösste Wahrscheinlichkeit birgt die Annahme, die Aare habe in dieser Zeit ihren Lauf in den Neuenburgersee verlegt. Vor der Ueberschwemung hatte in den östlichen Teilen des Grossen Mooses die Torfbildung auf breiter Fläche eingesetzt. Jetzt wurden die gebildeten Torfe mit Ausnahme der äussersten Randgebiete des Mooses mit Sanden und Mergeln überlagert. Das setzt voraus, dass nicht nur der Wasserspiegel sich hob, sondern auch die Schuttzufuhr vergrössert wurde. Des weitern erfolgte die Stabilisierung des Seespiegels nach dem Rückgang der in den äussersten Ausmassen unbekannten Ueberschwemmung für Jahrtausende auf einem gegenüber vorher bedeutend höheren Wasserspiegel. Das schliesst aber nicht aus, dass die Aare bald wieder einen Teil des Wassers direkt gegen Osten abführte

Für den Aufstau in der Haselzeit und wiederum in der Eichenmischwaldzeit, die dem Anscheine nach beidemale plötzlich erfolgten, bietet der volle Einbruch der Aare, falls sie vorher mit

einem Teile des Wassers nach Osten floss, gegen den Neuenburgersee hin eine gewisse Wahrscheinlichkeit. Für die anderen Möglichkeiten liegen keine bestimmten Anhaltspunkte vor.

Etwas anders scheint sich der Aufstau der Seespiegel in der Tannenzeit und in der Fichtenzeit zu verhalten. Wir stellten fest, dass sich bei Beginn dieser Ueberschwemmungszeiten zuerst der Seespiegel hob und die Ablagerung des Lehmes und damit der Höhepunkt der Ueberschwemmung erst ziemlich spät einsetzte. Wahrscheinlich dürfen wir daraus schliessen, dass die Aufstauung ohne direkte Einwirkung der Aare erfolgte. Als Ursache kommt die Stauung des Abflusses aus dem Bielersee durch den Schuttkegel der Aare (kaum der Schüss) in Betracht. Vorübergehend floss dann die Aare wieder mit ihrer ganzen Wassermasse in den Neuenburgersee und erzeugte den Hochstand dieser Ueberschwemmungen mit dem Lehmhorizont. Für die fichtenzeitliche Ueberschwemmung kann diese Erklärung befriedigen, da wir hier bestimmt wissen, dass die Aare vorher mit ihrer ganzen Wassermenge nach Osten floss und im Hochstande der Ueberschwemmung nochmals nach dem Grossen Moos zurückkehrte. In der Tannenzeit fehlen uns aber solche Anhaltspunkte; wir wissen, dass die Aare auch vor der Ueberschwemmung wenigstens mit einem Teil ihres Wassers, der genügte, den grossen Flusslauf offenzuhalten, durch das Moosgebiet floss.

Was schliesslich das Ansteigen des Seespiegels seit der Hallstattzeit anbetrifft, so wird es durch das weitere Vorschieben des Aareschuttkegels erklärt, der den Lauf der Zihl mehr und mehr aufstaute. Diese Stauwirkung wurde vorübergehend in der La Tène-Zeit durch die Rückkehr der Aare in den Neuenburgersee unterbrochen. Der Emme kann kein oder doch nur ein sehr geringer Einfluss zukommen, ebensowenig der Schüss. Die höhere Lage des Seespiegels nach der La Tène-Ueberschwemmung als vor derselben blieb möglicherweise auf den Neuenburger- (und Murten-) See beschränkt, als Folge der starken Aufhöhung im Gebiet des Abflusses aus dem Neuenburgersee. Die in den oberen, seit der Abieszeit neu entstandenen Teil des Zihllaufes eingeschwemmten Sand- und Kiesmassen blieben zum grossen Teile liegen, weil die geringe Wassermenge, die nach dem Ausbleiben der Aare noch durchfloss, nicht mehr genügte, um sie wegzutransportieren. Ein Seespiegelunter-

schied von 120 cm blieb zwischen Bieler- und Neuenburgersee bis zur Korrektion der Juragewässer bestehen.

Das Abfallen der Seespiegel nach dem Hochstande der Ueberschwemmungen kann sich einerseits dadurch ergeben, dass der Faktor, der die Ueberschwemmung hervorrief, ganz wegfällt. In diesem Fall wird der frühere Seestand, oder infolge der Verbesserung der Abflussverhältnisse ein etwas tieferes Niveau erreicht werden. Oder aber ein den Abfluss hindernder Riegel wird langsam beseitigt, wodurch der Wasserstand ebenso langsam fällt, was den gleichen Effekt auslöst, wie die normale Erniedrigung der Erosionsbasis.

Der Abfall des Seespiegels vor der föhrenzeitlichen Ueberschwemmung (Durchbruch der stauenden Endmoränen von Wangen und Solothurn; Eintiefung des Aarebettes) kann durch Erniedrigung der Erosionsbasis entstanden sein. Doch wissen wir nicht, was unbekannte Flusslaufverlegungen dazu beigetragen haben. Der Verlauf der Seespiegelkurve nach dieser Ueberschwemmung zeigt, dass die Ursache der Aufstauung nicht weggefallen ist, sondern andauerte bis ans Ende der Tannenzeit. Wir erblicken sie in der Aare, die während der ganzen Zeit ganz oder teilweise in den Neuenburgersee floss. Durch Verbesserung des Abflusses und Vertiefung der Erosionsbasis sank der Seespiegel in dieser langen Zeit langsam ab. Die Absenkung wurde im Ausmasse letzten Endes aufgehalten und begrenzt durch die Fixierung der Höhenlage am Zusammenfluss von Aare und Emme unterhalb Solothurn. Die drei Ueberschwemmungszeiten sitzen als Zeiten bewegter Dynamik der Linie des allgemeinen Geschehens auf, wobei wir es für den Augenblick dahingestellt lassen, ob die teilweise Verlegung des Aarelaufes bereits genügen würde, um solche Explosionen hervorzurufen. Der Abfall des Spiegels des Neuenburgersees nach den einzelnen Ueberschwemmungen ist sicher nicht nur durch die Wasserverteilung, sondern auch durch die Schuttmassen, die sich bei Zihlbrück in der Zihl häuften, vielleicht sogar durch Stauungen der von neuem gegen die untere Zihl vorbrechenden Aare mitbestimmt. In der Bronzezeit tritt ein extremer Tiefstand ein, der anzeigt, dass der seit der Föhrenzeit den relativen Hochstand erzeugende Faktor weggefallen ist. Und in der Tat wissen wir, dass in dieser Zeit der Aarelauf durch das Grosse Moos zu verlanden begann.

Hier müssen wir auch Stellung nehmen zu einer Erscheinung, die zwar nicht eine Seespiegelschwankung ist, aber in diesen Fragenkomplex hineingehört, nämlich die Ueberführung der mächtigen Torfschichten an den Rändern des Mooses mit Lehm und Sand. Der Beginn dieser Ablagerungen fällt mit dem Steigen des Seespiegels in der frühen Piceazeit zusammen. Es liegt nahe, als Ursache starke Zunahme der Niederschläge und dementsprechend heftige Ausspülung der Böden der umliegenden Höhen anzunehmen. Doch scheint mir eine andere Erklärung grosse Wahrscheinlichkeit zu besitzen. In der Hallstattzeit und teilweise schon in der Bronzezeit wurden die Pfahlbauten verlassen und die Dörfer auf dem festen Lande angelegt. Die eisernen Werkzeuge ermöglichten weitgehende Rodung des Waldes und die Anlage von grösseren Feldern. In dem Ackerlande wurde der Boden von der schützenden, geschlossenen Vegetationsdecke entblösst, und eine andauernde Ausspülung des Mineralbodens, die bei heftigen Regengüssen sehr verstärkt war, trat ein. Aus den Wiesen und Weiden ist die Ausspülung im allgemeinen nur gering. Bei sehr starken Niederschlägen entstehen aber an den berasten Steilhängen leicht Anrisse, die zur Verwüstung und Abtragung der Erdkrume führen können, während der geschlossene Wald solchen Unwettern im allgemeinen völlig widersteht.

Diese Abtragung hält bis in die Gegenwart an. So sind zum Beispiel durch das Unwetter vom 9. September 1934 in der Innerschweiz zwischen Rigi und oberem Zürichsee an den steilen Rasenhängen viele Hunderte solcher Anrisse mit schweren Ausspülungen bis zur Grösse von Felsblöcken entstanden, und einige Jahre früher war im bernischen Emmental in kleinerem Umfange gleiches zu beobachten.

Wenngleich im Einzugsgebiete der in das Grosse Moos einmündenden Bäche so schwere Störungen nicht zu befürchten sind, da ausgedehntere Steilhänge fehlen, so findet doch eine immerwährende Ausspülung statt, und dieser feine Schutt häufte sich an den Rändern des Mooses auf dem homogenen Torf als sandiger Lehm, in der Nähe der in das Moos hineinfliessenden Gewässer, vor allem der Bibern, als Sand (s. S. 86). Eine ähnliche Ausspülung hat auch in der postglazialen Frühzeit, vor der Bildung des Torfes stattgefunden. Aber bereits der Föhrenwald wirkte schützend, in höherem Masse die späteren Wälder, vor allem die dichten Bestände der Tannen und der Buchen. So brachte auch die Bibern, die aus

einem geschlossenen Waldlande kam, nur verschwindend wenig mineralische Sinkstoffe mit, und die aus dem Hochgebirge stammende Aare blieb während Jahrtausenden der einzige Schlamm- und Sandlieferant im Grossen Moos. Erst der Tätigkeit des Menschen war es vorbehalten, den Vorgang der Ausspülung wieder aufleben zu lassen.

Diese Erklärung kann die Lehmablagerung an den Moosrändern widerspruchslos erklären. Es bleibt nur auffallend, dass die Ausspülung zu Beginn der Fichtenzeit anscheinend am stärksten war. Im alten Bibernlauf durch das Moos liegt am Grunde dieser Sandüberlagerung, unmittelbar über dem Torfe, eine Lage feinen Kieses. Es scheint somit, dass starke Niederschläge in dieser Zeit, wo die Rodungen sicher noch verhältnismässig klein waren, die Ausspülung sehr vergrösserten.

Hat die Entwaldung auch die Bildung von Hochwassern begünstigt? Diese Frage wird von den meisten Forschern bejaht, von einzelnen bestritten. H. Burger hat in neuester Zeit (1934), gestützt auf langjährige Untersuchungen im Emmental, in überzeugender Weise klargelegt, dass in bewaldetem Gebiet der Wasserabfluss nach starken Niederschlägen sehr verzögert wird. Die Zunahme der Hochwasserbildung nach der Entwaldung hängt aber in komplexer Weise auch von andern Faktoren ab, namentlich von der Steilheit der Hänge und der Menge und Art der Niederschläge. Für das flachhügelige, verhältnismässig niederschlagsarme Land in der Umgebung des Grossen Mooses ist eigentliche Hochwasserbildung auch nach den Waldreutungen nicht zu erwarten, aber ein beschleunigter Wasserabfluss ist wahrscheinlich. Anders verhalten sich aber die weiten Gebirgsräume im Einzugsgebiete der Aare.

Im Grossen Moos fällt für die ersten vier grossen Ueberschwemmungszeiten Waldverwüstung als Ursache der Hochwasserbildung gänzlich ausser Betracht, und auch in der La Tène-Zeit können die Rodungen, die damals noch wenig umfangreich waren und kaum an den Steilhängen der Gebirge einsetzten, noch nicht wesentlich bedingend gewirkt haben. Immerhin wäre nach der Entwaldungstheorie in dieser Zeit die erste Grundlage zur Hochwasserbildung durch Entwaldung gelegt worden, und infolge fortschreitender Entwaldung wäre die Zunahme der kurzdauernden Ueberschwemmungen bis gegen die Gegenwart hin zu erwarten, was mit den beobachteten Tatsachen übereinzustimmen scheint. Diese vermehrten und verstärkten Hochwasser mussten indirekt auch auf die Erhö-

hung des Seestandes seit der La Tène-Zeit einwirken, indem sie die Verschiebung des Aareschuttkegels gegen die Zihl hin förderten.

Es ergibt sich also, dass die Seespiegelschwankungen der Jurarandseen durch innerhalb des Möglichen oder Wahrscheinlichen erfolgende Veränderungen des Laufes der Aare, ferner durch Stauungen des aus dem Bielersee ausfliessenden Flusses durch Aare und Schüss, durch Stauungen des Ausflusses aus dem Neuenburgersee und die nachfolgenden Stabilisationsvorgänge weitgehend erklärt werden können, wobei der Verlegung des Aarelaufes von der Richtung Neuenburgersee direkt gegen Solothurn und umgekehrt die Hauptbedeutung zufallen muss, die Aufstauung der Zihl unterhalb des Bielersees durch die Aare in zweiter Linie kommt, die Stauung des Bielerseeausflusses durch die Schüss und die Hemmung des Ausflusses aus dem Neuenburgersee in dritter Linie. Die Einwirkung des Bergrutsches von Pfeidmatt ist unsicher und nur für den föhrenzeitlichen Aufstau etwas wahrscheinlicher, die der Emme jedenfalls unbedeutend. Bewiesen ist die Verlegung des Aarelaufes in Föhrenzeit, Buchenzeit und Fichtenzeit, wahrscheinlich gemacht die mehrfache Einwirkung des Aareschuttkegels auf die Zihl (zum erstenmal bereits in der Föhrenzeit), die Einwirkung des Schüsskegels in der Föhrenzeit und die mehrfach erfolgte Aufstauung des Ausflusses aus dem Neuenburgersee.

Ein guter Teil der zur Erklärung notwendigen Veränderungen bleibt aber bloss Mutmassung, und die Einwirkung von Klimaänderungen ist nicht auszuschliessen. Sie kommen vor allem auch als auslösender Faktor für die Verlegung des Aarelaufes und für starkes oder schwaches Wachstum der Schuttkegel in Betracht. Klimaänderungen sind aus dem Seegebiete allein nicht zu erschliessen, wenn auch gewisse Veränderungen im Waldbilde, die solchen Seespiegelschwankungen zeitlich parallel gehen, den Eindruck erwecken, als ob sie von den gleichen Faktoren ausgelöst worden seien. Wenn es uns aber gelingt, festzustellen, dass in anderen Gebieten des schweizerischen Mittellandes, die also unter annähernd den glei-

chen klimatischen Einwirkungen stehen, aber andern, von den Jurarandgewässern unabhängigen Flussgebieten angehören, zu gleicher Zeit entsprechende Hebungen oder Senkungen des Grundwasserspiegels eingetreten sind, es sich dabei also nicht um lokale, sondern um regionale Erscheinungen handelt, so gewinnt die Wahrscheinlichkeit, dass Klimaänderungen eine auslösende Rolle gespielt haben, grosse Wahrscheinlichkeit. Zeigt sich die Erscheinung dagegen auf das Gebiet der Jurarandseen lokalisiert, so können Klimaänderungen kaum in Betracht kommen. Wir wollen deshalb im folgenden, bevor wir zu der Frage der Klimaänderung Stellung nehmen, einen Gang durch das schweizerische Mittelland machen und dort verwandte Erscheinungen aufsuchen.