

INTERNATIONALER STÄNDIGER VERBAND
DER
SCHIFFAHRTS-CONGRESSE

X. CONGRESS-MAILAND-1905

I. Abteilung : Binnenschifffahrt
2. Frage

EINFLUSS

DER

Zerstörung der Wälder und Trockenlegung der Sümpfe
AUF DEN LAUF UND DIE WASSERVERHÄLTNISSSE DER FLÜSSE

BERICHT

VON

H. KELLER

Geheimer Oberbauirat

NAVIGARE



NECESSE

BRÜSSEL

BUCHDRUCKEREI DER ÖFFENTLICHEN ARBEITEN (GES. M. B. H.)
18, Rue des Trois-Têtes, 18

1905



~~II 7876~~

II - 349895

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299489

BPK-362/2017

EINFLUSS

DER

Zerstörung der Wälder und Trockenlegung der Sümpfe

AUF DEN LAUF UND DIE WASSERVERHÄLTNISSE DER FLÜSSE

BERICHT

VON

H. KELLER

Geheimer Oberbaurat

Vorbemerkungen.

Die vorliegende Frage hat bereits zu zahlreichen Büchern und Abhandlungen in Zeitschriften Anlass gegeben. Wollte der Berichterstatter ein Verzeichnis darüber mitteilen, so ginge ein grosser Teil des verfügbaren Raumes hierfür verloren. Er muss sich darauf beschränken, die bei Bearbeitung der Werke über die norddeutschen Ströme und Stromgebiete gewonnenen Anschauungen kurz darzulegen. Diese Darlegung behandelt nur die Einwirkung der Entwaldung und Entsumpfung auf den Abflussvorgang, d. h. auf den durch Wechsel des Niederschlags und anderer klimatischer Erscheinungen hervorgerufenen Wechsel der Wasserstände und Abflussmengen eines Flusses im Kreislaufe des Jahres. Die Darlegung geht dagegen nicht näher ein auf manche, etwa durch solche Eingriffe in die natürlichen Verhältnisse erzeugten Aenderungen der Flussgerinne, weil dies zu einer nicht beabsichtigten Betrachtung wasserbaulicher Massnahmen führen würde. Jene Bearbeitung musste sich sachgemäss auch auf die Prüfung der Verhältnisse in anderen Ländern erstrecken, zumal grosse Flächen der genannten Stromgebiete im Auslande liegen. Besonders verlockte zum Vergleich mit der Sachlage im nördlichen Mitteleuropa das Mittelmeergebiet, in erster Linie Italien, das dem Berichterstatter durch längeren Aufenthalt bekannt ist.

Eine Einwirkung der Entwaldung und Entsumpfung auf den Abflussvorgang könnte in zweierlei Weise stattfinden. Da der Abflussvorgang unserer Gewässer einesteils durch die klimati-

etke 3681/51

schen Verhältnisse, andernteils durch die Beschaffenheit ihrer Niederschlagsgebiete bedingt ist, würden Aenderungen bei einer dieser beiden Vorbedingungen auch solche im Verhalten der Gewässer zu bewirken vermögen. Dass derartige Aenderungen des Klimas durch jene künstlichen Eingriffe in den natürlichen Zustand eines Niederschlagsgebiets verursacht worden seien, ist vielfach behauptet worden. Ueber diesen Teil der Frage handelt der 1. Abschnitt. Im 2. Abschnitt wird betrachtet, ob Aenderungen der Beschaffenheit dieser Gebiete in so grossem Umfange vorgekommen sind, dass hierdurch der Abflussvorgang stellenweise berührt worden ist. Bis zu gewissem Grade trifft dies zu für die Bodenart mancher kleineren Gebietsteile, die grosse Veränderungen erlitten hat, nachdem die vom Pflanzenwuchse gebildete Bodendecke umgestaltet war. Der 3. Abschnitt geht deshalb näher auf die Beziehungen ein, die zwischen Bodenart, Pflanzenwuchs und Abflussvorgang bestehen. Er zeigt, dass aus den an einzelnen Orten unverkennbar nachteiligen Erscheinungen keine für die ganzen Stromgebiete allgemein zutreffenden Schlüsse auf nachteilige Wirkungen der Entwaldung und Entsumpfung gezogen werden dürfen.

I. Einwirkung der Entwaldung und Entsumpfung auf Klimaänderung.

A. — *Allgemeine Klimaänderung von Dauer ist nicht nachweisbar. Wirkungen der Entwaldung sind örtlich beschränkt.*— Aus naheliegenden Gründen hat das Mittelmeergebiet, in dem unsere heutige Kultur wurzelt, mehr als die übrigen Länder zu Betrachtungen über Aenderungen des Klimas Anlass gegeben. Man verglich den jetzigen Zustand mancher verödeten Küstenlandschaften des östlichen und südlichen Mittelmeers mit der einstigen Blüte im Altertum. Und dieser Vergleich führte zu der Schlussfolgerung, das Klima müsse seitdem trockener und wärmer geworden sein. Die Ursache dieser Austrocknung glaubte man in der bis zu hohem Grade fortgeschrittenen Entwaldung zu finden, zumal auch von sonstigen Orten der Erde Belege dafür erbracht wurden, dass durch Abnahme der Waldbestände die Niederschläge vermindert, durch Aufforstung vermehrt worden seien. Von anderen Seiten schrieb man jene als feststehend angenommene Austrocknung tiefer greifenden Ursachen zu, die von Eingriffen durch Menschenhand unabhängig sind. Man erblickte in der Abnahme der Waldhülle

eine Aeusserung dafür, dass die klimatischen Vorbedingungen des Pflanzenwuchses verändert wären. Ausnahmsweise will man wahrgenommen haben, durch Entwaldung sei der Wasserreichtum eines Landstrichs vergrössert worden, z. B. in Australien, oder er habe durch Aufforstung abgenommen, z. B. im oberen Mississippigebiet.

Gerade für das Mittelmeergebiet stellen aber die neuesten Untersuchungen eine allgemeine Verschlechterung des Klimas entschieden in Abrede. Weder im jährlichen Gange der klimatischen Erscheinungen, noch in der Bedeutung der von alters her hochgeschätzten Quellen, noch in der Verbreitung der Kulturpflanzen scheint sich durch die zweifellos höchst umfangreiche Ausrodung der Wälder eine wesentliche Aenderung vollzogen zu haben. Wo eine solche Aenderung örtlich eingetreten ist, die sich beim Abflussvorgange der Gewässer und durch Rückgang der Kultur bemerklich macht, wird man eben diesem Kulturrückgange die Schuld an der klimatischen Aenderung zuschreiben müssen, weil er die Wechselbeziehungen zwischen Bodenart, Abflussvorgang und Pflanzenwuchs nachteilig beeinflusst hat (vergl. 3. Abschnitt).

Auch für die anderen Länder, denen eine Austrocknung durch Abnahme der Bewaldung nachgesagt worden ist, wurde diese Behauptung mit triftigen Gründen bestritten. Meistens handelt es sich bei den Beweisgründen, die für die einander widersprechenden Ansichten vorgebracht wurden, um Wahrnehmungen, die verschiedenartige Deutung zulassen, z. B. Verschwinden von Binnenseen, Erschwerung der landwirtschaftlichen Benutzung u. dgl. Vielfach sind solche Beobachtungen, die für eine bestimmte Gegend zutreffen mögen, zu allgemeinen Schlüssen benutzt und diese auf Landschaften unter anderen Himmelstrichen übertragen worden, wo ihre Gültigkeit fraglich ist. Beispielsweise sei darauf hingewiesen, dass im Tropenklima die Einwirkung des Waldes auf die Vermehrung der Regenmenge wahrscheinlich eine grössere Bedeutung hat als in den gemäßigten Zonen.

An denjenigen Orten Europas und Nordamerikas, deren Niederschlagsverhältnisse seit einer (freilich nur kurzen) Reihe von Jahrzehnten nach Mass und Gang genau festgestellt worden sind, hat sich eine stetige Verminderung der Niederschlagsmenge nicht wahrnehmen lassen. Dies müsste aber der Fall sein, wenn die öfters behauptete stetige Wasserabnahme der Quellen und Flüsse unserer Kulturländer eine Folge der durch Entwaldung und Entsumpfung bedingten Verminderung der

Niederschläge wäre. Denn auch die Wasserstandsbeobachtungen, auf die jene als allgemein zutreffend aufgestellten Behauptungen gestützt worden sind, reichen nicht weiter zurück als die Niederschlagsmessungen. Zuweilen hat man sogar aus kurzen, nur wenige Jahrzehnte umfassenden Beobachtungsreihen Schlussfolgerungen über eine erschreckend rasche Senkung der Wasserstände gezogen. Als Ursachen dafür wurden Entwaldung und Entsumpfung, Abnahme der Quellenspeisung und Zunahme der Verdunstung genannt. Dabei unterliess man es aber Rechenschaft abzulegen, ob in jenen Jahresreihen wirklich eine umfangreiche Abholzung der Wälder und Trockenlegung versumpfter Ländereien in den Niederschlagsgebieten der betrachteten Flüsse erfolgt ist. Ebenso wenig wie eine dauernde Aenderung des Niederschlags hat man an den Orten, deren Lufttemperatur seit längeren Jahren gemessen und aufgezeichnet wird, eine dauernde Aenderung der Temperatur festzustellen vermocht.

B. — *Langjährige Schwankungen des Abflussvorganges entsprechen den langjährigen Schwankungen des Klimas.* — Jene Untersuchungen über die Wasserabnahme unserer Gewässer würden spurlos verhallt sein, wenn sie nicht ein starkes Echo bei der öffentlichen Meinung gefunden hätten. Diese war in den dreissiger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts durch die vorangegangenen Trockenzeiten für derartige Erklärungen einer offensichtlichen Tatsache leicht empfänglich gemacht. Freilich beschränkte sich die erwähnte Tatsache darauf, dass in den zwanziger bis dreissiger Jahren und später wiederum von Mitte der fünfziger bis Mitte der siebziger Jahre eine auffallend grössere Trockenheit herrschte als in der Zwischenzeit und im Anfange des Jahrhunderts. Jedenfalls gilt dies für die Stromgebiete, bei denen Norddeutschland beteiligt ist, also für das nördliche Mitteleuropa.

Seitdem die Wasserstände der mitteleuropäischen Ströme und Flüsse an genügend vielen Pegeln beobachtet werden, heben sich einige wasserreiche Jahresreihen scharf von wasserarmen Jahresreihen ab. In die erstgenannten fallen auch die meisten grossen Hochfluten, in die letztgenannten die meisten Wasserklemmen. Dies sind aber diejenigen Erscheinungen des Abflussvorganges, die am tiefsten in die wirtschaftlichen Verhältnisse einschneiden und die Aufmerksamkeit der weitesten Kreise auf sich lenken. Nachdem in den ersten siebziger Jahren die vorherige trockene Jahresreihe mit ihren Wasserklemmen Befürchtungen über eine allgemeine Wasserabnahme verursacht

hatte, rief die dann folgende nasse Jahresreihe mit ihren Hochfluten Besorgnisse wegen einer anderweitigen Aenderung der Wasserführung hervor. Die schroffen Gegensätze im Abflussvorgange veranlassten nunmehr die Vermutung, durch Eingriffe von Menschenhand seien die Unterschiede der Wasserstände und Abflussmengen grösser, Hochfluten und Wasserklemmen häufiger geworden. Man glaubte, durch Entwaldung und Entsumpfung habe der Hochwasserabfluss eine Beschleunigung auf Kosten der Speisung zur Niedrigwasserzeit erfahren.

Für manche kleinere Gebietsteile (vergl. S. 2) trifft diese Vermutung gewiss zu, nicht aber für die mitteleuropäischen Stromgebiete im ganzen. Schon die Voraussetzung stimmt nicht, dass während des letzten Jahrhunderts der Umfang unserer Wälder und Sümpfe in so erheblichem Masse vermindert worden sei, um eine bemerkbare Einwirkung auf die Steigerung der Wasserstandschwankungen der Ströme und grösseren Flüsse äussern zu können (1). Und wenn wir rückwärts blicken in jene Jahrhunderte, als Mitteleuropa noch weniger bevölkert und weitaus dichter bewaldet war, so lehren uns die Berichte der Chronisten, dass Hochfluten und Wasserklemmen von ähnlicher oder noch grösserer Bedeutung als in der Neuzeit oft vorgekommen sind, seitdem geschichtliche Ueberlieferungen vorliegen. Zweifellos haben solche Wasserklemmen wie in den dürren Sommern 1473 und 1540, solche Hochfluten wie im Februar und Juli 1342 in späterer Zeit nicht wieder stattgefunden. Auch die Anzahl derartiger Erscheinungen ist nicht grösser geworden, und ihre gruppenweise Häufung in den seit der Karolingerzeit verstrichenen Jahrhunderten lässt sich nicht bezweifeln. Allerdings sind die älteren Nachrichten zu unvollständig für genaue Nachweise über die Regelmässigkeit des Wechsels wasserreicher und wasserarmer Jahresreihen.

Trotz dieser Unsicherheit deuten die geschichtlichen Ueberlieferungen über die ehemaligen Abflussverhältnisse der mit-

(1) In Deutschland ist der während des 19. Jahrhunderts stellenweise beträchtliche Waldverlust grösstenteils durch Aufforstungen wiederausgeglichen worden. Für den österreichischen Anteil des Elbe-, Oder- und Weichselgebiets trifft dies nicht im gleichen Masse zu, noch weniger für die russischen Teile des Weichsel- und Memelstromgebiets. Schätzungsweise kann man die Verminderung der Waldfläche in diesen östlichen Stromgebieten auf etwa 10 bis 15 % annehmen, während sie im Odergebiet und den weiter westlich gelegenen Gebieten nur wenige Prozente betragen hat. Die Trockenlegung von Sümpfen erstreckt sich auf noch geringere Flächen im Vergleich zur Gesamtfläche der Stromgebiete.

teleuropäischen Ströme darauf hin, dass der im letzten Jahrhundert erkennbare Wechsel in der Wasserführung schon von jeher in ähnlicher Weise bestanden hat. Er scheint denselben Gesetzen zu unterliegen, die auch für langjährige Schwankungen der Niederschläge, des Luftdrucks und der Temperatur, der Wasserstände abflussloser Seen und Flusseen, des Rückzugs und Vorstosses der Gletscher, der Weinerntezeit und der Häufigkeit strenger Winter wahrscheinlich gemacht sind. Demnach darf man die langjährigen Schwankungen des Abflussvorganges, die sich ähnlich wie diejenigen rein klimatischer Vorgänge verhalten, ebenfalls als Klimachwankungen auffassen. Bei dem hervorragenden Einflusse, den die Niederschläge und nächst ihnen die Temperatur auf die Wasserführung der fliessenden Gewässer ausüben, lässt sich ein solcher Zusammenhang ohne weiteres erwarten.

Man mag darüber streiten, ob die Schwingungsdauer der Klimaschwankungen 35 Jahre beträgt, ob die dieser Ermittlung widersprechenden Erscheinungen vielleicht durch das Vorhandensein von einander durchkreuzenden Schwingungen mit verschiedener Dauer und Höhe zu erklären sind, ob örtliche Verschiebungen im Auftreten der Gesetzmässigkeit bestehen. Aber sicherlich sind für Mitteleuropa die im 19. Jahrhundert beim Abflussvorgange der Flüsse vorwiegend wasserreichen Jahresreihen auch nach den meteorologischen Beobachtungen als vorherrschend nass und kalt zu bezeichnen, ebenso die vorwiegend wasserarmen Jahresreihen auch als vorherrschend trocken und warm. Dagegen lassen sich keine Anzeichen dafür erkennen, dass eine dauernde Aenderung dieser Erscheinungen eingetreten sei. Weder beim Abflussgange der Ströme, noch bei den Niederschlägen und der Temperatur ist eine stetige Klimaänderung nachweisbar.

C. — *Klimatische Einwirkung der Entwaldung und Entsumpfung ist geringfügig gegenüber den Klimaschwankungen.* — Jedenfalls haben die oft wieder auftauchenden Behauptungen, dass durch die neuzeitlichen Entwaldungen und Entsumpfungen eine klimatische Verschlechterung, eine allgemeine Wasserabnahme oder eine Steigerung der Hochfluten und Wasserklemmen erzeugt worden sei, der näheren Prüfung nicht stichgehalten. Nun könnte freilich eingewandt werden, die für das 19. Jahrhundert in den Grenzen regelmässiger Schwankungen festgestellte Unveränderlichkeit des Klimas sei auf diesen Zeitraum deshalb beschränkt, weil die Ausbreitung der Wälder und Sümpfe gleichzeitig keine erhebliche Abnahme erfahren

habe. Sehr wahrscheinlich tragen Wald und Sumpf zur örtlichen Vermehrung von Niederschlag und Feuchtigkeit, einigermaßen wohl auch zur Verminderung der Temperatur bei. Da liegt die Frage nahe, ob nicht in früheren Jahrhunderten, als Mitteleuropa in höherem Masse bewaldet gewesen ist, seine Niederschlagsmenge erheblich grösser als jetzt war — vielleicht um einen solchen Betrag, dass die der Klimaschwankung entsprechende, in nassen Jahresreihen eintretende Vermehrung weit übertroffen wurde.

Einigen Anhalt für die Beurteilung dieser Frage liefern die mehrfach vorgenommenen vergleichenden Beobachtungen der Niederschläge an Messstellen, die teils im Walde, teils im freien Felde lagen. Sie haben nachgewiesen, dass in der Waldgegend mehr Niederschlag als in der offenen Landschaft fällt. Berücksichtigt man hierbei die Einwirkung des an den Wald-Messstellen grösseren Windschutzes, so beschränkt sich die der Bewaldung beizumessende Vermehrung des Niederschlags auf etwa 3 bis 4 % der mittleren jährlichen Niederschlagshöhe. Dies macht etwa $\frac{1}{5}$ der klimatischen Schwankung des Niederschlags aus, die für das nördliche Mitteleuropa in langjährigen Reihen durchschnittlich 15 bis 20 % zu betragen scheint. Auch beim Vergleiche des mittleren Jahresniederschlags mit der Bewaldungsziffer (d. h. dem prozentischen Anteil des Waldes am Flächeninhalt eines Gebietsteils) erweist sich unter sonst gleichen Verhältnissen die regenvermehrnde Wirkung des Waldes nur geringfügig. Beispielsweise wird für Schlesien die Zunahme der Niederschlagshöhe, wenn die jetzt 29 % betragende Bewaldungsziffer bis 50 % und mehr vergrössert würde, auf nur 1 % geschätzt. Bis zur Hälfte bewaldet dürfte das Schlesierland mindestens noch gewesen sein, als die zuverlässig bezeugten schlimmen Wasserklemmen im 15. und 16. Jahrhundert stattfanden, deren Auftreten durch dichtere Bewaldung und vielleicht etwas reichlicheren Niederschlag nicht verhindert werden konnte.

Übrigens lassen die in schwer zugänglichen Gegenden Westrusslands noch einigermassen im Urzustande verbliebenen Wälder eine Schätzung zu, wie wohl ehemals unsere jetzt grösstenteils entwaldeten Landstriche ausgesehen haben mögen. Ein Vergleich der Niederschlags- und Bewaldungskarten zeigt keine Andeutung, dass jene Waldflächen eine Vergrösserung der Niederschlagshöhe in ähnlicher Weise hervorrufen, wie dies z. B. die Kiefernforsten der Görlitzer Heide tun. Wären die Beobachtungsstellen in Westrussland zahlreicher, so würde

sich vermutlich eine geringe Zunahme des Niederschlags durch die Sumpfwälder feststellen lassen. Sicher ist aber, dass sie eine Aufspeicherung des winterlichen Ueberschusses an Wasser zur nachhaltigen Speisung im trockenen Sommer noch weniger zu bewirken vermögen, als dies durch die forstmässig bewirtschafteten Wälder des norddeutschen Flachlandes geschehen kann. Wie im dritten Abschnitt ausgeführt wird, ist die Zurückhaltung des Wassers im Waldboden nach Menge und Zeit enge begrenzt; jedoch schützt die Bewaldung den Boden gegen Abschwemmung besser als jede andere Pflanzendecke. In beiden Beziehungen äussert die Pflege des Bodens und der Bestände des Waldes einen günstigen Einfluss. Sie erhöht seine Bedeutung als Sammler von Sickerwasser und beugt der Abtragung des Bodens vor, die namentlich auf den durch Brand, Windbruch, Schneebruch und Raupenfrass entstandenen Blößen bei starken Niederschlägen und plötzlicher Schneeschmelze leicht eintritt.

Wirft man einen Blick auf die Wasserläufe, die in den auf uns überkommenen Resten des Urwaldes fliessen, so erkennt man die Einwirkung solcher Bodenangriffe in der starken Versandung. Durch das Einschwemmen von Sand wird die Spülkraft des fliessenden Wassers so gelähmt, dass die Gewässer vielfach in zahlreiche Arme zerfasert sind, und den Mangel an Vorflut vermehrt noch die Wucherung der Wasserpflanzen. Schon bei schwachen Anschwellungen erfolgt eine Ueberschwemmung des Talgrundes auf grosse Breite. Andererseits können die Niedrigwasserstände wegen des Krautwuchses im Sommer nicht so tief abfallen, wie der alsdann sehr geringen Abflussmenge entsprechen würde. Im allgemeinen weist daher der Unterschied der Wasserstände ein kleineres Mass auf als bei Wasserläufen mit guter Vorflut und einheitlichem Bett, das die öfters vorkommenden Anschwellungen ohne Ueberschwemmung abführen kann. Jener geringe Wasserstandsunterschied entspricht aber nicht einem geringen Unterschiede der Abflussmengen, worauf die Beschaffenheit der Flussgerinne keine Wirkung ausübt. Von Zeit zu Zeit wächst sogar die Abflussmenge derart an, dass der Hochwasserstand in den überschwemmten Niederungen der Sumpfwälder grosse Höhe erreicht, oder sie nimmt bis nahe zur Austrocknung der versandeten Betten ab.

Ähnliche Beschaffenheit hatten offenbar ehemals die meisten Ströme und Flüsse im Flachlande Mitteleuropas. Deutliche Anzeichen dafür sind jetzt noch mehrfach erhalten, und die geschichtlichen Nachrichten legen Zeugnis im gleichen Sinne ab.

Nur die fortgeschrittene Kultur, nicht etwa eine wesentliche Aenderung des Klimas hat den Zustand der Wasserläufe und ihrer Niederungen umgestaltet. Gerade so wenig hat die Entwaldung und Entsumpfung am Klima geändert. Hochfluten und Ueberschwemmungen gab es ehemals wie heutzutage, ebenso kalte Winter und dürre Sommer. Abflussvorgang und klimatische Erscheinungen unterliegen einem langjährigen Wechsel, den Klimaschwankungen, nicht aber einer Klimaänderung.

II. Einwirkung der Beschaffenheit des Niederschlagsgebiets auf den Abflussvorgang.

A. — *Einwirkung der Bodengestalt ist unveränderlich. Aenderung der Bodenart kann örtlich den Abflussvorgang verändern.* — Auf die Verschiedenheit der klimatischen Verhältnisse unserer mitteleuropäischen Stromgebiete wirkt mehr die Beschaffenheit des einzelnen Gebiets ein als die räumliche Ausdehnung, da sie im ganzen derselben Klimaprovinz angehören. Allerdings macht sich auch in der Lage zum Meere ein merklicher Unterschied geltend zwischen den östlichen, manche Eigenschaften des Kontinentalklimas aufweisenden Gebieten und den westlichen, in denen der Einfluss des Meeres stärker auftritt. Unter den klimatischen Vorbedingungen von örtlicher Bedeutung nimmt weitaus den ersten Rang ein die Bodengestalt eines Niederschlagsgebiets, seine Zusammensetzung aus Gebirgs- und Flachland. Schon deshalb, weil mit der Höhe über dem Meeresspiegel der Niederschlag wächst und die Temperatur abnimmt. Der Niederschlag und nächstdem die Temperatur sind aber für den Abflussvorgang die vorherrschend wichtigsten atmosphärischen Erscheinungen.

Die Bodengestalt des Stromgebiets übt indessen noch in anderer Weise eine bedeutende Einwirkung auf den Abflussvorgang aus, da von ihr grossenteils die Geschwindigkeit abhängt mit der sich das offen abfliessende Wasser in den Bach- und Flussgerinnen sammelt und zum Meere strömt. Im Verein mit der Art und Bedeckung des Bodens bedingt die Bodengestalt in hohem Grade nicht nur diese Geschwindigkeit, sondern auch die Grösse des offenen Abflusses. Diese ist meistens viel kleiner als die Grösse des durch Verdunstung zur Atmosphäre zurückkehrenden Teiles des Niederschlag. Je nach der Jahreszeit wechselt das zwischen dem offenen Abfluss und Niederschlag bestehende Verhältnis. Denn nicht nur die Verdunstungsgrösse

schwankt in weiten Grenzen, sondern auch das Mass des mit langer Verzögerung abfliessenden Wassers wechselt und trägt bald zur Vermehrung, bald zur Verminderung der Abflussmenge bei. Eine Vermehrung findet statt durch das Abschmelzen der als Schneedecke oder in Gletschern aufgespeicherten Niederschläge und durch die Speisung aus Quellen, eine Verminderung durch die Ansammlung jener Schnee- oder Eisvorräte und durch das Absickern in den Boden.

Für die unterirdische Aufspeicherung und Speisung ist die Bodenart des Niederschlagsgebiets und seine Bedeckung mit Pflanzenwuchs viel wichtiger als deren nebensächliche Einwirkung auf die atmosphärischen Erscheinungen. Obleich durch umfangreiche Entwaldung und Entsumpfung die Niederschlagshöhe eines bestimmten Gebietsteils nur unwesentlich kleiner geworden ist, kann doch ein solcher Eingriff in den natürlichen Zustand aus anderen Gründen erheblich auf die Abflussverhältnisse eingewirkt haben. Wo derartige Aenderungen der Bodenbedeckung erfolgt sind, haben sich nämlich in den meisten Fällen auch Aenderungen der Bodenart vollzogen, deren Beschaffenheit mit dem Zustande des Pflanzenwuchses enge zusammenhängt.

Denn im Gegensatze zur Bodengestalt und der für das Zusammenfliessen aus den einzelnen Teilen des Stromgebiets wichtigen Form des Gewässernetzes, die keinen nennenswerten Veränderungen unterliegen, sind Bodenbedeckung und Bodenart bis zu gewissem Grade veränderliche Werte. Die von ihnen im Abflussvorgange hervorgerufene Umgestaltung kann für die betroffenen Gebietsteile grösser sein als die vom langjährigen Wechsel der atmosphärischen Erscheinungen verursachten Schwankungen des Abflussvorganges — jedenfalls nachhaltiger, da es sich um dauernde Aenderungen handelt. Dagegen ist ihr Wirkungsbereich stets örtlich beschränkt und nicht auf das ganze Stromgebiet ausgedehnt.

B. — *Vorgänge bei Aenderung der Bodenart durch Verwitterung und Bodenbildung, Abtragung und Ablagerung.* — Bevor wir auf die Wechselbeziehungen zwischen Bodenart, Pflanzenwuchs und Abflussvorgang eingehen (vergl. 3. Abschnitt), sei noch ein Blick auf die Abhängigkeit der fliessenden Gewässer von der Bodenart ihres Niederschlagsgebiets geworfen, zunächst aber auf die Veränderlichkeit des Bodens.

Wenig veränderlich ist der geologische Bau, das den Untergrund der Bodenoberfläche bildende Grundgestein. Von dessen Zusammensetzung, Lagerung und Verwitterbarkeit hängt die Beschaffenheit des darüber liegenden kulturfähigen Bodens vor-

zugsweise ab. Ferner wird durch das Grundgestein grossenteils die unterirdische Bewegung des in den Boden eingedrungenen Wassers bedingt. Weit mehr veränderlich ist die obere Erdkrume, der kulturfähige Boden, in dem sich die Pflanzenwurzeln verbreiten. Von jeher wirken auf seine Beschaffenheit ein: der natürliche Pflanzenwuchs und die menschliche Kultur, die Verwitterung und die Abtragung durch Wasser oder Wind. Diese haben den abgetragenen Boden weiter befördert und an tieferen Stellen Ablagerungen und Aufschwemmungen erzeugt.

Nicht selten wirkt die Abtragung und anderweitige Ablagerung des Bodens durchgreifend auf den Abflussvorgang eines kleineren Gebietsteils ein. Welchen Widerstand der Boden den Angriffen des Wassers und Windes entgegensetzt, wird durch seine Beschaffenheit, Neigung, Bedeckung und die klimatischen Verhältnisse bedingt. Zur Auflockerung der festen Gesteine tragen ausser der chemischen Wirkung der Luft und Feuchtigkeit besonders die mechanische Wirkung der Temperatur und des Wassers bei, wozu sich auf gelockertem Gestein die weitere Zersetzung durch den Pflanzenwuchs gesellt.

Wo es an Wärme oder Feuchtigkeit mangelt, also einerseits im Hochgebirge, andererseits in der regenlosen Wüste, erfolgt die Verwitterung durch mechanische Zertrümmerung. Die Abtragung findet im Hochgebirge durch Sturzregen und Lawinen, in der Wüste durch Sandwehen statt. Die Ablagerung führt im Hochgebirge zur Vermurung der Täler, in der Wüste zur Versandung der Bodenmulden. Im nördlichen Mitteleuropa ist dagegen in der Regel genügende Wärme und Feuchtigkeit vorhanden, um eine chemische Zersetzung des Grundgesteins zu ermöglichen und einen Verwitterungsboden zu erzeugen, der die schnelle Entwicklung des Pflanzenwuchses begünstigt. Die Pflanzendecke trägt dazu bei, den Boden weiter aufzubereiten und ihm bessere Widerstandskraft gegen Angriffe des Wassers und Windes zu verleihen. Bei seiner Abtragung durch das zutal rinnende Wasser entstehen die unserer Mittelgebirgen eigentümlichen flachen Berghänge mit sanft gerundeten Kuppen und die vorwiegend lehmigen Anschwemmungen in den Tälern.

Je nach der Art des Grundgesteins und der sonstigen örtlichen Verhältnisse wechselt der Verwitterungsvorgang zwischen mechanischer Zertrümmerung und Bildung von Gehängelehm in mannigfachen Abstufungen. Auf den Vorgang der Abtragung und Ablagerung üben hauptsächlich die jährliche Verteilung der Niederschläge und der Temperatur, sowie die Bodengestalt ihren Einfluss aus.

C. — *Einwirkung der Aenderung der Bodenart auf den Abflussvorgang im Mittelmeergebiet, im Gebirgslande und Flachlande Mitteleuropas.* — Betrachten wir zunächst das zwischen der afrikanischen Wüste und dem Alpen-Hochgebirge liegende Mittelmeergebiet, so zeigt sich, dass im südlichen Teile die Verwitterungsweise mehr durch Zertrümmerung, im nördlichen Teile mehr durch Bodenbildung stattfindet. Beide Arten der Verwitterung gehen langsam vor sich. An Stelle des einmal abgetragenen Bodens entsteht nur schwer neuer Boden, weil die Angriffe der vorwiegend als Sturzregen auftretenden Niederschläge und (während der sommerlichen Trockenzeit) des Windes sehr stark sind. Die vom Gebirge abgespülten Bodenmassen bilden, wo die Gesteinszertrümmerung vorwaltet, mächtige Schutthalden am Saume des Berglandes, meistens aber Niederungen von hoher Fruchtbarkeit. Vielfach werden sie von breiten Schotterfeldern oder dammartigen Geröllbetten durchzogen und leiden öfters infolge mangelhafter Vorflut unter Versumpfung. Diese übergrosse Nässe wird dadurch begünstigt, dass in dem seiner Bodenkrume beraubten Kalkgebirge des Mittelmeergebiets das Wasser rasch in die Tiefe sinkt und häufig erst am Fusse der Berge wieder zutage tritt.

Aehnlichen Erscheinungen (einer Verkarstung des Gebirges und quelligen Tälern) begegnen wir auch zuweilen im nördlichen Mitteleuropa an solchen Orten, wo der Kalkstein vorherrscht. Bei anderen Gesteinen spricht sich die Verödung der Berge und die überreiche Zufuhr von Boden und Wasser nach den Tälern gewöhnlich weniger scharf aus. Obgleich die Verteilung der Niederschläge und der Temperatur im Kreislaufe des Jahres nicht ganz so ungleichmässig wie im Mittelmeergebiet ist, wirkt doch im nördlichen Mitteleuropa das Auftreten starker Regengüsse gleichfalls schädlich auf den Boden kahler, des Schutzes der Pflanzendecke beraubter Steilhänge ein. Hierzu tritt noch im Winter die kräftigere Wirkung des Frostes und runsenbildenden Schneeabganges. Im Gebirgs- und Hügellande Mitteleuropas sind daher die steilen Gehänge kahler Berge, Hügel und Talwände der Abspülung des Bodens hochgradig ausgesetzt. Welche Nachteile durch die verstärkte Geschiebeführung für den Zustand der Flussgerinne hervorgebracht werden, soll nach Seite 1 nicht zur Erörterung gelangen.

Je stärker die Bodenkrume der Berghänge ist, umso grösser ist ihre Fähigkeit, einen Teil des eingesickerten Wassers zu bewahren. Die Abgabe des Sickerwassers erfolgt mit einiger Verzögerung, sei es durch Uebergang in das Grundwasser und

zur Quellenspeisung, sei es durch Bodenverdunstung und Pflanzenverbrauch. Je dünner die Bodenkrume infolge der Abtragung wird, umso mehr verschwindet ihre Aufnahmefähigkeit. Wie bei der Verkarstung nach Abschwemmung des Bodens die dem Grundgestein eigentümliche übermässige Durchlässigkeit eine Steigerung erfährt, ebenso steigert die Abtragung des lockeren Bodens von undurchlässigen Gesteinsarten die Undurchlässigkeit des Geländes. Das verschiedenartige Verhalten der Grundgesteine wird daher durch die Bodenberaubung schärfer ausgeprägt.

Für undurchlässiges Gebirge ist hiermit stets eine Steigerung der Schwankung der Wasserstände (höheres Hochwasser und kleineres Niedrigwasser) verbunden. Für durchlässiges Gebirge kann bei den zu Hochwasser führenden Witterungslagen öfters die Erleichterung der Versickerung in die Gesteinsklüfte ausgeglichen werden durch den Mangel einer wasserbewahrenden Krume, sodass die rasche Anschwellung der Flussgerinne nicht vermindert wird. Die wohlthätige Wirkung der vermehrten Aufnahme des Wassers kommt aber beim durchlässigen Gebirge nicht dem Gebietsteil zugute, in dem der Niederschlag fällt, sondern einer anderen Gegend, wo das versickerte Wasser zum Vorschein kommt. Manchmal geht es hierbei in ein fremdes Stromgebiet über, z. B. das Niedrigwasser der oberen Donau in das Quellgebiet der zum Oberrhein fliessenden Radolfzeller Aach. Manchmal verlieren sich die im Gebirge verschwundenen Wassermassen unmittelbar in das Meer, z. B. an der dalmatischen Küste. Zuweilen erweicht das im durchlässigen Gesteine abgesickerte Wasser eine unterwegs angetroffene tonige Schicht und verursacht dann langsames Abquellen oder plötzlich erfolgende Rutschungen und Bergstürze.

Auch im Flachlande fehlt es nicht an schädlichen Abspülungen, bei denen der vom kahlen Gelände weggeschwemmte Boden an den unteren Strecken der Gewässer nachteilig wirkende Ablagerungen, Behinderung der Vorflut, Ueberschwemmungen, lästige Hebung des Grundwasserstandes oder Versumpfung hervorruft. Besonders neigt hierzu der wenig widerstandsfähige Sandboden auf undurchlässiger Unterlage (z. B. an einigen westpreussischen Wasserläufen und im Quellgebiete der Ems). Aber im festen Löss- und schweren Lehmboden finden sich ebenfalls oft tiefe Wasserrisse (z. B. an der oberen Weichsel bei Sandomir und an der Angerapp). Gleiche Bedeutung wie die vom Wasser verursachte Abtragung und Ablagerung haben an anderen Stellen des Flachlandes die entsprechenden Wirkungen

des Windes: die Flugsandbildungen an den Meeresküsten und in den Heidelandschaften Norddeutschlands und seiner nordischen Nachbarländer, in der ungarischen Tiefebene und in Frankreich.

In noch höherem Masse als die auf S. 12 und 13 genannten Vorgänge rufen manche Neubildungen des Bodens Aenderungen der Durchlässigkeit und Aufnahmefähigkeit hervor. Wir meinen diejenigen, die unter Mitwirkung des Pflanzenwuchses entstehen oder geradezu von ihm erzeugt werden. Auf die durch Bereicherung des Mineralbodens mit Humus hervorgegerufenen Aenderungen der Durchlässigkeit und Aufnahmefähigkeit des Bodens sei nur flüchtig hingewiesen. Wichtiger ist für die Wald- und Wasser-Frage der durch die Streudecke und das Moosbett des Waldes entstehende Humusboden. Für die Entsumpfungsfrage kommt hauptsächlich die Moor- und Torfbildung in Betracht, da die als Sümpfe oder entsumpftes Gelände zu bezeichnenden Flächen im nördlichen Mitteleuropa vorzugsweise aus Hoch- oder Niederungsmooren bestehen. Eine eigenartige, ebenfalls vom Pflanzenwuchse abhängige Neubildung des Heidelandes ist der Ortstein (vergl. S. 17). Wie diese Gebilde auf den Abflussvorgang einwirken, wird im folgenden Abschnitt dargelegt.

III. Wechselbeziehungen zwischen Bodenart, Pflanzenwuchs und Abflussvorgang.

A. — *Entwaldung kann Bodenart und Abflussvorgang örtlich nachteilig ändern, wenn keine andere Pflanzendecke an Stelle des Waldes tritt oder Kulturrückgang erfolgt.*

Auf Seite 10 ist bereits erwähnt worden, das durch Aenderungen in der Art und Bedeckung des Bodens für manche kleinere Gebietsteile wesentliche dauernde Aenderungen des Abflussvorganges hervorgerufen werden können. Auch ohne Umgestaltung des Klimas sind an vielen Orten des Mittelmeergebiets in Kleinasien, Palästina, Unteritalien und Sizilien Oedländereien entstanden, wo im Altertum üppige Kultur herrschte. Vielfach sind die Berge verkarstet und die Wasserläufe in Trockenbäche verwandelt, die im Sommer versiegen, nach heftigen Regengüssen aber grosse Massen von Wasser und Gerölle mit verwüstender Kraft zum Meere führen. Unstreitig hat die Ausrodung der Wälder, die im östlichen Mittelmeergebiet schon früher begonnen, in Italien erst seit dem Kampfe Roms um die Seeherrschaft grossen Umfang angenommen hatte, zu diesen Erscheinungen erheblich beigetragen. Aber ihre nachteilige Wirkung kam erst zur Geltung, als die

an Stelle des Waldes getretene Ackerwirtschaft und Baumzucht durch endlose Kriege, Fehden und Raubzüge verwüstet wurden.

Die Vernichtung des Terrassenbaues, der an den steilen Felsabhängen die Bodenkrume festhielt, und die Zerstörung der Bewässerungsanlagen, die im heissen, regenarmen Sommer den dürstenden Feldern und Baumgärten befruchtende Feuchtigkeit spendeten, gaben der Kultur den Todesstoss. Beim Untergange einer fleissigen Bewirtschaftung der Niederungen hörte die Sorgfalt auf, mit der im Altertum die damals schon drohenden Sumpfbildungen und die Ausschreitungen der Wildbäche verhütet worden waren. Die Plünderungen der Seeräuber und die Malaria scheuchten dann die Bewohner in das Gebirge zurück. Von dessen Steilhängen wurde der seines Schutzes beraubte Nutzboden abgespült, nachdem die mühsame Baumzucht und Terrassenwirtschaft durch Viehzucht und Weidewirtschaft ersetzt waren. So hat in den verödeten Landschaften des Mittelmeergebiets der Kulturrückgang den jetzigen Mangel an Kulturfähigkeit verschuldet.

Dass der Kulturrückgang weit mehr als die Entwaldung diese Schuld trägt, wird von jenen blühenden Landschaften bezeugt, die am Fusse kahler Berge durch emsige Bebauung, Ent- und Bewässerung vor jenem Missgeschick bewahrt bleiben, z. B. bei Neapel und Palermo. Die Namen Terra di lavoro und Conca d'oro deuten an, dass dort die Arbeit das Gold bringt. Andererseits ist trotz guter Erhaltung der Forsten des kalabresischen Silawaldgebirges der angrenzende Küstensaum verödet, die Stätte des alten Sybaris an der Mündung des im Silawalde entspringenden Flusses Crati in ein menschenleeres Jagd-, Weide- und Sumpfland verwandelt.

Dennoch hat gewiss in vielen Fällen die Entwaldung zur Abspülung des Bodens im Gebirge, zu seiner schädlichen Ablagerung im Vorlande und zu einer nachteiligen Aenderung des Abflussvorganges beigetragen (vergl. S. 12). Dies gilt ebenso für das Hochgebirge wie für das Mittelmeergebiet. Auch dort geht die Bildung gut bindigen Bodens zu langsam vor sich, um den bei einem starken Sturzregen eintretenden Verlust schnell genug zu ersetzen. Auch dort begünstigt die auf Zertrümmerung hinwirkende Gesteinsverwitterung das Abschwemmen grosser Geröllmassen von steilen Berghängen.

In den eben genannten Landschaften wird mit der Beseitigung des Waldes, der den Boden festhielt, oft auch die Wiederbewaldung verhindert oder doch ausserordentlich erschwert. Denn in den Hochlagen der Alpen und in den niedrigeren Ge-

birgen des Mittelmeergebiets erreicht der Wald seine klimatische Grenze, in deren Nähe sich die Standdichte der hochstämmigen Waldbäume verringert und nach ihrer Ausrodung nur Buschwald aufkommt: im Hochgebirge das Knieholz, im Mittelmeergebiet die Macchia. Auch dieser Buschwald wird leicht wieder geschädigt: im Hochgebirge durch Rufen, im Mittelmeergebiet durch Feuer, die Axt des Köhlers und die Beweidung mit Ziegen.

Günstiger liegen die Verhältnisse im nördlichen Mitteleuropa, dessen Berggipfel nur selten die klimatische Waldgrenze überragen. Von diesen und von einigen steppenähnlichen, wohl niemals bewaldet gewesenen Strichen des Küstenlandes abgesehen, war der Wald die natürliche Bodendecke. Er ist aber allmählich durch Ackerkultur und durch das als Wiese oder Weide dienende Grünland auf kaum $\frac{1}{3}$ seiner ursprünglichen Fläche zurückgedrängt worden. Obgleich auch hier die Entwaldung steiler Hänge vielfach die Bodenabtragung befördert hat (vergl. S. 13), hält sich doch der dabei entstandene Schaden in mässigen Grenzen und kann durch Aufforstung leichter abgestellt werden. Gerade unsere Mittelgebirge, diese wichtigen Quellgebiete unserer Flüsse und Ströme (nur Rhein und Donau erhalten Zufluss aus dem Hochgebirge), sind grösstenteils gut bewaldet. Auch im Flachlande befinden sich auf den zur landwirtschaftlichen Kultur minder geeigneten Böden umfangreiche Waldflächen. Dagegen ist die Ausdehnung des Oed- und Unlandes ziemlich gering, auch wenn man unfruchtbares Acker- und kümmerliches Weideland dabei einrechnet. Fast nur in den Moor- und Heidelandschaften des Nordseegebiets, mehr noch in einigen ausländischen Teilen der östlichen Stromgebiete erreicht sie ein grösseres Mass.

Meistens hat bei seiner Ausrodung oder sonstigen Vernichtung der Wald in Mitteleuropa einer anderen Pflanzendecke Platz gemacht, aber nur ausnahmsweise dauernd kahlen Boden zurückgelassen. Denn wo in kriegerischen Zeiten, namentlich während des 30-jährigen Krieges, ausgedehnte Wälder durch Raubwirtschaft und Brand zerstört worden sind, hat gewöhnlich die Natur ohne menschliches Zutun diese rücksichtslosen Eingriffe wieder ausgeglichen. Nicht selten hat sogar die Waldhülle sich freiwillig über die Fluren verschwundener Ortschaften ausgebreitet. Allerdings fehlt es nicht an Ausnahmen, bei denen die Bodenbildung weniger kräftig als anderswo von statten ging, zumal auch im nördlichen Mitteleuropa an manchen Stellen durch Weidegang der Nachwuchs des Waldes verhindert wurde. Denn der vom Walde gewährte Boden-

schutz und seine Einwirkung auf die Neubildung widerstandsfähigen Bodens sind kräftiger als bei jeder anderen Pflanzendecke. Schwächer ist die Schutzwirkung bei dem zur Wiese und Weide dienenden Graslande, am schwächsten beim Ackerlande, das zur Entfaltung des Pflanzenwuchses häufig künstlich gelockert werden muss.

Namentlich finden sich in Mitteleuropa solche Stellen, deren Kulturfähigkeit infolge der Entwaldung benachteiligt ist: 1) im übermässig durchlässigen Kalkgebirge (z. B. auf dem Eichsfelde und der Paderborner Hochfläche); 2) in Flachlandstrichen mit undurchlässigem Tonboden unter dünner Sandkrume (z. B. im Mindener Walde); 3) am ausgedehntesten in den nach ihrer Entwaldung durch Ortsteinbildung undurchlässig gewordenen Heideflächen (z.B. in der Lüneburger Heide) (1). Bei allen diesen Fällen ist durch die Entwaldung der Boden verarmt, seine Mächtigkeit verringert und das Vermögen zum Ausgleich der Bodenfeuchtigkeit vermindert worden. Beim Kalkgebirge hat der Mangel an Wald die übergrosse Durchlässigkeit zum Schaden der ihrer Quellen beraubten Hochfläche vermehrt, bei den Sandböden auf Ton- oder Ortstein- Unterlage die Undurchlässigkeit vergrössert oder neu erzeugt.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass in manchen Fällen der Wald zur Verhütung nachteiliger Aenderungen der Bodenart eines Niederschlagsgebiets beiträgt, wogegen durch Entwaldung die im 2. Abschnitt bezeichnete Einwirkung der Bodenänderung eingeleitet werden kann. Die sonach durch Entwaldung einzelner Gebietsteile auf den Abflussvorgang ihrer Gewässer ausgeübten Nachteile werden jedoch verringert oder

(1) Der als Ortstein bezeichnete Humussandstein entsteht nicht nur auf Heideflächen, sondern auch im Walde unter schlecht verwestem, dicht gelagertem Humus (Rohhumus). Die Humussäuren beschleunigen die Verwitterung der oberen Schicht des Mineralbodens und die Auswaschung der löslich gewordenen Salze. Wo die Humusstoffe nach Durchsickerung der ausgelaugten Schicht auf noch nicht ausgelaugten Boden treffen, scheiden sie sich ab und verkitten die Sandkörner zu einer festen undurchlässigen Masse. Diese erleichtert die Durchnässung des Bodens, auf die auch der Rohhumus allein hinwirkt. Stockende Nässe und Armut an Nährstoffen begünstigen im Walde und auf der Heide die Bildung von Hochmooren. Obgleich der Streuabfall des Waldes alljährlich neue Mineralstoffe aus tieferen Schichten der Oberfläche zuführt, wird hierdurch die Verarmung des mit Rohhumus bedeckten Bodens nur verzögert, aber nicht verhindert. Früher oder später erfolgt doch an geeigneten Orten die Verheidung oder Vermoorung des Waldbodens. Entwaldung kann diese Vorgänge befördern, gute Pflege des Waldes sie verzögern oder ihnen vorbeugen. Aehnlich wie eine schädliche Aenderung des Ackerbodens durch Bearbeitung und Düngung verhütet wird, lässt sich der Waldboden durch zweckmässige Forstwirtschaft vor jenen nachteiligen Aenderungen bewahren. Auch hier wirkt die Kultur der Verödung entgegen und sucht zu verhindern, dass der anspruchsvollere Baumwuchs des Waldes ersetzt wird durch die Wucherungen anspruchsloser Moor- und Heidepflanzen.

ganz aufgehoben, wenn an Stelle des Waldes eine andere Pflanzenkultur tritt oder Wiederbewaldung stattfindet. In vollem Masse kommen dagegen die Nachteile zur Geltung, wenn sich der entwaldete Boden zu sonstigem Pflanzenwuchse wegen seiner Zusammensetzung und Lage nicht eignet (absoluter Waldboden). Besonders geschieht es, wenn die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die Abtragung durch Wasser und Wind nur durch den Schutz des Waldes, seiner Streudecke und der Baumwurzeln gesichert wird (an Steilhängen und bei dem zur Flugsandbildung neigenden Sandboden). Abgesehen von den Nachteilen der Abtragung für den Abflussvorgang, kann die von ihr veranlasste Zunahme der Geschiebeführung und die Entstehung von Ablagerungen auch schädlich auf den Zustand der Flussgerinne einwirken.

B. — *Einwirkung der Pflanzendecke auf Bodenfeuchtigkeit, Menge und Geschwindigkeit des ober- und unterirdisch abfließenden Wassers.*

Je nach Entwicklung der Waldbäume, Standdichte, Baumart, ihrer Vegetationsdauer und Jahreszeit ist die Einwirkung des Waldes auf die Bodenfeuchtigkeit, die Menge des unterirdisch oder offen abfließenden Wassers, die Geschwindigkeit des unterirdischen oder offenen Abflusses und auf die Festhaltung des Bodens verschieden gross. Aehnliches gilt für die bei der Ackerkultur erzeugte Pflanzendecke und für das als Wiese oder Weide benutzte Grasland. Die durch Aenderung oder Wegnahme der Pflanzendecke verursachte Einwirkung auf die Abtragung des Bodens haben wir bereits betrachtet. Im folgenden soll das Verhalten jener drei Arten der Pflanzendecke in den anderen genannten Beziehungen kurz dargelegt werden.

Die Bodenfeuchtigkeit an der Oberfläche pflegt unter der Pflanzendecke des Nutzlandes grösser zu sein als auf kahlem Oedlande, am grössten bei der Streu- und Moosdecke des Waldes. Im Schutze der Baumkronen ist die Temperatur niedriger und die Luftfeuchtigkeit höher, die Bodenverdunstung daher geringer als im Freilande. Sehr bedeutende Wassermassen werden aber zum Wachstume der Pflanzen, zur Erzeugung ihrer organischen Stoffe oder durch Verdunstung aus den oberirdischen Organen verbraucht. Ein ansehnlicher Teil des Niederschlags verdunstet im Kronendache der Waldbäume. Durch die Ausatmung der Blätter und Nadeln geht noch mehr Wasser verloren, das vorher mit den Wurzeln aus dem Waldboden aufgesaugt worden ist. Da der Wald eine grössere Masse organischer Stoffe erzeugt als das Grasland und Ackerland, so entzieht er dem Boden unter der Streudecke mehr

Wasser und trocknet ihn in höherer Masse aus, als trotz stärkerer Bodenverdunstung der Boden des Gras- und Ackerlandes oder gar des kahlen Oedlandes ausgetrocknet wird.

Diese Austrocknung des Wurzelbodens, mit der bei längerem Mangel an Niederschlägen eine gewisse (neuerdings zuweilen überschätzte) Absenkung des Grundwasserspiegels verbunden sein kann, schafft Raum für die Aufnahme des bei Regenfällen absickernden Wassers. Die versickerte Wassermenge ist im durchlässigen Boden grösser als im undurchlässigen. Sie wird vermehrt durch die zur Kultur erforderliche oder vom Wachstum der Pflanzendecke selbst erzeugte Auflockerung des Bodens, demnach beim Ackerlande und Waldboden im höheren Masse als beim Graslande und kahlen Oedlande.

Hat letzteres sehr durchlässige Beschaffenheit bis auf grössere Tiefe, so sickert das Wasser von oben schnell zum tiefliegenden Grundwasserspiegel hinab, wo es gegen Verdunstung gut geschützt ist. Bei undurchlässigem Oedlande erfolgt der offene Abfluss mit umso grösserer Geschwindigkeit, je steiler die Boden­neigung ist, und das Tagewasser verdunstet grösstenteils auf ebenen Flächen. Die Pflanzendecke verzögert die Geschwindigkeit des offenen Abflusses und des Absickers in die Tiefe. Am kräftigsten tut dies der Wald: 1) durch die aufsaugende Wirkung seiner Streu- und Moosdecke; 2) durch die Aufnahmefähigkeit des darunter liegenden Bodens, dessen Bewurzelung die abwärts gerichtete Bewegung des Sickerwassers verlangsamt, und 3) durch die Widerstände an der bestockten Oberfläche. Weit geringer ist die Verzögerung beim Ackerlande, dessen Pflanzenwuchs im gelockerten Boden keine tiefen Wurzeln treibt und nach der Ernte längere Zeit fehlt. Grasland erschwert den offenen Abfluss gleichfalls weniger als Wald. Die Absickerung verzögert es zwar mehr als Oedland, aber nicht in solchem Grade, wie der Waldboden das eingedrungene Wasser zurückzuhalten vermag, soweit es nicht für das Wachstum verbraucht wird.

Durch den stärkeren Wasserverbrauch findet die Einwirkung des Waldes auf die Zurückhaltung des Wassers, die oft als sein Hauptvorzug gegen das Freiland gerühmt worden ist, eine enge Grenze. Im Flachlande kommt das zurückgehaltene Wasser hauptsächlich dem Baumwuchse und der besseren Bodenfrische zugute, während für die Abgabe an das Grundwasser und die Quellen in dürren Zeiten wenig übrig bleibt. Nur wenn aus höheren Lagen dem Walde mehr Wasser zufliesst, als er verbrauchen kann, wirkt die Aufnahmefähigkeit und Abflussverzögerung seines Bodens günstiger auf die Aufspei-

cherung von Wasservorrat bei Hochwasser und Schneeschmelze ein. Am meisten geschieht dies bei den an Gebirgshängen wachsenden Wäldern. Da der Bodenfrost im Walde später als auf dem Freilande eintritt, behält sein Boden die Durchlässigkeit länger und erleichtert die für nachhaltige Speisung der Quellen nützliche Versickerung des Schmelzwassers. Für die Ermässigung der durch Schneeschmelze verursachten Anschwellungen der Flüsse und Ströme ist vorteilhaft, dass der Schnee im Walde später und langsamer als auf dem Freilande abschmilzt. Bei plötzlicher Erwärmung im Winter und Frühjahr, besonders wenn sie mit starken Regengüssen verbunden ist, und bei den zu gefährlichen Hochwassererscheinungen führenden Sturzregen im Sommerhalbjahr reicht indessen das Sammelvermögen des Waldbodens bald nicht mehr aus. Nach Ueberschreitung der Sättigungsgrenze fliesst dann der gewaltige Ueberschuss des Wassers aus dem Walde mit ähnlichem Ungestüm ab wie vom Freilande.

C. — *Entwässerung von Mooren und Trockenlegung von Seen kann den Abflussvorgang der mitteleuropäischen Ströme nicht merklich beeinflusst haben.*

Dass die Entsumpfung ebenso wenig wie die Entwaldung im nördlichen Mitteleuropa während des letzten Jahrhunderts ein für die Steigerung der Hochfluten und Wasserklemmen schädliches Mass angenommen hat, wurde auf Seite 5 schon erwähnt. Gleiches gilt für die Trockenlegung von Seen, die als eine andere Erscheinungsweise der ausgedehnten oberirdischen Wasserbedeckung aufzufassen, aber enge verwandt mit den Sümpfen sind. In mannigfachen Abstufungen gehen Seen und Sümpfe in einander über. Ausser der Einschlammung von Sand und Schlick, der Abfällung gelöster Stoffe im ruhigen Seewasser und der Ablagerung tierischer Reste tragen zur Versumpfung der Seen und kleineren Wasserbecken namentlich die Wucherungen von Wasserpflanzen, Halbgräsern und Moosen bei. Die bei übermässiger Nässe ohne Luftzutritt erfolgende langsame Zersetzung dieses Pflanzenwuchses erzeugt jene Moor- und Torfbildungen, aus denen unsere Sümpfe zu bestehen pflegen. In den Niederungen langsam fliessender Gewässer und an Stelle der Flussseen haben sich aus etwas anspruchsvolleren Sumpfpflanzen die Niederungs- oder Grünlandmoore gebildet. Wo es an genügender Zuführung von Nährstoffen fehlte, besonders in flachen Mulden des Höhenlandes, über ehemaligen Niederungsmooren und in abgeschnürten Teilen von Küstenseen, haben sich auf nahrungsarmer Unterlage aus anspruchslosen Torfpflanzen die Hochmoore aufgewölbt.

Im Vergleich zum Flächeninhalte des Niederschlagsgebiets nehmen die Seen nur bei wenigen Gebietsteilen des nördlichen Mitteleuropa grösseren Raum ein. Hauptsächlich kommen in Betracht die Alpenrandseen der Schweiz beim Quellgebiete des Rheins und die zahlreichen Seen des niedrigen Landrückens, der das Küstengebiet der Ostsee umsäumt, bei den Gebieten einer Reihe von Flachlandflüssen. Soweit aus letzteren unsere östlichen Ströme gespeist werden, findet die Zuführung ihres Speisewassers erst in den untersten Strecken dieser Ströme statt. Deshalb könnte sie auf deren Abflussvorgang kaum eine bemerkbare Wirkung äussern, wenn sogar durch Trockenlegung von Seen die Aufnahmefähigkeit dieser Sammelbecken mehr verändert worden wäre, als in der Neuzeit tatsächlich geschehen ist. Diese künstliche Trockenlegung hat jedoch die Gesamtfläche unserer Flachlandseen nur unwesentlich vermindert. Auch durch die an den Alpenrandseen vorgenommenen Aenderungen ist ihre Aufnahmefähigkeit keineswegs verringert, sondern nicht unerheblich vergrössert worden.

An der Wirksamkeit der im Gebirgslande liegenden Hochmoore hat menschliches Zutun nichts verdorben, da sich die Versuche zu ihrer Entwässerung und Aufforstung bald als unzweckmässig erwiesen hatten und wieder eingestellt worden sind. Wo in Nähe der Meeresküsten durch Verfehnung ansehnliche Teile der Hochmoore abgetragen und in Acker- oder Grünland verwandelt wurden, hat dies den Abflussvorgang der Ströme des Binnenlandes nicht berührt. Grössere Veränderungen erfuhr durch zahlreiche, teilweise sehr umfangreiche Entwässerungsanlagen der Zustand der Niederungsmoore im norddeutschen Flachlande. Dagegen hat man in den ausländischen Teilen des Memel- und Weichselstromgebiets erst seit jüngster Zeit mit der besseren Verwertung der moorigen Niederungen begonnen. Bevor die Einwirkung solcher Entwässerungsanlagen auf den Abflussvorgang der in Frage kommenden Flachlandflüsse geprüft wird, sei erwähnt, dass diese Flüsse fast ausnahmslos ihr Wasser erst in den Unterlauf der Ströme senden. Eine vielfach behauptete Steigerung der Hochfluten und Wasserklemmen in Ober- und Mittellaufe unserer Ströme kann daher durch verbesserte Entwässerung der Moore keinesfalls hervorgerufen sein.

Absichtlich haben wir den Ausdruck « Trockenlegung » hier vermieden. Vereinzelte Moorflächen von geringer Ausdehnung sind früher wirklich trockengelegt worden, was ihre Verwandlung in nutzloses Oedland mit Mull- und Moorwehen zur Folge hatte. Meistens wurde aber der jetzt allgemein angewandte

Grundsatz befolgt, den Grundwasserstand der Moore nicht zu tief abzusenken und durch Stauwerke in den Vorflutgräben zu regeln. Die Erfahrung lehrt, dass eine vorsichtige Entwässerung nicht nur die Vorbedingung der Moorkultur bildet, sondern auch günstig auf den Ausgleich der Wasserführung des Vorfluters einwirkt. Die zur Benutzung des Moorbodens als Grünland oder zur Ackerwirtschaft notwendige Bearbeitung und Düngung oder Vermischung mit Mineralboden (Sand, Klei) vergrössert die Aufnahmefähigkeit, vermindert die bei unkultivierten Mooren grosse Verdunstung und erleichtert die Ableitung des Uebermasses an Bodenfeuchtigkeit.

D. — *Einwirkung der Moore und Seen auf den Hochwasserabfluss. Aufspeicherung für Trockenzeit erfolgt nicht in diesen Sammelbecken, sondern in ihrem Zuflussgebiet.*

Auf dem nicht entwässerten, mit Wasser auch in der Trockenzeit durchtränkten Moorboden wird die Sättigungsgrenze bei heftigen Dauerregen ziemlich rasch erreicht und die innere Feuchtigkeit bei langer Dürre grösstenteils zähe festgehalten. Von der gewölbten Oberfläche der Hochmoore fliesst daher das Regenwasser und im Frühjahr das Schneeschmelzwasser schnell ab, sobald sich die besser aufnahmefähige Deckschicht voll Wasser gesogen hat und undurchlässig geworden ist. Niedermoores unterliegen während des Winters oft ziemlich lange anhaltenden Ueberschwemmungen durch die fliessenden Gewässer. Häufig verschwinden dann die niedrigen Ufer eines von Moorwiesen umschlossenen Sees vollständig, mindestens in der Talrichtung, unter dem Spiegel des Hochwassers. Auf den Verlauf der Flutwelle übt ein solcher See mit niedrigen Ufern eine ähnliche verflachende und verzögernde Wirkung aus wie die überschwemmte Niederung.

Die hierdurch bei Flachlandflüssen mit seenreichem Niederschlagsgebiet erzeugte, für die Unterlieger wohltätige Aufsamm lung von Hochwasser bildet jedoch keine Aufspeicherung, deren Wirkung sich bis zum Eintritt des Sommers geltend machen und während der Trockenzeit das Niedrigwasser nachhaltig speisen könnte. Sobald der Zufluss von Tagewasser erheblich kleiner wird, beginnen vielmehr schon im Frühjahr die Wasserstände zu sinken, weil die Abflussmenge ihn zunächst übertrifft und die Verdunstung mit Erhöhung der Temperatur zunimmt. Die Wasserstandsbewegung mancher Seen, die aus sehr durchlässigem Zuflussgebiet gespeist werden, zeigt aber Verzögerungen von längerer Dauer und entspricht teilweise nicht den Niederschlägen der vorangegangenen Wochen, sondern den viele Monate lang zurückliegenden. Offenbar findet hier-

bei die Speisung in hohem Masse durch das in grössere Tiefe versickerte Wasser statt (vergl. S. 19), das mit einem sehr langsam fliessenden, vor Verdunstung geschützten Grundwasserströme in dem See wieder zum Vorschein kommt.

Diese Erscheinungen deuten darauf hin, dass die Wasserstandschwankungen der Seen und Moore einesteils durch das oberirdisch zufließende Wasser und ihre eigenen Niederschläge (Tagewasser), andernteils durch das unterirdisch zufließende Wasser (Grundwasser) in zuweilen verschiedenem Sinne geregelt werden. Wichtig ist dabei, ob das Grundwasser des Niederschlagsgebiets nahe an der Oberfläche liegt, wo es erhebliche Verluste durch Bodenverdunstung und Pflanzenverbrauch erleidet, oder ob es in einer tieferen Schicht mit grösseren Widerständen und deshalb langsamer zuströmt. Gewöhnlich haben die Schwankungen des in Nähe der Oberfläche liegenden Grundwasserspiegels einen ähnlichen jährlichen Verlauf wie ein benachbarter Seespiegel, zeigen auch ähnliche Grösse, aber eine gewisse Verzögerung. In dem zugehörigen Flusse treten die Spiegelschwankungen stärker auf und entsprechen mehr den kurz zuvor gefallenem Niederschlägen oder der Schneeschmelze. Ist das Niederschlagsgebiet undurchlässig, so rufen die am Grundwasserspiegel nicht wahrnehmbaren, kurzdauernden sommerlichen Anschwellungen des Flusses ein rasch vorübergehendes Anheben des Seespiegels hervor.

Die jährliche Wasserstandsbewegung eines Sees, dessen Abfluss nicht durch Stauanlagen geregelt wird, hängt also in hohem Grade von der Beschaffenheit seines Zuflussgebiets ab. Bei undurchlässigem Zuflussgebiet wird die Wirkung des Sees als Sammelbecken für Hochwasser bald erschöpft und erstreckt sich keinesfalls auf den Ausgleich zurzeit der Dürre. Eine derartige, den Seen oft zugeschriebene Rolle spielen sie umso besser, je mehr die Grundwasserspeisung vor der Tagewasserspeisung vorwiegt, in befriedigendem Masse aber nur beim Vorherrschen der Speisung aus dem in die Tiefe versickerten Grundwasser. Wahrscheinlich gilt dasselbe auch für die Speisung der Moore. Man wird daher die bei den Flüssen der sandig-moorigen Flachlandgebiete sichtliche Erscheinung, dass die Wasserstände grossenteils von den einige Wochen früher gefallenem Niederschlägen abhängen und dass eine kräftige Zuführung aus Grundwasserströmen erfolgt, der Durchlässigkeit ihrer vorherrschend sandigen Bodenart zuschreiben dürfen.

In scheinbarem Widerspruch hiermit steht die häufig geäusserte Behauptung, der Bodensee sei ein «Regulator» für die Speisung des Rheins zur Sommerzeit. Obgleich er und die

übrigen Alpenrandseen der Schweiz sehr bedeutende Wassermassen aufzusammeln vermögen, hält die Einwirkung dieser Sammelbecken auf den Abflussvorgang des Oberrheins sogar bei Hochwasser nicht sehr weit vor. Die sommerlichen Wasserstände des Stromes werden durch die zur winterlichen Hochwasserzeit vollzogene Aufsammlung nicht beeinflusst. Nicht den Alpenrandseen, sondern den Schnee- und Eismassen des Hochgebirges verdanken wir, dass der Rhein in dürren Sommern eine grosse Abflussmenge besitzt. Nicht die Seen, sondern die Gletscher und Firnen speichern im Winter jene grossen Wasservorräte auf, deren Abfluss bei der Schmelze im Sommer eine regelmässige Anschwellung des Rheins verursacht. Auch hier rührt die ausgleichende Wirkung nicht von den Seen, sondern von der Beschaffenheit ihres Zuflussgebiets her.

Schlussbemerkungen.

Wir haben zuletzt gehört, dass weder die Seen, noch die Moore den ihnen oft zugeschriebenen gewaltigen Einfluss auf die Ausgleichung der Gegensätze zwischen Hochfluten und Wasserklemmen ausüben können. Auch der Wald wirkt nur unwesentlich auf diese Erscheinungen des Abflussvorganges unserer Ströme ein. Nachteilige Aenderungen von Belang hat im letzten Jahrhundert weder die Aufnahmefähigkeit der Seen und Moore, noch die Waldfläche Mitteleuropas erlitten. An manchen Orten, besonders aber im Mittelmeergebiet und im Alpenlande, sind durch Entwaldung, ausnahmsweise durch Entsumpfung, schädliche Aenderungen der Bodenart mit nachteiligen Folgen, auch für den Abflussvorgang, verursacht worden. Bei den Mooren trug hieran die ungenügende Fürsorge für Erhaltung ausreichender Grundwasserhöhe schuld. Bei den Wäldern war es der Umstand, dass an ihrer Stelle keine andere Pflanzendecke aufkommen konnte (absoluter Waldboden) oder durch Kulturrückgang wieder vernichtet wurde. Diese Wirkung ist jedoch stets auf kleinere Gebietsteile beschränkt und erstreckt sich nicht auf ganze Strom- oder grössere Flussgebiete. Dauernde Aenderungen im Abflussvorgange der Ströme und grösseren Flüsse Mitteleuropas haben nicht stattgefunden. Wohl aber unterliegt der Abflussvorgang ähnlichen langjährigen Schwankungen mit abwechselnd wasserreichen und wasserarmen Jahresreihen, wie sie bei anderen klimatischen Erscheinungen erkennbar sind. Nicht der Entwaldung und Entsumpfung ist dieser zeitweise auffallende Wechsel der Wasserführung unserer fliessenden Gewässer beizumessen, sondern den Klimaschwankungen.

Berlin, im Januar 1905.

H. KELLER.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



II-349895

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299489